



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
FACULTAD DE ARQUITECTURA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES HISTÓRICAS

DISEÑO DE UNA TORRE DE VENTILACIÓN EN XOCHITEPEC, MORELOS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN ARQUITECTURA

PRESENTA:
MIGUEL ANGEL VILLALOBOS SANDOVAL

TUTOR
M. EN ARQ. FRANCISCO MORALES SEGURA
FACULTAD DE ARQUITECTURA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
MTRA. ADRIANA DIAZ CAAMAÑO
DR. FELIPE ALBINO GERVACIO
DR. FERNANDO PALMA GALVÁN
DR. MARCOS RODOLFO BONILLA GONZALEZ
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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**, por la oportunidad de conocer más, para servir mejor.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, por el otorgamiento de una beca, para la realización de los estudios de Maestría.

Al **Maestro Francisco Morales**, por su motivación invaluable, sus recomendaciones siempre asertivas y su tiempo.

A la **Maestra Adriana Díaz Caamaño**; y los **Doctores Felipe Albino Gervasio y Fernando Palma Galván**, por sus observaciones siempre críticas, oportunas y motivadoras.

Al **Dr. José Roberto García Chávez**, por sus enseñanzas siempre útiles, las cuales fueron la base de la presente investigación.

Al **Dr. Álvaro Sánchez**, por la confianza depositada, para cursar la Maestría.

Al **Ing. Arq. Jorge Briseño Lara**, por compartir su visión siempre ética y de servicio, respecto al quehacer arquitectónico.

A **Margarita Yolanda, Roberto Serrano**; a **Elisa, María Fernanda, Alejandro y Alex Kuntzy**; a **Lucia y Gonzalo Villalobos Aguilar**, por su tiempo, cariño y motivación.

A los **Arquitectos Humberto Alfonso Carrillo Valdez, Carlos Alberto Garduño Gutiérrez, Leopoldo Barrera Moreno, Marco Antonio Ortiz Vargas y Roberto Carlos Garfias García**, por compartir conmigo sus conocimientos, su tiempo y su apoyo para la conclusión de este trabajo.

A **Paty, Rosy y Hugo** por su apoyo y entusiasmo.

Dedicado

A **Laura**, mi esposa, por todo su amor.

A **Celina y Néstor**, mis padres, por ser y estar siempre.

... los edificios estarán dispuestos adecuadamente si se han tenido en cuenta ante todo las orientaciones y las inclinaciones del cielo en el lugar donde se desea construirlos; porque no deben ser contruidos de la misma manera en Egipto que en España... Al estar el aspecto del cielo inclinado en una forma distinta con respecto a los diferentes lugares, a causa de la relación que tienen con el zodiaco y con el curso del sol, es necesario disponer los edificios en razón de la diversidad de los países y de los climas.

M. L. Vitruvio

Contenido

Introducción.	6
Capítulo 1.- El objeto arquitectónico y el confort ambiental.	10
1.1 La relación entre el ser humano, el medio ambiente y el espacio arquitectónico.	10
1.2 Diferenciación entre los sistemas activos y sistemas pasivos utilizados para climatizar los espacios arquitectónicos.	11
1.3 Importancia del uso de los sistemas pasivos en la arquitectura.	13
1.4 Síntesis valorativa de los sistemas pasivos en la arquitectura a través de diversos contextos.	15
Capítulo 2.- Aprovechamiento de los sistemas pasivos.	22
2.1 Funcionamiento de los sistemas pasivos.	22
2.2 Principales sistemas pasivos utilizados en la arquitectura, para un confort ambiental.	24
Capítulo 3.- El caso de la ventilación como elemento de enfriamiento pasivo.	31
3.1 Niveles de confort térmicos e higrométricos recomendables.	33
3.2 Sistemas de enfriamiento pasivo basados en el uso de la ventilación, aplicables en climas cálidos.	38
3.3 Tipología, clasificación, ejemplos, características, funcionamiento y cálculo de las torres eólicas.	47
Capítulo 4.- Diseño Arquitectónico de enfriamiento pasivo por Torres de Ventilación.	64
4.1 Elementos de adaptación al sitio.	65
4.2 Componentes de adecuación térmica al medio ambiente.	83
4.3 Componentes de diseño arquitectónico de las Torres de Ventilación.	91
Capítulo 5.- Componentes del impacto económico constructivo.	120
5.1 Costo de la construcción de la Torre de Ventilación.	120
5.2 Ventajas del enfriamiento mediante la Torre de Ventilación frente a los sistemas electromecánicos.	121
5.3 Diseño arquitectónico de un sistema pasivo de enfriamiento en un clima cálido subhúmedo.	123
Glosario	126
Índice de Imágenes y tablas	128
Bibliografía	130
Anexos	132

Introducción

Desde tiempos remotos el hombre ha procurado para su resguardo la modificación de su entorno mediante el uso de diversos elementos a su alcance, con la finalidad de obtener mayores beneficios en lo relativo a la seguridad, protección y abrigo, frente a diversos elementos o situaciones hostiles. Muchas de estas modificaciones o adaptaciones fueron haciendo de su hábitat un lugar cada vez más confortable, puesto que dichas acciones contribuyeron directamente a lograr una progresiva adaptación a climas muy diversos, debido al empleo de distintas soluciones constructivas.

Como se verá en **el primer capítulo**, las diferentes soluciones encontradas fueron evolucionando durante el paso del tiempo, por lo que consecuentemente, se consiguió construir edificaciones integradas en mayor medida a los diversos contextos naturales. Muchas de estas soluciones consisten en el desarrollo de sistemas, en los cuales los elementos construidos, mediante el aprovechamiento de los elementos naturales mejoran las condiciones térmicas o higrométricas al interior de las construcciones con respecto al exterior de las mismas. A estos sistemas se les conoce como “sistemas pasivos de confort ambiental”.

La importancia en el uso de sistemas pasivos en la arquitectura, radica en el diseño de espacios habitables, confortables y saludables, en beneficio del hombre.

“Los sistemas pasivos para adecuar una construcción al ambiente y lograr una arquitectura eficaz y confortable son aquellos que utilizan al Sol, las brisas, la vegetación y el manejo del espacio arquitectónico, sin depender de sistemas electromecánicos para crear un microclima interior adecuado”¹

A partir de la revolución industrial, con la implementación de nuevos materiales, sistemas constructivos e instalaciones, se comenzaron a desarrollar edificaciones muy similares en diversas regiones del mundo, con el consecuente abandono de técnicas y soluciones constructivas tradicionales y particulares para cada lugar. Esta situación derivó en la necesidad de solucionar los problemas de enfriamiento y sobrecalentamiento al interior de las edificaciones mediante el uso de sistemas que para su funcionamiento requiriesen en varios casos un alto consumo de energía

¹ Ruth Lacomba, *Manual de Arquitectura Solar*, (Ed. Trillas, México 1991), 167.

eléctrica, por lo que se incrementó la demanda de este recurso y el consecuente aumento en la generación del mismo , a través, principalmente de plantas productoras a base del uso o quema de productos derivados del petróleo, o inclusive en plantas nucleares generadoras de energía. Sin embargo a partir de la década de los setentas, como consecuencia del aumento del precio del petróleo en un principio y el creciente aumento de los índices de contaminantes, en algunas regiones se comenzó a revalorar la climatización de los espacios mediante elementos y sistemas que no necesariamente impactaran el medio ambiente de una forma negativa.

Actualmente, todavía la mayoría de las opciones comúnmente aceptadas para el enfriamiento de las construcciones en climas cálidos, encaminadas a alcanzar niveles de confort térmico estandarizados, para los habitantes del centro de la República Mexicana, generalmente implican un alto consumo de energía y consecuentemente su equivalente costo económico.

También, hoy en día, los temas relacionados con el ahorro de energía han adquirido gran importancia, puesto que se con ello se favorece la preservación de los recursos energéticos no renovables y del medio ambiente natural.

“Las ventajas más obvias de los sistemas pasivos son las económicas, al ahorrar en combustibles, pero las otras ventajas no dejan de ser importantes: las de un mayor bienestar ambiental, agua caliente, buena temperatura, agradable y benéfica luz natural, y comodidad fisiológica y psicológica”²

Básicamente los sistemas pasivos pueden servir para enfriar, calentar, humidificar o deshumidificar los espacios construidos, según lo requieran las circunstancias, por lo cual su integración con el proyecto arquitectónico debe responder a una planeación que considere los siguientes aspectos.

En la elección del lugar, en el aspecto de la orientación, los cálculos de la sombra, la forma de las viviendas, los movimientos del aire y el equilibrio de la temperatura interior. Sin embargo, un diseño mejor planeado también puede involucrar otros aspectos relativos al confort ambiental, tal es el caso del confort lumínico, auditivo, olfativo y visual.

Es posible enlistar una gran variedad de sistemas pasivos, como se verá en el **segundo capítulo**, los cuales dependerán directamente de la necesidad que se requiera satisfacer, respecto al clima imperante del lugar. En el caso particular del territorio mexicano, es posible localizar muchas

² Lacomba, *Manual de Arquitectura Solar*, 167.

regiones en las que predomina el clima cálido durante gran parte del año, pudiendo variar considerablemente el grado de humedad en un amplio espectro, sin embargo, tendrían en común la existencia de la necesidad de reducir la temperatura ambiental al interior de las construcciones para alcanzar un nivel de confort térmico, que permitiera desarrollar las actividades cotidianas sin el padecimiento de un sobrecalentamiento, lo cual ocasionaría que el desempeño de las mismas se viera limitado o incluso interrumpido, al menos dentro de un espacio que inicialmente fuera diseñado para tal fin.

Dentro de la gama amplia de sistemas pasivos potenciales, existen algunos que por sus características particulares, se han empleado de una forma más generalizada. Otro de los factores que han condicionado el uso de estos sistemas pasivos en general y los utilizables para enfriamiento en particular, es la tradición constructiva, producto de una influencia cultural colonizadora.

Como ejemplo ilustrativo de esta situación, se tiene el uso de patios interiores sombreados y aclimatados mediante el uso de fuentes, en las construcciones del norte de África, en particular en el Magreb, los cuales fueron inoculados en las construcciones medievales del centro y sur de España, con la llegada de los árabes procedentes del medio oriente y norte de África.

Posterior a la reconquista española del siglo XV, este elemento arquitectónico heredado de una cultura distinta a la visigoda perduró e incluso fue exportado a la América colonizada, debido entre otros factores a las bondades micro climáticas que ofreció.

Como consecuencia de las particularidades culturales y sociales, así como del aislamiento o lejanía de varias regiones, existen elementos arquitectónicos que no necesariamente migraron de una forma similar al patio, aunque pudiesen representar una solución opcional y sencilla a la problemática de otros lugares con requerimientos similares de aclimatamiento al interior de las edificaciones. Este pudiera ser el caso de las torres de ventilación, tema central del presente trabajo, muy comúnmente usadas en la arquitectura tradicional del centro de Irán, así como en otras regiones de Pakistán y la península arábiga, y las cuales se analizarán con más detalle en el **capítulo tres** desde el punto de vista descriptivo y funcional.

Solamente durante los últimos años del siglo XX y principios del siglo XXI, algunos arquitectos contemporáneos muy reconocidos por la comunidad internacional han comenzado a utilizar los principios de funcionamiento o inclusive han rediseñado el elemento mismo en función de poder satisfacer una necesidad de enfriamiento ambiental específica, por lo que este elemento tiende a revalorarse desde el punto de vista climático en un principio y consecuentemente arquitectónico y

ambiental, ya que al prescindir del uso de los sistemas activos para el enfriamiento de los espacios interiores, se dejan de producir contaminantes ambientales, debido a la generación de energía eléctrica por medio de plantas productoras como las termoeléctricas, carboeléctricas y nucleoeeléctricas, por ejemplo.

Sin embargo, también resulta pertinente suponer que al no requerir energía eléctrica para su funcionamiento, las torres eólicas pueden representar también una opción de bajo costo, para el enfriamiento de las construcciones, lo cual representa una ventaja adicional a las ya citadas. Por lo que uno de los principales objetivos de la presente investigación, como se verá en los **capítulos cuatro y cinco**, es el de contribuir al estudio de los sistemas de enfriamiento pasivo en la arquitectura y resaltar sus beneficios de costo, eficiencia energética y confort ambiental, particularizando en la descripción y valoración del funcionamiento de las torres de ventilación.

En la búsqueda de ejemplificar de una forma más precisa lo anterior, se ha seleccionado una construcción emplazada en una región caracterizada por su clima cálido. Por cuestiones de cercanía con la ciudad de México se eligió la localidad de Xochitepec, al sur de la ciudad de Cuernavaca, puesto que el aeropuerto local lleva registros de viento actualizados, además la estación Temixco del Servicio Meteorológico Nacional ha registrado las temperaturas horarias de forma regular desde el año 1951. Finalmente la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, lleva el registro de las lecturas de humedad relativa media desde 1951 en el Instituto Nacional de Tecnología del Agua localizado en el municipio de Jiutepec, al este de la ciudad de Cuernavaca, por lo que con esta información y siguiendo una metodología utilizada en varias universidades del país y documentada en libros especializados de referencia, es posible determinar las necesidades de enfriamiento del lugar y proponer un prototipo de torre eólica, que pudiese solventar los requerimientos de enfriamiento, mediante el uso pasivo de la ventilación local, en contraposición al uso común de sistemas electromecánicos de enfriamiento, lo cual se plantea corroborar con un estudio comparativo del costo que implica el funcionamiento de uno y otro sistema en el **capítulo cinco**, con el objetivo de contar con mayores elementos de juicio a éste respecto.

Capítulo 1.- El objeto arquitectónico y el confort ambiental

La relación entre los espacios construidos y el confort ambiental siempre ha existido, sin embargo esta vinculación no siempre resulta idónea, debido a que tanto las características físicas de los materiales constructivos, así como la morfología y ubicación del envolvente y sus diversos componentes, influyen determinadamente en las relaciones temperatura- humedad- espacio arquitectónico. La variación de la temperatura y humedad relativa puede responder en un principio a la localización geográfica y orientación del edificio, sin embargo también las dimensiones del espacio interior, el tamaño y número de vanos, tipo y forma de las cubiertas, el uso de materiales y colores absorbentes o reflejantes, así como la influencia de los árboles y plantas cercanas, son determinantes en la percepción higrotérmica que se pueda tener en el espacio. Por tal razón resulta conveniente de inicio, tomar en consideración los elementos ambientales del lugar, en donde se pretenda edificar un espacio arquitectónico, con el objeto de conocer los requerimientos particulares en relación con la temperatura y la humedad ambientales, puesto que en la medida que sean atendidas estas necesidades, existe la posibilidad de lograr espacios más confortables.

1.1 La relación entre el ser humano, el medio ambiente y el espacio arquitectónico.

El ser humano ha buscado desde los orígenes de la civilización construir espacios que le ofrezcan protección y refugio frente a los elementos o situaciones hostiles. Como parte de esas circunstancias adversas se encuentran las relacionadas con el clima, el cual varía dependiendo de algunos factores como la latitud (distancia respecto al ecuador terrestre), altitud (diferencia de altura respecto al nivel del mar), ubicación con respecto a los grandes cuerpos de agua como los océanos o a las grandes masas de agua congelada en los polos.

Esta situación deriva en que el hombre durante mucho tiempo se ha ido adaptando a diversas situaciones climáticas, de diversas maneras, con el objetivo de construir espacios habitables y confortables, para la realización de sus actividades cotidianas.

Aunque el confort ambiental se relaciona con aspectos como los niveles de temperatura, humedad, lumínicos y acústicos bien definidos, también pueden influir otros más subjetivos como el olor o la percepción visual del entorno.

Debido a que la temperatura y la humedad están estrechamente vinculadas con la ubicación geográfica del lugar, difícilmente son modificables estas variables, por lo que el desarrollo de la arquitectura ha requerido de un análisis y la valoración de estos elementos, para poder alcanzar niveles de confort en los espacios habitables.

Así pues un espacio arquitectónico confortable, necesariamente cuenta con elementos y sistemas que lo han adaptado al medio ambiente natural que le rodea y que le han permitido generar condiciones térmicas e higrométricas en principio, más apropiadas para llevar a cabo las actividades humanas para las que fue diseñado.

Es preciso señalar que estos sistemas en principio se pueden diferenciar en pasivos y activos, sin embargo en determinadas circunstancias también pueden funcionar de forma complementaria, y en estos casos se les conoce como mixtos. Entendiéndose en este caso como sistema, al conjunto de elementos que debido a sus características físicas y a la interacción con el medio ambiente que le rodea, logran modificar las condiciones de temperatura y/o humedad de un espacio determinado.

1.2 Diferenciación entre los sistemas activos y sistemas pasivos utilizados para climatizar los espacios arquitectónicos.

Anterior a la revolución industrial, la forma de adaptar las construcciones al entorno, generalmente se relacionaba directamente con el aprovechamiento de los recursos naturales de fácil alcance, para la construcción del hábitat, así como también, de los elementos climáticos del lugar, como el viento o el asoleamiento, para lograr espacios confortables desde el punto de vista térmico e higrométrico.

Todavía durante la primera mitad del Siglo XX en muchas regiones alrededor del mundo se seguían empleando estrategias de diseño en las construcciones tradicionales, encaminadas a satisfacer los requerimientos de confort al interior de las mismas, o a reducir el impacto de las condiciones climáticas sobre los habitantes de distintos lugares.

Este tipo de estrategias constructivas generalmente recurrían al uso de materiales constructivos regionales y al aprovechamiento de los elementos naturales como el viento y el asoleamiento para

compensar las necesidades de enfriamiento o calentamiento, por ejemplo. Al uso de este tipo de acciones se les conoce como **sistemas pasivos**. Los cuales están enfocados a la generación de espacios más confortables y en consecuencia habitables.

Derivado del desarrollo cada vez más acelerado de los avances científicos y tecnológicos, en general y del proceso de industrialización en particular, la arquitectura también se benefició de la producción industrial de insumos con el objetivo de reducir tiempos y abaratar costos, para incrementar volúmenes de construcción, encaminados a satisfacer el aumento constante en la demanda de infraestructura urbana, esto como consecuencia de las constantes migraciones poblacionales del campo hacia la ciudad.

Sin embargo esta nueva circunstancia derivó en que la producción arquitectónica comenzó a unificar criterios, materiales y soluciones plásticas y espaciales alrededor del mundo, lo que provocó que una misma solución constructiva reaccionara e impactara de forma diferente, en lugares diversos. Como ejemplo podemos citar a los edificios con plantas arquitectónicas libres y fachadas acristaladas, fácilmente localizables en diversas latitudes y regiones climáticas, lo que invariablemente determinó diversos requerimientos de control climático al interior de edificios con similares características constructivas y formales.

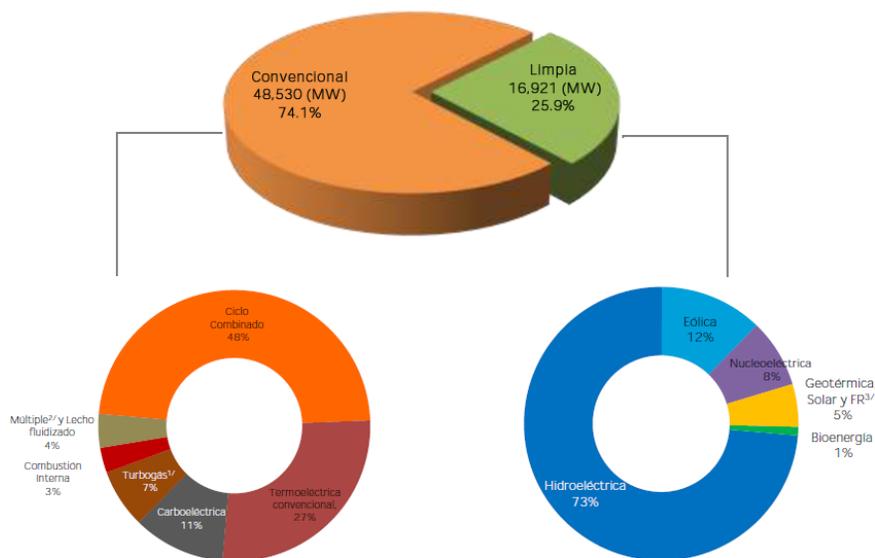
Adicionalmente, surgió la necesidad de aclimatar las edificaciones muchas veces mediante el uso de sistemas que conllevan a un mayor consumo de energía para alcanzar los niveles de confort ambiental requeridos. Estos nuevos sistemas generalmente funcionan mediante el consumo de gas o electricidad, lo que en muchos casos también ha derivado en un incremento de partículas contaminantes arrojadas a la atmósfera, como parte del proceso de generación de energía. A estos sistemas de acondicionamiento, principalmente térmico se les conoce como **sistemas activos**.

Generalmente el uso de los sistemas activos de acondicionamiento ambiental resultan indispensables dentro de las edificaciones localizadas en regiones con climas con temperaturas y humedades extremas, como los desiertos o regiones con latitudes o altitudes extremas, sin embargo, en otras regiones menos húmedas, secas, frías o cálidas se ha generalizado el uso de algunos sistemas activos, lo que necesariamente puede derivar en un mayor consumo de energía eléctrica o gas, a nivel local o regional, con las consecuentes repercusiones económicas y ambientales.

1.3 Importancia del uso de los sistemas pasivos en la arquitectura.

Como ya se ha mencionado, en varias circunstancias resulta favorable el uso de los sistemas activos o electromecánicos convencionales, como los equipos de aire acondicionado o los sistemas de calefacción, puesto que tienen la cualidad de aumentar o disminuir la temperatura en un espacio determinado, cuando la diferencia entre la temperatura ambiental y el rango de confort es muy grande, además de poderlo hacer en poco tiempo, sin embargo, no en pocos casos puede resultar excesivo, el uso de estos sistemas por el incremento en el costo de operación de un edificio, sin mencionar el consecuente deterioro ambiental. En el caso particular de la República mexicana, el 74.10% de la producción de la energía eléctrica hasta hace dos años, por ejemplo, dependía principalmente de la quema de combustibles no renovables y contaminantes, en las plantas termoeléctricas, carboeléctricas o de ciclo combinado las cuales utilizan gas natural para su funcionamiento, como se puede apreciar en la gráfica siguiente.

Ilustración 1:
Participación en la capacidad de generación por tipo de tecnología, 2014.



^{3/} Incluye plantas móviles. ^{2/} Combinación de Tecnologías ^{3/} Frenos Regenerativos.
Fuente: Elaborado por SENER con datos de CFE y CRE.

Fuente: Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, PRODESEN 2015- 2019 P. 18
 Disponible en:
http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/54139/PRODESEN_FINAL_INTEGRADO_04_agosto_Indice_OK.pdf

La gráfica anterior muestra el estado actual de la generación de energía eléctrica en México, la cual proviene mayormente de plantas de tipo convencional, es decir que, para su generación se requiere

del consumo de combustibles no renovables, mientras que solamente el 25.9% proviene de plantas con tecnologías limpias, como la hidroeléctrica, la eólica o la geotérmica.

Por lo tanto, el uso de sistemas convencionales, no renovables, implica además del costo económico derivado de su funcionamiento, un consecuente costo ambiental.

Sin embargo también hay que resaltar que según datos proporcionados por la Secretaría de Energía en el documento anteriormente citado, que la energía proveniente de las plantas eólicas y solares es la que ha tenido un mayor crecimiento porcentual, respecto a lo mostrado en años anteriores. Situación que lleva a reflexionar respecto al potencial de este tipo de tecnologías como fuentes de energía, así como a las ventajas económicas y ambientales, que conlleva el uso de los elementos naturales como el sol y el viento para satisfacer otro tipo de requerimientos como la climatización natural de los espacios habitables.

Como ya se ha venido mencionando, la importancia del uso de los sistemas pasivos para alcanzar niveles de confort ambiental radica en el aprovechamiento generalmente de los materiales regionales, el empleo de la estructura arquitectónica como un elemento para la captación de la radiación solar, el viento, o para conservar la temperatura al interior de una construcción.

Otra cualidad de los sistemas pasivos de control ambiental, empleados en la arquitectura, consiste en un nulo o muy reducido consumo energético externo, distinto a las fuentes naturales ya mencionadas, lo que deriva en una producción mínima de elementos contaminantes del medio ambiente.

Finalmente, debido a que el hombre se ha ido asentando en diversas latitudes, esto ha derivado en la necesidad de adaptar las construcciones a distintos entornos. Por lo que en un clima cálido, por ejemplo, se tiene la necesidad de enfriar los espacios, mientras que en una región fría se requiere calentar y conservar el calor ganado, a su vez, en los lugares con altos niveles de humedad relativa es imprescindible la deshumidificación y en las regiones áridas la humidificación del espacio interior resulta altamente conveniente. Por ello es posible encontrar diversos ejemplos de distintas estrategias empleadas en circunstancias diversas.

1.4 Síntesis valorativa de los sistemas pasivos en la arquitectura a través de diversos contextos.

A continuación se presentan algunos ejemplos de construcciones tradicionales, las cuales se caracterizan por contar con pocos elementos constructivos industrializados, en estas construcciones localizadas en distintos contextos, se pueden apreciar algunas de las diversas soluciones simples, orientadas a solventar variadas situaciones generadas por los diferentes elementos climatológicos, logradas mediante el uso de sistemas pasivos.

En este tipo de soluciones comúnmente se utilizan los materiales de construcción asequibles en el lugar, tal como la madera, las rocas, la paja y la vegetación en general o la tierra, para poder elaborar elementos más complejos como los ladrillos de adobe o los muros de bajareque.

Desde los orígenes de la civilización humana uno de los objetivos del hombre al construir su hábitat ha sido el de generar espacios seguros y lo más confortables posibles, para ello ha tenido que recurrir al empleo de diversas estrategias de diseño, dependiendo de la ubicación particular de cada construcción.

El hombre, mediante la realización de arquitectura vernácula o tradicional, ha logrado perfeccionar estos sistemas pasivos de climatización ambiental, a través de un constante y largo ensayo en las técnicas constructivas, la selección de los materiales apropiados o el dimensionamiento espacial, para cada caso específico, por lo que el estudio de los mismos podrían servir como referencia para la solución de situaciones arquitectónicas contemporáneas.

Protección contra la humedad

Desde tiempos muy remotos el hombre buscó protegerse de la lluvia, por lo que esto ha sido “uno de los principales objetivos de la construcción, independientemente del clima”³. Además de las razones inherentes a éste respecto, el exceso de precipitación pluvial conlleva al incremento de la humedad relativa y en algunos otros casos, esta situación además puede venir acompañada del desbordamiento los ríos o el eventual aumento de los niveles de los diversos cuerpos de agua, pudiendo representar un riesgo para los asentamientos humanos.

³ John Taylor S., *Arquitectura anónima*, (Ed. Stylos), 15.

Ilustración 2:
Casa en Nueva Guinea.



Fuente: popscreen.com

Disponible en: <https://www.popscreen.com/prod/MTU5MDIwNzQz/-Engraving-Tree-House-Native-Women-Koiari-New-Guinea-Edward-Whymper>.

Esta casa en Nueva Guinea, no solo ofrece abrigo contra las abundantes lluvias, también procura una temperatura fresca, gracias a la ventilación, debido a que al estar situada a una altura elevada respecto del nivel del suelo, capta una mayor ventilación.

Este tipo de construcciones rudimentarias, conlleva a mejorar sensación de confort mediante la captación de la ventilación a una altura muy superior del nivel del terreno natural, la cual ya libre de varios obstáculos aumenta su velocidad, por lo cual también se reduce la sensación de incomodidad derivada del elevado índice de humedad ambiental, así como, de las altas temperaturas.

Protección contra el viento

Dependiendo de las circunstancias particulares de un emplazamiento, el viento puede ayudar significativamente a mejorar las condiciones de confort ambiental, sin embargo en algunos casos resulta necesario protegerse de los vientos extremos, ya sean estos fríos o demasiado cálidos.

En regiones localizadas en latitudes extremas, por ejemplo, las masas de aire proveniente de los polos generan ambientes más inhóspitos, lo que requiere por una parte un mayor aislamiento térmico y una protección efectiva contra los vientos helados.

A pesar de que muchos emplazamientos pudieran estar más cercanos al ecuador, existen otros factores que también son determinantes en la incidencia de vientos extremos, como la altitud y la vulnerabilidad de ciertas regiones hacia los vientos huracanados.

Ante situaciones de esta naturaleza, resulta conveniente evitar en lo posible que las construcciones estén expuestas al viento, o reducir el impacto del mismo mediante la forma o el uso de elementos constructivos especialmente diseñados para ello.

Por ejemplo, las construcciones europeas septentrionales tradicionales anteriores a la revolución industrial, hubo la necesidad de disminuir el efecto adverso para sus ocupantes, mediante el uso de formas que ofrecieran una menor exposición al viento y al uso de materiales y sistemas que ofrecieran una mayor protección en contra de los vientos extremos.

“Las casas cuya forma ofrecen poca resistencia al viento sin crear turbulencias, reducen el impacto eólico estructural y térmico”⁴

Ilustración 3:
Cabaña irlandesa.



Fuente: Ontario Genealogical Society
Disponible en: <http://www.ogs.on.ca/ogsblog1/wp-content/uploads/Image-c.1890-of-a-Mother-with-her-2-Daughters-outside-thatched-cottage-at-GlencolumbkilleCo.-Donegal-from-cultural-heritage-Ireland1.jpg>

En la imagen de esta cabaña irlandesa rural del siglo XIX, se puede apreciar una red de cuerda lastrada con piedras para asegurar la techumbre de paja a dos aguas y así evitar que el viento dañe la cubierta.

Calefacción

En la medida de que el hombre se fue asentando en regiones más septentrionales, en particular al norte del trópico de cáncer, durante los meses más fríos del año, la necesidad de aislamiento de las

⁴ Taylor, *Arquitectura anónima*, 23.

viviendas con respecto al exterior se hizo imprescindible en la medida en que se reducía la distancia al polo norte, con la finalidad de conservar el calor que se genera al interior de las mismas.

“Los primeros asentamientos humanos se localizan en las regiones subtropicales... Conforme estos asentamientos fueron extendiéndose a regiones más templadas, el problema de la calefacción durante el invierno surgió como factor crítico”⁵

La forma más inmediata de aislar un espacio para conservar la temperatura interior impidiendo las pérdidas de calor fue mediante la masividad de los elementos constructivos con base en el uso de la tierra como elemento aislante, o inclusive a través de la construcción de viviendas subterráneas como es el caso de las llamadas viviendas trogloditas de Nepal, Anatolia o el norte de África. Aunque a pesar de que en el caso de estas últimas, una de las razones primordiales para la elección del emplazamiento y el tipo de solución pudo ser la defensa del lugar, debido a sus cualidades como emplazamiento defensivo. También el uso de bloques de tierra o adobes conlleva al aislamiento térmico de un espacio construido, con el consecuente mejoramiento de las condiciones ambientales en lugares de clima frío.

Ilustración 4
Casas -césped en Glaumbaer, Islandia.



Fuente: Reedit Scandinavian

Disponible en:

https://www.reddit.com/r/Scandinavian/comments/3pk7mh/turf_houses_of_the_burstab%C3%A6r_style_in_glaumb%C3%A6r/

Estas casas- césped en Islandia solamente tienen un muro expuesto a la acción del frío, quedando el resto de la casa protegida por la tierra.

⁵ Taylor, *Arquitectura anónima*, 26.

Enfriamiento

En las regiones cálidas. "Cuando las condiciones rebasan la zona de confort humano, hay que proveer un factor refrigerante, ya sea sombra, ventilación o humedad suplementaria" ⁶

En principio habrá que precisar que aunque las necesidades de enfriamiento tanto en un clima cálido húmedo como en un clima cálido seco pudiesen ser semejantes respecto a los requerimientos de enfriamiento, las soluciones se diferencian ya que porcentaje de humedad también es determinante en el grado de confort que guarda un espacio dado.

Básicamente en un clima cálido seco extremo se deben aprovechar los materiales que durante el día absorban el calor y durante la noche lo irradian al interior.

"Una adecuada utilización de los materiales absorbentes o masa térmica en los climas calurosos y secos sirve para calentar la casa por la noche, enfriándola durante el día" ⁷

También resulta necesario en estos casos promover el sombreado de los espacios, para evitar la incidencia de la radiación solar directa.

Finalmente en un clima cálido seco se debe restringir la circulación del aire proveniente del exterior, ya que durante el día, este es caliente, a menos que se haya podido enfriar previamente al ingreso a la edificación. Como ejemplo de lo anterior, tenemos las edificaciones tradicionales en zonas desérticas.

Ilustración 5

Viviendas de adobe en Taos, Nuevo México.



Fuente: The wise traveller

Disponible en: <http://www.thewisetraveller.com/Articles/ID/3456/5-Unlikely-Places-To-Spend-Xmas>

Con la agrupación de viviendas formando una estructura única compacta se obtiene una importante masa térmica y se reduce la superficie expuesta al calor. Además en este tipo de edificaciones las

⁶ Taylor, *Arquitectura anónima*, 45.

⁷ Taylor, *Arquitectura anónima*, 63.

aberturas son pequeñas y generalmente están remetidas para evitar el paso de la radiación solar directa.

En el caso de las regiones con un clima cálido húmedo las estrategias de diseño se diferencian de las anteriores porque se debe promover la ventilación natural, para reducir la incomodidad corporal ocasionada por el exceso de humedad ambiental y reducir la temperatura interior.

Otra de las estrategias recomendada ha consistido en el uso de materiales reflejantes para evitar la absorción del calor.

De forma similar, al igual que en las construcciones emplazadas en climas cálidos secos, otra de las estrategias, ha consistido en generar y maximizar el aprovechamiento de las sombras.

Ilustración 6

Pórticos en las fachadas principales de las edificaciones habitacionales, Tlacotalpan, Veracruz, México.



Elaboración propia 03/04/2010

Los porches cubiertos, tradicionalmente han sido utilizados con la finalidad de resguardar los espacios próximos a las construcciones, de la incidencia del sol, generando zonas confortables al exterior en horas avanzadas de la tarde, inclusive pudiéndose ser considerados como una extensión del área de estar. El uso del porche, permite contar con ventanas y puertas de gran tamaño, con el objeto de promover la circulación de una mayor cantidad de aire, debido a que estas, están menos expuestas a la incidencia de la radiación solar directa, durante el día.

Adicionalmente al uso del porche, muchas casas en regiones cálidas húmedas, han utilizado celosías y herrerías muy elaboradas en los vanos.

Otra característica de las viviendas en regiones cálidas húmedas es que la altura de entrepiso es mayor a la de las regiones templadas, porque un mayor volumen de aire tarda más tiempo en

sobrecalentarse, además por el principio de estratificación de temperaturas, dentro de un mismo espacio la temperatura más elevada del aire se localiza en la parte superior, propiciando una zona más fresca en el nivel inferior, donde se realizan las diversas actividades humanas.

En algunos casos las habitaciones también cuentan con aberturas controlables adicionales en la parte superior, lo que permite una circulación continua del aire, al interior de la edificación.

De lo anterior se aprecia que las construcciones que ha ido desarrollando el hombre a través de la historia, desde el concepto más elemental hasta los sistemas pre industrializados más recientes, tienen en común entre sí, la búsqueda de una integración ambiental con su entorno, puesto que invariablemente para lograrlo se han utilizado los materiales de fácil adquisición, así como, las soluciones constructivas asociadas a los mismos, sin embargo otra característica importante de estas construcciones está asociada al uso de sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental, principalmente asociados con la búsqueda del confort térmico en la mayoría de los casos, así como, del confort higrométrico cuando se ha requerido, mediante el uso de diversas estrategias de diseño.

Capítulo 2.- Aprovechamiento de los Sistemas Pasivos.

Los sistemas de acondicionamiento ambiental pasivos, generalmente utilizan los elementos de la naturaleza como el sol, el viento, la vegetación y en algunos casos el agua corriente, así como la morfología arquitectónica y las propiedades físicas de los materiales constructivos con la finalidad de no depender de algún sistema electromecánico para la creación de un microclima interior confortable.

Un sistema de acondicionamiento pasivo, para su correcto funcionamiento, invariablemente deberá actuar en función del clima y de los materiales constructivos al alcance.

Aunque para cada clima se requiere una serie de estrategias de diseño particulares, es conveniente puntualizar que para el caso de la República Mexicana, los climas predominantes en la mayor parte del territorio se encuentran en los grupos A (Tropical lluvioso sin estación fría), BS (Estepario) y BW (Desértico), por lo que dichas estrategias en lo general, estarán encaminadas al enfriamiento pasivo de los espacios construidos.

Otras de las ventajas que ofrece el uso de éstos sistemas, además del ahorro económico y en el que coinciden en su gran mayoría los distintos autores y especialistas en la materia, es que el producto arquitectónico resultante, al utilizar éste tipo de soluciones, conlleva a una mayor comodidad fisiológica y psicológica, sin embargo para el caso concreto de la percepción sensorial humana, existen parámetros perfectamente mesurables como, la temperatura y la humedad.

2.1 Funcionamiento de los sistemas pasivos.

El uso de los sistemas pasivos en la arquitectura, responde al planteamiento de una estrategia de diseño, derivada de las circunstancias climáticas particulares del emplazamiento seleccionado para la construcción de la edificación.

Como ya se ha planteado, en un clima cálido seco la estrategia de diseño será el enfriamiento combinado con la humidificación.

En un clima cálido húmedo, la estrategia responderá a la necesidad de enfriamiento y des humidificación.

En un clima frío y húmedo, la estrategia deberá estar enfocada a calentar y deshumidificar los espacios.

En un clima frío y seco, la estrategia de diseño se encaminará a enfriar y humidificar.

Es decir la estrategia de diseño condicionará el uso de los sistemas pasivos o activos, en cada caso, sin embargo, estas a su vez dependerán del tipo de clima en el que se desarrollará la arquitectura. Por lo tanto, los sistemas pasivos para alcanzar niveles de confort ambiental, funcionan aprovechando las características físicas de la arquitectura y utilizando los elementos climatológicos del lugar.

Una edificación compuesta de varios espacios confortables, no requiere exclusivamente del funcionamiento de un solo sistema pasivo, puesto que se puede combinar el funcionamiento de dos o más de ellos, dependiendo de las condiciones climatológicas del emplazamiento, e inclusive considerando la variación térmica e higrométrica del lugar, dependiendo de las estaciones del año. Es decir que en algunos casos una construcción, mediante el funcionamiento de los diferentes sistemas pasivos de la misma, puede funcionar para disipar el calor y el exceso de humedad durante el verano y durante el invierno puede evitar la pérdida de calor generado al interior o mediante ganancias solares.

En otros casos los sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental, funcionan en combinación con sistemas activos o electromecánicos, es decir que estos últimos funcionan mediante el suministro de energía externa como la eléctrica o con base en la combustión de un material combustible, sin embargo, también en estos casos, la reducción en el consumo de estos materiales carburantes es menor al utilizado en aquellos sistemas en la que éstos últimos funcionan como único recurso de acondicionamiento ambiental.

Ilustración 7

Patio interior techado con una cubierta retráctil, para promover la ventilación natural y el asoleamiento. La cubierta se desplaza mediante la puesta en funcionamiento de un motor eléctrico, como protección durante los días con lluvia. Restaurante Hecho en México. San Miguel de Allende, Guanajuato, México.



Elaboración propia 26/03/2016

A los sistemas que combinan elementos electromecánicos con estrategias de diseño pasivo para alcanzar niveles de confort higrotérmico, se les conoce como sistemas híbridos de acondicionamiento ambiental.

2.2 Principales sistemas pasivos utilizados en la arquitectura, para un confort ambiental.

Como ya se ha mencionado los sistemas de acondicionamiento pasivo dependerán de la estrategia de diseño seleccionada y ésta se determinará en función del clima predominante, con el objetivo de lograr espacios más confortables y amables con el medio ambiente.

Un sistema pasivo puede influir directamente en la plástica arquitectónica o inclusive ser determinante al momento de optar por un partido arquitectónico, como es el caso de muchos edificios de carácter histórico o de diseño contemporáneo.

A continuación, se enuncian algunos de los sistemas de acondicionamiento ambiental, asociados con el diseño arquitectónico.

Orientación de la edificación.

La orientación apropiada de un edificio, repercute en el aprovechamiento eficiente de los recursos climáticos, por ejemplo, la captación de la radiación solar directa en un clima frío, así como, también para proteger la construcción de los elementos que puedan afectar las condiciones de confort ambiental del inmueble, como los vientos dominantes en un clima frío.

A continuación se presentan algunos ejemplos del aprovechamiento de diversos elementos arquitectónicos y estrategias de diseño pasivo, con la finalidad de mejorar las condiciones de confort de un espacio arquitectónico determinado.

Ilustración 8

Edificación orientada en un eje norte- sur, promoviendo el asoleamiento matutino y como protección de los vientos dominantes provenientes del Norte durante el invierno. Restaurante 100% natural. Jardín del Arte, Puebla, México.



Elaboración propia 31/01/2016

Configuración de la edificación.

Esta característica define si el edificio tendrá una configuración abierta, por ejemplo para aprovechar la exposición a los vientos dominantes, con la finalidad de enfriar y deshumidificar en

un clima cálido húmedo, o una configuración compacta con el objetivo de evitar la pérdida de calor en un clima frío. También este tipo de configuración en un clima cálido seco, ayuda a presentar una superficie expuesta reducida a la radiación solar directa, evitando ganancias de calor excesivas.

Ilustración 9

Conjunto diseñado con base en una configuración abierta, con el objetivo de promover la ventilación natural para enfriar y deshumidificar de forma pasiva las construcciones, en un clima cálido húmedo.

Mayan Palace. Cancún, México.



Elaboración propia 05/08/2016

Uso de elementos de protección solar.

Este tipo de elementos ayudan a evitar el incremento de la temperatura al interior de los espacios construidos, restringiendo parcial o totalmente el paso de la radiación solar directa y en otros casos modulando el paso de la radiación solar indirecta.

Ilustración 10

Uso de elementos de protección solar verticales y horizontales en fachada. Consejo Superior de Deportes, Ciudad Universitaria, Madrid, España.



Elaboración propia 15/07/2012

Uso de elementos de ganancia solar.

Caso contrario de los elementos de protección solar. El uso de este tipo de elementos permite el incremento de la temperatura interior. El ejemplo más cotidiano es el empleo de las ventanas, o vanos acristalados en la arquitectura, los cuales además de permitir en muchos casos una

comunicación visual con el exterior, cuando están expuestas a la radiación solar, generan un efecto de invernadero al interior de los espacios construidos. Otros ejemplos son el uso de muros “Trombe”, domos, tragaluces y patios interiores cubiertos con una superficie transparente o inclusive traslúcida.

Ilustración 11

Uso del acristalamiento como elemento para procurar ganancias térmicas en regiones templadas, con inviernos fríos. Alberni Street, Vancouver, British Columbia, Canadá.



Elaboración propia 01/10/2008

Dimensionamiento interior de los espacios.

El volumen de aire de un espacio interior, influye directamente en la temperatura del mismo, es decir, en un clima frío es recomendable el uso de espacios más compactos para evitar la pérdida de calor, mientras que en un clima cálido se recomienda incrementar la altura interior, con el objeto de disipar el calor por estratificación de temperaturas, es decir que el aire caliente tiende a elevarse, mientras que el aire frío se mantiene más cerca del suelo.

Ilustración 12

Interior de un espacio de doble altura, cubierto con una bóveda, para promover la estratificación del aire por diferencias de temperaturas. Ex convento de Santo Domingo de Guzmán, Oaxaca, México.



Elaboración propia 02/04/2015

Aprovechamiento de la masa térmica de los materiales.

Una de las propiedades físicas de los materiales consiste en la velocidad en la que puede circular el calor a través de ellos, dependiendo de la densidad de los mismos. Es decir que este índice de transmitancia de calor difiere en los distintos materiales. Como consecuencia de ello la rapidez en los procesos de absorción y transmisión difieren de un material a otro. Por ejemplo entre el concreto, la piedra, el ladrillo de arcilla cocido, el adobe, el vidrio, los paneles prefabricados con o sin relleno, las láminas constructivas, etc. Por lo que cada uno de ellos responderá de forma distinta a la exposición al medio ambiente, con las consecuentes ganancias o pérdidas de calor, según sea el caso.

Esta estrategia de diseño, por su naturaleza es aplicable en todos los climas, pero principalmente en los cálidos secos con el objetivo de retardar la transmisión del calor al interior de la edificación durante el día y evitar las pérdidas de temperatura durante la noche. En climas fríos, este sistema tiene la ventaja de mantener la temperatura ganada, al interior del espacio construido durante un mayor tiempo, en comparación con los materiales que tienen una menor masividad, debido a que las pérdidas de calor serán mucho más rápidas con el uso de estos últimos.

Ilustración 13

Uso de la piedra y el sillar en muros para retardar las pérdidas de calor durante la noche, de igual forma durante las horas en que la temperatura es más elevada, el material ayuda a retardar la absorción del calor, manteniendo las habitaciones frescas durante más tiempo. Por eso la superficie expuesta de los macizos es superior a la de los vanos. Tequisquiapan, Querétaro.



Elaboración propia 30/01/2010

Cada material constructivo tiene un coeficiente de conductividad diferente, es decir transmite el calor en un tiempo determinado, ya que el flujo de la energía hacia o desde un espacio determinado hacia otro se basa en los principios de la termodinámica.

Tipo de techumbre.

Este aspecto tiene más relación con la forma del elemento, por ejemplo una superficie curva va a tener menores ganancias térmicas que una superficie plana ante la incidencia de la radiación solar directa y una cubierta a dos aguas promoverá la estratificación de la temperatura hacia una zona determinada, además de las ventajas de desagüe de agua pluvial que presenta este tipo de cubierta, en zonas con una precipitación pluvial elevada.

Ilustración 14

En la imagen se pueden apreciar las cubiertas diseñadas en forma de bóvedas para promover la estratificación del aire. Ex convento de Santo Domingo de Guzmán. Oaxaca, México.



Elaboración propia 02/04/2015

Uso apropiado del color y las texturas exteriores.

Una característica física del color es su índice de reflectancia a la luz. Mientras menos reflejante sea un color, es más absorbente, con el consecuente incremento de la temperatura. Por ejemplo en un clima cálido se recomienda el uso de colores claros, mientras que en un clima frío resulta conveniente el uso de colores oscuros, para absorber una mayor cantidad de radiación solar.

Ilustración 15

Fachadas de color claro y con elementos sobresalientes y remetidos para generar sombras al interior. Esta solución también combina el uso de la vegetación exterior como elemento de protección solar. Mayan Palace. Cancún, México.



Elaboración propia 31/07/2016

Uso de la vegetación.

La vegetación a diferencia de los elementos anteriores, es un elemento dinámico y vivo, inclusive automodificable. Sin embargo su uso desde el punto de vista bioclimático, igualmente depende de las condiciones climáticas particulares. Por ejemplo los elementos vegetales pueden servir como barrera natural contra el viento en un clima extremoso. La vegetación caducifolia puede proporcionar sombra durante una estación cálida y permitir el paso de la radiación solar en la estación fría. También el uso de elementos vegetales puede promover la humidificación de los espacios, como es el caso de los patios interiores. Además el uso de este elemento conlleva de una forma más evidente hacia una sensación de comodidad psicológica.

Ilustración 16

Uso de la vegetación como elemento de protección solar en combinación con volados inclinados, ventanas grandes y una cubierta de gran altura para promover la estratificación del aire por diferencia de temperaturas, así como la ventilación cruzada, a partir de una mayor superficie expuesta a los vientos dominantes. Casa en Xochitepec, Morelos, México.



Elaboración propia 16/05/2009

Aprovechamiento de la ventilación natural.

Finalmente la restricción o el aprovechamiento de la ventilación natural estarán en función de la estrategia de diseño. Como ya se ha mencionado en un clima cálido húmedo es muy necesario promover la ventilación natural con el objeto de enfriar y deshumidificar, mientras que en un clima frío uno de los objetivos deberá ser la protección de las construcciones respecto de los vientos dominantes, igualmente en un clima árido se permitirá o restringirá la ventilación natural dependiendo de la hora del día. En cualquier caso resulta indispensable la determinación y valoración de los vientos generales y locales, esto con el objeto de aprovechar de la forma más conveniente la ventilación natural como elemento esencial de un sistema pasivo de confort ambiental.

Ilustración 17

Techumbre cubierta de palma, diseñada a cuatro aguas con aberturas superiores, para promover la disipación del calor, mediante la estratificación de temperaturas y la ventilación cruzada. Motor Lobby, Mayan Palace, Cancún, México.



Elaboración propia 05/08/2016

Existen varias formas de promover la ventilación natural con la finalidad de mejorar la sensación térmica en las edificaciones, a partir de las características particulares de cada emplazamiento, sin embargo, un aspecto importante que debe tomarse en cuenta es el control que se tenga sobre la intensidad del aire al interior de las edificaciones, lo cual se resuelve en la mayoría de las veces mediante el uso de diversos tipos de puertas y ventanas. Esta solución, está sujeta a que los mecanismos de control de las ventanas, por ejemplo, sean de fácil manipulación para el usuario. En caso contrario se requiere la ayuda de sistemas electromecánicos más sofisticados, por ejemplo, tal es el caso de las situaciones en donde las aberturas se localizan a una mayor altura, ya sea que se necesite captar el viento a una mayor altura o porque se requiera extraer el aire caliente de forma más efectiva. En estos casos, como se verá más adelante, las torres de ventilación ofrecen la ventaja de poder captar las corrientes de aire más alejadas del nivel del suelo, de lo que lo haría una ventana tradicional, o expulsar el aire caliente por la parte superior de la torre, a partir de la succión del mismo, desde el nivel más bajo de la misma.

Los sistemas anteriormente citados no han sido los únicos empleados en la arquitectura, sin embargo, sirven como ejemplo del funcionamiento de los sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental en la arquitectura.

Adicionalmente se pueden citar otras características que coadyuven a una construcción a generar un ambiente más confortable como la geometría exterior, el dimensionamiento y la proporción de los vanos y de los macizos; así como el uso de soluciones especiales para promover una mayor circulación del aire como las construcciones en forma de palafitos o con doble cubierta, entre otros, o la combinación de dos o más sistemas.

Capítulo 3.- El caso de la Ventilación como elemento de enfriamiento pasivo.

Una de las principales condicionantes a resolver en un proyecto arquitectónico en un clima cálido, con el objeto de alcanzar niveles de confort, es la disminución de la temperatura al interior de la edificación, esta situación sumada a los niveles de humedad del lugar, determinará la estrategia bioclimática apropiada.

Como ya se ha visto, existen diversos sistemas de enfriamiento pasivo, los cuales necesariamente irán en función con la estrategia seleccionada, la cual a su vez dependerá directamente de las condicionantes climáticas del lugar del emplazamiento.

Para un clima cálido húmedo se recomienda el enfriamiento y la des humidificación de los espacios interiores, mientras que para enfrentar un clima cálido seco lo recomendable es el enfriamiento y la humidificación de los espacios.

“El concepto arquitectónico está relacionado con los parámetros ambientales y al uso que se hace de ellos. El viento es uno de los parámetros más importantes a considerar en la arquitectura, ya sea para captarlo, para evitarlo o controlarlo. El viento es un elemento de climatización pasiva que ha sido utilizado de manera muy importante en la arquitectura de todos los tiempos y en todo lugar.”⁸

Para el diseño de la ventilación es importante considerar los dos parámetros fundamentales: la calidad del aire y la cantidad requerida.

Sin embargo, en principio es conveniente diferenciar y definir las tipologías de viento. Las cuales inicialmente se distinguen entre vientos generales y vientos locales.

Vientos generales

“El viento es una corriente de aire en movimiento horizontal, que se genera debido a las diferencias de temperatura y presión atmosféricas, las cuales se originan por un calentamiento no uniforme de la superficie terrestre, ya que mientras el sol calienta el aire, agua y suelo de un lado de la tierra, el otro lado es enfriado por la radiación nocturna hacia el espacio. Este desigual calentamiento de la atmósfera ocasiona movimientos compensatorios que tienden a reducir la diferencia horizontal de temperatura y por lo

⁸ Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, (Ed. Limusa), 103.

tanto, las diferencias de densidad y presión. En este sentido, puede decirse que el viento es el resultado de la conversión de la energía solar en energía cinética.”⁹

Viento locales

“Los vientos de gran escala generalmente dominan; sin embargo, pueden ser alterados o modificados por los vientos locales o convectivos. Los principales vientos convectivos son: los vientos de valle, los vientos de ladera y las brisas de mar y tierra. El fenómeno de estos últimos, que son los más característicos y notorios, es el siguiente: un océano se calentará más lentamente que la tierra adyacente debido a que el agua tiene gran capacidad calorífica; asimismo el océano se enfriará más lentamente que la tierra.

Estas diferencias de calentamiento y enfriamiento traerán como consecuencia grandes movimientos de aire. Durante el día, la tierra calentada provocará una corriente ascendente en el aire, el cual será reemplazado por la brisa de aire fresco del mar.

Durante la noche, la tierra se enfría más rápido que el agua, lo que origina que el flujo de las corrientes de aire se invierta, circulando de la tierra hacia el mar (tierra).”¹⁰

Turbulencia

“La turbulencia puede ser de dos tipos: turbulencia térmica, asociada con la inestabilidad y actividad convectiva, y la turbulencia mecánica que está determinada por la rugosidad y forma de la superficie u objeto que interfiere con el flujo de aire. El tamaño y tipo de la turbulencia dependen básicamente de la forma y tamaño del obstáculo y en la práctica no se ve afectada por la velocidad del viento.”¹¹

Necesidad de aire

“El primer requerimiento en términos de necesidad humana y de vida de plantas y animales es el adecuado abastecimiento de oxígeno a través de aire fresco.

La cantidad de aire por una persona dependerá del tipo de actividad que esté desarrollando y de la calidad del aire disponible. Un aire puro contiene una proporción de 0.03% de CO₂, pero en zonas urbanas esta concentración puede elevarse hasta 0.07 o 0.1%. Los efectos nocivos se empezarán a presentar al rebasar esta última cifra. Si un adulto en reposo emite aproximadamente 0.015 m³/h de CO₂ tendremos que una persona requerirá 30 m³/h de aire puro, pero esta cifra se puede elevar hasta 50 m³/h si el aire es de tipo urbano.”¹²

En términos generales, existen tres pasos básicos en el diseño de la ventilación:

1. Es importante tener un claro esquema del régimen del viento, su temperatura, contenido de humedad, pureza y calidad, dirección, velocidad, frecuencia, turbulencia, zonas de calma, etc. así mismo, es necesario comprender el comportamiento del viento sobre el sitio preciso, tanto en sus ciclos diarios como estacionales.

⁹ Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 103.

¹⁰ Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 104.

¹¹ Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 105.

¹² Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 105 y 106.

2. Es necesario hacer análisis bioclimáticos e identificar claramente los requerimientos específicos (diarios y estacionales) de ventilación, desde el punto de vista de confort humano (higrotérmico), para poder seleccionar las estrategias de diseño más adecuadas.
3. Es importante diseñar los sistemas de ventilación (dimensión, forma, tipo de aberturas, dispositivos del control de viento, etc.) que correspondan a las características funcionales tanto del viento como de los requerimientos de confort higrotérmico.

3.1 Niveles de confort térmico e higrométrico recomendables

El principal objetivo al proyectar un edificio, desde el punto de vista térmico, consiste en lograr un ambiente interior cuyas condiciones se encuentren muy próximas a las de confort.

Es decir que, en términos arquitectónicos, la planificación y el sistema constructivo de un edificio deben utilizar al máximo las posibilidades naturales para mejorar las condiciones interiores, sin recurrir a la utilización de aparatos mecánicos.

En el Manual de Arquitectura Solar, Mario Hernández Toledo define el bienestar térmico como “el equilibrio térmico que logra el cuerpo humano en un ambiente dado...”¹³ esto a su vez le permite desarrollar cualquier actividad física o mental sin dificultad o molestia alguna. Sin embargo también el cuerpo humano alcanza un estado de equilibrio entre temperatura y humedad mediante los diversos cambios fisiológicos condicionados por “la permanencia, la modificación del hábitat, la actividad, la actividad, el sexo, la raza, la dieta y el vestido,”¹⁴ entre otros. De acuerdo con este planteamiento, se tiene que para cada tipo de clima existe una temperatura y humedad de equilibrio, dependiendo éstas, de la capacidad de adaptación del cuerpo humano al clima.

Tabla 01

Temperaturas de equilibrio para climas diferentes.

Tipo de clima:	Temperatura °C	Media	Humedad (%)
Frío extremo	De 11 a 16	13.5	De 15 a 40
Frío	De 14 a 19	16.5	De 15 a 50
Templado frío	De 17 a 22	19.5	De 20 a 60
Templado frío	De 20 a 25	22.5	De 30 a 70
Semicálido	De 23 a 28	25.5	De 20 a 60
Cálido	De 26 a 31	28.5	De 15 a 50
Cálido extremo	De 29 a 34	31.5	De 15 a 40

Fuente: Ruth Lacomba, *Manual de Arquitectura Solar*, (Ed. Trillas), 23.

¹³ Lacomba, *Manual de Arquitectura Solar*, 22.

¹⁴ Lacomba, *Manual de Arquitectura Solar*, 23.

Esta tabla muestra la temperatura media de equilibrio dependiendo del tipo de clima, la cual estará en función de la temperatura y la humedad.

“Así el confort que experimenta una persona está en función de múltiples variables; entre ellas, las principales son:

1. Temperatura del aire
2. Temperatura radiante media
3. Humedad del aire
4. Movimiento y velocidad del aire
5. Cantidad y tipo de vestimenta
6. Nivel de actividad

De estas variables, las cuatro primeras son de tipo ambiental y, a excepción de la segunda, las determina el régimen de aire circundante sobre la piel.

El balance térmico entre el cuerpo humano y su medio ambiente circundante puede expresarse, en términos generales, por la siguiente fórmula:

$$M \pm R \pm C_v \pm C_d - E = 0$$

Donde M = Grado de metabolismo basal y muscular

R = Calor que se gana o pierde por radiación

C_v = Calor que se gana o pierde por convección

C_d = Calor que se gana o pierde por conducción

E = Calor que se pierde por evaporación

El movimiento del aire, el viento, afecta este balance térmico a través de dos factores físicos:

- El intercambio de calor convectivo.
- El eficiente enfriamiento por la evaporación del sudor.”¹⁵

Con objeto de valorar los efectos específicos del viento en las condiciones humanas de confort, se han analizado las condiciones anuales y mensuales predominantes de la velocidad y la temperatura del viento según su dirección.

- 1.- frecuencia de los vientos en términos de porcentaje de tiempo.
- 2.- Velocidad en km/h.
- 3.- Características generales tales como brisas cálidas o frescas.

¹⁵ José Roberto García y Víctor Fuentes, *Viento y Arquitectura*, (Ed. Trillas), 46-47.

El movimiento del aire afecta a nuestro cuerpo, y aunque no disminuye la temperatura, provoca una sensación de frescor debida a la pérdida de calor por convección y al aumento de la evaporación del cuerpo. A medida que el movimiento del aire aumenta, el límite superior del confort se eleva. Sin embargo, este incremento se detiene al alcanzar temperaturas altas.

Por otra parte, el arquitecto Héctor Ferreiro citando a Ernesto Jáuregui en el Manual de Arquitectura Solar, refiere una tabla con las múltiples combinaciones entre temperatura, humedad y viento; las cuales proporcionan una misma sensación de comodidad.

Tabla 02

Ejemplo de combinaciones de temperatura, humedad y viento que dan la misma sensación de comodidad. Temperatura efectiva de 21°C = ASHVE.

Velocidad del aire (M/seg)	Humedad relativa				Porcentaje
	20	40	75	100	
0.0	26	24	22	21	°C
0.5	27	25	23	22	
1	28	26	24	23	
1.5	28	27	25	24	
2.5	29	28	26	25	

Fuente: Ruth Lacomba, *Manual de Arquitectura Solar*, (Ed. Trillas), 71.

Esto significa por ejemplo que se tiene la misma sensación al estar expuesto a un viento con una velocidad de 0.5 M/seg y una humedad relativa del 40% que la que se tendría con viento de 1.5 M/seg y una humedad relativa del 75%.

Con base en ésta información, resulta razonable la suposición de que modificando el comportamiento del viento al interior de un espacio, se pueda influir de forma benéfica en la percepción sensorial del medio ambiente.

Sin embargo también es importante tener presente que la sensación que sobre el cuerpo humano puede producir la velocidad del viento, varía desde pasar inadvertida hasta convertirse en una molestia evidente, inclusive con una velocidad superior a 17.2 m/s los efectos pueden representar un riesgo para la integridad física de las personas, mientras que por encima de los 24.5 m/s las consecuencias pueden ser catastróficas, aún para las edificaciones y el medio ambiente, según la escala de Beaufort.

Tabla 03

Escala de la fuerza del viento de Beaufort*

Escala	Descripción	Velocidad (m/s)	Efecto en el hombre	Efecto en edificios y vegetación
0	Calma	De 0 a 0.5	Ninguno	El humo sube verticalmente, y la superficie del agua es tranquila
1	Aire ligero	De 0.6 a 1.5	Movimiento apenas percibido debido al efecto de enfriamiento	La dirección del viento se muestra por el humo, no por las veletas
2	Brisa ligera	De 1.6 a 3.3	El aire fresco se siente sobre la cara	Hay murmullo de las hojas
3	Brisa suave	De 3.4 a 5.4	El cabello se mueve, ha ligero golpeteo de la ropa y empieza la incomodidad	Las hojas y ramas se mueven y hay ligera extensión de banderas, además de rizos en el agua
4	Brisa Moderada	De 5.5 a 7.9	El cabello se desarregla y uno se siente medianamente incómodo	El polvo se elvanta, los papeles se vuelan, y la arena se extiende sobre el terreno
5	Viento fuerte	De 8.0 a 10.7	La fuerza del viento se siente incómodamente sobre el cuerpo	Los árboles con follaje empiezan a ladearse, la arena es impulsada y aparecen ondas de agua con cresta blanca
6	Viento muy fuerte	De 10.8 a 13.8	Se escucha el viento, el cabello se extiende de frente y se dificulta caminar firmemente	las hojas se desprenden, la arena o nieve sopla sobre la cabeza, las ramas más grandes se mueven
7	Vendaval	De 13.9 a 17.1	Caminar contra el viento equivale a subir con una inclinación de 1/7	Todos los árboles se hallan completamente en movimiento
8	Ventarrón	De 17.2 a 20.7	Generalmente se impide el pasó, lo que equivale a subir una cuesta de 1/5	Las ramas grandes se doblan y las pequeñas se rompen
9	Ventarrón fuerte	De 20.8 a 24.4	La gente es aventada por las ráfagas, lo que equivale a subir una cuesta de 1/4	Las estructuras ligeras se dañan y las maderas y tejas se remueven
10	Borrasca	De 24.5 a 28.4	Caminar contra el viento equivale a subir una cuesta de 1/3, pero las ráfagas hacen prácticamente imposible moverse	Hay estructuras considerablemente dañadas y árboles partidos o arrancados de cuajo
11	Borrasca fuerte	28.5 - 29.0	Los hombres y animales son arrastrados o elevados	Hay edificios totalmente destruidos y bosques enteros arrancados
12	Borrasca muy fuerte	más de 29.0	Más fuerte que el anterior	Más fuerte que el anterior

*Las velocidades del viento se midieron de 10 m de altura en terreno abierto. La energía requerida para subir una pendiente se puede comparar con la requerida para caminar en contra del viento.

Las pendientes mostradas en las tablas se relacionan con promedios de velocidad de viento, pero la turbulencia causará fluctuaciones en la velocidad del viento y dificultará el caminar.

Fuente: Roberto García, *Viento y Arquitectura*, (Ed. Trillas), 170.

Víctor Olgay en su libro *Arquitectura y Clima*, señala cómo “los límites convenientes de la velocidad del viento se encuentran definidos según su efecto sobre los seres humanos”¹⁶, como lo muestra en la tabla siguiente:

VELOCIDAD

Hasta 15 m/min

Entre 15 y 30,5 m/min

IMPACTO PROBABLE

Inadvertido

Agradable

¹⁶ Olgay, *Arquitectura y clima*, 94.

Entre 30,5 y 61 m/min	Generalmente agradable, pero se percibe constantemente su presencia
Entre 61 y 91 m/min	De poco molesto a muy molesto.
Por encima de los 91 m/min	Requiere medidas correctivas si se quiere mantener un alto nivel de salud y de eficiencia.

De acuerdo a esto, se deduce que la velocidad del viento si se emplea como elemento para generar una sensación de confort no deberá rebasar preferiblemente los 61 m/minuto.

Ya se ha visto que la humedad es otro factor a considerar dentro del confort ambiental, sin embargo es conveniente precisar, que la humedad atmosférica representa el contenido de vapor de agua de la atmósfera, derivado de la evaporación de los cuerpos de agua, la humedad del terreno y la transpiración de los seres vivos.

Con el objeto de comprender mejor el contenido de humedad del aire, se emplean diversos términos como la humedad absoluta, la humedad específica, la presión de vapor y la humedad relativa.

La humedad absoluta es el peso de agua que hay en un volumen dado de aire (g/m³), por otro lado la humedad específica representa el peso de agua que hay en un peso determinado de aire (g/kg).

Allan Konya define la humedad relativa como “la relación entre la humedad contenida en volumen dado de aire y el máximo contenido de humedad posible a esa temperatura”. Esta relación se expresa en un (%), si se considera que se tiene una humedad relativa del 100% cuando el aire contiene realmente “todo el vapor de agua que es capaz de contener”¹⁷.

La presión del vapor se mide por la cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera. Frecuentemente las personas experimentamos una sensación de opresión si la presión del vapor supera los 15 mm en un medidor de mercurio. A partir de esta lectura El Dr. Paul Siple afirma que cada milímetro adicional debe contrarrestarse con un efecto del viento equivalente a 1 km/h, según refiere Víctor Olgyay en su obra. La presión de vapor varía desde “una presión de menos de 2 milibares en regiones frías y desiertos, hasta una presión de 15-20 milibares en regiones tropicales cálidas y húmedas”¹⁸.

¹⁷ Konya, *Diseño en climas cálidos*, 17.

¹⁸ Olgyay, *Arquitectura y clima*, 14.

Como han señalado algunos autores, el comportamiento del viento y en particular la velocidad del mismo pueden influir directamente en la sensación térmica del cuerpo humano, en un lugar con una temperatura y humedad específicas. Este comportamiento puede influir de forma benéfica o negativa, dependiendo de las circunstancias particulares de cada caso. Sin embargo en términos generales existe una aceptación común en el sentido de que a mayor velocidad del viento, existe una sensación de disminución de la temperatura ambiental, por lo que consecuentemente resulta comprensible que éste principio sea utilizada como parte de varias estrategias de enfriamiento pasivo en la arquitectura tradicional de varias regiones cálidas del mundo.

3.2 Sistemas de enfriamiento pasivo basados en el uso de la ventilación, aplicables en climas cálidos.

Anteriormente se ha mencionado que varios de los sistemas de enfriamiento pasivo se desarrollan en función del tipo de estrategia que se vaya a emplear para alcanzar niveles de confort ambiental.

Derivado de la necesidad de aplicar estas estrategias bioclimáticas de diseño, se pueden seleccionar una gran variedad de **elementos constructivos** para reducir la temperatura. Lo que se puede sintetizar de la siguiente forma:

- 1.- Elementos de protección solar horizontales. Alero o volado, pórtico, repisa, persiana, faldón, pantalla, pérgola, toldo y techo escudo.
- 2.- Elementos de protección solar verticales. Partesol, persiana vertical y muro doble.
- 3.- Elementos de protección solar combinados. Marco, celosía, remetimiento de ventana, cambio de orientación de ventana, contraventanas y uso de nuevos acristalamientos.
- 4.- Elementos de protección solar no arquitectónicos. Cortinas y persianas interiores, así como el uso de la vegetación.
- 5.- Aberturas para aprovechamiento de la ventilación natural, pudiendo lograr con ello movimientos horizontales de flujo: Ventilación cruzada, ventilación unilateral o efecto Venturi.
- 6.- Aberturas para promover movimientos verticales del flujo de aire en los edificios (efecto Stack).
- 7.- Torres eólicas.
- 8.- Bóvedas y cúpulas.
- 9.- Patios y atrios.
- 10.- Construcción de muros y techos con materiales aislantes.
- 11.- Uso de superficies reflejantes.
- 12.- Combinación de los elementos anteriores.

Las cualidades del viento son determinantes para los puntos 5 al 9, en lo que respecta al enfriamiento de las construcciones.

Dependiendo de la variedad de clima cálido del lugar, donde se vaya a edificar es que se empleará la ventilación para enfriar y deshumidificar o para enfriar y humidificar, sin embargo, en cualquiera de los dos escenarios la ventilación tendrá un papel muy importante a considerar en el diseño de los espacios y elementos arquitectónicos.

De lo anterior se deduce que la ventilación es la principal estrategia a tomar en cuenta en los climas cálidos, tanto secos como húmedos. Pero también en los climas fríos lo es, ya que es necesario protegerse del viento y controlar las infiltraciones. Por otro lado, en los climas templados habrá épocas con necesidades de ventilación y otras de control.

Los movimientos favorables del aire deben utilizarse para refrescar durante las épocas calurosas y como alivio en aquellos períodos en que los calores de humedad absoluta son muy altos. Por el contrario, los movimientos del aire deberán bloquearse o evitarse durante el tiempo frío.

En el diseño de un sistema de ventilación natural son muchas las variables que intervienen en el patrón del flujo de aire dentro de una habitación y en los efectos que este movimiento de aire causa sobre los habitantes en términos de confort.

Las primeras variables que se deben considerar son aquéllas inherentes al viento, es decir:

- Velocidad
- Dirección
- Frecuencia
- Turbulencia

En segundo lugar se deben considerar todas las variables arquitectónicas y constructivas:

- Forma y dimensión del edificio
- Orientación con respecto al viento
- Localización y tamaño de las aberturas de entrada y salida de aire
- Tipo de ventanas y sus accesorios
- Elementos arquitectónicos exteriores e interiores, etcétera

Cada una de ellas causa un efecto en el flujo del aire alrededor del edificio, pero principalmente enfocándose a las características resultantes del movimiento de aire en el interior del espacio.

Movimientos horizontales del flujo de aire en edificios

“Cuando el viento pega sobre un edificio se crea una zona de presión alta en la cara frontal del viento (barlovento); el viento rodea el edificio, incrementa su velocidad y crea zonas de relativa baja presión en las caras laterales y en la cara posterior del edificio (sotavento)

Naturalmente, el aire tiende a entrar al edificio por las zonas de alta presión y a salir por las zonas de baja presión. Por lo tanto, las ventanas o aberturas de entrada deben ubicarse en las zonas de presión baja.

Inercia del viento

El viento entra a la habitación de frente, con la misma dirección del viento libre, debido a la inercia que llevan sus moléculas; posteriormente, el flujo se afecta debido a la localización de la salida en cualquiera de las zonas de baja presión.

Entre los factores que determinan el patrón de flujo de aire tenemos:

- Localización
- Tamaño
- Forma de las aberturas

Localización de la entrada

Una abertura en el centro del muro provoca igual presión a ambos lados de la misma, por lo que el viento entra de frente a la habitación.

Si la abertura no está al centro del muro, es decir, si es asimétrica, la presión a ambos lados será desigual, lo que originará que el flujo de entrada sea diagonal, con el sentido que provoca la zona de mayor presión.

Todas las variaciones en el patrón de aire interior las causa una “desigual presión” alrededor de las aberturas de entrada, como resultado de su localización con respecto a la superficie de muro sólido que las rodea.

Localización de la salida

Al contrario de la localización de la abertura de entrada la localización de la salida no es tan importante, ya que el patrón del flujo de aire, **relativamente**, no se altera.

Forma y tipo de aberturas

La determinación de la forma y tipo de ventanas es un factor muy importante en el diseño de la ventilación. En términos generales se puede decir que las aberturas horizontales son más eficientes que las cuadradas o verticales, ya que proporcionan una mejor distribución del aire y mayores velocidades interiores con su rango de eficiencia superior a varias direcciones de viento.

Tamaño de las aberturas

La determinación del área de la abertura de entrada está en función de los requerimientos específicos de ventilación: la cantidad de aire y velocidad interior del aire necesarios. Cuando una habitación tiene solamente abertura de entrada (ventilación unilateral), el flujo interior de aire será mínimo. Lo más conveniente en cualquier diseño de ventilación es ubicar una abertura de entrada en la zona de alta presión y una de salida en la zona de baja presión (ventilación cruzada); de esta forma se garantizará un flujo constante de aire

dentro de la habitación, con velocidades interiores por lo menos 2.5 veces mayores a las que se darían en una ventilación unilateral.”¹⁹

“La cantidad de aire que entra por una abertura está en función de: el área de la abertura de salida y entrada y el ángulo de incidencia del viento sobre la ventana. Se puede expresar por medio de la siguiente fórmula:

$$Q = rVA \sin \theta$$

Donde Q = Cantidad de aire (m³/seg.)

r = Relación entre el área de entrada y área de salida

V = Velocidad del viento

A = Área de la abertura de entrada

θ = Ángulo de incidencia del viento

(Cuando el área de entrada es igual al área de salida $r = 0.5971108$)

La renovación de aire abastece el aire puro necesario para respirar; sin embargo, no ayuda, en casi nada en términos de confort, ya que, como se ha dicho antes, lo más importante para conseguirlo es sentir el flujo de aire sobre nuestros cuerpos.

También es necesario considerar que la velocidad interior máxima del viento es de 2 m/s, arriba de la cual el flujo de aire sobre el cuerpo es molesto.

La fórmula anterior implica que la relación entre el área de salida y el área de entrada es un factor que influye en la cantidad de aire y en la velocidad interior del flujo.

Si se coloca una entrada grande y una salida pequeña, la velocidad del viento se incrementará justamente donde se localiza la menor abertura; esto ocurre principalmente debido al efecto Venturi y a las diferencias de presión y succión alrededor del edificio. De la misma manera, si se coloca una abertura de entrada pequeña y una de salida grande, la velocidad del viento será incrementada dentro de la habitación.

En aumento de velocidad puede ser muy útil en término de confort, sobre todo en climas cálidos.

Para lograr un incremento en la velocidad del flujo de aire, es necesario considerar dos factores: Primero: entre mayor sea el tamaño de la salida en comparación con la entrada, mayor será la velocidad adquirida.”²⁰

“Sobin, en sus experimentos de ventilación, determina que si bien la velocidad del viento se incrementa inmediatamente después de la abertura de entrada, la velocidad promedio interior disminuye ligeramente. En esto Sobin coincide con B. Givoni, quien dice que la diferencia de tamaños no es un factor determinante en la velocidad interior del aire. Sobin establece que la relación óptima es:

$$\frac{\text{Área de salida}}{\text{Área de entada}} = 1.25$$

¹⁹ García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 50 – 51.

²⁰ García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 53 - 54.

Segundo, mientras más desviaciones o cambios de dirección tenga el flujo de aire dentro de la habitación, más disminuirá la velocidad del aire.

El diseño de abertura de entrada y salida ideal es entonces:

- Abertura de entrada pequeña localizada en la parte inferior del muro.
- Abertura de salida grande localizada en la parte superior del muro.

De esta manera, el flujo de aire se dirige hacia la zona habitable con buena velocidad”.²¹

Movimientos verticales del flujo de aire en edificios

Circulación convectiva

El movimiento de aire al interior de los edificios como ya se vio, se debe a la existencia de diferencias de presión, la cual tiene dos orígenes: diferencias de temperatura y dirección externa del flujo de aire.

Cuando hay aberturas a diferente altura y el aire interior es más caliente que el exterior, el aire interior fluirá hacia la zona de salida de más baja presión (apertura más alta), mientras que la abertura más baja jala aire del exterior al interior del edificio. La dirección del flujo se invierte cuando el aire exterior es más caliente que en el interior.

La diferencia en presión y la resultante fuerza de del viento se incrementa al aumentar la altura entre las aberturas: H

Efecto de chimenea (Stack Effect)

“El efecto de chimenea es un movimiento natural causado por diferencias térmicas y de presión del aire entre los distintos estratos; se presenta en todo edificio, operándose por sistemas naturales o mecánicos. Este movimiento continuo debe considerarse en toda predicción para el confort interior y enfriamiento de cualquier construcción.

Ilustración 18
Malkaaf Hawah a) Presión positiva

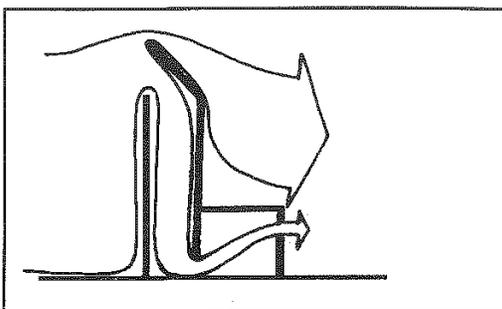
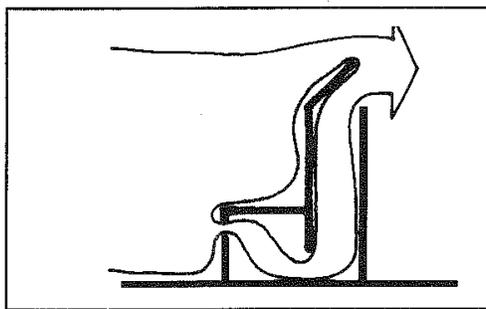
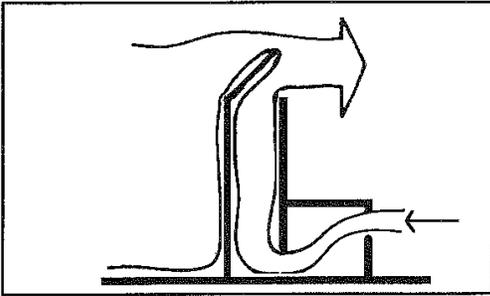


Ilustración 19
Presión negativa b) Presión negativa



²¹ García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 54.

Ilustración 20
c) Presión negativa.



Fuente: García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*. Pg. 74

Tanto el efecto de chimenea ascendente (ventilas, cúpulas, chimeneas, cavidades en muros, etc.) y el descendente (torres) son bien conocidos en todo el mundo.”²²

La ilustración 6 muestra la entrada de aire a través de la parte superior de la torre, generando una presión positiva, éste aire a su vez desciende por el interior del tiro y es inyectado dentro de la habitación.

Las ilustraciones 7 y 8 muestran el efecto cuando la presión del aire es negativa, esto sucede cuando la torre funciona como una chimenea, extrayendo el aire caliente por la parte superior, aprovechando la entrada de aire por las aberturas de la habitación.

Ejemplos del uso de la ventilación como sistema de enfriamiento en la arquitectura vernácula, de regiones cálidas.

Como ya se ha citado anteriormente, desde tiempos remotos el hombre ha ido adecuando su hábitat construido a diversos contextos y climas, debido a esta situación, en lugares con climas cálidos el uso de la ventilación como elemento de enfriamiento pasivo, no ha sido la excepción.

En las zonas climáticas calurosas, la ventilación tiene una importancia relevante como remedio contra las altas temperaturas y humedades, ya que existen diversas formas de usarla en beneficio del confort de los habitantes de esos lugares.

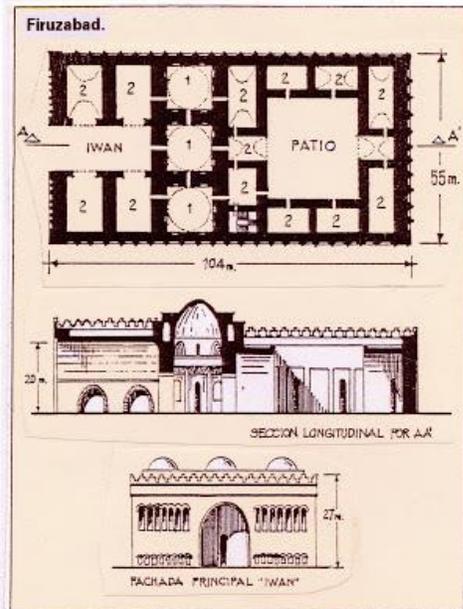
Las tramas urbanas de la costa mediterránea de África muestran una red viaria que lleva el frescor de la brisa marina hacia el corazón de la ciudad.

Las viviendas persas orientan sus grandes aberturas, los “iwanes”, en la dirección de los movimientos benéficos del viento.

²² García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 73 – 75.

Ilustración 21

Planta del palacio persa en Firuzabad, Irán. Siglo III d.C.



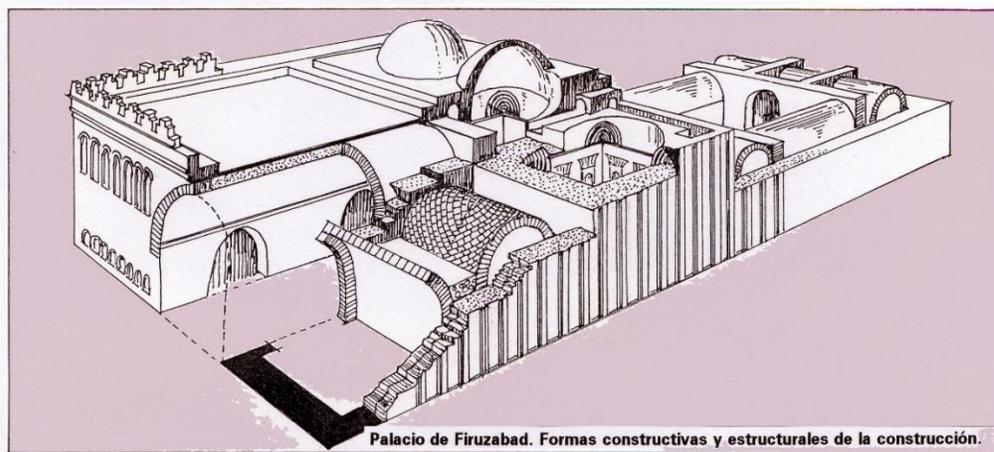
Fuente: Arte internacional. Arte de los partos y los sasánida (S. III a. C. -VI d. C.)

Disponible en: <http://arteinternacional.blogspot.mx/2009/05/arte-de-los-partos-y-los-sasanida-s-iii.html>

Los iwanes son el resultado del uso generalizado espacios abovedados, orientados preferiblemente para captar los vientos dominantes, con el objetivo de lograr espacios más confortables.

Ilustración 22

Palacio persa en Firuzabad, Irán. Siglo III d.C.



Fuente: Tectónica blog.

Disponible en: <http://tectonicablog.com/?p=6100>

El palacio de Firuzabad, fue construido por el rey Ardanasir (Siglo III d.C.) en el actual sur de Irán y se caracteriza por el uso generalizado de iwanes, con el objeto de generar espacios más confortables en un clima cálido seco.

En España y la India, el empleo de ligeras celosías permite el paso de la brisa refrescante hacia el interior de la vivienda y juega un papel muy similar al de los porches en zonas más occidentales.

Ilustración 23

Ventanas con celosía. Palacio de la Aljafería. Zaragoza, España.



Fuente: wenarabia.blogspot.com

La imagen anterior muestra un par de ventanas hacia uno de los patios interiores del palacio de la Aljafería, en el casco antiguo de la ciudad de Zaragoza, España. En este ejemplo representativo de la arquitectura mudéjar del Siglo XI se aprecian el uso de celosías como elementos de protección solar en la arquitectura. Actualmente este palacio es la sede de las cortes de Aragón.

Las agrupadas casas egipcias se ventilan a través del techo con los denominados *“mulgul”*, que capturan las corrientes de aire.

Las torres de ventilación de Charga han dado a los pueblos persas un característico aspecto arquitectónico, al igual que el pueblo de Hyderabad, situado en el valle del Indo, en cuya silueta pueden apreciarse los conductos de ventilación y las chimeneas que emergen de los tejados.

Ilustración 24

Captadores de viento en las azoteas en Hyderabad, Pakistán. 1928



Fuente: Native Pakistán

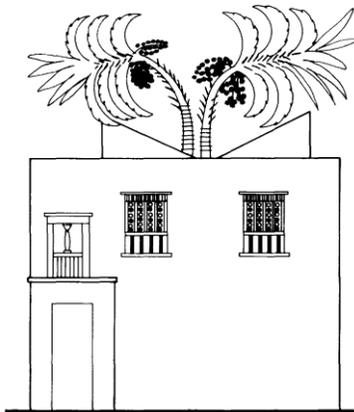
Disponible en: <http://nativepakistan.com/wp-content/uploads/2012/06/Hyderabad-Old-Photos-Wind-catchers-at-the-roof-of-houses-in-Hyderabad-1928-Hyderabad-Sindh-rare-Pics.jpg>

La imagen anterior muestra un paisaje dominado por construcciones tradicionales, de las que sobresalen el extremo superior de los captadores de viento unidireccionales de forma cuadrangular. La presión manejada por captadores de viento y las chimeneas de doble control térmico se usan en regiones áridas y sobrecalentadas: norte de África, medio este y noroeste de Asia.

Los **Malkaaf hawah** son captadores de viento que funcionan sobre presión positiva, y se han usado en el norte de África y medio este. El arquitecto Hassan Fathy ubica el origen de este elemento en el antiguo Egipto, con base en evidencias arqueológicas.

Ilustración 25

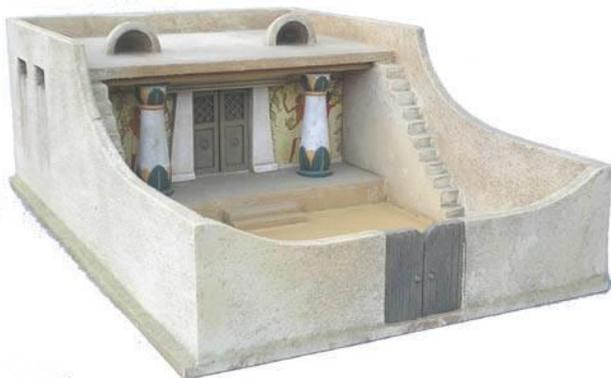
Malqaf de la casa del faraón Neb- Amun, imagen tomada de una pintura hallada en su tumba. Dinastía 19th. Año 1300 a.C.



Fuente: Víctor Olgyay, Arquitectura y clima (Ed. Gustavo Gili), Barcelona 1962. 94

Ilustración 26

Representación de una casa egipcia antigua de la época dinástica.



Fuente: Ancient Egyptian Homes: livebooklet.com

Disponible en: <http://simplebooklet.com/publish.php?wpKey=IdK12VgZQDFxMPd7pWbBkZ>

En esta representación se pueden apreciar dos captadores de aire (Malkaaf) en la azotea de la casa. Finalmente las **Bad gir** son chimeneas de doble acción térmica de origen iraní, de presión positiva, muy comunes en Sind y Paquistán.

Ilustración 27
Bad gir. Ciudad de Yazd Irán.



Fuente: Yazd Gallery. Persianparadisetour.com

Imagen de dos torres de ventilación tradicionales multidireccionales, en la ciudad de Yazd.

Los ejemplos anteriormente señalados se localizan principalmente en regiones con climas cálido secos, sin embargo en la actualidad, los principios físicos de funcionamiento de las torres de ventilación se ha comenzado a incorporar en construcciones localizadas en otras regiones, en las cuales existe también la necesidad de enfriar las edificaciones y en dónde se ha optado por utilizar sistemas que requieran un bajo consumo energético. Una de las principales características de los sistemas anteriormente citados es el aprovechamiento de la estratificación de temperaturas para su consecuente disipación a través de una abertura superior, o el aprovechamiento de la ventilación por medio de las diferencias de presión mediante el uso de elementos de captación de aire a diversas alturas y su canalización hacia las zonas habitables de las edificaciones.

3.3 Tipología, clasificación, ejemplos, características, funcionamiento y cálculo de las torres eólicas.

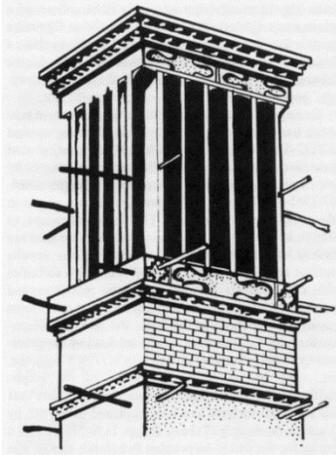
Como se ha venido ilustrando, las torres de ventilación funcionan mediante la circulación de aire en su interior, gracias a las diferencias de presión del mismo, existentes en los extremos del elemento. Mucho influye para lograrlo la orientación de las aberturas de captación, las cuales se localizan en la parte superior del elemento, puesto que a mayor altura respecto del nivel del terreno natural de desplante, el aire circula a mayor velocidad, debido a que encuentra menos obstáculos en su recorrido, pudiendo ser éstos las construcciones circunvecinas, la topografía o la vegetación del lugar.

En el caso de un clima cálido y seco, además del requerimiento de enfriamiento, es necesario humidificar los espacios interiores, para compensar la falta de humedad ambiental del exterior.

“Al estudiar la arquitectura vernácula encontramos como el hombre ha buscado formas ingeniosas para manejar el viento. Por ejemplo, en los climas cálidos y secos, donde es

necesario captar el viento y enfriarlo, naturalmente antes de introducirlo a las edificaciones, el hombre diseñó torres eólicas o badgirs. En medio oriente se localiza una gran variedad de torres: de inyección o succión, unidireccionales o multidireccionales, aisladas o adosadas al edificio, con ducto enterrado o sin él, con humidificación o sin ella, etcétera. Sin embargo, en todas sus variantes, el principio utilizado es el mismo. Se aprovechan las fuerzas y presiones del viento para dirigirlo de manera controlada al interior del edificio.

Ilustración 28
Torre eólica multidireccional.



Fuente: Enciclopedia Iránica
Disponible en: <http://www.iranicaonline.org/articles/badgir-traditional-structure-for-passive-air-conditioning>

Desde luego el concepto de torre eólica funciona de manera integral con el diseño del edificio. En este tipo de arquitectura los principales esquemas de diseño son la masividad de la construcción y el patio central, el cual puede ser abierto o cerrado por medio de una bóveda que casi siempre cuenta con abertura en su ápice. El patio crea un microclima interior, basado de manera importante en las corrientes de aire provenientes de la torre eólica. Las cubiertas abovedadas provocan una disminución de presión al paso del viento, generando una fuerza de succión que extrae el aire caliente del interior del edificio y que favorece a las corrientes de aire de la torre eólica, estableciéndose un flujo conectivo constante. A través de este sencillo sistema se alcanzan disminuciones de temperatura de hasta 20 °C con respecto de la temperatura exterior.”²³

La ilustración representa una torre de ventilación (Bad gir) tradicional. Estas torres generalmente son multidireccionales, es decir, que son capaces de captar los vientos provenientes de las diferentes orientaciones. Generalmente estas construcciones han sido construidas con materiales y mediante sistemas constructivos tradicionales del lugar.

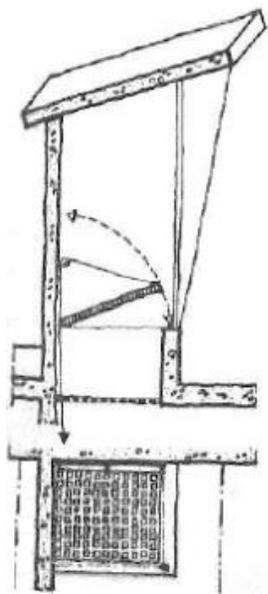
²³ Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, (Ed. Limusa), 110 – 111.

Respiraderos de trampilla.

En algunos lugares estos respiraderos son unidireccionales, orientados para recoger las brisas más favorables, mientras que en otros lugares se utilizan los vientos procedentes de todas las direcciones mediante trampillas pivotantes y torres multidireccionales.

Ilustración 29

Respiradero de trampilla. Esta última tiene por objeto el restringir en cierto momento el flujo de aire.



Fuente: Allan Konya, Diseño en climas cálidos (Ed. Blume), Madrid 1981. 61

Refrigeración por evaporación.

El aire caliente al pasar sobre el agua hace que ésta se evapore, y como en este proceso se absorbe una cantidad importante de calor, el aire se enfría. El agua evaporada es retenida por el aire, aumentando así su humedad; por esta razón el enfriamiento por evaporación sólo puede utilizarse en climas relativamente secos, pudiéndose encontrar en regiones desérticas, de clima mixto y mediterráneas. Éstos refrigeradores se basan en la evaporación de una delgada capa de agua situada en un recipiente por encima o a través del cual se hace pasar el aire.

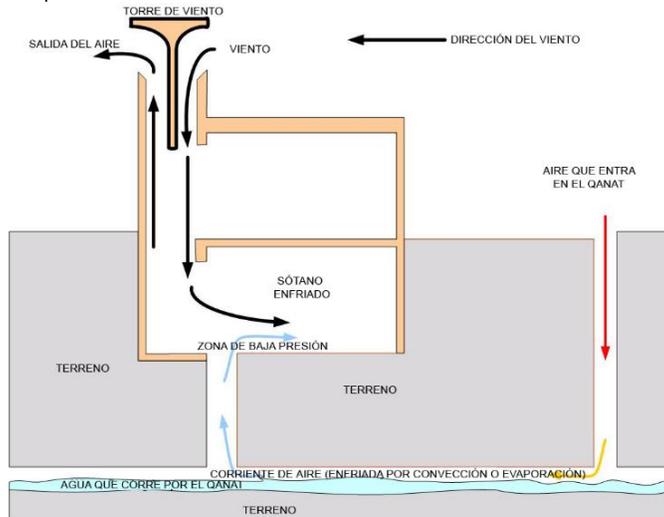
Torres eólicas (bad gir).

La palabra “Bad” (باد) significa viento en idioma persa, mientras que “gir” (گير) corresponde a barlovento. Esto significa que la torre es un elemento construido, que sirve para captar el viento y canalizarlo hacia el interior, por un conducto vertical, mediante el empuje constante o variable, producto de la presión que ejerce el aire en sentido opuesto a la abertura y hacia el fondo de la torre.

“La torre típica se asemeja a una chimenea; su extremo inferior se abre al sótano y el superior sobresale del techo. La parte de la torre se divide en varias canalizaciones verticales de aire que terminan en aberturas laterales.

Ilustración 30

Badgirs. Captadores de viento



Fuente: Heritage Institute

Disponible en: <http://www.heritageinstitute.com/zoroastrianism/yazd/page2.htm>

Los diseños de estas torres difieren en cuanto a la altura, sección transversal de las canalizaciones, colocaciones y número de aberturas; y colocación de la torres con respecto de la estructura que enfría”²⁴.

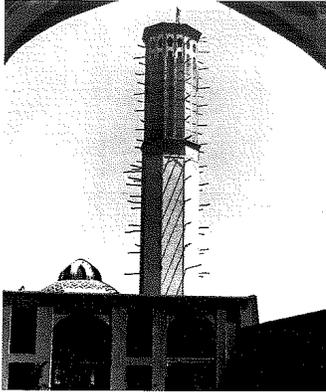
Inclusive algunas torres como la representada en la ilustración 30, contienen un elemento humidificador como puede ser un depósito de agua, o el acceso a una corriente subterránea, con el objeto de saturar en lo posible las partículas de aire con agua y generar una sensación de frescura en los habitantes o usuarios de los espacios que son ventilados y humidificados por la acción del viento, a través del uso de las torres de ventilación. Esta última solución resulta altamente recomendable en climas cálidos y secos, puesto que en ellos se requiere ciertamente elevar el porcentaje de humedad relativa al interior de los espacios construidos.

Las torres también pueden tener una o varias aberturas superiores para el ingreso o salida del aire, sin embargo cuando son dos o más, regularmente están ordenadas en un número par, con el objetivo de compensar el volumen de aire de entrada con el de salida, en caso de que esta acción se realice de forma simultánea.

²⁴ García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 75.

Ilustración 31

Badgir hexagonal (la más alta en Yazd. 33m.) en los jardines del Palacio de Dowlatabad.



Fuente: VARIOS Introducción a la Arquitectura Bioclimática. 111

La torre funciona haciendo cambiar la temperatura, y por lo tanto la densidad del aire, en su interior y en su entorno.

La diferencia de densidad crea una corriente ascendente o descendente dentro de la torre. Unas puertas dispuestas en su base se abren hacia el sótano y el vestíbulo central de la planta del edificio.

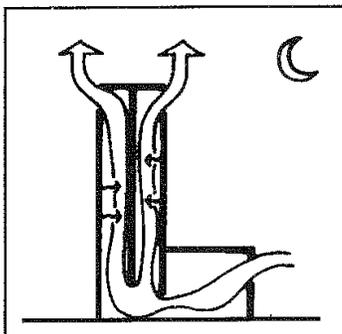
La corriente de aire que pasa a través de diversas partes puede regularse abriendo o cerrando las puertas de la base de la torre y de las habitaciones situadas por fuera del vestíbulo central.

El funcionamiento de la torre depende de la hora del día y del estado del viento. Cuando no hay viento por la noche, la torre actúa como una chimenea; sus paredes absorben calor durante el día por conducción y después, por convección el calor es entregado al frío aire nocturno que se localiza dentro de la torre y alrededor del ella.

Como el aire caliente es menos denso, disminuye la presión de aire en el ápice de la torre, creándose una corriente ascendente. La torre aspira el aire del edificio al tiempo que el aire frío ambiente penetra en él por puertas y ventanas, generando con esto una corriente de aire de sentido inverso a la que se percibe durante el mediodía y las horas de la tarde, como se puede apreciar en la ilustración 32.

Ilustración 32

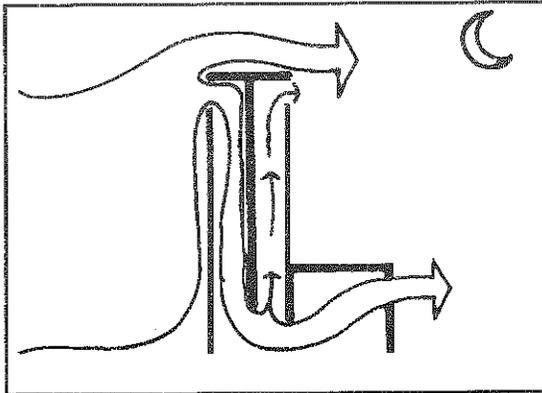
Funcionamiento nocturno, sin viento.



Fuente: García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*. 75

Cuando sopla el viento por la noche, se obliga al aire a funcionar en dirección contraria a éste. Las habitaciones se enfrían mediante el aire nocturno que baja por la torre.

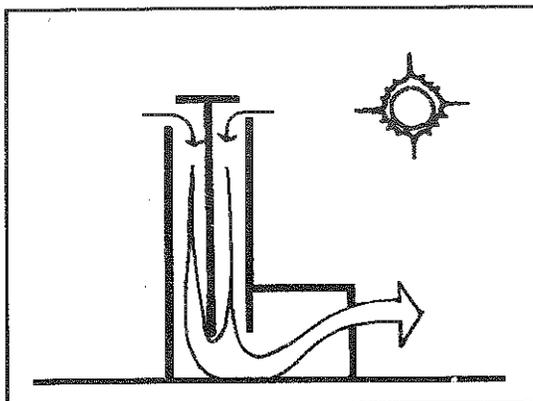
Ilustración 33
Funcionamiento nocturno, con viento.



Fuente: García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 76

Si el viento no sopla durante el día, el funcionamiento de la torre es opuesta al de una chimenea; las paredes de su parte superior se enfrían durante la noche. El cálido aire ambiente se enfría al ponerse en contacto con ellas, se hace más denso, se hunde por dentro de la torre y crea una corriente.

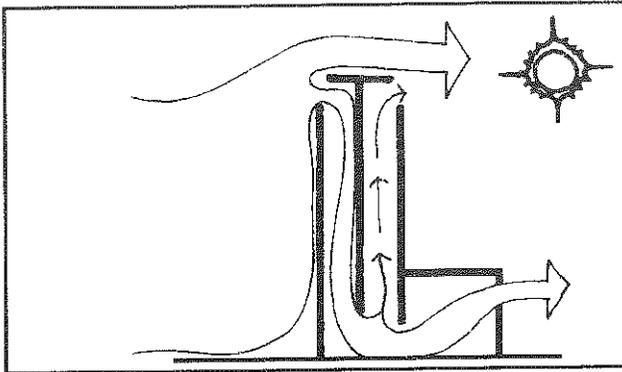
Ilustración 34
Funcionamiento diurno, sin viento.



Fuente: García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 76

Naturalmente el funcionamiento de la torre no es constante a lo largo del día y de la noche. El efecto de enfriamiento y la duración de cada fase del funcionamiento de la torre cambian según las fluctuaciones de la temperatura del aire, intensidad de la radiación solar, velocidad del viento, etc. Cuando hay viento durante el día, aumenta la velocidad de circulación y llega a cualquier habitación del edificio.

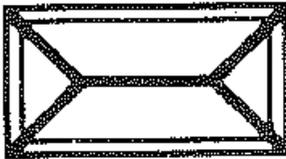
Ilustración 35
Funcionamiento diurno, con viento.



Fuente: García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 76

Las aberturas de la parte superior de la torre están dispuestas en pares, de tal forma que por cada abertura en barlovento hay una en sotavento.

Ilustración 36
Sección de torre (canalizaciones)

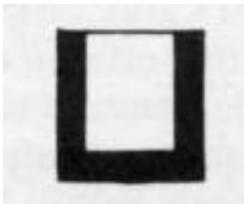


Fuente: García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 76

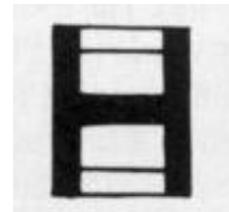
Así cuando las puertas de la base de la torre están cerradas, al viento que desciende por ella se le obliga a ascender por las canalizaciones opuestas y salir por las aberturas de sotavento”.²⁵

Ilustración 37 a 41

Como ejemplo de los diferentes tipos de diseños, respecto al número de aberturas en la parte superior de las torres, en la ciudad de Yazd en Irán, se encuentran torres con los siguientes sistemas de aberturas representados en planta:

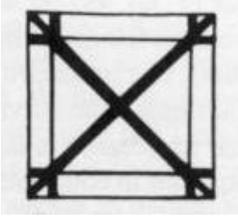


37 Con abertura unidireccional.

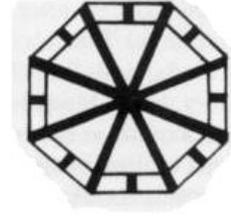


38 Con sistema de abertura bidireccional.

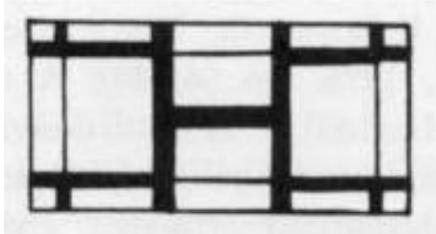
²⁵ García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 75 – 76.



39 Multidireccional con cuatro aberturas.



40 Octagonal con dos aberturas de cada lado.



41 Tetra direccional, con dos aberturas falsas en dos lados opuestos.

Fuente: Enciclopedia Iránica

Disponible en: <http://www.iranicaonline.org/articles/badgir-traditional-structure-for-passive-air-conditioning>

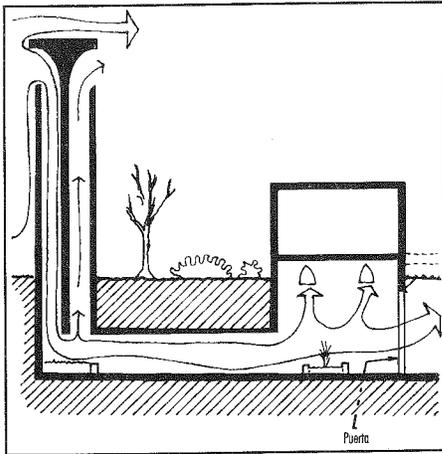
En las ilustraciones 22 hasta la 26 se puede apreciar los diferentes tipos de abertura en planta que pudiese tener una torre de ventilación, sin embargo esto tampoco es limitativo, ya que la condición derivada de esto, es que es preferible que dicho remate sea diseñado con un número par de salidas, con el objeto de promover una circulación de aire constante dentro de la torre, aún con las puertas de la base cerradas. En el caso de las torres con una sola abertura unidireccional, sucederá que siempre será necesario tener una salida continua de aire por la base, ya que resulta muy complicado contener el empuje natural del viento, en caso de que se obstruya esta salida.

Como ejemplo del uso de torres multidireccionales de cuatro aberturas, se puede citar el tipo de torres construidas en la ciudad de Yazd, en Irán.

“Hasta aquí se ha hablado solamente de los cambios de temperatura sin que varíe su humedad; pero las torres, por lo general, producen al mismo tiempo enfriamiento evaporativo al aumentar la humedad del aire. Primero porque generalmente los muros de la base y ductos están húmedos, segundo porque muy frecuentemente se coloca un estanque y una fuente en las salidas inferiores de la torre con el fin de hacer circular al viento a través del agua para bajar la temperatura y aumentar la humedad y con esto mejorar la sensación de confort.”²⁶

²⁶ García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 76.

Ilustración 42
Torre con ducto enterrado



Fuente: García y Fuentes, *Viento y Arquitectura*, 76

Este sistema resulta ideal en climas cálido-secos.

El sistema compuesto por una torre aislada y un ducto enterrado, permite un mayor enfriamiento del aire ya que al circular por debajo de la superficie, este interactúa con las paredes del conducto, las cuales no están expuestas a la radiación solar directa y si con el suelo y la humedad propia del mismo.

Actualmente en Irán, en particular en la ciudad de Yazd, todavía existe la posibilidad de apreciar algunas torres de ventilación, las cuales se integran al contexto urbano mediante el uso de materiales, colores, formas y proporciones comunes a la arquitectura tradicional de la región.

Ilustración 43
Torre de ventilación en la ciudad de Yazd, Irán.



Fuente: Burgess's Blog
Disponible en: <https://ebr7t.wordpress.com/category/uncategorized/page/2/>

Finalmente las torre eólicas o algunos elementos de ellas, en el Medio oriente, han servido también como una forma de manifestar un lenguaje artístico dentro de la plástica arquitectónica. Este es el caso del diseño de algunos ejemplos de aberturas de entrada de aire multidireccionales que se muestran a continuación:

Ilustración 44
Badgirs

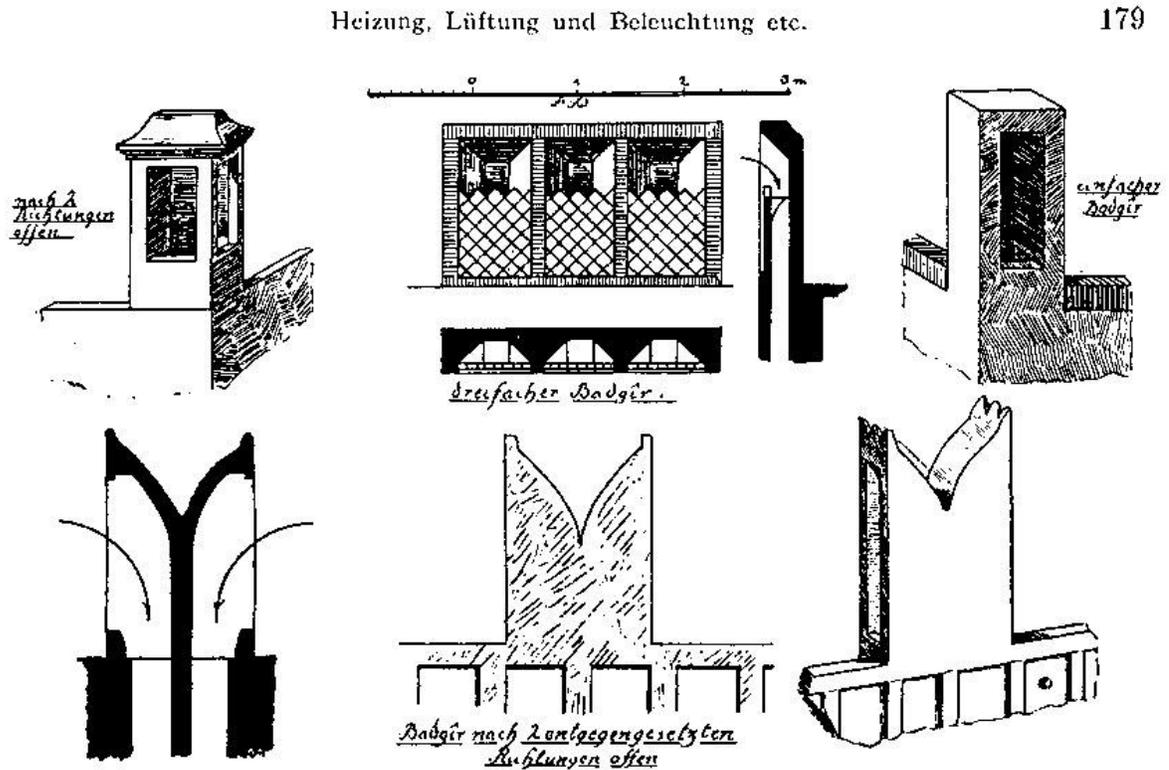
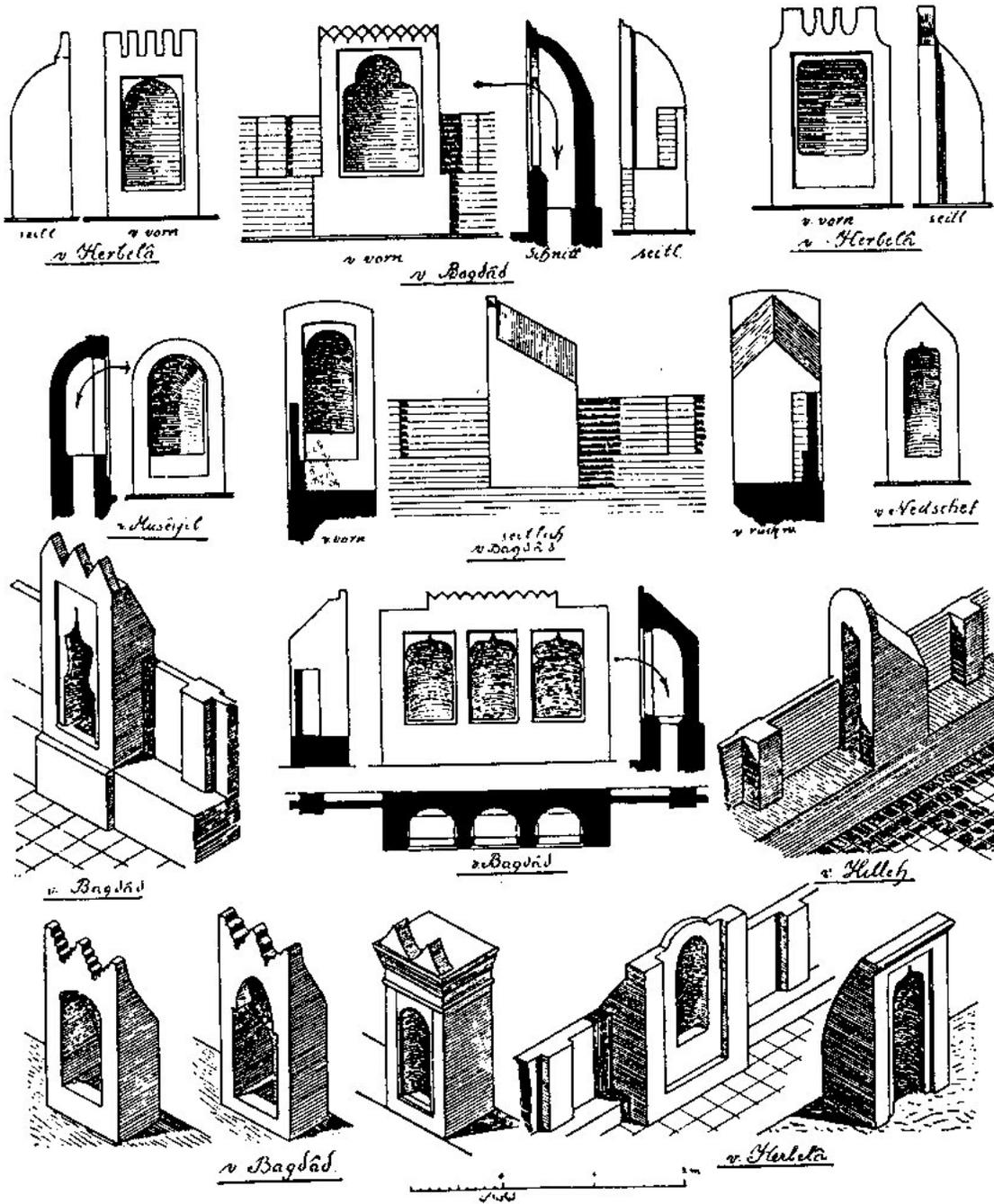


Fig. 219a. Badgir-Aufbauten von Kerbelá.

Fuente: Burgess's Blog
Disponible en: <https://ebr7t.wordpress.com/category/uncategorized/page/2/>

La figura del centro superior nos muestra tres aberturas paralelas unidireccionales, mientras que la figura superior lateral izquierda hace referencia a una torre multidireccional con cuatro aberturas. Las figuras inferiores representan el remate de una torre bidireccional.

Ilustración 45
Malkaaf



Fuente: Burgess's Blog
 Disponible en: <https://ebr7t.wordpress.com/category/uncategorized/page/2/>

Todas las figuras de esta página representan diversos remates de **Malkaaf Hawah**. Los cuales por su funcionamiento son muy similares al de una torre eólica, sin embargo se diferencian de ellas primero porque su remate por donde capta el viento, está adosado a la azotea, es decir forma parte de la misma construcción, por lo tanto la altura de éstos está limitada por la altura del edificio. En

segundo lugar se diferencian por las aberturas a pesar de que pudiesen ser una o más, siempre están alineadas de forma paralela, por lo que solamente pueden aprovechar las corrientes de aire dominantes provenientes de una dirección en particular. Es decir son unidireccionales por su funcionamiento.

Sin embargo los Malkaaf no son los únicos elementos de tipo direccional empleados en la arquitectura tradicional del medio oriente, puesto que existen ejemplos de torres unidireccionales empleadas en la arquitectura tradicional del sur de Asia.

Ilustración 46

Captador de viento en Hyderabad, Pakistán.



Fuente: Párrafos de arquitectura

Disponible en: <http://madc-texts.blogspot.mx/2014/01/windfarms.html>

Como se ha documentado anteriormente, el remate superior de la mayoría de los captadores se compone por lo menos de dos aberturas, sin embargo a diferencia de los Malkaaf, los captadores con una sola abertura, orientada ésta en la dirección de los vientos dominantes, se elevan de dos a tres metros por encima del nivel de azotea, con la finalidad de captar las corrientes de aire de mayor velocidad. El mejor ejemplo de esta solución en la arquitectura tradicional del centro de Asia se encuentra en la ciudad de Hyderabad en Pakistán, a doscientos kilómetros al noreste de la desembocadura del río Indo.

Estas aberturas promueven la ventilación en un solo sentido, sin embargo al interior de la edificación se distribuye y el aire recorre las habitaciones, hasta encontrar una salida, por lo que resultan adecuadas en sitios con vientos dominantes provenientes de una orientación bien definida.

Ejemplos de la adecuación de los principios de las Torres eólicas en la arquitectura contemporánea.

Como se ha venido mostrando, el uso de las torres de ventilación como elemento de enfriamiento pasivo, tiene un antecedente histórico remoto en Asia central, el medio oriente y norte de África, sin embargo en épocas más recientes y en particular en la arquitectura occidental, por las condiciones climatológicas particulares de Europa y Norte América este elemento pasó prácticamente inadvertido. Es importante mencionar que a partir del surgimiento de la revolución industrial en occidente, el quehacer arquitectónico se vio influenciado por los nuevos materiales producidos, así como por las técnicas constructivas ligadas a éstos, por lo que las soluciones arquitectónicas comenzaron a ser comunes en diversas regiones del mundo, para lo cual hubo que recurrir también al uso de sistemas electromecánicos de control ambiental. Sin embargo en años recientes, varios arquitectos occidentales con trayectorias reconocidas a nivel internacional, debido en principio al encarecimiento de la energía producida por fuentes no renovables y posteriormente debido a una creciente conciencia ambiental mundial, han ido explorando y retomando como ejemplo diversos sistemas de acondicionamiento ambiental, probados, en algunos casos durante cientos de años en otras regiones menos industrializadas, por los habitantes locales de éstos lugares. La forma en que se ha visto influenciadas algunas de las obras de éstos arquitectos principalmente es en el uso y aplicación de los principios físicos que rigen el funcionamiento de estos sistemas y elementos.

Como ejemplos sobresalientes se mencionarán tres de ellos:

El edificio Torre Turbina de Richard Rogers.

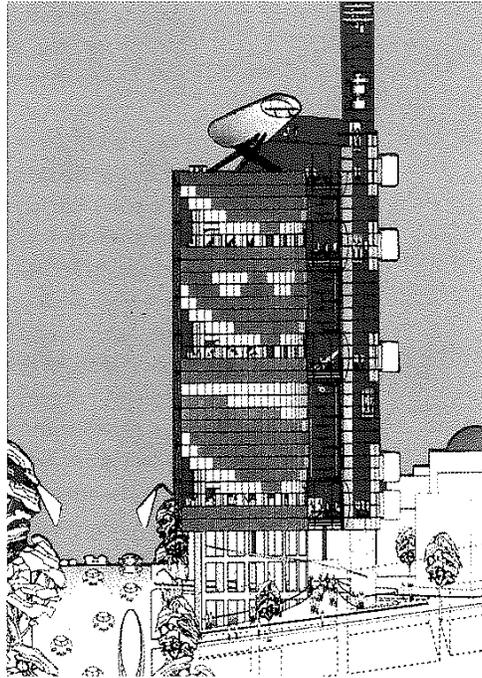
El centro cultural de Numea en Nueva Caledonia de Renzo Piano.

Las oficinas del banco central de Frankfurt de Norman Foster.

“El edificio **Torre Turbina** de Richard Rogers es un buen ejemplo de la estrategia de torre eólica aplicada en un edificio contemporáneo. Es un edificio que se construyó en la ciudad de Tokio que cuenta con sistema de **torres eólicas de captación y extracción**. El viento se capta por medio de una torre inferior y se canaliza hacia unos intercambiadores de calor en cisternas de agua fría. El aire, una vez climatizado, se introduce a los locales a través de distintos entrepisos. El aire caliente del interior se canaliza a una gran torre de succión, que aprovecha el efecto Stack (efecto de tiro), el cual se incrementa por captadores solares en lo alto de la torre.”²⁷

²⁷ Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 112.

Ilustración 47
Torre Turbina. Tokio



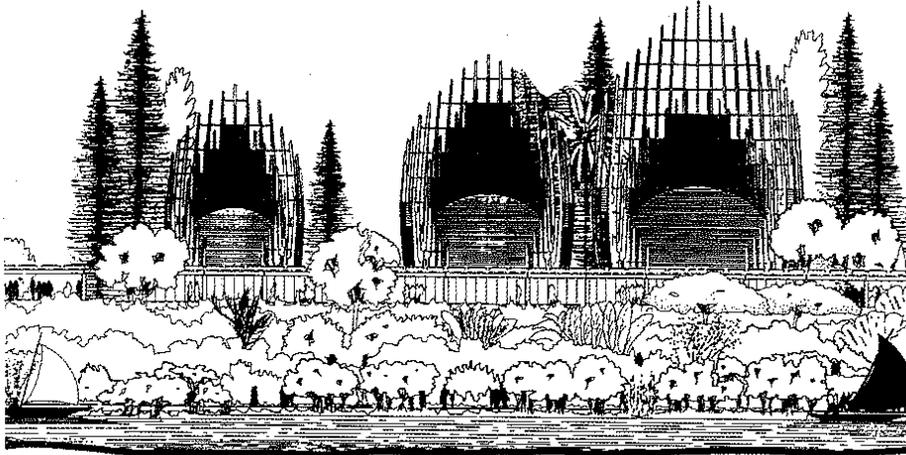
Fuente: Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*.112

El arquitecto Richard Rogers (Premio Pritzker de arquitectura 2007), retomó como ejemplo para la elaboración de este proyecto el funcionamiento de una torre eólica tradicional iraní, debido a que utiliza también el elemento agua para humidificar el ambiente interior además de la búsqueda de un enfriamiento de una forma pasiva.

En el caso del diseño del centro cultural de Numea, desarrollado por el arquitecto Renzo Piano (Premio Pritzker de arquitectura 1998), la ventilación recorre el edificio horizontalmente, a través de la captación de la misma en la parte inferior, expuesta a los vientos dominantes y posteriormente cruza una cámara de triple altura, lo que provoca que por estratificación de temperaturas, el aire caliente se desplace hacia la parte superior del elemento extractor, para que finalmente salga por la zona de menor presión.

“Como ejemplo de un clima cálido húmedo tenemos uno de los edificios de Renzo Piano, la distintiva forma del **Centro Cultural de Nueva Caledonia**, en Numea, fue generada por la necesidad de maximizar la ventilación en este tipo de clima. El edificio se encuentra ubicado en una colina boscosa a la orilla de un lago.

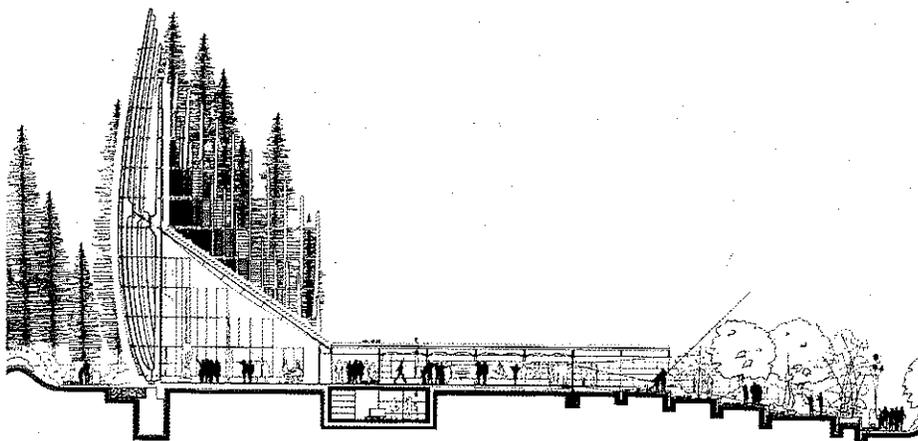
Ilustración 48
Centro Cultural en Numea, Nueva Caledonia.



Fuente: Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 114

El concepto de diseño permite la canalización del aire fresco de la parte baja ya arbolada del terreno. Por estratificación térmica el aire sube y sale por las **torres de extracción** que se ubican en la parte más elevada del edificio y del terreno. El edificio cuenta también con patios interiores abiertos, además de muchos muros de celosía que permiten una alta permeabilidad al viento. El diseño de las torres es versátil ante las condiciones de los vientos locales y del flujo de aire del edificio. Conjuntamente con el manejo de los materiales y el diseño total, se permite el paso constante del aire.”²⁸

Ilustración 49
Centro Cultural en Numea, Nueva Caledonia.



Fuente: Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. 114

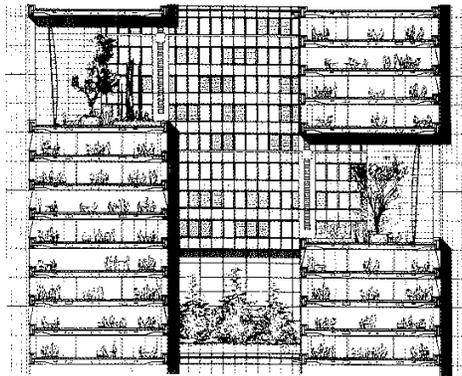
²⁸ Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 113.

El arquitecto Norman Foster (Premio Pritzker de arquitectura 1999), desarrolló en el proyecto del edificio para las oficinas del Banco Comercio de Frankfurt un sistema en el cual la ventilación asciende a través de un patio central interior y además de su zona perimetral ya que ésta se compone de un doble acristalamiento, lo cual permite un flujo de aire continuo pero controlable, gracias a los sistemas de ventanería operables, instalados especialmente para este caso, emulando una gran torre de ventilación, la cual disipa el calor generado al interior mediante el efecto Stack.

“La nueva sede del **Banco de Comercio de Frankfurt** de Sir Norman Foster es el primero de una nueva generación de edificios que no dependen de la climatización artificial para proveer confort a los ocupantes. Hasta ahora dependían del aire acondicionado para su climatización. Esto se debía por varias razones, pero una de ellas es que a grandes alturas es difícil controla al viento para introducirlo al interior de los espacios.

...Las fachadas acristaladas utilizan materiales de control térmico de baja conductividad. Son vidrios especiales que ofrecen una buena transmitancia de la luz natural y evitan el paso del calor, por lo que la fachada funciona adecuadamente tanto en verano como en invierno.

Ilustración 50
Banco de Comercio de Frankfurt

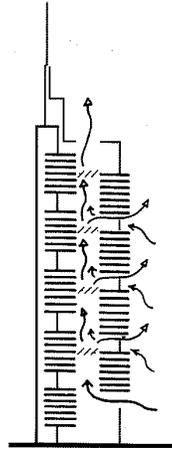


Fuente: Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*.116

El control del viento se logra por medio de un ingenioso diseño de la manguetería de la fachada. La cavidad también cuenta con micro persianas para el control solar y lumínico. La fachada interior cuenta con ventanas operables que permiten introducir el aire controlado de la cavidad.

Este sistema de fachada está acompañado por el esquema de patio central. El edificio de 60 pisos tiene una planta de forma triangular con un enorme espacio central que sirve como tiro para extraer el aire caliente del interior. El efecto Stack provoca una corriente ascendente que crea una circulación constante de aire.

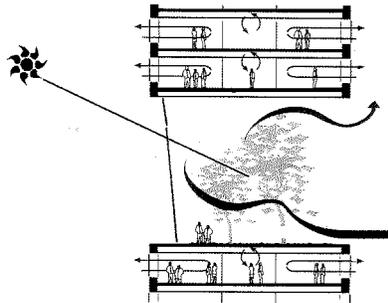
Ilustración 51
Banco de Comercio de Frankfurt



Fuente: Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 116

De manera alterna, en cada una de las fachadas y cada ocho niveles se cuenta con un área ajardinada con una altura de cuatro niveles. Este espacio permite que desde el interior, sea cual sea la ubicación de los ocupantes, estos siempre vean un área verde. Desde el punto de vista de diseño esto es muy importante, ya que los espacios se abren visualmente y se amabilizan, pero también estos espacios ajardinados ayudan al esquema global de ventilación natural, ya sea para la extracción o introducción de aire, además de la aportación de oxígeno que generan las plantas.²⁹

Ilustración 52
Banco de Comercio de Frankfurt



Fuente: Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 116

Los tres ejemplos citados, toman como referencia el comportamiento del viento al interior de un volumen confinado, con el fin de lograr espacios confortables para el ser humano, aprovechando los cambios de presión en el aire así como la estratificación del mismo debido al diferencial de temperaturas. Por lo tanto el uso de estos sistemas pasivos de enfriamiento, a pesar de que tienen sus orígenes remotos, se pueden emplear en el diseño arquitectónico contemporáneo con los consecuentes beneficios económicos y ambientales.

²⁹ Varios, *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, 115 – 116.

Capítulo 4.- Criterios de Integración de las Torres de Ventilación al Diseño Arquitectónico

El proceso de integración de un elemento como el que se estudia, comprende el desarrollo de una serie de etapas subsecuentes, con la finalidad de lograr una integración armónica y funcional entre las partes. Para este caso entre una edificación existente y una torre de ventilación diseñada especialmente para ayudar a mejorar la sensación térmica e higrométrica de sus ocupantes, en su caso mediante la inducción de aire captado del exterior y conducido al interior de forma pasiva.

En primer lugar, como parte del estudio del medio en general y del medio ambiente en particular resulta necesario recabar, para su posterior análisis los datos climáticos de una región, “según las características anuales de sus elementos constituyentes, es decir, temperatura, humedad relativa, radiación solar y efecto del viento”³⁰.

El siguiente paso consiste en realizar una evaluación biológica, la cual debe estar basada en las sensaciones humanas. Trasladando los datos del ambiente a una gráfica bioclimática en intervalos regulares, obtendremos un diagnóstico de la región, con la importancia relativa de los diversos elementos climáticos.

Para Víctor Olgay, “las soluciones tecnológicas adecuadas pueden encontrarse una vez que los requisitos quedan establecidos. Dichas soluciones deben interceptar las adversidades y utilizar las ventajas existentes en la cantidad y el momento apropiados”³¹. Por lo que como ya se ha mencionado anteriormente habrá que considerar los siguientes aspectos:

- A.- En la elección del lugar.
- B.- En el aspecto de la orientación.
- C.- Los cálculos de la sombra.
- D.- La forma de las viviendas.
- E.- Los movimientos del aire.
- F.- El equilibrio de la temperatura interior.

³⁰ Olgay, *Arquitectura y clima*, 22.

³¹ Olgay, *Arquitectura y clima*, 44.

La aplicación arquitectónica de las conclusiones extraídas en las fases anteriores debe desarrollarse y equilibrarse de acuerdo con la importancia de los diferentes elementos. El equilibrio climático comienza en el lugar, y debe tomarse en consideración tanto para la ordenación urbana de las viviendas como para el diseño sistemático de las unidades residenciales.

4.1 ELEMENTOS DE ADAPTACIÓN AL SITIO.

El sistema climático de Köppen es el documento de referencia de inicio para la definición de las áreas climáticas del mundo, sin embargo, en su aplicación particular para el territorio mexicano, carece de la particularización de regiones completas que a su vez se tienen que subdividir en subregiones, es por eso que las modificaciones al sistema de Köppen por Enriqueta García, proporcionan una información más descriptiva de los climas de la República Mexicana.

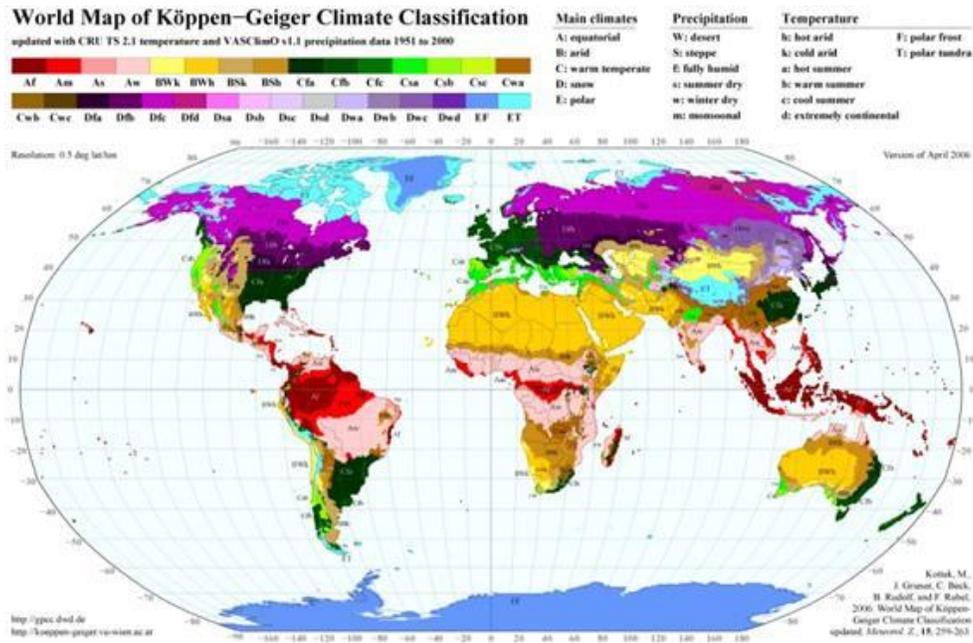
Diversidad climática en el mundo.

En 1918 un científico ruso de origen alemán propuso una clasificación climática del mundo, lo cual ayudó en gran medida para poder diferenciar de forma clara, descriptiva y gráfica los diferentes climas que conforman la Tierra, asociados con los diferentes ecosistemas y regiones que la componen. Esta clasificación se basa en la medición de la temperatura, la precipitación pluvial y la vegetación natural en la determinación de las regiones climáticas.

Para el quehacer arquitectónico resulta indispensable el conocimiento de esta realidad, para una adecuada selección de los sistemas constructivos, así como para la definición de una estrategia de diseño enfocada a satisfacer las principales necesidades de refugio de sus habitantes.

Ilustración 53

Mapamundi coloreado y diferenciado de acuerdo a la clasificación climática de Köppen.



Fuente: Institute for Veterinary Public Health, Department for Farm Animals and Veterinary Public Health, University of Veterinary Medicine Vienna.

Disponible en: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>

La ilustración anterior nos permite diferenciar de una forma clara las distintas regiones climáticas del mundo, así como apreciar cuales se relacionan entre sí.

Variedad de climas en la república mexicana.

Como lo ejemplifica la clasificación climática de Köppen, existen una gran variedad de climas en el mundo, los cuales se agrupan de acuerdo a su temperatura y su grado de humedad, sin embargo en el caso de la República Mexicana, hubo la necesidad de modificar ésta clasificación, con el objeto de particularizarla para cada región del país. Esta modificación fue elaborada por la profesora Enriqueta García en 1964, tomando en cuenta no solo las variables respecto a la latitud, consideradas en la clasificación de Köppen, ya que debido a la naturaleza del territorio mexicano, incluyó adicionalmente las diferencias de altitud, para lograr una mayor precisión.

Gran parte del territorio mexicano continental e insular, está conformado por áreas cuyos climas se clasifican como cálidos según la modificación al sistema de Köppen por Enriqueta García. Es por ello que la arquitectura que se genera en estas regiones necesariamente tome en consideración esta situación, para evitar el sobrecalentamiento al interior de los espacios construidos, en la medida de lo posible.

Tabla 04
Clasificación climática de Köppen.

		CLAVE							
Por su temperatura	Por su grado de humedad	Húmedos		Subhúmedos			Semisecos o semiáridos		Secos o áridos
				W ₂	W ₁	W ₀	BS ₁	BS ₀	BW
Cálidos y muy cálidos A, (h'), h' (h)			Am	Aw ₂	Aw ₁	Aw ₀	BS,hw		BWh'w
		Am	Amf	Aw ₂ x	Aw ₁ x		BS,hw'	BS ₀ h'x'	BWh'x'
								BS ₀ h's	BWh's
Semicálidos A (c), (A) C			A(c)m	A(c)w	A(c)w ₁	A(c)w ₀	Bs,hw	BS ₀ hw	BWhw
		(A) Clm	(A) Clm	(A)C(W ₂)x	(A)C(W ₁)x'	(A)C(W ₀)x'	BS,hx'	BS ₀ hx'	BWhx'
								BS ₀ hx'	BWh s
Templados Ca, Cb k' x'			Cm	C(w ₂)	C(w ₁)	C(W ₀)	BS,kw	BS ₀ kw	BWkw
		Clm	Cmf	C(W ₂)x'	C(W ₁)x'	C(W ₀)x'	BS,kx'	BS ₀ kx'	BWkw'
					Cs			BS ₀ ks	BWks
Semifrío			Cmb	C(W ₂)b'	C(W ₁)b'	C(W ₀)b'	BS,kx'	BS ₀ k'w	BWk''w
		Clmb	Cmfb	(C)(W ₂)x'b'	(C)(W ₁)x'b'	(C)(W ₀)x'b'	BS,k'x'	BS ₀ k''x'	BWk''x'
					C s b'			BS ₀ k''s	BWk''s

Fuente: Ruth Lacomba, *Manual de Arquitectura Solar*, (Ed. Trillas), 238.

Esta tabla correlaciona los diversos climas localizables en México, de acuerdo a su temperatura y el porcentaje de humedad.

Básicamente se pueden encontrar dentro del territorio mexicano en un alto porcentaje, los siguientes tipos de climas cálidos:

A Tropical lluvioso sin estación fría.

BS Estepario

BW Desértico

Dentro de este tipo de climas, generalmente se requiere del empleo de estrategias de diseño particulares de enfriamiento, lo cual se verá reflejado en la obtención de espacios construidos más confortables. Esta situación conllevará a seleccionar un emplazamiento para la ubicación del caso de estudio dentro de alguna de las tres zonas mencionadas.

Particularización del área donde se ubicará el caso de estudio.

El caso de estudio propuesto se localiza dentro de un tipo de clima Awo (w) (i ') gw'' en la zona sur del estado de Morelos.

Por razones de cercanía con la Ciudad de México, información meteorológica confiable, facilidad de acceso a un inmueble con necesidades de enfriamiento para la realización de mediciones in situ y la posibilidad de construir el elemento propuesto (torre eólica), es que se ha seleccionado una construcción existente, dentro de una región con un clima cálido.

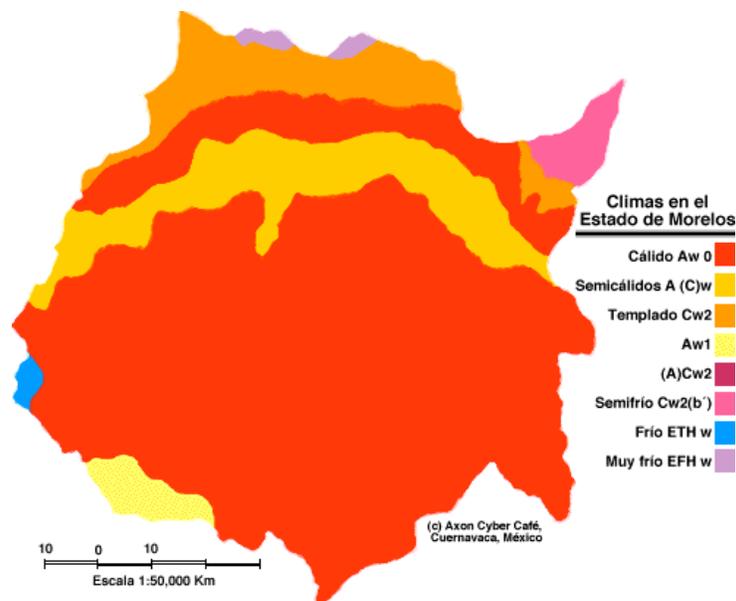
“El tipo de clima Aw de Köppen (subhúmedo con lluvias en verano) por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco. (Awo) es el clima más seco de los subhúmedos”. Sin embargo desde la perspectiva del diseño arquitectónico, esta situación determina la necesidad de enfriamiento y deshumidificación, en la búsqueda de espacios más confortables.

Climas en estado de Morelos.

Gran parte del estado de Morelos por razones de altitud con respecto del nivel del mar, presenta grandes superficies con climas cálidos y semicálidos, como se puede apreciar en la ilustración siguiente:

Ilustración 55

Mapa del estado de Morelos, diferenciando las regiones climáticas de acuerdo a las modificaciones realizadas por Enriqueta García al sistema de Köppen.



Fuente: OoCities. Estado de Morelos

Disponible en: <http://www.oocities.org/tlayacapense/climas.gif>

Análisis climatológico de Xochitepec, Morelos.

El municipio de Xochitepec se localiza al poniente del Estado y se ubica geográficamente al norte 18°42' latitud norte, al oeste 99°11' longitud oeste a una altura de 1,112 metros sobre el nivel del mar.

Limita al norte con Emiliano Zapata y con Temixco; al sur con Puente de Ixtla; al este colinda con Tlaltizapán, al oeste con Miatitlán. Estos municipios presentan muchas similitudes con la zona de estudio debido a que comparten el mismo tipo de clima y consecuentemente la misma fauna y vegetación en lo general.

Esta localidad se localiza dentro del área coloreada más extensa en el mapa anterior, la cual como ya se ha mencionado representa las zonas del estado de clima cálido (Awo).

Por razones de precisión en el cálculo climatológico se recopilaron datos de la estación climatológica más cercana al lugar del caso de estudio, que es la localizada en el municipio vecino de Temixco, puesto que existe una gran similitud en las condiciones ambientales entre un lugar y otro, como lo determinan la información climatológica, derivada de la comparación entre las mediciones registradas en las estaciones Temixco y Alpuyeca.

Aunque la estación de Alpuyeca también es equidistante del lugar de estudio con respecto a la de Temixco, se optó por considerar como referentes los datos de ésta última debido a que también hubo necesidad de acceder a los datos de vientos dominantes de la región, los cuales son registrados diariamente en el aeropuerto de Cuernavaca, ubicado también en el municipio de Temixco.

Adicionalmente, para recabar los datos de humedad relativa, la estación de la Comisión Nacional del Agua más cercana se localiza en el municipio de Jiutepec. Este municipio casi colinda en su lado oeste con Temixco, a diferencia de la estación de Alpuyeca, que aunque localizada en el municipio de Xochitepec se distancia más de las estaciones de referencia.

A continuación se presenta dicha Normal climatológica, como punto de inicio para una determinación más exacta de las necesidades particulares de enfriamiento del sitio seleccionado como caso de estudio.

Tabla 05
Normal Climatológica de la Estación Temixco, del Servicio Meteorológico Nacional.
Periodo. 1951- 2010.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
NORMALES CLIMATOLÓGICAS													
ESTADO DE: MORELOS												PERIODO: 1951-2010	
ESTACION: 00017014 TEMIXCO	LATITUD: 18°51'16" N.						LONGITUD: 099°13'38" W.				ALTURA: 1,283.0 MSNM.		
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	28.7	30.4	32.6	33.9	33.5	30.7	29.4	29.5	28.7	29.2	29.2	28.5	30.4
MAXIMA MENSUAL	32.1	33.4	36.0	38.0	37.1	35.8	33.0	34.6	32.3	32.7	32.1	31.3	
AÑO DE MAXIMA	1995	1991	1995	1991	1998	1998	1998	1991	2010	1995	1995	1994	
MAXIMA DIARIA	38.0	36.5	39.5	40.5	39.5	41.0	39.5	38.5	36.0	37.0	34.5	34.5	
FECHA MAXIMA DIARIA	24/1971	14/1991	24/1995	24/1991	06/1995	13/1998	28/1999	18/1999	12/1991	17/1957	13/1989	02/1995	
AÑOS CON DATOS	52	52	51	53	52	53	53	52	53	53	53	53	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	20.5	22.0	24.1	25.8	26.0	24.5	23.2	23.2	22.7	22.4	21.5	20.5	23.0
AÑOS CON DATOS	52	52	51	53	52	53	53	52	53	53	53	53	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	12.3	13.6	15.6	17.6	18.4	18.2	17.1	16.9	16.8	15.7	13.7	12.6	15.7
MINIMA MENSUAL	9.4	10.7	12.9	15.9	16.8	16.5	15.7	16.1	15.3	12.8	11.2	8.7	
AÑO DE MINIMA	1986	1983	1986	2004	2000	2001	1986	2000	1962	2010	2010	2010	
MINIMA DIARIA	3.5	6.0	8.0	10.0	13.5	10.5	12.0	12.5	9.0	8.5	5.0	5.0	
FECHA MINIMA DIARIA	14/1986	24/1989	10/1989	01/1957	09/1962	13/1979	24/1986	08/1986	07/1989	25/1999	07/2010	11/2010	
AÑOS CON DATOS	52	52	51	53	52	53	53	52	53	53	53	53	
PRECIPITACION													
NORMAL	10.8	5.0	5.7	9.4	57.6	200.8	172.3	186.4	201.6	71.0	14.6	4.3	939.5
MAXIMA MENSUAL	94.5	117.0	81.2	58.0	175.0	368.0	364.0	382.0	502.0	200.0	144.9	56.0	
AÑO DE MAXIMA	1958	2010	1976	1997	1992	2008	2010	1995	2003	1990	1958	1995	
MAXIMA DIARIA	47.0	60.0	26.0	23.0	65.0	112.0	104.0	73.0	88.0	75.5	73.0	30.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	10/1967	03/2010	16/1978	10/1997	31/1981	11/2001	05/2005	16/1985	04/1999	31/1973	09/1972	31/1995	
AÑOS CON DATOS	53	53	52	53	53	53	53	53	54	54	54	54	
EVAPORACION TOTAL													
NORMAL	147.4	169.1	227.5	237.7	217.6	167.2	159.5	156.6	131.6	135.8	130.9	130.7	2,011.6
AÑOS CON DATOS	51	49	49	49	48	51	49	52	51	49	51	50	
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA													
NORMAL	1.1	0.7	1.2	2.0	7.0	16.4	16.7	17.4	17.1	7.7	2.0	0.8	90.1
AÑOS CON DATOS	53	53	52	53	53	53	53	53	54	54	54	54	
NIEBLA													
NORMAL	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	1.2
AÑOS CON DATOS	53	53	52	53	53	53	53	53	54	54	54	53	
GRANIZO													
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	53	53	52	53	53	53	53	53	54	54	54	53	
TORMENTA E.													
NORMAL	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2	1.1	1.1	1.2	0.2	0.0	0.0	5.1
AÑOS CON DATOS	53	53	52	53	53	53	53	53	54	54	54	53	

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional
Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mor>

Esta tabla nos proporciona la información climatológica de 56 años, hasta el año 2010 registrada en la estación Temixco, en la cual además del periodo, se mencionan los datos de localización respecto a la latitud, longitud y altitud; además de la información referente a la temperatura, humedad, precipitación, evaporación, el número de días con lluvia, niebla, granizo y tormenta eléctrica.

Con base en los datos reunidos en la tabla anterior, se puede particularizar el microclima de la región de Xochitepec, Morelos, la cual se localiza dentro de una región climática Aw (w) (i) gw.

A partir del análisis de la Normal Climatológica de la estación del Servicio Meteorológico Nacional más cercana a la localidad de Xochitepec en dirección Norte (Temixco), se puede observar que la

temperatura máxima promedio anual según los registros de sesenta años (1950 al 2010) es de 30.4° Celsius, por lo que este parámetro determina la necesidad de disminuir de la temperatura al interior de las edificaciones.

Lo que significa también que es un clima cálido (A) con temperaturas medias de 20.5° en el mes más frío y de 26° en el mes más cálido.

También se utilizó la información climatológica registrada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en su estación de Cuernavaca, con la finalidad de conocer la Humedad Relativa Media de enero a diciembre, en el periodo 1981- 2000.

Tabla 06

Normal Climatológica de la Estación Cuernavaca de la Comisión Nacional del Agua. Periodo. 1951- 2000.



NORMALES CLIMATOLÓGICAS

CUERNAVACA, MOR.

PERIODO 1981-2000



OBSERVATORIO SINOPTICO
DEPENDENCIA: SMN-CNA

LATITUD N 18° 53' 32"
LONGITUD W 99° 14'
ALTITUD 1818 msnm

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA													
MAXIMA EXTREMA	39.3	37.5	38.3	39.2	37.9	36.4	33.2	32.3	39.5	32.0	31.1	38.0	39.5
PROMEDIO DE MAXIMA	27.8	30.0	32.1	32.3	29.5	27.8	27.5	27.0	27.1	27.0	26.2	26.2	28.4
MEDIA	19.3	20.9	22.9	23.9	22.9	22.0	21.3	21.1	21.1	20.4	19.3	18.9	21.2
PROMEDIO DE MINIMA	10.8	11.9	13.7	15.5	16.4	16.2	15.0	15.2	15.0	13.8	12.5	11.6	14.0
MINIMA EXTREMA	5.4	5.4	6.4	10.3	10.8	12.2	9.8	11.0	10.2	8.6	5.1	5.5	5.1
OSCILACION	17.0	18.1	18.4	16.7	13.1	11.7	12.5	11.8	12.1	13.2	13.8	14.7	14.4
TOTAL HORAS INSOLACION	204	137	124	165	197	175	199	184	176	197	190	253	2200
HUMEDAD													
TEMPERATURA BULBO HUMEDO	12.3	12.7	13.4	14.5	16.0	16.8	16.7	17.1	17.4	16.3	14.7	13.0	15.1
HUMEDAD RELATIVA MEDIA	51	47	39	40	48	62	68	67	73	68	60	58	57
EVAPORACION	149	153	215	204	201	146	143	136	135	141	147	143	1914.7
PRECIPITACION													
TOTAL	10.4	5.1	5.0	11.5	62.8	241.9	245.9	225.4	260.7	108.9	14.8	9.1	1201.5
MAXIMA	75.4	40.9	33.0	89.6	245.1	353.1	417.3	471.9	610.9	277.8	77.2	73.6	610.9
MAXIMA EN 24 HRS.	56.8	20.0	31.2	30.0	52.3	72.2	106.9	117.7	82.9	69.7	26.3	41.1	117.7
MAXIMA EN 1 HORA	20.9	5.4	12.2	21.9	45.4	72.2	66.6	76.2	43.5	36.5	14.8	11.7	76.2
PRESION													
MEDIA EN LA ESTACION	840.2	839.5	838.3	838.2	838.5	839.2	840.4	840.2	839.2	839.8	840.0	840.5	839.5
VIENTO MAXIMO DIARIO													
MAGNITUD MEDIA	5.0	6.0	6.9	7.7	7.4	6.2	6.0	6.1	5.6	5.0	5.0	4.6	6.0
FENOMENOS ESPECIALES													
LLUVIA APRECIABLE	1.0	1.3	1.3	2.6	9.5	20.0	20.5	20.0	21.1	10.1	2.7	1.4	111.6
DESPEJADOS	6.0	6.6	7.3	7.3	6.8	5.3	5.3	5.3	4.9	4.5	5.0	5.3	60.7
MEDIO NUBLADOS	18.6	17.3	18.8	16.3	13.2	7.6	10.0	9.4	6.6	12.9	18.6	20.0	169.6
NUBLADO/CERRADO	6.4	4.1	4.8	6.4	11.0	16.9	15.7	16.4	18.4	13.5	8.4	5.7	125.6
GRANIZO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.6
HELADA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TORRENTA ELECTRICA	0.1	0.2	0.3	0.5	1.4	5.6	5.0	4.1	4.8	2.4	0.4	0.0	24.5
NIEBLA	2.3	1.2	0.0	0.1	1.4	3.3	3.3	4.7	6.4	6.5	2.4	1.7	33.0

UNIDADES: TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), PRECIPITACION Y EVAPORACION (mm), PRESION (mb), VIENTO (m/s) Y FENOMENOS ESPECIALES (dias).

Fuente: Comisión Nacional del Agua

Disponibile en: <http://200.4.8.21/observatorios/historica/cuernavaca.pdf>

Posteriormente, con la finalidad de obtener los valores de humedad relativa horaria, se empleó una hoja de cálculo elaborada por la Universidad Veracruzana con sede en Xalapa.

Tabla 07

Tabla de Humedades Relativas Horarias, para la localidad de Temixco, Morelos.

ESTIMACION DE HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	Temixco	Lat. (xx.x)	18.85	Long.(xxx.x)	99.05	Altitud (m)	1283					
<i>Esta hoja de cálculo estima la H R media horaria mensual a partir de los valores promedio de maxima y de minima</i>												
<i>Los valores de H R max y H R min pueden ser calculados a partir de la media en el caso de no contar con los valores observac</i>												
<i>¿Desea utilizar valores observados? (Sí / No):</i> <input type="text" value="No"/>												
<i>Si no cuenta con los valores de la H R media, éstos pueden ser estimados a partir de la temp. minir</i>												
<i>¿Cuenta con los valores observados?</i> <input type="text" value="sí"/>												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	28.7	30.4	32.6	33.9	33.5	30.7	29.4	29.5	28.7	29.2	29.2	28.5
Temp med	20.5	22.0	24.1	25.8	26.0	24.5	23.2	23.2	22.7	22.4	21.0	20.5
Temp min	12.3	13.6	15.6	17.6	18.4	18.2	17.1	16.9	16.8	15.7	13.7	12.6
H R med observ	51	47	39	40	48	62	68	67	73	68	60	56
H R max observ												
H R min observ												
H R med calc	51	47	39	40	48	62	68	67	73	68	60	56
H R max calc	71	66	54	55	65	81	89	88	95	91	83	77
H R min calc	31	28	24	25	31	43	47	46	51	45	37	35
Hora max	6.510	6.309	6.085	5.785	5.556	5.436	5.484	5.678	5.948	6.219	6.453	6.564
Hora min	13.920	13.809	12.895	13.455	13.146	13.346	12.734	13.178	13.538	13.389	13.953	13.814
Hora (TSV)												
00:00	61	56	47	48	58	73	80	79	85	80	71	66
01:00	62	58	48	49	59	75	82	80	87	82	74	68
02:00	64	59	49	51	60	76	83	82	88	83	75	70
03:00	65	61	50	51	61	77	84	83	90	85	77	71
04:00	67	62	51	52	62	78	85	84	91	86	78	73
05:00	67	62	52	53	62	78	86	85	92	87	79	74
06:00	68	63	52	55	64	80	88	88	95	88	80	74
07:00	70	64	52	52	60	75	82	83	92	89	82	77
08:00	65	58	47	46	53	66	73	74	83	81	76	71
09:00	56	50	40	39	45	57	63	64	73	70	65	62
10:00	47	41	33	33	38	50	55	56	63	60	54	52
11:00	39	35	28	28	34	46	50	50	56	53	46	44
12:00	34	31	25	26	32	43	48	47	52	48	40	38
13:00	32	29	24	25	31	43	47	46	51	46	37	35
14:00	31	29	24	26	32	45	49	47	52	46	37	35
15:00	33	30	26	28	35	47	51	50	54	48	39	36
16:00	35	33	28	30	37	50	55	53	58	51	42	39
17:00	39	36	31	33	40	54	59	57	61	55	46	42
18:00	42	39	33	35	43	57	63	61	66	59	50	46
19:00	46	43	36	38	46	61	66	65	70	63	54	50
20:00	49	46	39	41	49	64	70	68	73	67	58	54
21:00	53	49	41	43	52	67	73	71	77	71	62	58
22:00	56	52	43	45	54	69	76	74	80	74	66	61
23:00	58	54	45	47	56	71	78	77	82	77	69	64

Programa desarrollado por el Dr. Adalberto Tejada de la Universidad de Xalapa. Ver.

Fuente: Programa desarrollado por el Dr. Adalberto Tejada Martínez de la Universidad Veracruzana, Xalapa Ver.

Finalmente de las Tablas y Diagramas termodinámicos editado por MMT Consultores energéticos se obtuvieron los valores de la saturación del aire (humedad relativa) con base en la temperatura. Solo como elemento de comprobación y respaldo del cálculo previo.

Tabla 08

Tabla de Vapor y agua saturada; y su relación con la temperatura.

3. TABLA: Vapor y Agua Saturado (Según la temperatura)

Temp (°C)	Presión (bar)	v' (m³/kg)	v'' (m³/kg)	h' (kJ/kg)	h'' (kJ/kg)	s' (kJ/kgK)	s'' (kJ/kgK)
0.01	0.0061120	0.0010002	206.2	0	2501.6	0	9.1575
1.0000	0.0065709	0.0010001	192.44	4.1767	2502.7	0.015260	9.1291
2.0000	0.0070599	0.0010001	179.76	8.3918	2504.6	0.030607	9.1027
3.0000	0.0075808	0.0010001	168.01	12.604	2506.4	0.045888	9.0765
4.0000	0.0081355	0.0010001	157.12	16.813	2508.2	0.061103	9.0505
5.0000	0.0087258	0.0010001	147.01	21.020	2510.1	0.076254	9.0248
6.0000	0.0093536	0.0010001	137.63	25.224	2511.9	0.091342	8.9993
7.0000	0.010021	0.0010001	128.92	29.426	2513.7	0.10637	8.9741
8.0000	0.010730	0.0010002	120.83	33.627	2515.6	0.12133	8.9491
9.0000	0.011483	0.0010003	113.30	37.825	2517.4	0.13624	8.9243
10.0000	0.012282	0.0010003	106.30	42.021	2519.2	0.15109	8.8998
11.0000	0.013130	0.0010004	99.787	46.216	2521.0	0.16587	8.8754
12.0000	0.014028	0.0010005	93.719	50.409	2522.9	0.18061	8.8513
13.0000	0.014981	0.0010007	88.064	54.601	2524.7	0.19528	8.8274
14.0000	0.015990	0.0010008	82.793	58.792	2526.5	0.20990	8.8037
15.0000	0.017058	0.0010009	77.875	62.981	2528.3	0.22448	8.7803
16.0000	0.018188	0.0010011	73.286	67.170	2530.2	0.23897	8.7570
17.0000	0.019384	0.0010013	69.001	71.357	2532.0	0.25343	8.7339
18.0000	0.020647	0.0010014	64.998	75.544	2533.8	0.26783	8.7111
19.0000	0.021983	0.0010016	61.256	79.729	2535.6	0.28218	8.6884
20.0000	0.023393	0.0010018	57.757	83.914	2537.4	0.29648	8.6660
21.0000	0.024882	0.0010021	54.483	88.098	2539.3	0.31073	8.6437
22.0000	0.026453	0.0010023	51.418	92.282	2541.1	0.32493	8.6217
23.0000	0.028111	0.0010025	48.548	96.465	2542.9	0.33908	8.5998
24.0000	0.029858	0.0010028	45.858	100.65	2544.7	0.35318	8.5781
25.0000	0.031699	0.0010030	43.337	104.83	2546.5	0.36722	8.5566
26.0000	0.033639	0.0010033	40.973	109.01	2548.3	0.38123	8.5353
27.0000	0.035681	0.0010035	38.754	113.19	2550.1	0.39518	8.5142
28.0000	0.037831	0.0010038	36.672	117.37	2551.9	0.40908	8.4933
29.0000	0.040092	0.0010041	34.716	121.55	2553.7	0.42294	8.4725
30.0000	0.042470	0.0010044	32.878	125.73	2555.5	0.43675	8.4520
31.0000	0.044969	0.0010047	31.151	129.91	2557.3	0.45052	8.4316
32.0000	0.047596	0.0010050	29.526	134.09	2559.2	0.46424	8.4113
33.0000	0.050354	0.0010054	27.998	138.27	2561.0	0.47792	8.3913
34.0000	0.053251	0.0010057	26.560	142.45	2562.8	0.49155	8.3714
35.0000	0.056290	0.0010060	25.205	146.63	2564.5	0.50513	8.3517
36.0000	0.059479	0.0010064	23.929	150.81	2566.3	0.51867	8.3321
37.0000	0.062823	0.0010068	22.727	154.99	2568.1	0.53217	8.3127
38.0000	0.066328	0.0010071	21.593	159.17	2569.9	0.54562	8.2935
39.0000	0.070002	0.0010075	20.524	163.35	2571.7	0.55903	8.2745
40.0000	0.073849	0.0010079	19.515	167.53	2573.5	0.57240	8.2555
41.0000	0.077878	0.0010083	18.563	171.71	2575.3	0.58573	8.2368
42.0000	0.082096	0.0010087	17.664	175.89	2577.1	0.59901	8.2182
43.0000	0.086508	0.0010091	16.814	180.07	2578.9	0.61225	8.1998
44.0000	0.091124	0.0010095	16.011	184.25	2580.6	0.62545	8.1815
45.0000	0.095950	0.0010099	15.252	188.43	2582.4	0.63861	8.1633
46.0000	0.10099	0.0010104	14.534	192.62	2584.2	0.65173	8.1453
47.0000	0.10627	0.0010108	13.855	196.80	2586.0	0.66481	8.1275
48.0000	0.11177	0.0010112	13.212	200.98	2587.8	0.67785	8.1098
49.0000	0.11752	0.0010117	12.603	205.16	2589.5	0.69085	8.0922

Fuente: Tablas y Diagramas Termodinámicos. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, Universidad del País Vasco. Disponible en: <http://www.ehu.es/mmtde/materiala/tablas%20y%20diagramas.pdf>

Consecuentemente y con base en la información de las tablas anteriores se procedió a calcular con base en una hoja de cálculo elaborada por el Dr. Víctor Fuentes F. del Laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, las temperaturas horario, para determinar los requerimientos de enfriamiento por hora durante todos los meses del año.

La tabla 09 se compone de dos partes. En la primera se visualiza la información referente a la temperatura. Para esto es preciso llenar la segunda tabla de la izquierda de arriba hacia abajo con los datos mensuales correspondientes a la temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media. Consecuentemente en la segunda tabla de la derecha, de arriba hacia abajo, los espacios se auto llenarán automáticamente. En esta misma tabla las columnas corresponderán a una hora del día en particular y las filas horizontales a los meses del año calendario. Por lo tanto el resultado arrojado en cada una de las celdas corresponderá al cálculo de la temperatura para una hora determinada de un día promedio de un mes particular.

De igual forma funciona la tabla referente a la humedad relativa, sin embargo, en este caso solamente se proporcionan los datos de humedades máximas y mínimas por cada mes del año. Con esta información también se obtuvieron lecturas específicas de humedad relativa para cada hora específica de un día promedio de cualquier mes del año.

Cabe resaltar que la información vertida para el llenado de esta tabla se obtuvo de las tablas 05 y 06, debido a que son datos promediados en el primer caso de sesenta años y de cincuenta años en el segundo.

La forma de interpretar los datos obtenidos de una forma más clara, es mediante la coloración particular de cada una de las celdas, con base en la escala localizada en la tabla superior derecha, la cual referencia un color determinado de acuerdo a los rangos de temperatura y humedad.

Tabla 10

Rangos de confort para Xochitepec y escala cromática de referencia, para las celdas de la tabla 10, con base en la determinación de una temperatura neutra para la localidad, de acuerdo a la información de temperatura y humedad recopilados en la Estación Meteorológica de Temixco, Morelos del S.M.N. y la estación Cuernavaca de la Comisión Nacional del Agua.

		TEMPERATURA						HUMEDAD RELATIVA			
		DE	42.3	A	47.2			DE	0.0	A	10.0
		DE	37.3	A	42.2			DE	10.0	A	19.0
		DE	32.3	A	37.2			DE	20.0	A	29.0
		DE	27.3	A	32.2			DE	30.0	A	39.0
Tn=	24.7	DE	22.2	A	27.2	CONFORT		DE	40	A	60
		DE	17.2	A	22.1			DE	61.0	A	70.0
		DE	12.2	A	17.1			DE	71.0	A	80.0
		DE	7.2	A	12.1			DE	81.0	A	90.0
		DE	2.2	A	7.1			DE	91.0	A	100.0

Fuente: Tabla de cálculo desarrollada por el Dr. Víctor Fuentes Freixanet en el Laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

La coloración de las tablas dará una referencia gráfica de las necesidades de enfriamiento y humidificación de forma más específica.

Como se puede apreciar en las tablas 09 y 10, el primer resultado fue la tabla con los parámetros localizados en el cuadro superior derecho, los cuales nos muestran que para esta localidad el rango de confort térmico se localiza entre **22.2°C y 27.2°C**, así como el rango de confort higrométrico se encuentra entre el **40% y 60%** de Humedad relativa.

A partir del cálculo realizado por el programa, se determina lo siguiente:

- 1.- Todos los meses del año existen requerimientos de enfriamiento.
- 2.- Los días más calurosos se localizan en el mes de marzo de las 14 a las 16 horas, abril de las 13 pm a las 18 pm y mayo de las 13 a las 17 horas. Con un sobrecalentamiento ambiental de hasta 6.7°C por encima del rango de confort determinado.
- 3.- Las horas con requerimientos de enfriamiento, a consecuencia de un sobrecalentamiento en un rango de 5°C a 6.7°C se enlistan de la siguiente forma.

En enero de las 12 a las 17 horas.

En febrero de las 12 a las 19 horas.

En marzo de las 11 a las 20 horas.

En abril de las 11 a las 21 horas.

En mayo de las 10 a las 21 horas.

En junio de las 11 a las 20 horas.

En julio de las 12 a las 19 horas.

En agosto de las 12 a las 19 horas.

En septiembre de las 12 a las 18 horas.

En octubre de las 12 a las 18 horas.

En noviembre de las 12 a las 18 horas.

En diciembre de las 13 a las 17 horas.

4.- De noviembre a mayo existe la necesidad de humidificar los espacios. En el mes más caluroso y seco, que es marzo se alcanzan niveles de humedad relativa del 24% de las 12 a las 19 horas; mientras que en abril de las 12 a las 18 pm se pueden registrar lecturas del 25% al 26.3%, lo cual podría equilibrarse mediante la incorporación de elementos de agua cercanos a las edificaciones, finalmente en febrero de las 13 a las 17 horas se pueden registrar niveles de humedad relativa del 28%.

5.- Las temperaturas más bajas no exceden los 12.2°C, por lo que pueden ser previstas en el diseño arquitectónico mediante el uso de sistemas pasivos, para retardar el enfriamiento durante la noche de octubre a marzo principalmente, ya que durante agosto y septiembre, solamente durante dos horas desciende la temperatura por debajo de los 17° y en julio a las 6 am se alcanza una temperatura mínima de 17.1°C

En la región de Morelos el uso de muros masivos de adobe en las construcciones tradicionales, es un ejemplo de cómo se puede retardar el enfriamiento de las mismas durante la noche.

6.- Únicamente durante los meses de marzo y abril no es necesario deshumidificar las construcciones durante la noche, puesto que se encuentran dentro del rango de confort higrométrico del 40% al 60%. Sin embargo durante febrero y mayo también es mínima la necesidad de des humidificación, la cual no rebasa 66% a las 6 am en febrero.

Por otra parte de junio a diciembre es necesario promover la des humidificación en horario nocturno, puesto que se tienen lecturas superiores al 70%, pero principalmente en el mes de septiembre de las 2 a las 7 horas y en especial a las 6 am con un porcentaje de humedad del 95%. De igual forma en el mes de octubre de las 4 a las 6 de la mañana se obtienen lecturas de entre el 90% y 91%.

Adicionalmente se realizó el siguiente ejercicio, con base en la información diaria recabada de la estación M001 del Sistema Meteorológico Nacional, para comparar estos datos con el cálculo de los requerimientos de enfriamiento y des humidificación, para un día determinado, lo cual se muestra a continuación.

Ilustración 56
 Datos de temperatura durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.



Estacion: MO01 - IMTA, ultimo dato: 17/04/2016 17:40 TUC
 Temperatura en las ultimas 24 horas (cada 10 minutos)

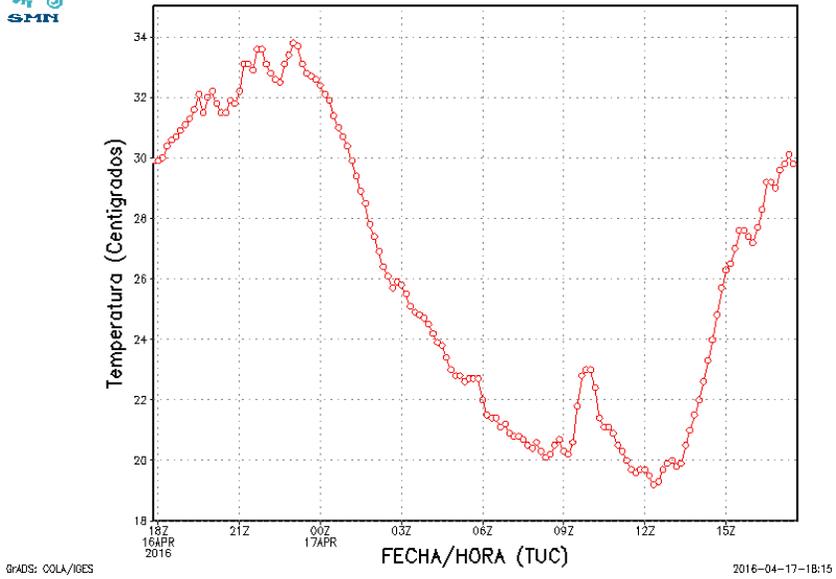


Ilustración 57
 Datos de humedad relativa durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.



Estacion: MO01 - IMTA, ultimo dato: 17/04/2016 17:40 TUC
 Humedad relativa en las ultimas 24 horas (cada 10 minutos)

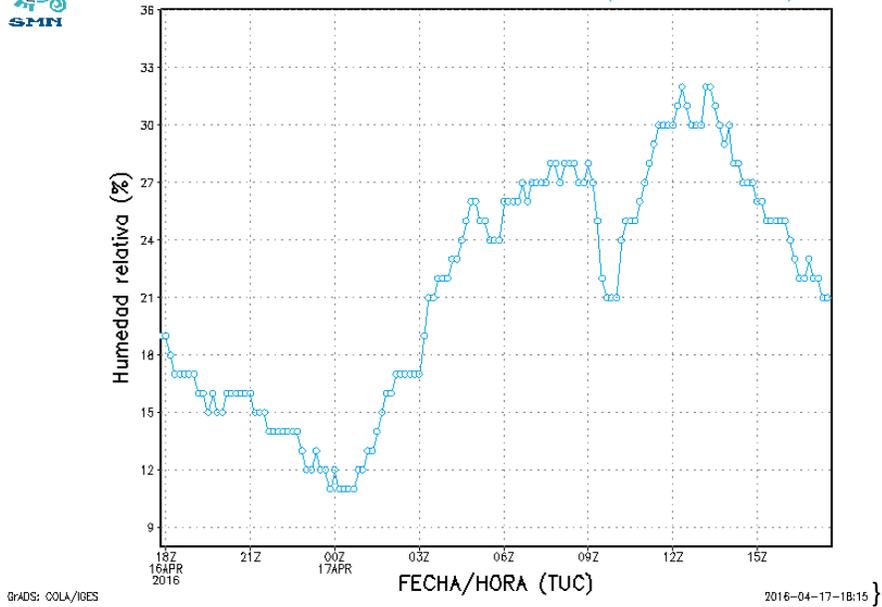
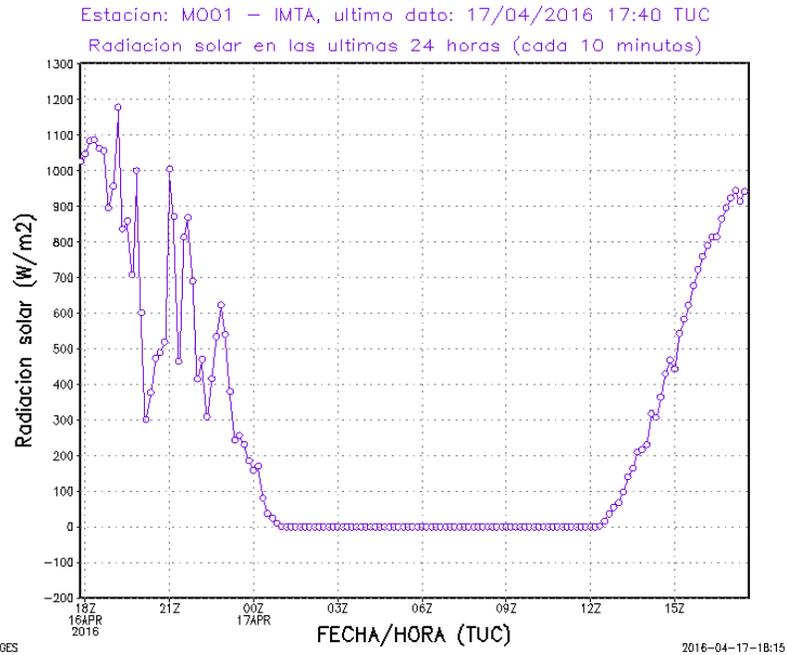


Ilustración 58



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional
Disponibile en: <http://smn.cna.gob.mx/emas/graf/MO01dir1.gif>

Con base en la comparación de las gráficas 56, 57 y 58, se puede observar que existe una relación directa entre el incremento de temperatura con la disminución de la humedad. Por ejemplo a partir de las 12 horas en la gráfica 56 la temperatura aumenta de forma constante, esto se relaciona con el incremento en los niveles de radiación solar graficados en la ilustración 58. De igual forma esto se correlaciona con el descenso en las lecturas de humedad relativa mostradas en la gráfica 57, en donde se aprecia una disminución en dichas lecturas, a partir de las doce horas.

Las gráficas nos muestran el comportamiento de las variables durante 24 horas y la coordenada de las X (horizontal) está subdividida en intervalos de tres horas. Por lo que se puede concluir para el día seleccionado lo siguiente:

Como se ve en la gráfica 57, la humedad no sobrepasa el nivel máximo de confort, la cual oscila del 40% al 60% de acuerdo a lo mostrado en la gráfica 10.

De acuerdo a las lecturas mostradas en la gráfica 56, la temperatura máxima que fue de 34°C, se alcanzó a las 11 pm y a partir de ahí descendió rápidamente en relación de 2°C / hora, hasta las tres de la mañana, cuando llegó a 26°C.

De las tres a las seis de la mañana bajó a los 22°C.

Posteriormente y debido a los bajos índices de radiación solar, la temperatura se elevó a los 23°C a las diez de la mañana, sin embargo volvió a descender a 19.5°C a las 12:30 pm. Y a partir de ese momento comenzó a elevarse a razón de 3.5°C/ hora.

A partir de la comparación de la tabla de humedades y temperaturas horarias con las gráficas derivadas de la medición de un día aleatorio del mismo mes, se concluye lo siguiente:

1.- En ambos caso no se requiere deshumidificar, debido a que los niveles no rebasan el 60% de humedad relativa.

2.- En la tabla de temperatura se obtiene un máximo de 33.9°C a las 15 horas, mientras que en la medición diaria del Sistema Meteorológico Nacional se registró una temperatura máxima de 34°C a las 23 horas, por lo que en cualquiera de los dos escenarios resulta necesario aplicar estrategias de enfriamiento en el diseño arquitectónico para reducir la temperatura al rango de confort, el cual teóricamente para esta localidad se sitúa en el rango de 22.5°C a 27°C.

Esta última comparación, aplicada al diseño de una torre de ventilación encaminada a reducir la temperatura interior de una edificación, presenta la necesidad de poder enfriar un espacio durante el día o durante la noche, por lo que será necesario analizar el comportamiento del viento en uno y otro caso, es decir habrá que verificar la intensidad y la dirección del mismo, por lo que muy probablemente resulte conveniente el diseño una torre de ventilación multidireccional, que a su vez tenga la posibilidad de controlar el flujo de aire, por lo menos en dos direcciones.

A continuación se presenta a modo de resumen, con base en las necesidades detectadas a partir del análisis de la tabla de Temperaturas y Humedades horarias, la tabla 11. En esta tabla se especifican las horas al año en la que resulta necesaria la aplicación de las siguientes estrategias de diseño bioclimático: **Calentamiento, enfriamiento, deshumidificación y humidificación**, para un emplazamiento localizado en el municipio de Xochitepec, Morelos.

Tabla 11

Total de horas requeridas de enfriamiento, calentamiento, humidificación y deshumidificación al año.

REQUERIMIENTOS DE CONFORT TÉRMICO E HIGROMÉTRICO										
MES	HORAS DE CALENTAMIENTO	HORARIO PREDOMINANTE	HORAS DE ENFRIAMIENTO	HORARIO PREDOMINANTE	HORAS DE ENFRIAMIENTO	HORARIO PREDOMINANTE	HORAS PRARA DESHUMIDIFICACIÓN	HORARIO PREDOMINANTE	HORAS PRARA HUMIDIFICACIÓN	HORARIO PREDOMINANTE
	AUMENTO DE HASTA 10°C		REDUCCIÓN DE HASTA 5°C		REDUCCIÓN DE HASTA 10°C				AUMENTO MENOR AL 9%	
							DISMINUCIÓN DE HASTA 11% DE H.R.			
ENERO	279	12 A 9 A.M.	155	12 A 17 P.M.			279		217	
							DISMINUCIÓN DE HASTA 6% DE H.R.			
FEBERERO	196	1 A 8 A.M.	196	12 A 19 P.M.			168		224	
							NO SE RQUIERE		AUMENTO DE HASTA 16%	
MARZO	124	3 A 7 A.M.	217	12 A 2 - 4 A 8 PM	62	14 A 16 P.M.	0		372	
	MENOR A 5°C						NO SE RQUIERE		AUMENTO DE HASTA 16%	
ABRIL	0		150	11 A 1 - 6 A 9 PM	150	13 a 18 P.M.	0		360	
	MENOR A 5°C						DISMINUCIÓN DE HASTA 6% DE H.R.			
MAYO	0		217	10 A 13 - 17 A 21 P.M.	124	13 A 17 P.M.	186		279	
	MENOR A 5°C						DISMINUCIÓN DE HASTA 30% DE H.R.			
JUNIO	0		270	11 A 20 P.M.			360			
							DISMINUCIÓN DE HASTA 30% DE H.R.			
JULIO	31	5 A 6 A.M.	217	12 A 19 P.M.			465			
							DISMINUCIÓN DE HASTA 30% DE H.R.			
AGOSTO	62	4 A 6 A.M.	217	12 A 19 P.M.			450			
							DISMINUCIÓN DE HASTA 35% DE H.R.			
SEPTIEMBRE	62	4 A 6 A.M.	180	12 A 18 P.M.			527			
							DISMINUCIÓN DE HASTA 35% DE H.R.			
OCTUBRE	155	2 A 7 A.M.	186	12 A 18 P.M.			450			
							DISMINUCIÓN DE HASTA 30% DE H.R.			
NOVIEMBRE	210	1 A 8 A.M.	180	12 A 18 P.M.			360		120	
							DISMINUCIÓN DE HASTA 17% DE H.R.			
DICIEMBRE	279	12 A 9 A.M.	124	13 A 17 P.M.			310		155	
HORAS AL AÑO	1398	NOCTURNO	2309	A PARTIR DEL MEDIO DIA	336	PRIMERAS HORAS DE LA LA TARDE	3555	NOCHE Y MADRUGADA	1727	A PARTIR DEL MEDIO DIA

Elaboración propia. 25/04/2016

Conclusiones derivadas del análisis climático mostrado en la tabla de temperaturas y humedades horarias.

Se requiere la aplicación de estrategias de enfriamiento a partir del mediodía, hasta que se oculta el sol, durante casi todo el año.

En contraste es necesario elevar la temperatura para calentamiento, desde la media noche hasta el amanecer, durante el verano, otoño e invierno.

De diciembre a mayo se requiere deshumidificar muy poco, sin embargo durante el verano resulta necesario la aplicación de estrategias de deshumidificación.

4.2 Componentes de adecuación térmica al medio ambiente.

Derivado del análisis y la síntesis de la información climatológica, generalmente se determinan las estrategias de diseño, considerando las necesidades específicas para lograr un confort ambiental en la edificación a diseñar, las cuales inclusive pueden ser determinantes en la definición del partido arquitectónico. Sin embargo en el caso de una construcción existente, se procede a determinar el comportamiento de la misma ante los factores climatológicos y a partir del análisis del mismo se determinarán las estrategias de diseño.

En el caso particular de la localidad estudiada, ya se han definido estas necesidades, por lo que se procede al estudio concreto del o los espacios propuestos. Para ello se requieren analizar los datos de temperatura y humedad mediante el uso de una carta bioclimática, la cual a partir de una zona de confort bien definida determina la estrategia a seguir, según sea el caso, ya sea enfriamiento o calentamiento, a través del aprovechamiento de la ventilación, la radiación solar o de la masa térmica, según sea el caso.

En el escenario en que la ventilación sea la estrategia más apropiada, se procede a estudiar el comportamiento y las características del viento, mediante la rosa de los vientos de la localidad, o la más cercana a ella. Para el caso específico del municipio de Xochitepec, Morelos, la estación con los registros de frecuencia del viento más cercana es la del aeropuerto de Cuernavaca, localizado en el municipio de Temixco.

Como ya se ha visto, la definición de una estrategia de diseño bioclimático, puede derivar en la aplicación de uno o varios sistemas pasivos para el confort ambiental.

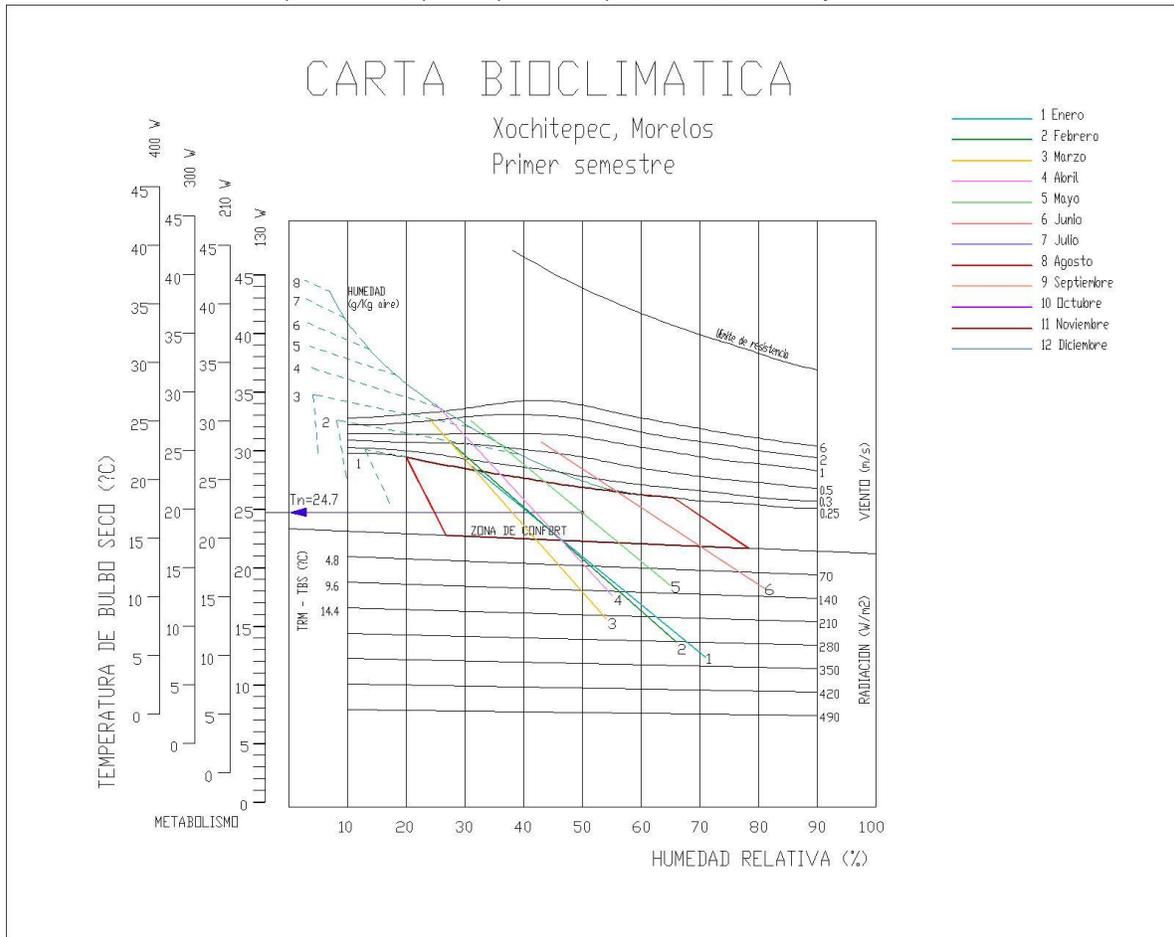
En el caso de estudio propuesto se tuvo que verificar primero, la existencia de otros sistemas pasivos aplicados previamente, por lo que la integración de un elemento adicional como la torre de ventilación, tendría que complementar el funcionamiento de dichos sistemas.

Carta Bioclimática

A partir de la información obtenida a partir de la Tabla de temperaturas y humedades horarias, se procedió al vaciado de los datos arrojados, en la carta bioclimática, propuesta por Víctor Olgyay en su obra "Clima y arquitectura", para determinar la velocidad del viento requerida para alcanzar los niveles de confort determinados por la misma carta. Obteniendo los siguientes resultados.

Ilustración 59

Carta Bioclimática con los datos para Temixco, aplicados para Xochitepec, Morelos, de enero a junio.



Fuente: OLGAY Víctor Arquitectura y clima Ed. Gustavo Gili, Barcelona 1962.

La gráfica del primer semestre nos muestra que de enero a junio se tienen requerimientos máximos de enfriamiento asociados con el uso de la ventilación de la siguiente forma:

En enero se requiere una velocidad del viento menor a **0.3 metro/segundo**.

En febrero una velocidad del viento de **0.5 metros/segundo**.

En marzo una velocidad del viento superior o igual a los **2 metros/segundo** asociada con 3 gramos de agua por cada Kg. de aire.

En abril una velocidad superior a los **6 metros/segundo** y 8 gramos de agua por cada Kg. de aire.

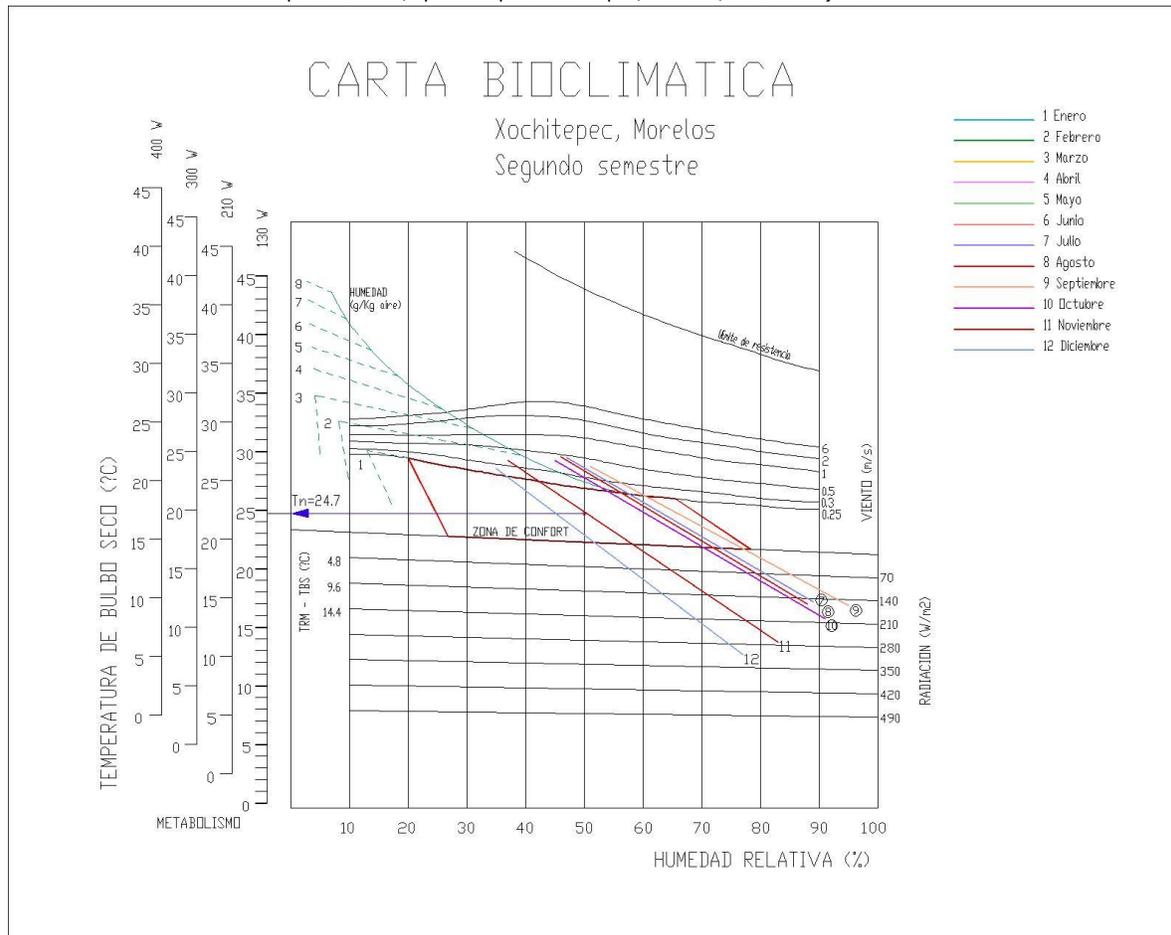
Por un lapso de **una hora y media**. Es decir de las 2:20 pm a las 3:00 pm la velocidad del viento deberá incrementarse de 2 a 6 m/seg. y posteriormente de las 3 de la tarde a las 3:50 pm podrá disminuir a 2 m/seg. de nuevo.

En mayo la velocidad del aire puede ser ligeramente menor a los **2 metros/segundo**.

En junio la velocidad la velocidad no deberá rebasar **1 metro/ segundo**.

Ilustración 60

Carta Bioclimática con los datos para Temixco, aplicados para Xochitepec, Morelos, de enero a junio.



Fuente: OLGAY Víctor Arquitectura y clima Ed. Gustavo Gili, Barcelona 1962.

La gráfica del segundo semestre muestra que los meses julio a diciembre presentan requerimientos de enfriamiento máximos por ventilación menores a **0.5 metros/segundo**, lo que equivale propiciar a una velocidad del viento clasificada como agradable.

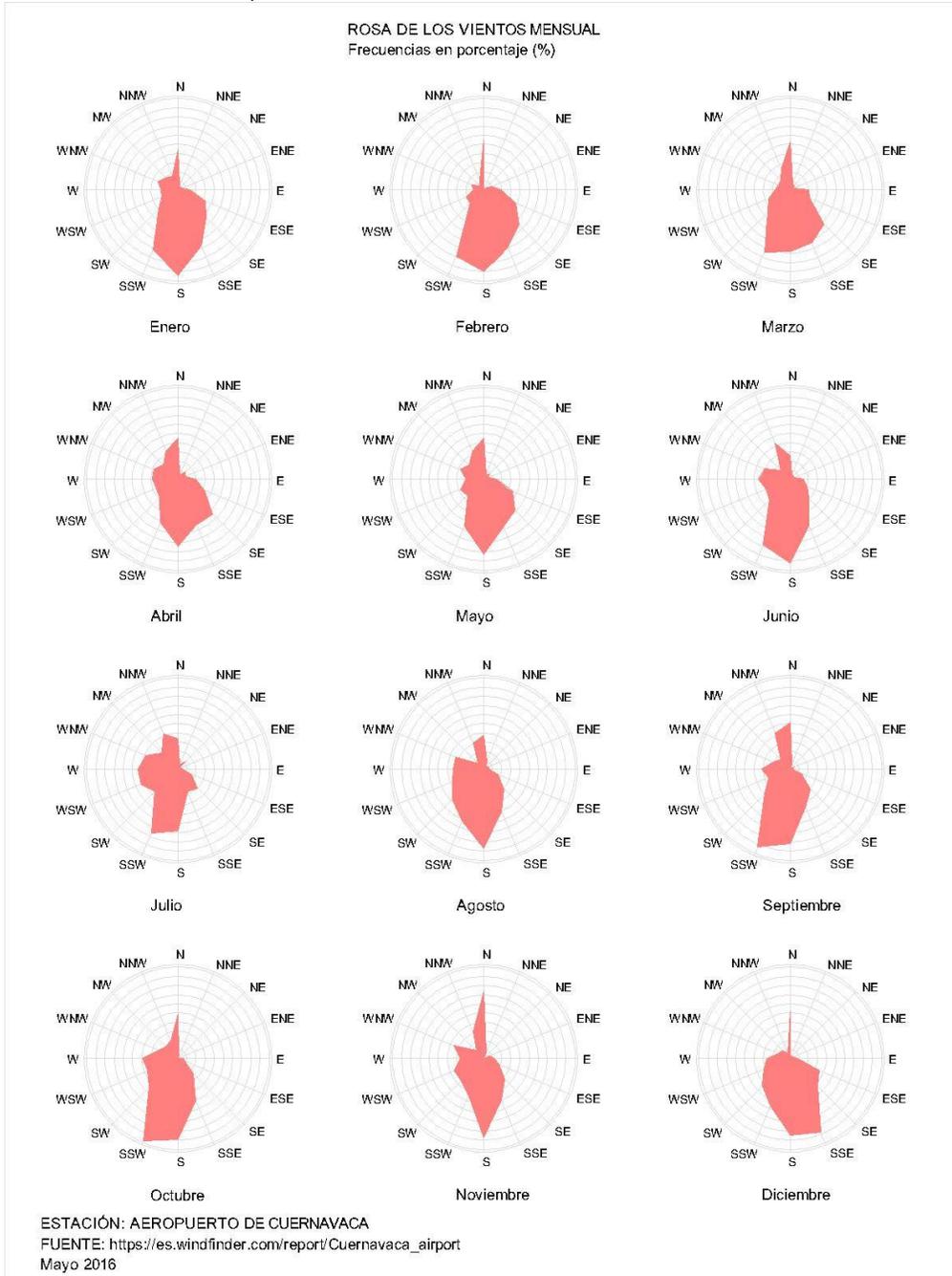
Conclusión. Con excepción de abril se requieren velocidades del viento menores a los **2 metros/segundo** en el primer semestre del año, mientras que para el segundo semestre las velocidades mensuales requeridas descienden a **0.5 metros /segundo**.

Análisis de vientos dominantes

Con base en la información disponible se procedió al trazo de las Rosas de los vientos mensual y anual, con el objeto de conocer la dirección del viento dominante de forma mensual y poder propiciar que la torre de eólica capte el viento dominante en la dirección correcta cuando sea requerido.

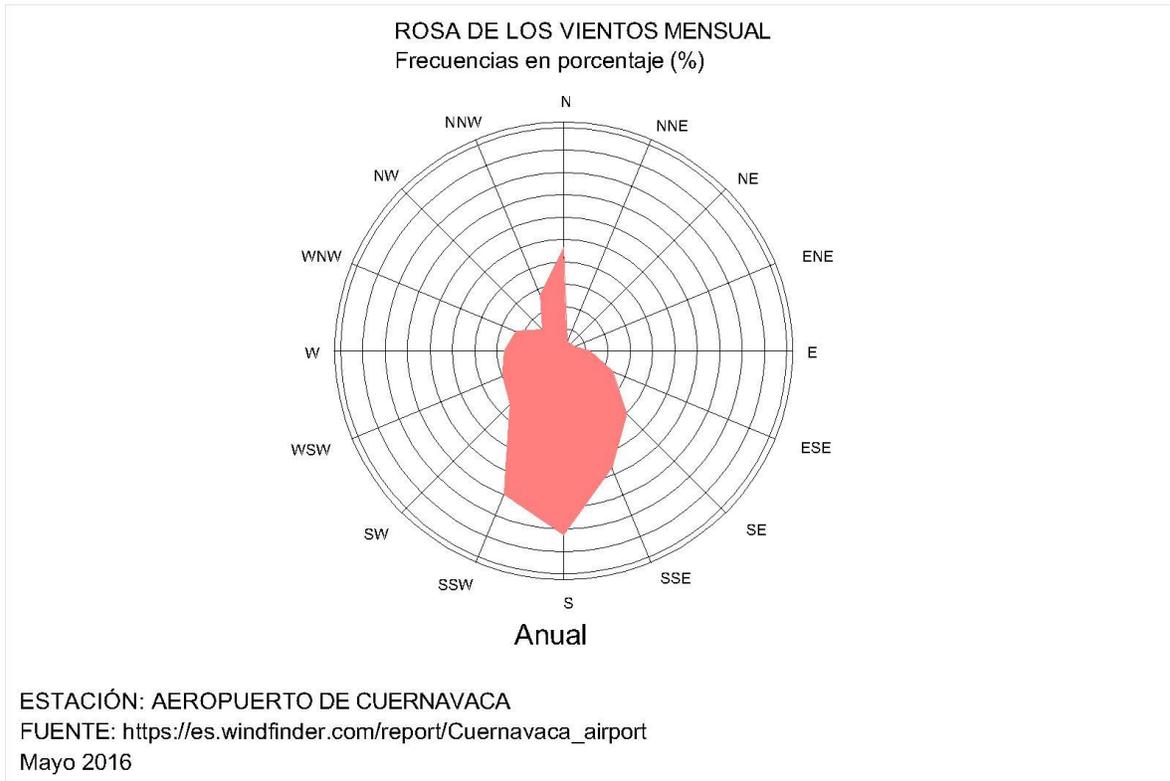
Ilustración 61

Rosas de los vientos mensuales, aplicables a la localidad.



Estas gráficas nos muestran la predominancia en la incidencia del viento en el rango SSE- SSW en los meses más cálidos, con ráfagas provenientes del Norte- Noroeste.

Ilustración 62
Resumen anual de la rosa de los vientos.



La gráfica anual sintetiza la incidencia predominante en el rango SSE- SE (49.7%) del total, con predominancia Sur (16.5%), sin embargo también contempla la aparición de rachas de viento provenientes del Norte (9.3%), SW (6.8%), WSW (5.9%), NNW (5.5%), W (5.3%), ESE (4.8%) y WNW (4.6%).

A continuación se presentan, según los registros del Servicio Meteorológico Nacional, a modo de ejemplo un registro de 24 horas.

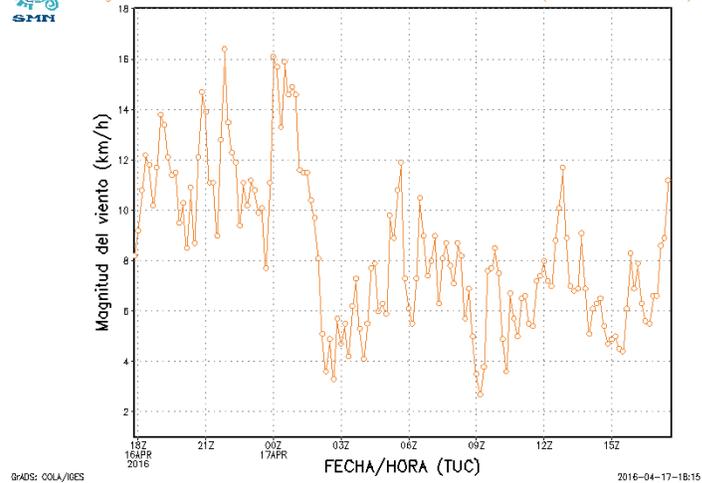
Ilustración 63

Datos de magnitud del viento, durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.

Estación: MO01 – IMTA, último dato: 17/04/2016 17:40 TUC



Magnitud del viento sostenido en las últimas 24 horas (cada 10 minutos)



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/emas/graf/MO01dir1.gif>

En la gráfica 63 se aprecian las siguientes lecturas:

La velocidad mínima del viento registrada este día fue de 3 km/h equivalente a 0.83 m/seg. En la escala de Beaufort se clasifica dentro del numeral 1 (Aire ligero).

La velocidad máxima del viento registrada este día fue de 16.5 km/h equivalente a 4.58 m/seg.

Clasificada dentro de la escala de Beaufort en el numeral 3 (Brisa suave).

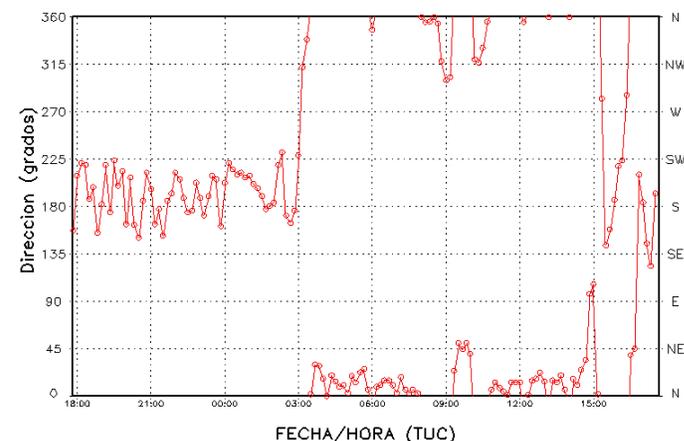
Ilustración 64

Datos de la dirección del viento, durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.



Estación: MO01 – IMTA, último dato: 17/04/2016 17:30 TUC

Dirección del viento sostenido en las últimas 24 horas (cada 10 minutos)



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/emas/graf/MO01dir1.gif>

De acuerdo a la gráfica 64, para el día seleccionado como muestra, los vientos dominantes provinieron desde las 18 horas hasta las 3 de la mañana del rango Sur- Suroeste, posteriormente hasta las 15 horas oscilaron de la orientación Norte a la Noroeste.

Ilustración 65

Datos de ráfagas de viento, durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.

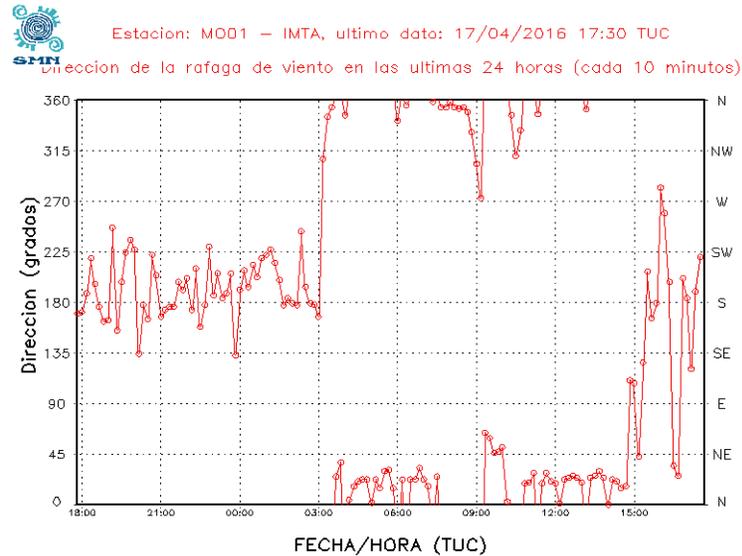
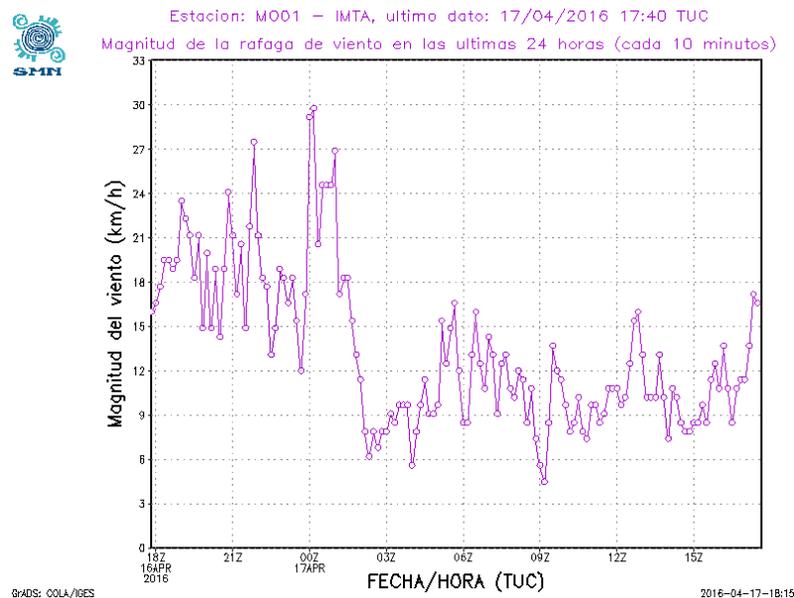


Ilustración 66

Datos de la magnitud de ráfagas de viento, durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional
 Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/emas/graf/MO01dir1.gif>

La velocidad máxima de las ráfagas de viento no rebasan los 30 km/ hora y la velocidad promedio de las mismas oscila en los 15 km/hora. Lo que según la gráfica de Beaufort representa una variación desde una brisa suave, la cual va de 3.4 hasta 5.4 m/s; hasta alcanzar rachas consideradas como un viento fuerte, es decir de 8 a 10.7 m/s, sin embargo esto todavía no representa un peligro para la integridad física de las personas. Sin embargo esta situación obliga en el diseño de la torre de ventilación a contar con un sistema que permita controlar el flujo de aire o en su caso restringir completamente el ingreso del viento al interior de las habitaciones, en determinadas situaciones.

A partir de la información anterior resulta posible el trazo de una rosa de los vientos horaria, para este día en particular, la cual se confrontará con una mensual y al igual que el ejercicio comparativo entre la tabla de temperaturas y humedades horarias y la gráfica del S.M.N. se contará con un mayor número de elementos para definir el comportamiento del viento en el área. Con la intención de sintetizar un poco la información, las ilustraciones 63, 64, 65 y 66 se toman solamente como una referencia para el análisis de un día promedio, durante la época del año que se requiere mayores elementos para el enfriamiento ambiental de los espacios construidos.

Lo datos anteriores se obtuvieron de la estación del Servicio Meteorológico Nacional, ubicada en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en Jiutepec, Morelos.

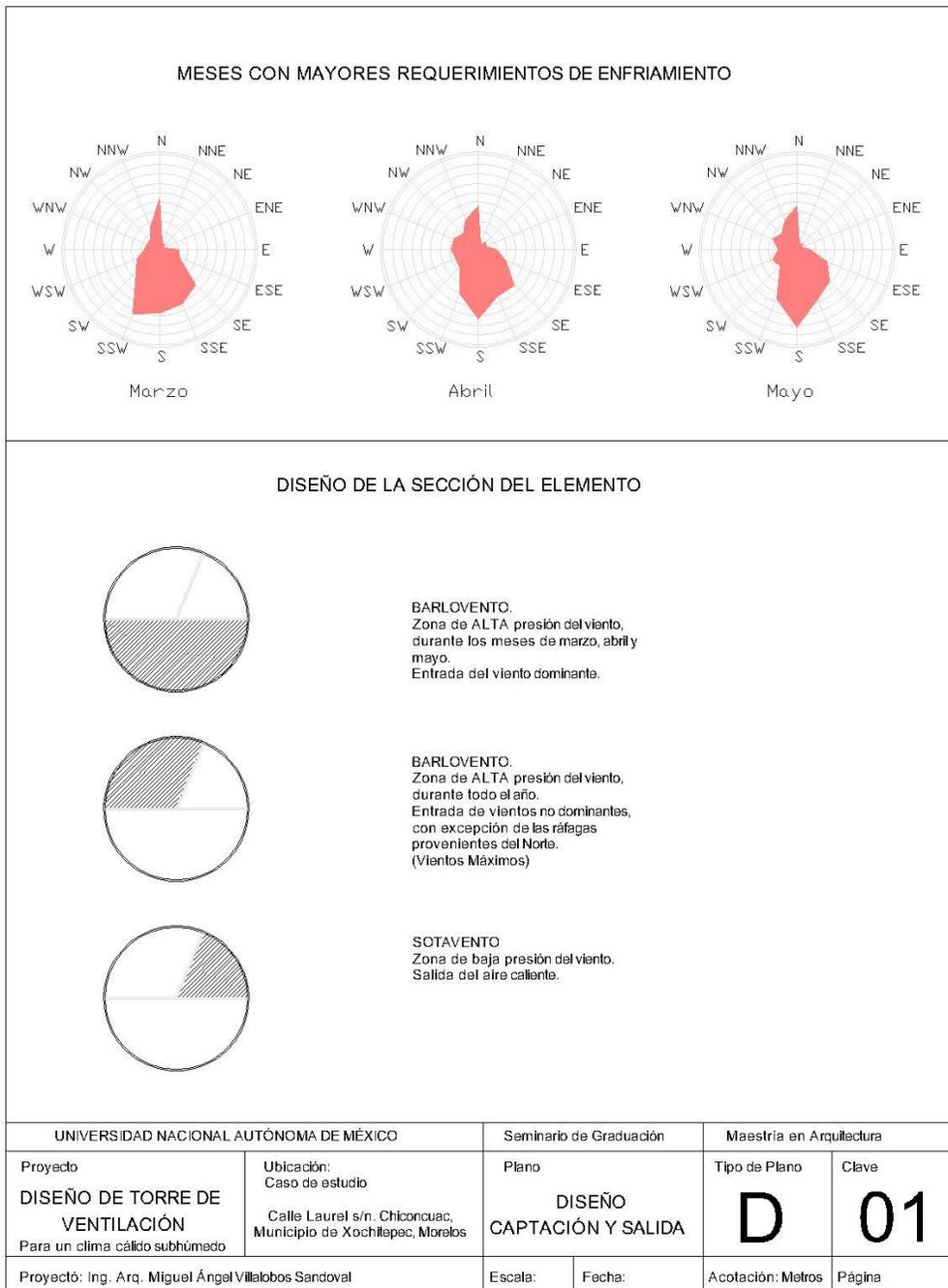
4.3 Componentes de diseño de la torre de ventilación de enfriamiento.

Orientación del elemento

Debido a que el elemento a diseñar es un captador de vientos, resulta imprescindible la determinación de la orientación de las aberturas superiores, así como, del cuerpo del mismo.

Plano D 01

Diseño de la sección del elemento, con base en las zonas de Barlovento y Sotavento.

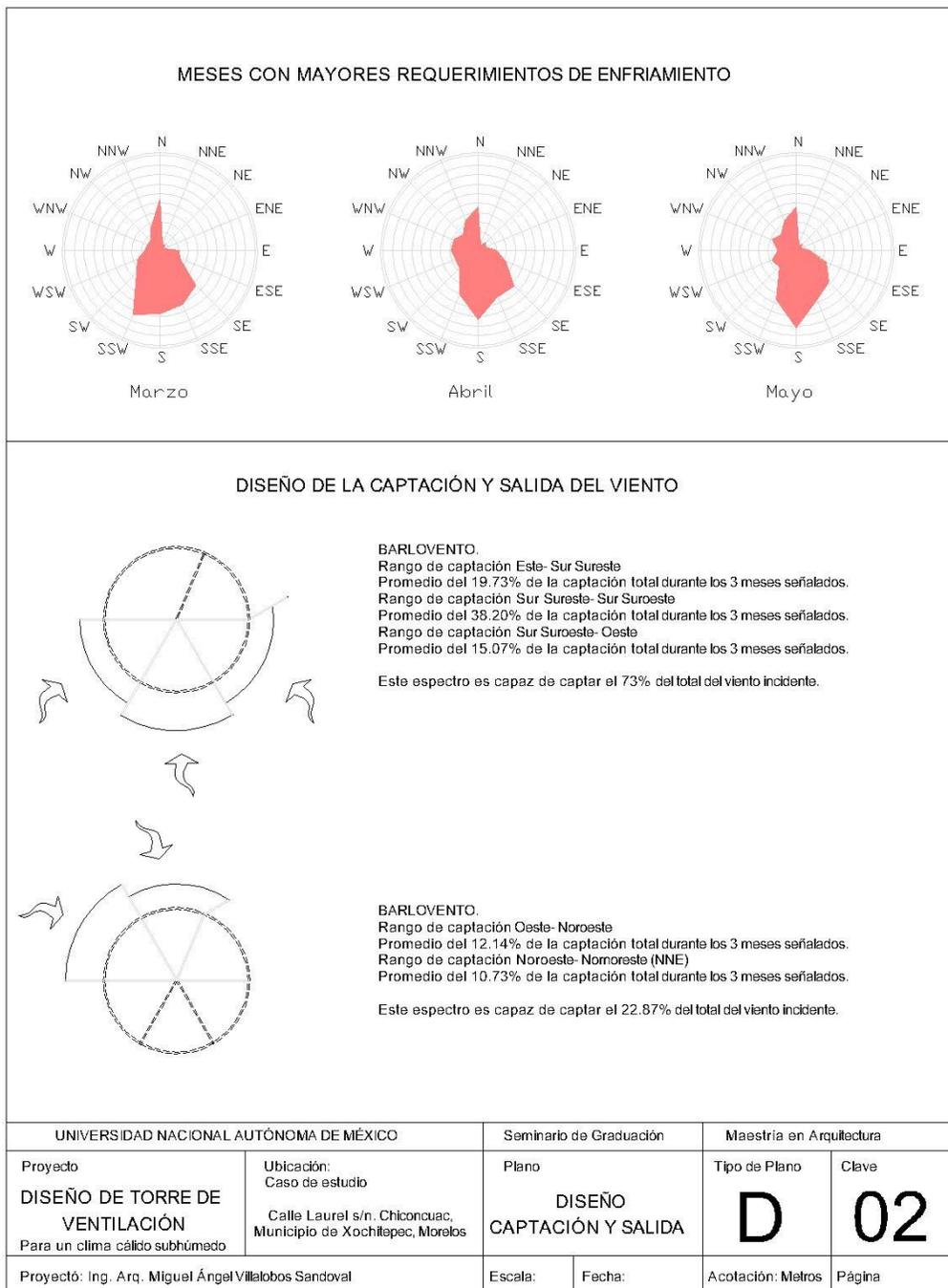


Elaboración propia. 25/04/2016

Al igual que la distribución de la sección del elemento, para un funcionamiento más eficiente, el área de captación se orientará hacia las zonas de presión positiva (Barlovento), mientras que la salida de aire caliente se orientará hacia la zona de presión negativa (Sotavento). Con tal fin se tomarán como referencia las gráficas de los meses con mayor requerimiento de enfriamiento.

Plano D 02

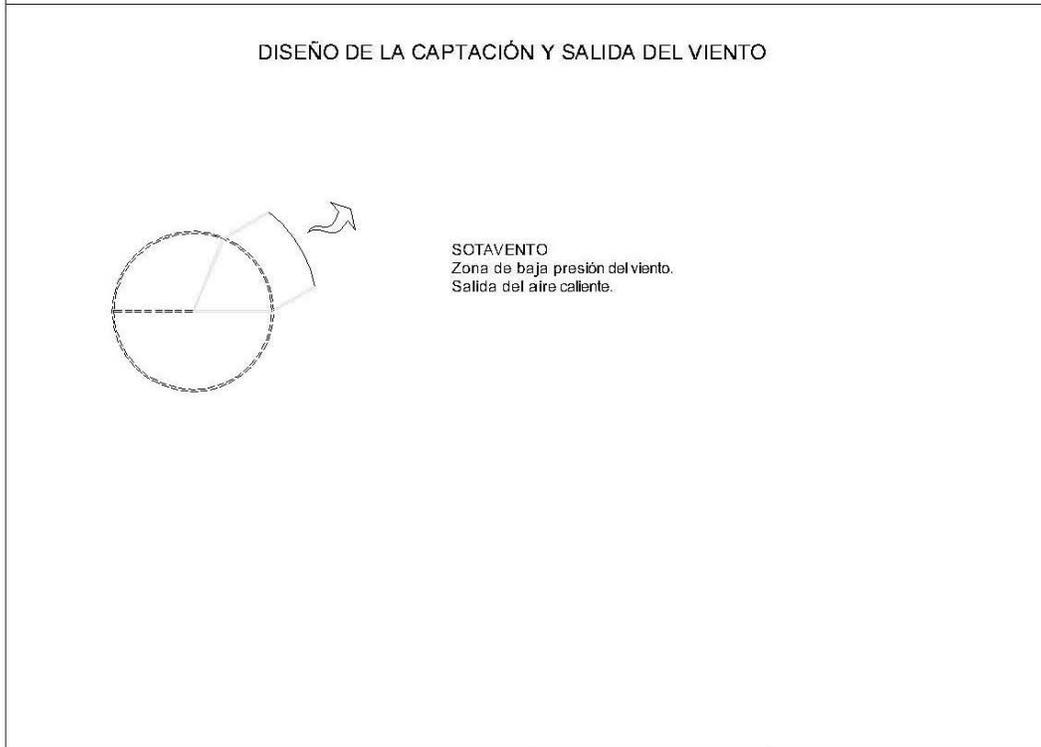
Diseño de la sección de la cubierta del elemento, para la captación del viento con base en las zonas de Barlovento.



Elaboración propia. 25/04/2016

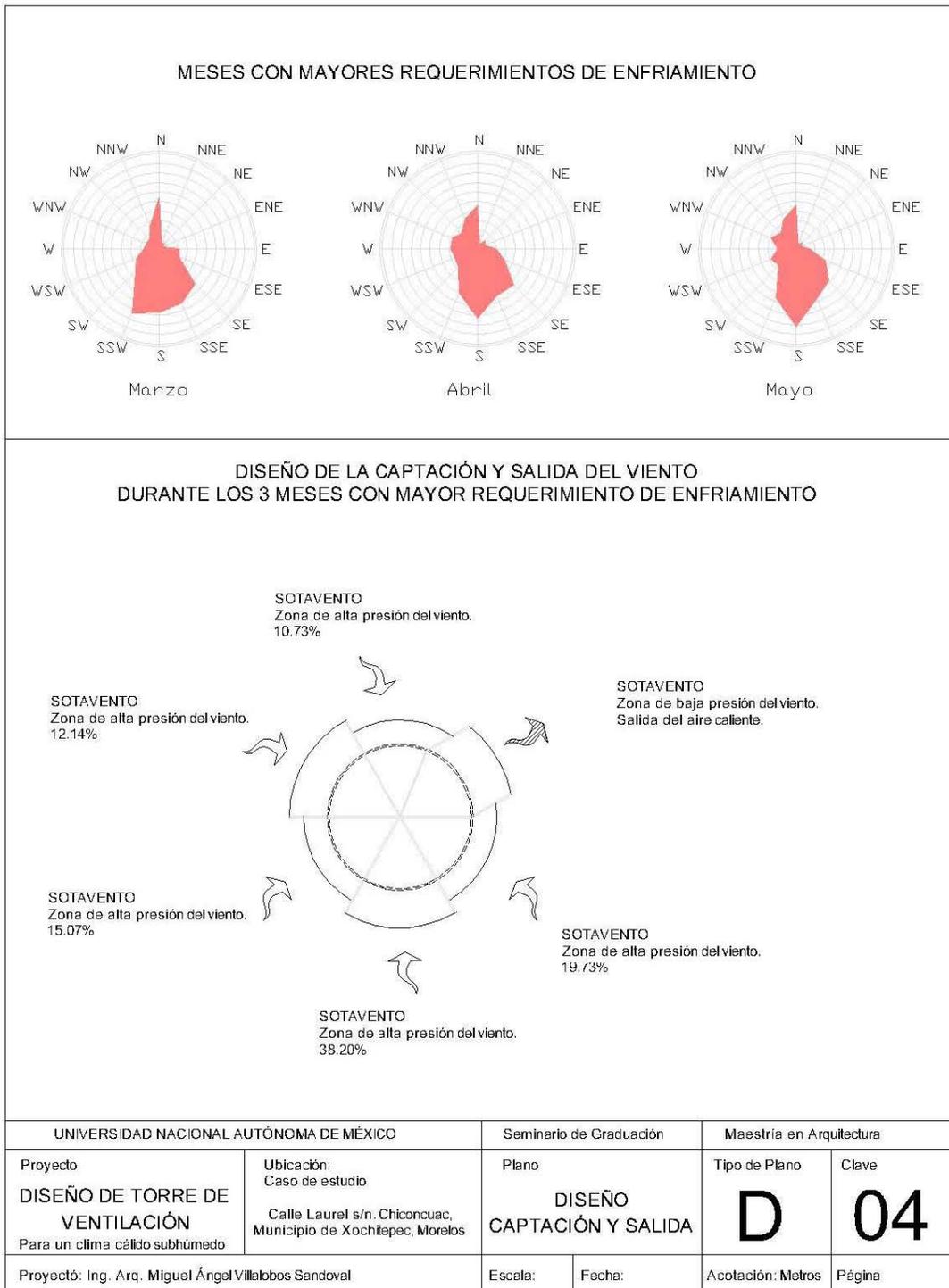
Plano D 03

Diseño de la sección de la cubierta del elemento, para la salida del viento con base en la zona de Sotavento.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Seminario de Graduación	Maestría en Arquitectura	
Proyecto DISEÑO DE TORRE DE VENTILACIÓN Para un clima cálido subhúmedo	Ubicación: Caso de estudio Calle Laurel s/n. Chiconcuac, Municipio de Xochitepec, Morelos	Plano DISEÑO CAPTACIÓN Y SALIDA	Tipo de Plano D	Clave 03
Proyectó: Ing. Arq. Miguel Ángel Villalobos Sandoval		Escala:	Fecha:	Acolación: Metros
				Página

Elaboración propia. 25/04/2016



Modelos de flujo de aire en el interior de los edificios

Las fuerzas que proporcionan la ventilación natural en la edificación pueden agruparse según las siguientes categorías: 1. Movimientos del aire producidos por diferencias de presión; 2. Intercambio del aire por diferencia de temperatura. Ambas fuerzas pueden actuar solas, en conjunto o en oposición, siempre dependiendo de las condiciones atmosféricas y del diseño del edificio.

Efecto Venturi

El efecto Venturi, implícito en muchas maneras del comportamiento del viento anteriormente estudiadas, consiste principalmente en el aumento de velocidad que sufre el viento al ser comprimido en su paso. Si se encauza al viento y se hace pasar por un área más reducida que por donde fluía, se incrementará su velocidad precisamente donde el área sea menor; por el contrario, disminuirá su velocidad si se hace pasar por un área más amplia.

De esta forma se puede aprovechar el efecto Venturi para aumentar o disminuir la velocidad del viento tanto en espacios urbanos como en espacios arquitectónicos exteriores o interiores, según convenga a los requerimientos básicos de confort.

Si se aplica la fórmula $V = Q/rxA$ se puede determinar el incremento de velocidad debido al efecto Venturi, al variar el área (sección) de paso de una cantidad constante de aire.

Dónde: V = Velocidad del viento

Q = Cantidad de aire

r = Relación de abertura

A = área de abertura (sección)

Para una cantidad constante de aire de 1 m³/s tendremos:

$$V = \frac{1\text{m}^3/\text{s}}{0.5971108 \times A}$$

Entonces, para un área de 1 m²

$$V = \frac{1\text{m}^3/\text{s}}{0.5971108 \times 1\text{ m}^2}$$

$$V = 1.67473 \text{ m/s}$$

Capacidad calorífica del aire

La capacidad calorífica del aire varía ligeramente con la humedad, pero puede expresarse con cierta precisión por medio de la siguiente ecuación según García C. y Fuentes F.:

$$W_v = 0.33 N V_o (t_i - t_e)$$

Donde:

W_v = Capacidad calorífica del aire (watts) (pérdida de calor)

N = Número de cambios aire/ hora.

V_o = Volumen del local (m³)

t_i = Temperatura interior (de salida en °C)

t_e = Temperatura exterior (de entrada en °C)

Por lo tanto el número de cambios de aire/hora necesarios para disipar una cierta cantidad de calor excesivo es:

$$N = \frac{W_v}{0.33 V_o (t_i - t_e)}$$

Y la cantidad que debe pasar cada segundo para garantizar este número de cambios es igual a:

$$Q = V_o \times N / 3600 \text{ en m}^3/\text{s}$$

De tal forma, las pérdidas (o ganancias) de calor por ventilación también pueden expresarse por:

$$W_v = 1200 Q \Delta t$$

Donde:

Q = Cantidad de ventilación (m³/s)

Δt = Diferencia de temperaturas ($t_i - t_e$)

Caso de Estudio

Conjunto de habitaciones localizadas en el municipio de Xochitepec, en el estado de Morelos. Orientadas hacia el sur, por lo que la incidencia de la radiación solar directa es constante y genera un sobrecalentamiento de los espacios interiores, a pesar de que la masa térmica de la construcción, retarda el efecto de calentamiento, puesto que la sección del muro de adobe tiene un espesor de 20 cm.

Ilustración 67

Conjunto de bungalos en Xochitepec, Morelos, México.



Elaboración propia 09/08/2009

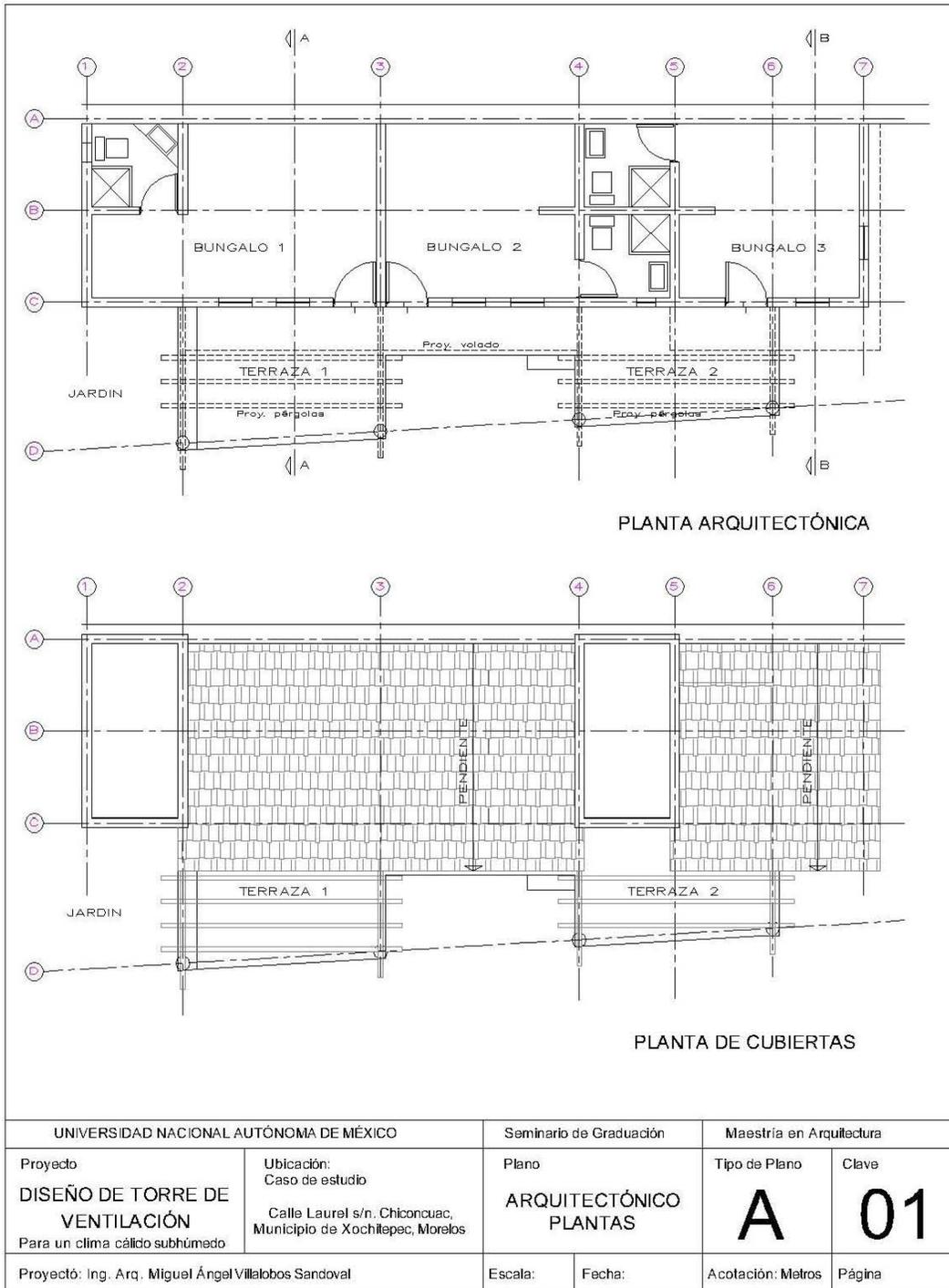
Las plantas arquitectónicas particulares nos muestran una edificación alineada sobre un eje este-oeste, localizado en el lado norte del predio.

Como también se puede apreciar la estructura es de una sola planta, por lo cual la altura de la torre se considerará a partir del Nivel de Piso Terminado del interior de las habitaciones, es decir a 35 cm. por encima del Nivel del Terreno Natural.

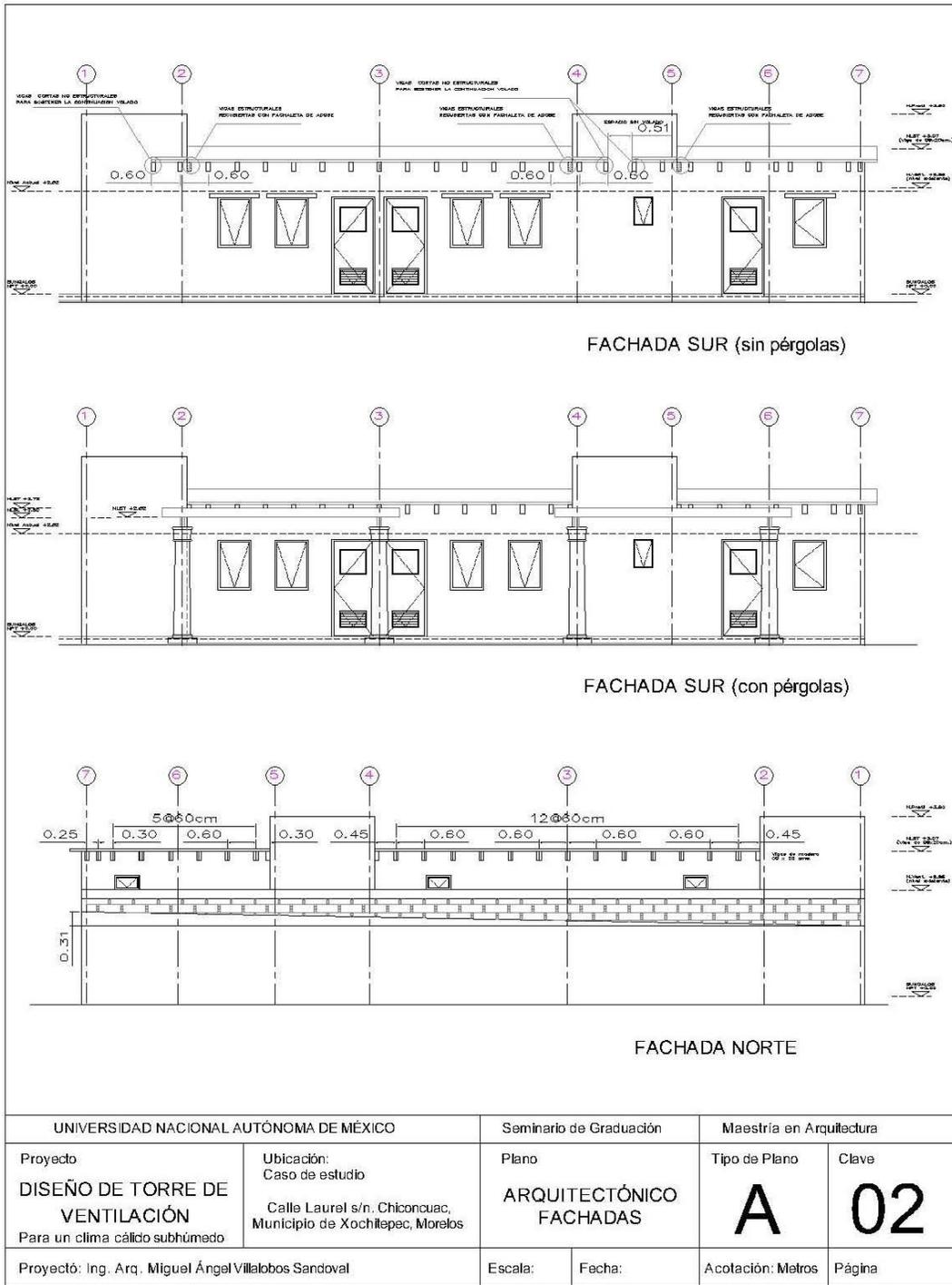
Se tomará como caso particular, la habitación del lado izquierdo, ya que es la que tiene un mayor volumen y una mayor superficie expuesta a la radiación solar directa, además de estar confinada en su fachada poniente por un muro que consecuentemente recibe la radiación solar vespertina.

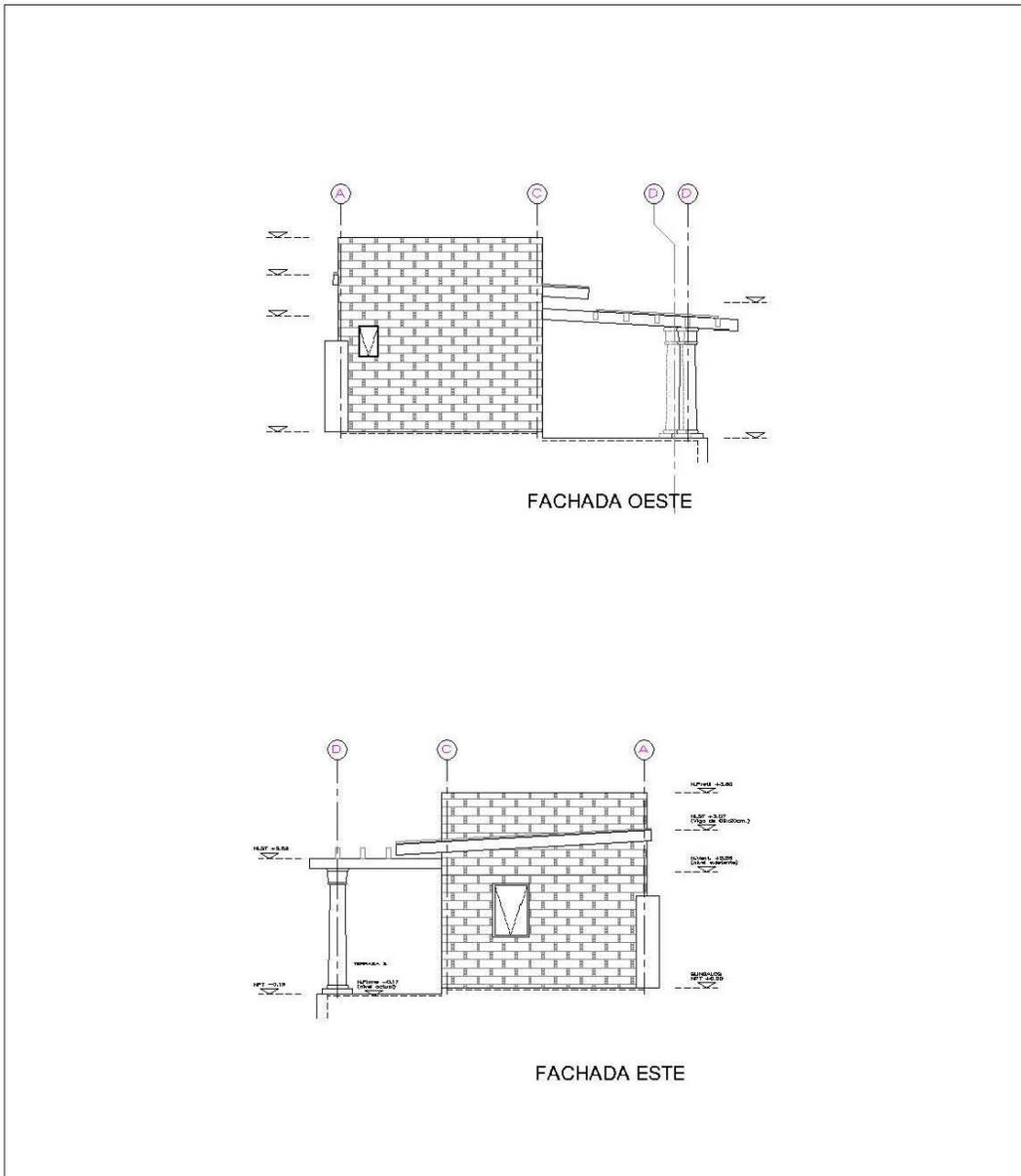
La habitación seleccionada para la elaboración de los cálculos correspondientes presenta las siguientes medidas 4.05 m x 6.35 m x 2.75 m. de altura promedio.

Plano A 01
Plantas Arquitectónicas actuales.



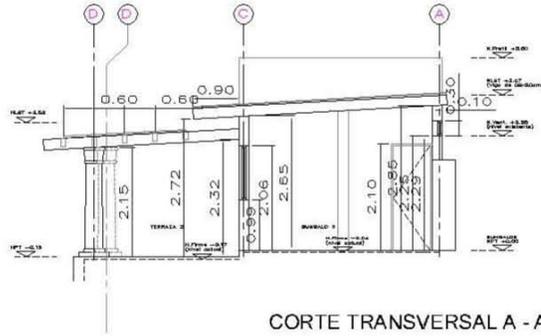
Elaboración propia 24/06/2016



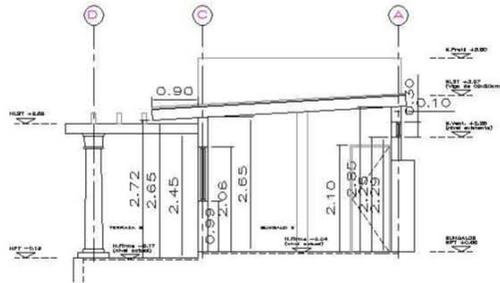


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Seminario de Graduación		Maestría en Arquitectura	
Proyecto	Ubicación:	Plano	Tipo de Plano	Clave	
DISEÑO DE TORRE DE VENTILACIÓN	Caso de estudio	ARQUITECTÓNICO FACHADAS	A	03	
Para un clima cálido subhúmedo	Calle Laurel s/n., Chiconcuac, Municipio de Xochitepec, Morelos	Escala:	Fecha:	Acotación: Metros	Página
Proyectó: Ing. Arq. Miguel Ángel Villabos Sandoval					

Plano A 04
 Cortes Arquitectónicos actuales.



CORTE TRANSVERSAL A - A



CORTE TRANSVERSAL B - B

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Seminario de Graduación		Maestría en Arquitectura	
Proyecto DISEÑO DE TORRE DE VENTILACIÓN Para un clima cálido subhúmedo	Ubicación: Caso de estudio Calle Laurel s/n. Chiconcuac, Municipio de Xochitepec, Morelos	Plano ARQUITECTÓNICO CORTES	Tipo de Plano A	Clave 04	
Proyectó: Ing. Arq. Miguel Ángel Villalobos Sandoval		Escala:	Fecha:	Acotación: Metros	Página

Elaboración propia 24/06/2016

Cálculo para determinar las ganancias térmicas del inmueble de estudio.

Determinación de las ganancias o pérdidas de calor que sufrirá una de las habitaciones ubicada en la construcción, motivo del caso de estudio, ubicada en la comunidad de Xochitepec el 17 de abril a las 15:00 hrs. Como se documentó, abril es el mes más cálido, puesto que la tabla 06 indica que es el mes con un mayor número de horas que requieren enfriamiento y también ha podido determinar que las 3 de la tarde es el momento del día con la temperatura más elevada en cualquier lugar.

La metodología empleada para determinar las ganancias térmicas de la edificación considerada, es la propuesta en el Capítulo 8 del Manual de Arquitectura Solar.

Datos de Diseño.

Datos del Clima

Latitud = 18° 51', longitud = 99° 13', altitud = 1,112 msnm.

Temperatura exterior (t_e) = 33.9 °C (TBS).

Temperatura interior (t_i) = 31.9 °C (TBS).

Velocidad del viento (v) = 1.5 m/s en el mes de abril y mayo.

Dirección del viento Sur.

Radiación teórica para el cenit / = 948 W/m²

Datos de la Estructura

Dimensiones: 4.05 m x 6.35 m x 2.75 m.

	B Espesor (m)	K Conductividad (W/m °C)
Muros		
Tabique de adobe	0.20	0.30

Absortancia $\alpha = 0.70$

Conductancia a superficial interior $f_i = 8.13$ (W/m² °C)

Conductancia superficial exterior $f_e = 10.93 + 4.1 v$

$f_e = 17.08$ (W/m² °C)

Resistencia total

$R_a = (1/8.13) + (0.20/0.30) + (1/17.08)$

$R_a = 0.849$ (m² °C/W)

Coeficiente de transmisión

$$u = 1/Ra = 1.78 \text{ (W/m}^2 \text{ °C)}$$

	b Espesor (m)	k Conductividad (W/m °C)
Teja de barro	0.01	0.49
Entortado de mortero	0.04	0.63
Celosía de barro	0.03	0.81
Madera dura	0.20	0.15

Absortancia $\alpha = 0.70$

Conductancia a superficial interior $fi = 6.63 \text{ (W/m}^2 \text{ °C)}$

Conductancia superficial exterior $fe = 17.08 \text{ (W/m}^2 \text{ °C)}$

Resistencia total

$$Ra = (1/6.63) + (0.01/0.49) + (0.04/0.63) + (0.03/0.81) + (1/17.08) + (0.20/0.15)$$

$$Ra = 1.66 \text{ (m}^2 \text{ °C/W)}$$

Coeficiente de transmisión

$$u = 1/Ra = 0.60 \text{ (W/m}^2 \text{ °C)}$$

Ventana	Espesor (m)
Vidrio sencillo	0.004

Coeficiente de transmisión:

$$U = 5.4 \text{ (W/m}^2 \text{ °C)}$$

Transitancia	$\tau = 0.81$
Absortancia	$\alpha = 0.11$
Reflectancia	$\rho = 0.08$
Reemisión	$\epsilon i = 0.03$

Puerta	Espesor (m)
Puerta de ½ tambor de Triplay de madera de pino	0.006

Coeficiente de transmisión:

$$U = 4.46 \text{ (W/m}^2 \text{ °C)}$$

Absortancia $\alpha = 0.6$

Datos del interior

Dos personas

Dos focos de 40 w c/u

Un televisor en colores

Qs –ganancia solar-

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA RADIANTE (G) PARA CADA SUPERFICIE

- Posición solar el 17 de abril a las 15:00 hr.
Latitud $18^{\circ} 51'$
Longitud $99^{\circ} 13'$
- Cálculo de la declinación, aplicando la ecuación de Cooper
 $= 23.45 \text{ sen } [360 (284 + 107) / (365)]$
 $= 10^{\circ} 43' 57''$
 $= + 10.73^{\circ}$
- Cálculo de la altura solar
 $\text{Sen } h = \cos 18.85 \cos 10.73 \cos - 45 + \text{sen } 18.85 \text{ sen } 10.73$
 $\text{Sen } h = 0.71763619$
 $h = 45.86^{\circ}$
- Cálculo del acimut
 $\text{Sen } z = (\cos 10.73 \text{ sen } - 45) / \cos 45.86$
 $\text{Sen } z = - 0.997583142$
 $z = -86.01571264$
 $= (-86.09^{\circ}) = (93.91^{\circ} \text{ al oeste a partir del sur})$
- Determinación de ángulos de incidencia
Muro norte
 $\text{Cos } \Theta_2 = \cos 45.86 \cos 86.09$
 $\text{Cos } \Theta_2 = 0.047488063$
 $= 87.28^{\circ}$

Muro oeste
 $\text{Cos } \Theta_2 = \cos 45.86 \cos 3.91$
 $(0.142629) (0.0174524)$
 $\text{Cos } \Theta_2 = 0.694792995$
 $= 0.0025$
 $= 45.99^{\circ}$
- Determinación de la energía solar incidente (donde $I = 948 \text{ Wm}^2$)
Losa
 $G_1 = 948 \sqrt{\text{sen } 45.86} = 948 \times 0.895300725$
 $G_1 = 848.75 \text{ (W/m}^2\text{)}$

Muro norte

$$G_2 = 948 \sqrt[3]{\sin 45.86} \cos 87.28$$

$$G_2 = 40.28 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Muro oeste

$$G_3 = 948 \sqrt[3]{\sin 45.86} \cos 45.99$$

$$G_3 = 589.69 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

- Los muros este y sur no reciben radiación solar directa

$$Q_s = g A \alpha \text{ (Ulfe)}$$

$$= 848.75 \times 22.948 \times 0.70 \text{ (3.03/17.08)}$$

$$= 2,418.67 \text{ (W)}$$

$$Q_s 2 = 848.75 \times 2.772 \times 0.70 \times (0.60/17.08)$$

$$= 57.85 \text{ (W)}$$

$$Q_s 3 = 40.28 \times 12.5 \times 0.70 \text{ (1.78/17.08)}$$

$$= 36.73 \text{ (W)}$$

$$Q_s 4 = 589.69 \times 11.14 \times 0.70 \text{ (1.78/17.08)}$$

$$= 479.22 \text{ (W)}$$

$$Q_s \text{ total} = 2,418.67 + 57.85 + 36.73 + 479.22$$

$$= 2,992.47 \text{ (W)}$$

Qi –ganancias internas-

Dos personas	115 W c/u	230 W
Dos focos	40 W c/u	80 W
Una televisión en colores	250 W	250 W
	Qi total =	<hr/> 560W

Qc –ganancias por conducción-

$$Q_c = \Sigma (A U) \Delta t$$

Losa	25.72	3.11	= 80.0
Muro	57.2	1.78	= 101.82
Vidrio	2.40	5.40	= 12.96
Puerta	1.64	4.46	= 7.31
		$\Sigma (A U)$	<hr/> = 202.1

Disipación de calor excedente por medio de la ventilación.

Cálculo de la demanda de aire.

Si cada persona produce 0.015 m³/h de CO² y se desea que la concentración de este gas no sobrepase el 0.1%, cuando la ventilación se realiza induciendo aire con una concentración de 0.05% de CO²

$$N = \frac{0.015}{0.001 - 0.0005} \times 2 \text{ personas} \quad N = 60 \text{ m}^3/\text{h}$$

Renovaciones de aire necesarias para mantener esta calidad.

Volumen del espacio interior.

$$\text{Superficie } 25.72 \text{ m}^2 \times 2.75 = 70.73 \text{ m}^3$$

$$60 \text{ m}^3/\text{hora} / 70.73 \text{ m}^3 = 0.85 \text{ cambios/ hora}$$

Si la ganancia solar transferida a la vivienda a través de la estructura es de 3,429.10 watts.

Considerando la temperatura máxima del mes de abril de 34°C y las ganancias caloríficas internas de 115 watts/persona y aproximadamente 330 watts aportados por equipos electrodomésticos ¿cuántos cambios de aire por hora se necesitarán para mantener la temperatura interior por debajo de 34 °C?

Total de ganancias caloríficas

Ganancias solares	2,992.47	Watts
Ganancias por conducción	202.10	
115 w/p x 2p	230.00	
330 W de aparatos	330.00	
	<hr/>	
	3,754.57	Watts

$$W = 0.33 \text{ NV } (t_i - t_e)$$

Dónde: W = Capacidad calorífica del aire (watts) (pérdida de calor)

N = Número de cambios de aire/hora

Vo = Volumen del local

t_i = Temperatura interior (de salida en °C)

t_e = Temperatura exterior (de salida en °C)

$$N = \frac{W}{0.33 \text{ Vo } (t_i - t_e)}$$

$$N = \frac{3755}{0.33 \times 71 \times 2}$$

N = 80.13 cambios

$$85.13 \times 71 = 5,689.39 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{1.58 \text{ m}^3/\text{s}}$$

¿Cuál es el área mínima que deben tener las aberturas para garantizar la disipación calorífica de 3,699.00 watts, con una ventilación de 1.68 m³/s, si la velocidad del viento es de 1.5 m/s con dirección **S**?

El paso siguiente consiste en calcular el área mínima que deberán tener las aberturas para garantizar la disipación calorífica de 3,699.00 watts, con una ventilación de 1.58 m³/s, considerando que la velocidad del viento es de 1.5 m/s con dirección **S**.

$$Q = r V A (\text{sen } \Theta)$$

Dónde: Q = Cantidad de aire nuevo
V = velocidad del viento (m/s)
A = Área de abertura de entrada (m²)
Θ = Ángulo que forman la dirección del viento y el plano de la abertura.
r = Relación entre la abertura de entrada y salida
r = 0.5971108 x fr (factor de relación)

Con base en la rosa de los vientos el ángulo que forman la dirección del viento dominante y el plano de la abertura es 90°.

$$A = \frac{Q}{rV \text{sen } \Theta} \qquad A = \frac{1.58}{0.5971108 \times 1.5}$$

A = **1.76 m²**

Si no hubiera viento, pero existiera una diferencia de temperatura entre el aire exterior (que entra) y el aire interior (que sale) de 2.0 °C y una diferencia de altura (H) entre las aperturas de entrada y salida de 3.5 m.

Con un área de 1.76 m² respectivamente, ¿cuál será la velocidad del flujo de aire que se creará debido al efecto "stack"?

$$V = 0.111 A \sqrt{H (t_i - t_e)}$$
$$V = 0.111 \times 1.76 \sqrt{4.0 \times 2.0}$$
$$V = 0.55 \text{ m/s}$$

Sin embargo Fuentes Freixanet, sugiere un ajuste en el coeficiente de efectividad de la abertura con un valor de 0.165, conciliando los valores propuestos por Olgyay y Givoni. Por lo que una vez sustituido este valor en la fórmula anterior, se obtiene la velocidad de viento siguiente:

$$V = 0.82 \text{ m/s}$$

Cantidad de aire que entrará debido a este flujo.

$$Q = rVA \text{ sen } \theta$$

$$Q = 0.5971108 \times 0.82 \times 1.76$$

$$Q = 0.86 \text{ m}^3/\text{s} \qquad q = 3,102.30 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$3,102.3/71 = 43.69 \text{ cambios de aire /h}$$

Dimensionamiento de las aberturas.

$$\text{Área de aberturas de entrada } 1.76 \text{ m}^2$$

Área óptima de abertura de salida:

$$1.76 \times 1.25 = 2.20 \text{ m}^2$$

Dimensionamiento de ventanas en caso de utilizar tela de mosquitero de nylon.

$$\text{Área de aberturas de entrada } 1.76 \times 1.40 = 2.46 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de aberturas de salida: } 2.20 \times 1.40 = 3.08 \text{ m}^2$$

Conclusiones derivadas del modelo para el diseño de la ventilación

Fuentes Freixanet, menciona en su libro “ventilación natural” que la zona de confort muy probablemente se amplía 0.55°C por cada 0.15 m/s de ventilación, para velocidades hasta de 1 m/s y una temperatura hasta 37°C.

Derivado del cálculo anterior, del movimiento del aire sin presencia del viento.

$$\text{Reducción de la temperatura} = (0.88/0.15) 0.55$$

$$\text{Reducción de la temperatura} = 3.22^\circ\text{C}$$

Reducción de la temperatura sin viento 3.2° C

Si se induce una corriente y constante de aire con una velocidad promedio de 1.5 m/s, se tiene que:

Reducción de la temperatura = $(1.5/0.15) 0.55$

Reducción de la temperatura = 5.5°C

Reducción de la temperatura por efecto de la velocidad del viento promedio 5.5°C

Debido a que la temperatura de confort oscila entre los 22.5°C y los 27.5°C para esta localidad, existe la posibilidad de reducir las temperaturas máximas hasta la zona de confort que lleguen hasta los 33°C, sin contar la reducción por efecto de las ráfagas de viento.

Por lo tanto solamente durante el mes de abril se tendrán 120 horas por encima del nivel de confort por menos de un grado y durante el mes de mayo solamente 62 horas por menos de 0.5°C.

Si un año calendario tiene 365 días, equivalentes a 8,760 horas. Se deduce lo siguiente:

Porcentaje del tiempo en un año, con probabilidades estar arriba del rango de confort térmico hasta por 0.9°C, considerando la velocidad promedio del viento.

Porcentaje del total de tiempo = $(182/8,760) 100$

Porcentaje del total de tiempo = 2.08%

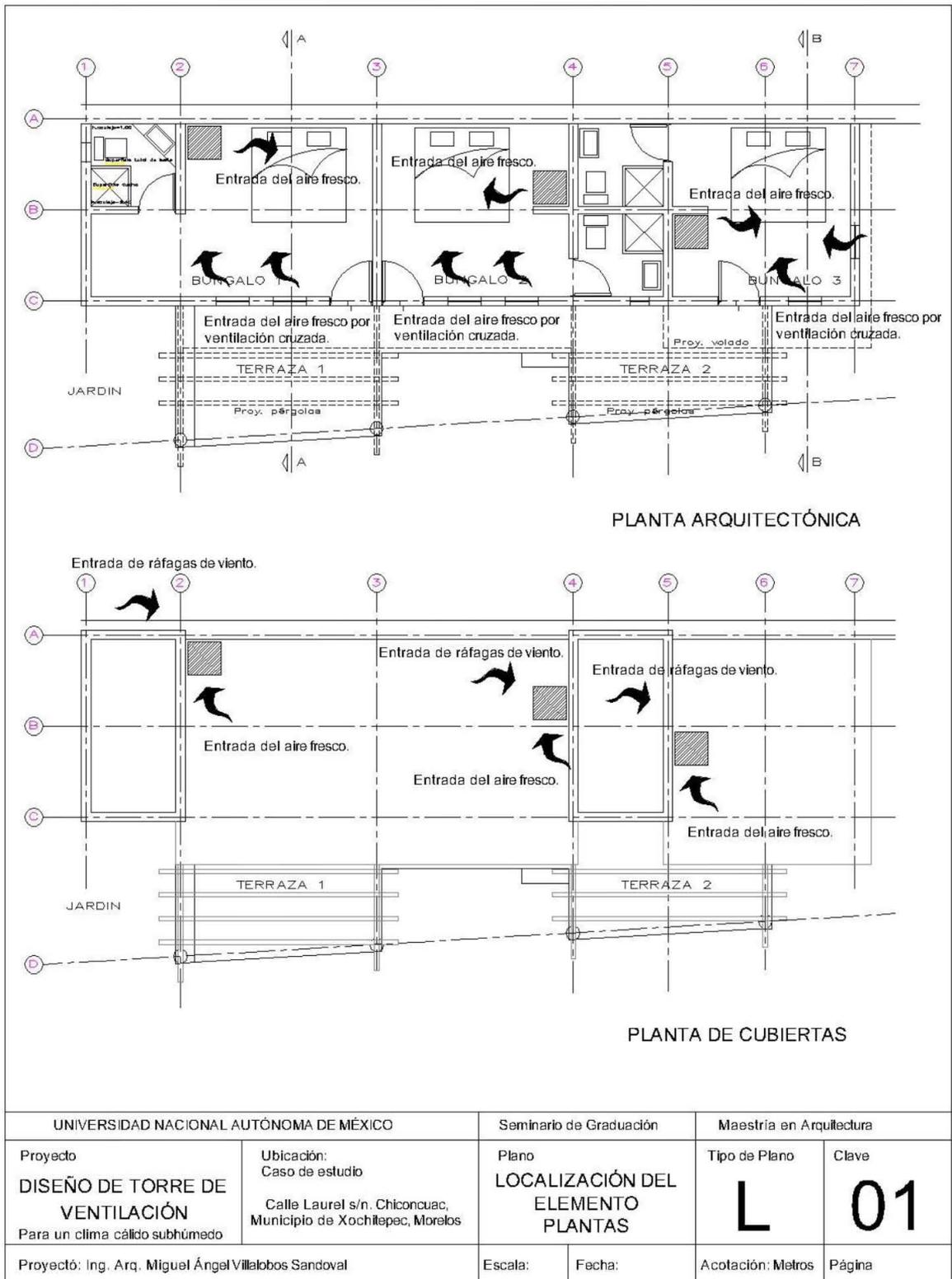
Localización de la torre de ventilación en el edificio.

A continuación se presenta la localización del elemento, con base en un mejor aprovechamiento del espacio interior y un óptimo direccionamiento del viento al interior.

El plano **L 01** señala la localización del elemento propuesto con base en la incidencia de los vientos dominantes, provenientes del rango Sureste – Suroeste, así como la entrada del aire fresco que baja a través de la torre de ventilación. Adicionalmente se considera la ventilación que entra a través de las ventanas orientadas hacia el sur. Por otra parte se señala también en el plano **L 02** la salida del aire caliente al interior de las habitaciones y la disipación del mismo en la planta de techos por la cara expuesta al Sotavento, es decir donde casi no inciden los vientos dominantes.

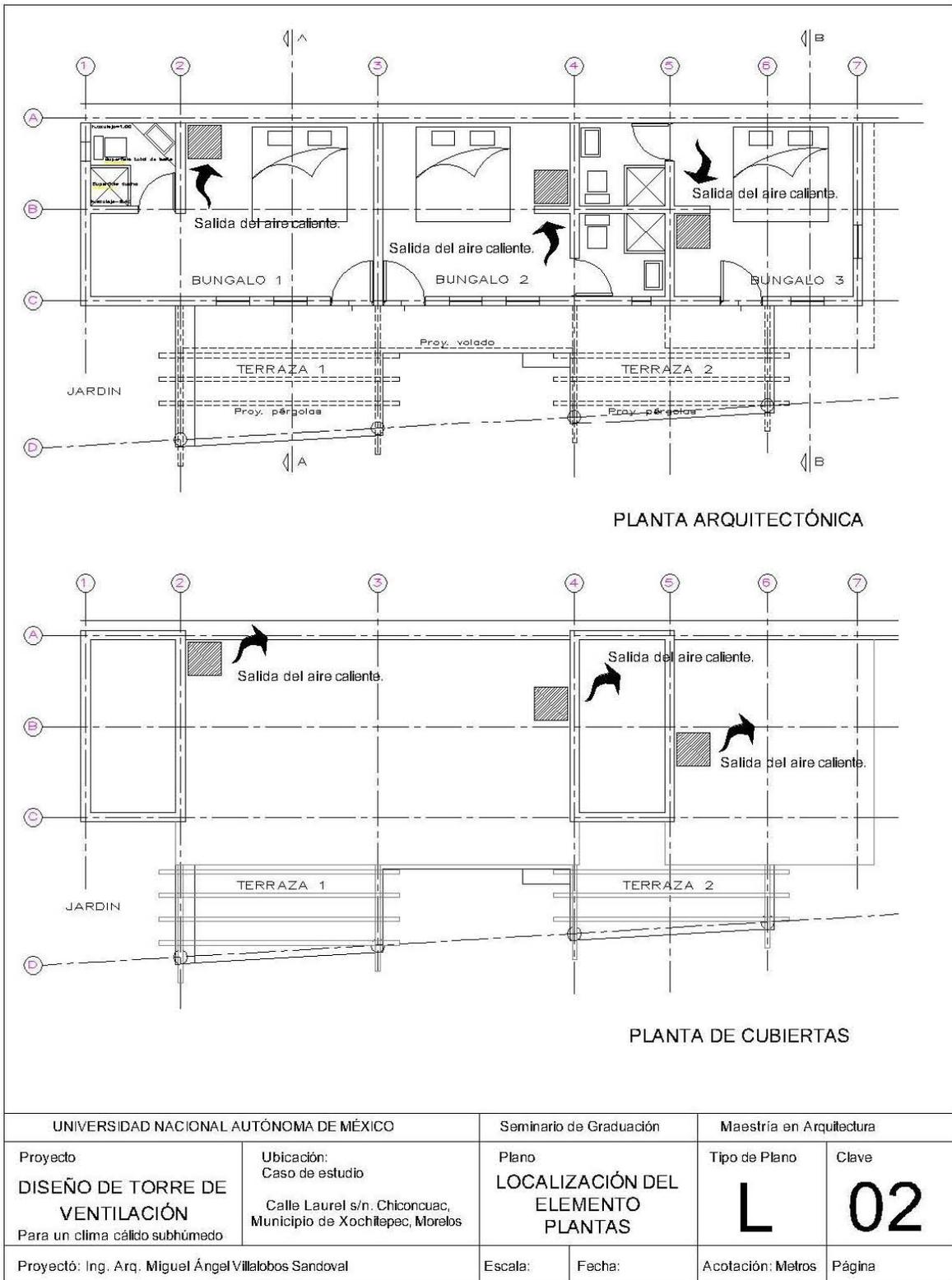
Debido a que son habitaciones de descanso las áreas que conforman la edificación, se dio un mayor énfasis en la ventilación de las zonas cercanas a la cama.

Plano L 01. Localización de las torres de ventilación y de las entradas de aire fresco.

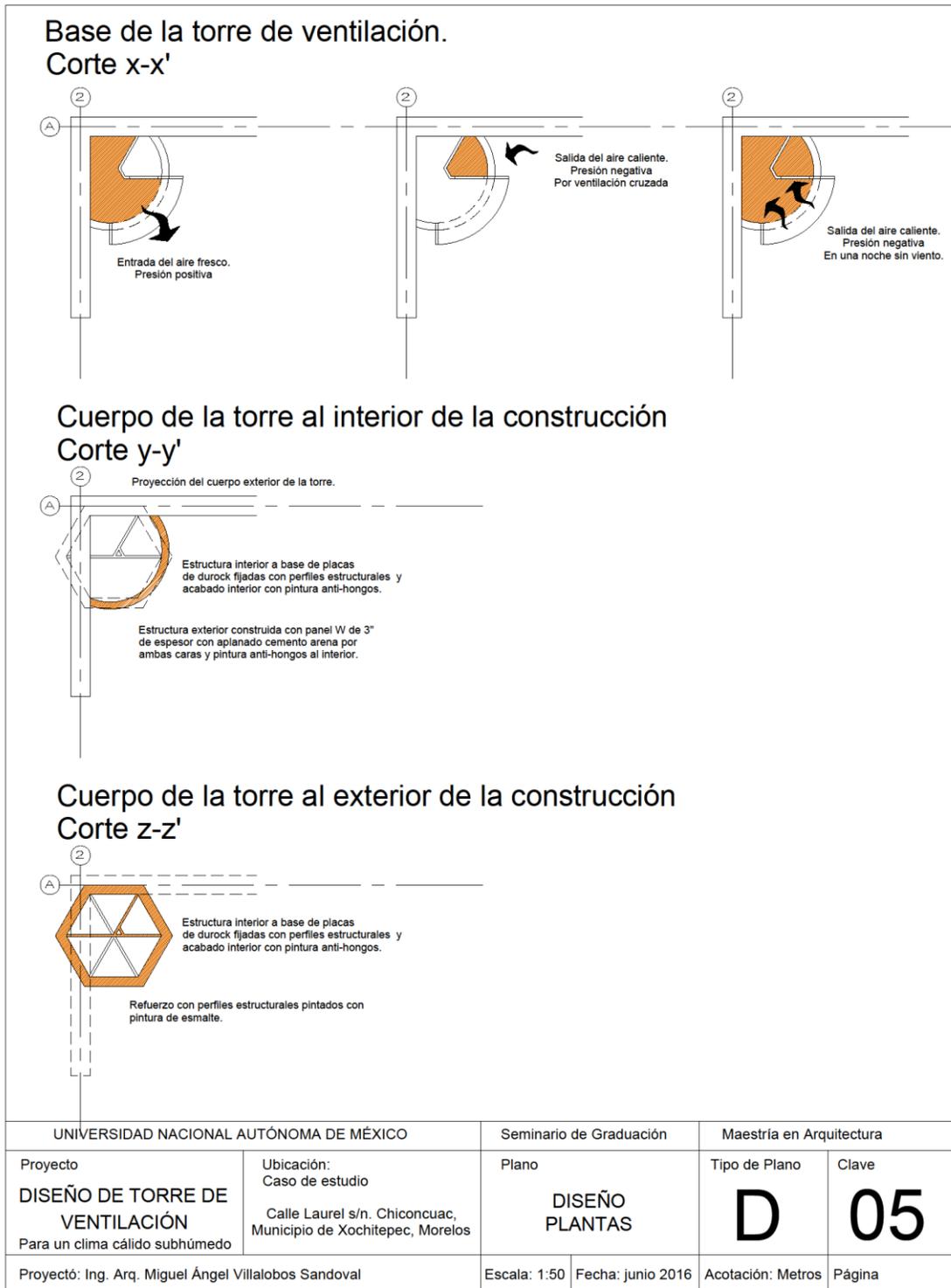


Elaboración propia 24/06/2016

Plano L 02. Localización de las torres de ventilación y de las salidas de aire caliente.



Elaboración propia 24/06/2016



Como se aprecia en el plano **D 05**, el diseño de la zona de desplante del elemento se desarrolla de forma curva, para evitar la aparición de aristas que pudiesen representar algún riesgo para los ocupantes al interior de las habitaciones. Además se busca que al interior de la torre en su parte baja, el aire circule de forma continua y sin obstáculos. Esto se logra mediante la construcción de superficies lisas.

Al igual que un Badgir, esta torre tendrá un número de aberturas par, con el objeto de equilibrar el volumen de aire que ingresa con el volumen que sale con el objetivo de adaptarse a las diferentes fases posibles de funcionamiento de una torre con estas características.

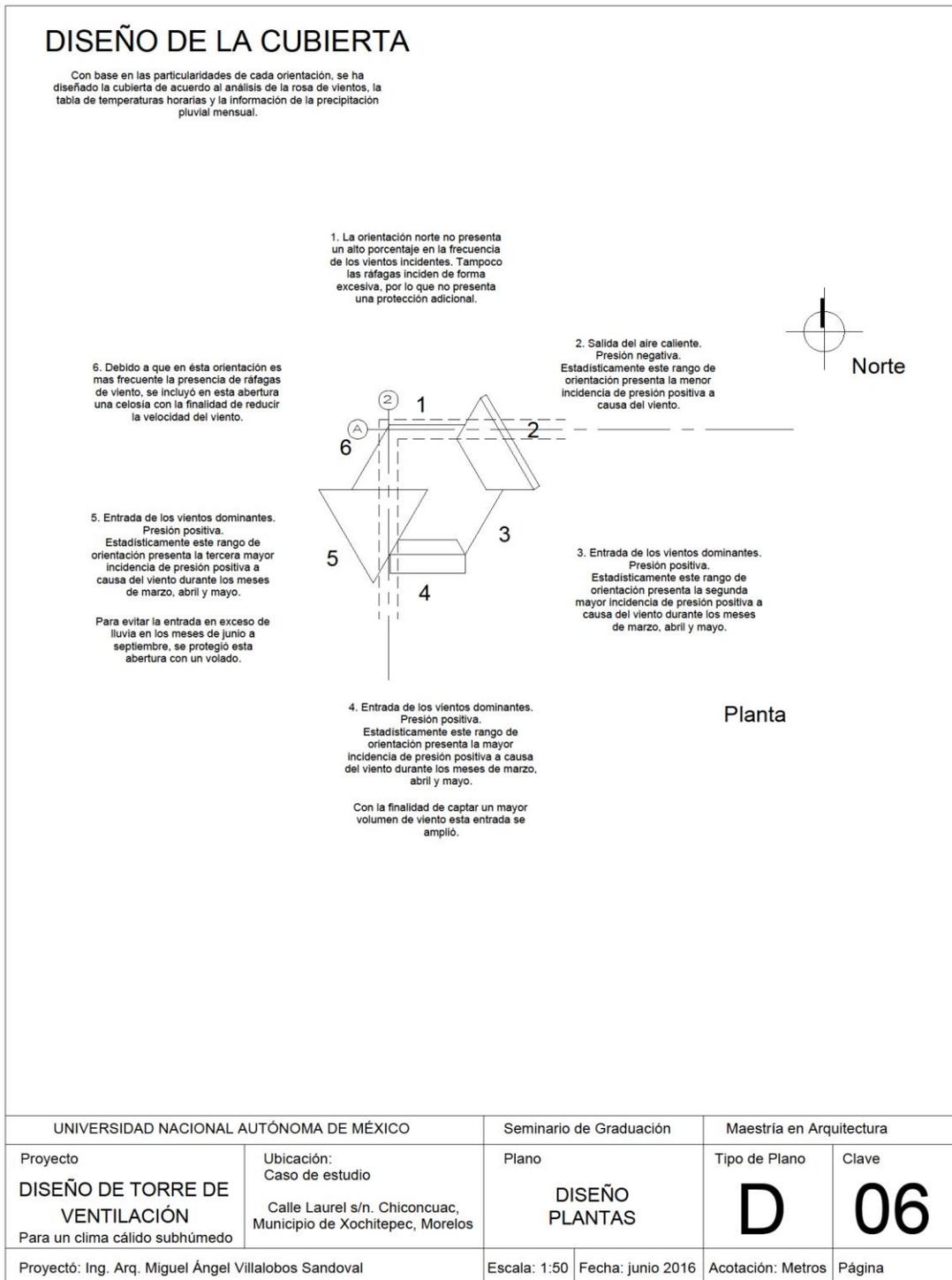
La parte superior de la columna a partir del nivel de lecho superior de azotea se diseñó de forma hexagonal con la finalidad de adaptarse en mayor medida a las áreas de barlovento y sotavento sintetizadas en las rosas de viento.

El diseño de la cubierta planteado en el plano **D 06**, de la torre considera la dirección de los vientos dominantes por estación del año, en particular. Por ejemplo durante la temporada de lluvias, se protegió la abertura suroeste con una cubierta inclinada, mientras que la abertura más grande está orientada hacia el noreste, debido a que es la cara menos expuesta a la incidencia de los vientos dominantes, según la rosa de los vientos trazada para la localidad.

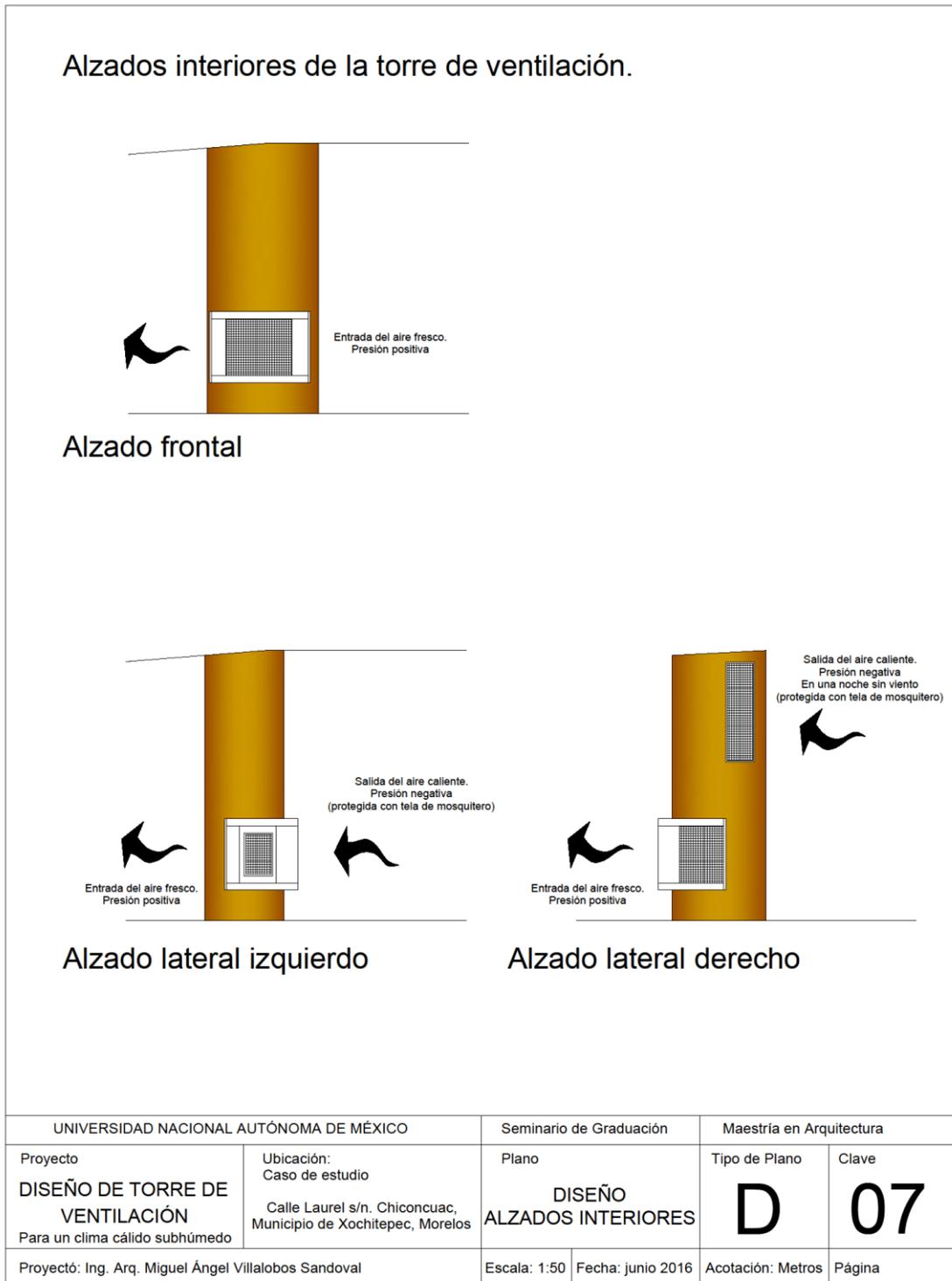
El plano **D 07** muestra en alzado el diseño del cuerpo de la torre al interior de la habitación, ahí se aprecian la abertura en la base para la entrada y salida del aire fresco con base en un funcionamiento diurno, así como una salida superior de aire caliente en caso de requerirse para un funcionamiento nocturno o con calma durante el día, mediante la estratificación del aire por diferencial de temperaturas.

En el plano **D 08** se señalan la ubicación de los cortes transversales que aparecen en el plano D 05 (X-X', Y-Y' y Z-Z'), así como la altura del elemento diseñado, a la que se hace referencia en el cálculo de disipación de calor. Además en este plano se aprecia todo el cuerpo del elemento a partir de su nivel de desplante hasta el remate del mismo. Adicionalmente se puede observar la solución formal de la cubierta, como se debería ver desde el sur de la construcción.

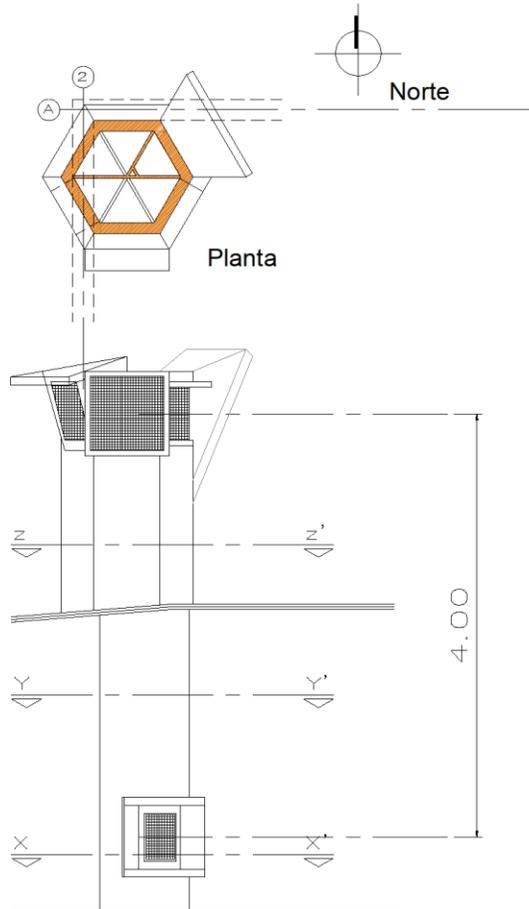
Plano D 06. Diseño de la cubierta, a partir de las entradas de aire fresco y salida de aire caliente.



Elaboración propia 24/06/2016



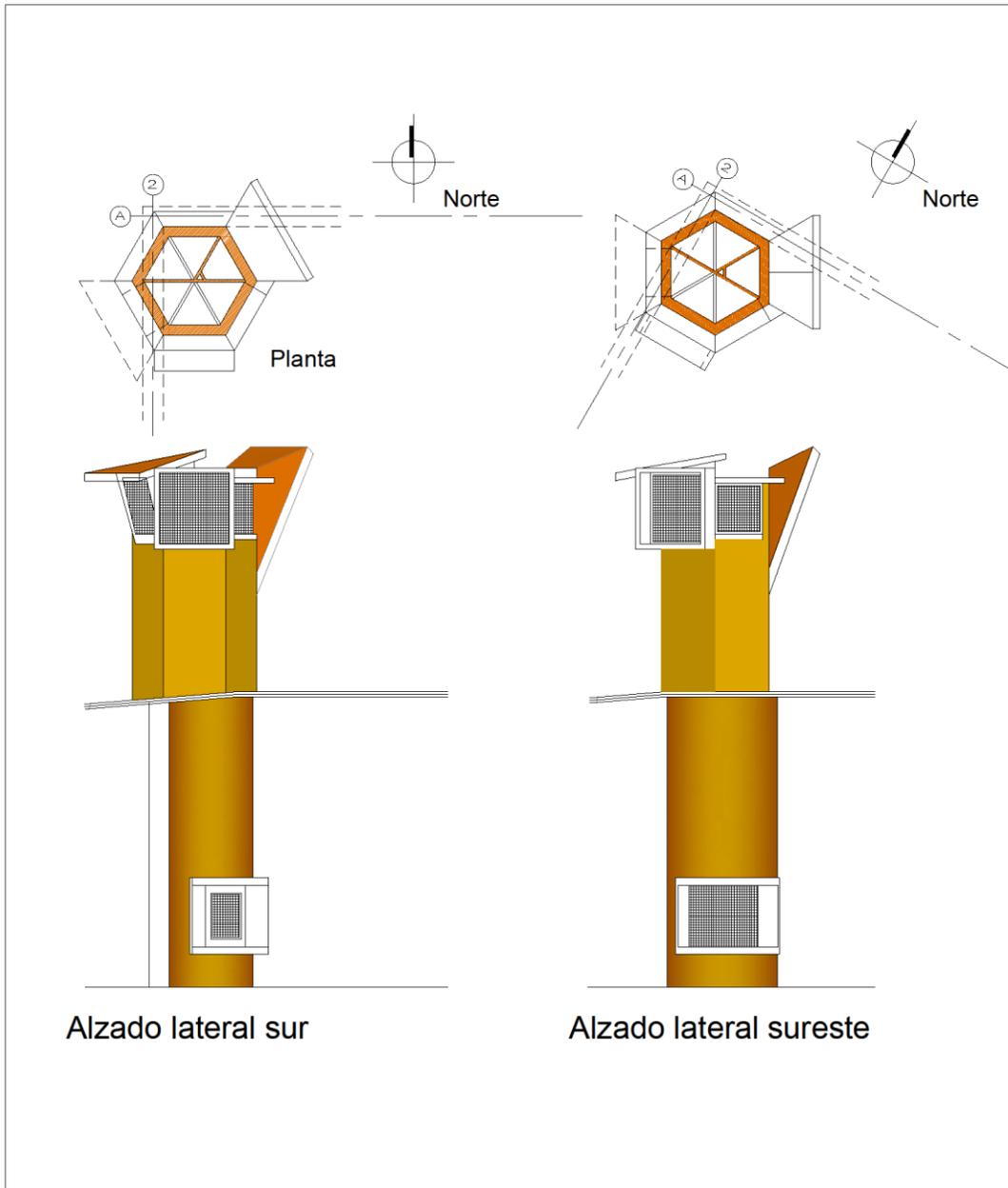
Alzado interior y exterior de la torre de ventilación.



Alzado lateral izquierdo

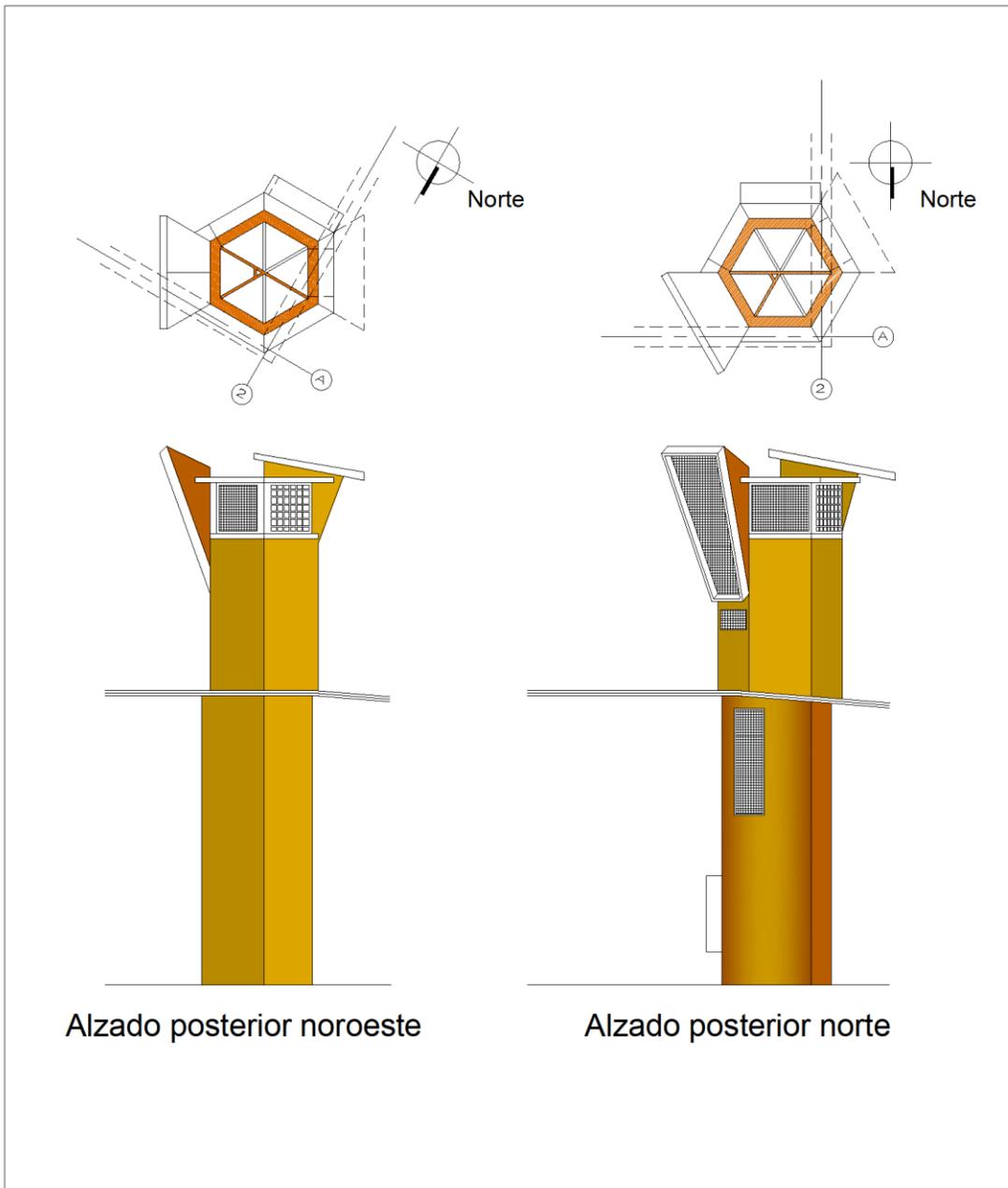
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Seminario de Graduación		Maestría en Arquitectura	
Proyecto	Ubicación:	Plano	Tipo de Plano	Clave	
DISEÑO DE TORRE DE VENTILACIÓN	Caso de estudio	DISEÑO ALZADOS	D	08	
Para un clima cálido subhúmedo	Calle Laurel s/n. Chiconcuac, Municipio de Xochitepec, Morelos	Escala: 1:50	Fecha: junio 2016	Acotación: Metros	Página
Proyectó: Ing. Arq. Miguel Ángel Villalobos Sandoval					

Plano D 09
Plantas y alzados de la torre de ventilación.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Seminario de Graduación		Maestría en Arquitectura	
Proyecto	Ubicación: Caso de estudio	Plano		Tipo de Plano	Clave
DISEÑO DE TORRE DE VENTILACIÓN	Calle Laurel s/n. Chiconcuac, Municipio de Xochitepec, Morelos	DISEÑO ALZADOS		D	09
Para un clima cálido subhúmedo		Proyectó: Ing. Arq. Miguel Ángel Villalobos Sandoval	Escala: 1:50	Fecha: junio 2016	Acotación: Metros Página

Plano D 10.
Plantas y alzados de la torre de ventilación.

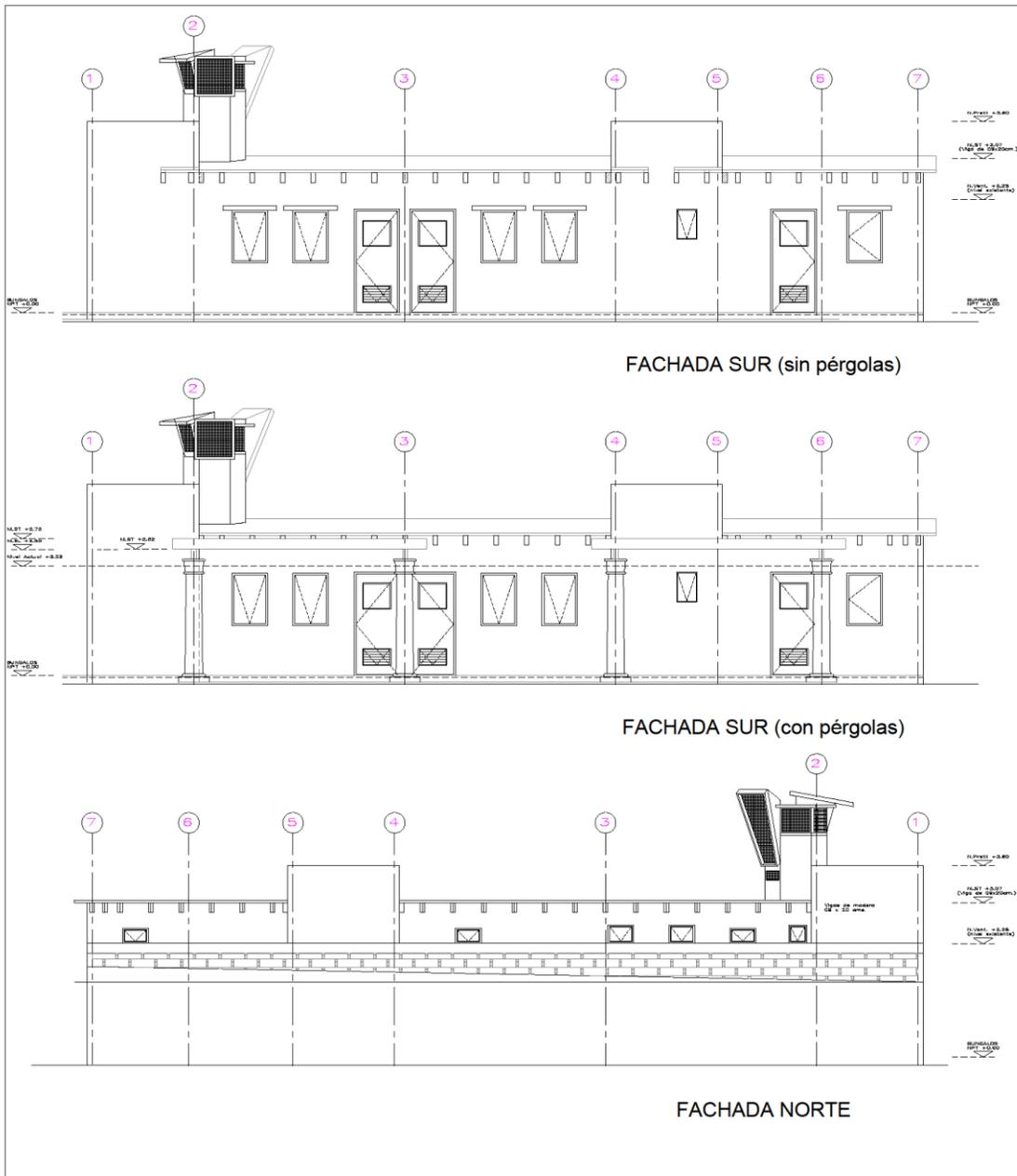


Alzado posterior noroeste

Alzado posterior norte

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Seminario de Graduación	Maestría en Arquitectura	
Proyecto DISEÑO DE TORRE DE VENTILACIÓN Para un clima cálido subhúmedo	Ubicación: Caso de estudio Calle Laurel s/n. Chiconcuac, Municipio de Xochitepec, Morelos	Plano DISEÑO ALZADOS	Tipo de Plano D	Clave 10
Proyectó: Ing. Arq. Miguel Ángel Villalobos Sandoval		Escala: 1:50	Fecha: junio 2016	Acotación: Metros Página

Plano D 11
 Fachadas actuales con la torre de ventilación.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		Seminario de Graduación		Maestría en Arquitectura	
Proyecto	Ubicación:	Plano	Tipo de Plano	Clave	
DISEÑO DE TORRE DE VENTILACIÓN	Caso de estudio	DISEÑO FACHADAS	D	11	
Para un clima cálido subhúmedo	Calle Laurel s/n. Chiconcuac, Municipio de Xochitepec, Morelos				
Proyectó: Ing. Arq. Miguel Ángel Villalobos Sandoval	Escala:	Fecha:	Acotación: Metros	Página	

Elaboración propia 24/06/2016

Capítulo 5.- Componentes del Impacto Económico Constructivo.

En la actualidad generalmente cuando se requiere reducir la temperatura al interior de una edificación se recurre al uso de sistemas electromecánicos, lo cual implica un costo económico, además del ambiental, debido a que la energía que abastece las acometidas domiciliarias, proviene principalmente de plantas que utilizan combustibles no renovables.

Considerando que el caso de estudio es una construcción habitacional concluida, se propone un comparativo económico entre el suministro y colocación de un equipo convencional (mini Split), así como, el gasto por consumo de energía eléctrica, del mismo y la construcción de una torre de ventilación, con las características necesarias para enfriar el mismo espacio.

5.1 Costo de la construcción de la Torre de Ventilación.

Con base en el diseño de la torre de ventilación desarrollado, se procede a la elaboración del catálogo de conceptos correspondiente.

El catálogo de conceptos se compone de las siguientes partidas y conceptos:

1.- Trabajos Preliminares

- 1.1 Trazo en obras interiores.
- 1.2 Excavación en terreno natural hasta una profundidad de 50 cm.
- 1.3 Retiro de teja de barro en la azotea.
- 1.4 Apuntalamiento temporal de losa a base de polines de madera a cada 0.60m. en ambos sentidos.
- 1.5 Demolición de capa de compresión en azotea.
- 1.6 Retiro a mano de celosía de barro de 60 x 40 cm. Con recuperación de material.

2.- Terracerías

- 2.1 Relleno de cepa con material producto de la excavación compactado.
- 2.2 Acarreo en camión de material, producto de desmantelamiento.

3.- Albañilería

- 3.1 Ranura y resane de 10 cm. en muro de adobe o tabique rojo recocido.
- 3.2 Acabado pulido integral en pisos
- 3.3 Construcción de losa de cimentación de concreto armado de 15 cm.
- 3.4 Construcción de muro de Durock, fijado a estructura base.

- 3.5 Construcción de muro curvo de panel W de 3" de espesor, reforzado con $\frac{3}{4}$ " @ 40cm.
- 3.6 Construcción de muro hexagonal de panel W de 3" de espesor, reforzado con $\frac{3}{4}$ " @ 40cm.
- 4.- Instalación hidráulica y sanitaria
 - 4.1 Suministro, instalación y pruebas de tubo de cobre 13 mm.
 - 4.2 Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC de 50 mm.
 - 4.3 Suministro, instalación y pruebas de céspol de bote de PVC con rejilla
- 5.- Cancelería
 - 5.1 Suministro y colocación de cancelería de aluminio natural
 - 5.1 Suministro y colocación de puertas abatibles de aluminio
- 6.- Herrería
 - 6.1 Suministro y colocación de herrería de refuerzo
- 7.- Impermeabilización
 - 7.1 Suministro y aplicación de impermeabilizante acrílico
- 8.- Pintura
 - 8.1 Suministro y aplicación de pintura vinílica
 - 8.2 Suministro y colocación de pintura anti-hongo
- 9.- Limpieza
 - 9.1 Limpieza general para entrega de obra

Lo que arroja un total de **\$ 40, 406.76 M.N.** para su construcción.

Ver anexo técnico de presupuesto.

5.2 Ventajas del enfriamiento mediante la Torre de Ventilación frente a los sistemas electromecánicos.

Costo por consumo eléctrico anual utilizando un equipo de aire acondicionado convencional.

Con base en la necesidad de enfriamiento para una superficie de 19 a 27 m² de hasta 2.75 m. de altura se requiere un equipo de **1 ½ Toneladas** equivalente a **12,000 BTU**, para la zona 2, la cual incluye al estado de Morelos, según la tabla de la empresa Carrier.

Un equipo de 1 ½ toneladas, si funciona 8 horas diarias, es decir 240 horas al mes, consume 403 KW/mes.

Con base en el cálculo determinado en las tablas de temperaturas y humedades horario se requiere enfriar el espacio dado durante 2,645 horas al año lo que significa que el promedio mensual será de 220 horas.

Aplicando una regla de tres, resulta que el consumo requerido de este equipo para el caso de estudio será de **369 KW/h.**

Cargos por energía consumida

Consumo básico	\$ 0.807	Por cada uno de los primeros 75 (setenta y cinco) kilowatts-hora.
Consumo intermedio	\$ 0.978	Por cada uno de los siguientes 65 (sesenta y cinco) kilowatts-hora.
Consumo excedente	\$ 2.862	Por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores.

Fuente: Página de la Comisión Federal de Electricidad, referente al servicio doméstico.

http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=DACTAR1&anio=2014

Consumo mensual = $(75 \times 0.807) + (65 \times 0.978) + (229 \times 2.862) = \$ 779.50/ \text{Mes}$

COSTO ANUAL = $\$ 779.50 \times 12 = \$ 9,354.00$

Comparativa de costo entre la torre de ventilación y un sistema electromecánico.

Por otra parte el costo por concepto del suministro, adaptación, instalación y puesta en funcionamiento del equipo tipo mini Split de 1 ½ Toneladas es de **\$8,761.12 M.N.**

Por lo tanto el costo de inversión por construcción se recuperaría de la siguiente forma:

$\$ 40,406.76 \text{ M.N.} - \$ 9,354.00 = \$ 31,052.76$

Dividendo $31,052.76 / 9,354.00 = 3.32 \text{ años} = 3 \text{ años, } 3 \text{ meses, } 26 \text{ días.}$

Diseño arquitectónico de un sistema de enfriamiento pasivo en un clima cálido subhúmedo.

La revalorización de los sistemas pasivos y su consecuente aplicación en la arquitectura, radica en la construcción de espacios habitables, confortables y saludables, mediante un uso eficiente de los recursos energéticos disponibles en beneficio del hombre.

Con base en la información obtenida, se muestra que la mayor parte de la energía eléctrica que se produce y distribuye en México para su consumo interno, se genera en plantas termoeléctricas y carboeléctricas, lo que se traduce en un impacto ambiental negativo, a consecuencia de los gases emitidos a la atmósfera durante los procesos de producción de la energía.

A diferencia de los sistemas activos, que requieren algún tipo de energía suministrada para su funcionamiento, los sistemas pasivos aprovechan los recursos naturales del lugar, para adecuar la temperatura y la humedad al interior de las construcciones. Además el diseño basado en principios bioclimáticos busca la adaptabilidad de la edificación al medio que le rodea mediante el diseño del envolvente y los espacios interiores, acorde a los requerimientos de enfriamiento, calentamiento, aislamiento, humidificación y deshumidificación, así como el uso de materiales locales que impliquen una adaptación al contexto y que coadyuven a satisfacer los requerimientos anteriormente mencionados.

Para lograr un diseño capaz de satisfacer las necesidades de confort ambiental, resulta conveniente el uso de diversas estrategias de diseño, que impliquen el aprovechamiento de los diferentes elementos naturales, como el asoleamiento y el viento, por lo que el manejo de este último recurso adquiere una gran importancia, sobre todo cuando influye directamente en la modificación de las condiciones de temperatura y humedad, debido a que gran parte del territorio mexicano se caracteriza por tener muchas zonas con un clima cálido, pudiendo ser estos húmedos, secos e inclusive extremosos.

Para lograr condiciones de confort al interior de las construcciones asentadas en lugares con un clima cálido el viento se puede aprovechar de diferentes formas, dependiendo de las condiciones particulares del proyecto y del resultado que se desee alcanzar, por ejemplo el uso de la ventilación cruzada, el efecto Venturi, el efecto Stack.

Dentro de los diferentes sistemas empleados durante mucho tiempo, con la finalidad de lograr una sensación de confort térmico e higrométrico, el uso de torres de ventilación, torres eólicas o bad gir son una opción viable para lograr este fin, debido a que son un elemento constructivo diseñado específicamente para la captación, canalización, enfriamiento y difusión de los vientos al interior de una edificación, generando una sensación de confort térmico en los ocupantes, por lo que se emplean principalmente en climas cálidos, sin embargo en un clima cálido seco o árido pueden adicionalmente ayudar a humidificar el ambiente mediante la utilización de recipientes con agua en su interior, debido a que el viento ayuda a transportar las partículas de agua contenidas al interior de la torre y distribuir las en los espacios interiores.

A partir del análisis de la clasificación climatológica de Köppen y su modificación por Enriqueta García para la República Mexicana, se puede observar que en gran parte del territorio mexicano se localizan muchas regiones con climas cálidos, en las cuales, por lo tanto, resultaría adecuado el empleo de este elemento arquitectónico, con el consecuente ahorro considerable de energía a mediano y largo plazo, además de que su funcionamiento, aunque en pequeña escala, no implica un impacto ambiental negativo, debido a que al no requerir del uso de energía eléctrica, para alcanzar sus objetivos principales, como el enfriamiento y humidificación, de los espacios interiores, se reducirían las emisiones de gases contaminantes arrojadas a la atmósfera.

A partir de este análisis se ha planteado un caso de estudio, el cual por sus características particulares, resultó ciertamente ilustrativo al respecto.

Con base en un análisis climatológico del lugar seleccionado en el estado de Morelos, se determinó que todos los días del año existe la necesidad de enfriamiento, puesto que las temperaturas máximas superan el rango de confort térmico establecido, como se puede apreciar en la tabla de temperaturas y humedades horarias.

El cálculo realizado, respecto del funcionamiento de la torre, determinó que éste elemento constructivo, ayudará a reducir la temperatura prácticamente hasta el rango de confort (22.5°C-27.5°C). Para que la torre funcione, no se requiere el consumo de energía eléctrica.

El diseño de la torre toma en cuenta el comportamiento de los vientos locales, por lo que la misma funciona inclusive durante periodos de calma, ya que la estratificación de temperaturas también ocasiona movimientos de aire.

Con base en el análisis de los costos para la construcción del objeto arquitectónico en cuestión se puede observar que no representa un coste superior a la instalación de un sistema de acondicionamiento ambiental electromecánico tradicional más su consumo de energía eléctrica por tres años y medio, por lo que el costo sería amortizable en el mediano plazo.

Finalmente como ya se ha enfatizado, la puesta en funcionamiento de un elemento como el referido, al no requerir del abastecimiento de energía eléctrica para su operación, impacta favorablemente al medio ambiente, puesto que como se ha documentado, la mayor parte de la energía eléctrica que se produce en México, proviene de plantas termoeléctricas y carboeléctricas en más de un 70%.

En la medida que este tipo de soluciones constructivas en general y de elementos de acondicionamiento ambiental en particular se lleguen a generalizar en su uso, es posible anticipar un medio ambiente más saludable.

Glosario

Aire húmedo

Se denomina al aire que contiene vapor de agua. (1)

Barlovento

Zona de presión alta que se genera cuando el viento pega sobre un edificio.

Calma

Es el registro de vientos menores a 0.6 m/s o a la ausencia de todo movimiento perceptible del aire. (1)

Calor latente (entalpía de evaporación)

Cantidad de energía calorífica necesaria para cambiar el estado físico de una sustancia sin variar su temperatura. (2)

Calor sensible

Cantidad de energía calorífica que absorbe una sustancia, por ejemplo un fluido, al elevar su temperatura sin cambiar su estado físico. (2)

Humedad

Es el contenido de vapor de agua del aire; puede ser expresado como humedad absoluta, específica, relativa o razón de mezcla.

Humedad absoluta

Peso del vapor de agua por unidad de volumen. (2)

Humedad relativa

Es la relación expresada en porcentaje, entre el contenido de vapor de agua y el valor que tendría si el aire estuviera totalmente saturado a la misma temperatura y presión. (3)

Normales climatológicas

Valores medios de los elementos meteorológicos (temperatura, humedad, precipitación, evaporación, etc.) calculados con datos recabados durante un periodo largo y relativamente uniformes, generalmente de 30 años. (3)

Presión atmosférica

Es la presión que ejerce la atmósfera en un punto específico como consecuencia de la acción de la fuerza de gravedad sobre la columna de aire que se encuentra encima de ese punto. (1)

Racha o ráfaga

Es un aumento brusco del viento con respecto a su velocidad media tomada en un cierto intervalo de tiempo. Su duración es menor de 20 segundos y una variación de cuando menos 15 km/h, va seguida de un descenso en el viento. (1)

Rosa de los vientos o Rosa náutica

Grafica de 360° en la cual se graficarán los vientos dominantes de acuerdo a la dirección de la que provienen y la frecuencia de los mismos.

Sotavento

Zona de baja presión, localizada en el extremo opuesto a la cara donde pega el viento.

Temperatura ambiente

Es la temperatura del aire registrada en el instante de la lectura. (1)

Temperatura máxima

Es la mayor temperatura registrada en un día, y se presenta normalmente entre las 14:00 y las 16:00 horas. (1)

Temperatura mínima

Es la menor temperatura registrada en un día, y se puede observar normalmente entre las 06:00 y las 08:00 horas. (1)

Velocidad del viento

Razón del movimiento del viento en unidad de distancia por unidad de tiempo. (1)

Viento

Aire en movimiento relativo a la superficie de la tierra, casi exclusivamente usado para denotar la componente horizontal. (1)

Zona de confort

Estado psicofisiológico bajo el cual la mayoría de los usuarios de un espacio manifiestan satisfacción con el medio ambiente que les rodea. Es el punto de equilibrio entre las condiciones ambientales externas y las del interior de un espacio, que permite la realización de las diversas actividades de los usuarios bajo condiciones confortables y satisfactorias. (2)

- (1) SMN Glosario de Términos. Servicio meteorológico Nacional- Comisión Nacional del Agua- México.
<http://smn.cna.gob.mx/>
- (2) GARCÍA C. José Roberto Diseño Bioclimático Para ahorro de energía y confort ambiental U.A.M. México, 1996.
- (3) FUENTES F. Víctor, Ventilación Natural. Cálculos básicos para arquitectura, U.A.M. México, 2004.

Índice de Ilustraciones y Tablas

Ilustraciones

01. – Participación en la capacidad de generación por tipo de tecnología. En México 2014.
02. - Casa en Nueva Guinea.
03. - Cabaña irlandesa.
04. - Casas –césped en Glaumbaer, Islandia.
05. - Viviendas de adobe en Taos, Nuevo México.
- 06.- Pórticos en Tlacotalpan, Veracruz.
- 07.- Patio interior con cubierta retráctil en San Miguel de Allende, Guanajuato.
- 08.- Restaurante 100% natural, Jardín del arte, Puebla, Puebla.
- 09.- Lobby, Mayan Palace, Cancún, Quintana Roo.
- 10.- Consejo Superior de Deportes, Madrid, España.
- 11.- Alberni Street, Vancouver, Canadá.
- 12.- Interior del ex convento de Santo Domingo de Guzmán, Oaxaca.
- 13.- Construcción de sillar y piedra en Tequisquiapan, Querétaro.
- 14.- Fachada norte del ex convento de Santo Domingo de Guzmán, Oaxaca.
- 15.- Fachada del hotel Mayan Palace, Cancún, Quintana Roo.
- 16.- Casa en Xochitepec, Morelos.
- 17.- Motor Lobby, Hotel Mayan Palace, Cancún, Quintana Roo.
18. - Malkaaf Hawah a) Presión positiva.
19. - Presión negativa b) Presión negativa.
20. - c) Presión negativa.
- 21.- Planta del palacio persa en Firuzabad, Irán. Siglo III d.C.
- 22.- Apunte perspectivo del palacio persa en Firuzabad, Irán. Siglo III d.C.
23. - Ventanas con celosía, Palacio de la Aljafería, Zaragoza, España.
24. - Captadores de viento en las azoteas en Hyderabad, Pakistán. 1928.
25. - Malqaf de la casa del faraón Neb- Amun, imagen tomada de una pintura hallada en su tumba. Dinastía 19th. Año 1300 a.C.
- 26.- Maqueta de casa egipcia de la época dinástica.
27. - Bad gir. Ciudad de Yazd Irán.
28. - Torre eólica multidireccional.
- 29.- Respiradero de trampilla.
- 30.- Badgirs. Captadores de viento.
- 31.- Badgir hexagonal (la más alta en Yazd. 33m.) en los jardines del Palacio de Dowlatabad.
32. - Funcionamiento nocturno, sin viento.
33. - Funcionamiento nocturno, con viento.
34. - Funcionamiento diurno, con viento.
35. - Funcionamiento diurno, con viento.
36. - Sección de torre (canalizaciones).
37. - Con abertura unidireccional.
38. - Con sistema de abertura bidireccional.
39. - Multidireccional con cuatro aberturas.
40. - Octagonal con dos aberturas de cada lado.
41. - Tetra direccional, con dos aberturas falsas en dos lados opuestos.
42. - Torre con ducto enterrado
43. - Torre de ventilación en la ciudad de Yazd, Irán.
44. - Badgirs
45. – Malkaaf
- 46.- Captadores de viento en Hyderabad, Pakistán.
47. - Torre Turbina. Tokio
48. - Centro Cultural en Numea, Nueva Caledonia.
49. - Centro Cultural en Numea, Nueva Caledonia.
50. - Banco de Comercio de Frankfurt.
51. - Banco de Comercio de Frankfurt.
52. - Banco de Comercio de Frankfurt.
53. - Mapamundi coloreado y diferenciado de acuerdo a la clasificación climática de Köppen.

- 54. - Mapa de climas de la república mexicana, elaborado por Enriqueta García, tomando como referencia la clasificación climática de Köppen.
- 55. - Mapa del estado de Morelos, diferenciando las regiones climáticas de acuerdo a las modificaciones realizadas por Enriqueta García al sistema de Köppen.
- 56. - Datos de temperatura durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.
- 57.- Datos de temperatura durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.
- 58.- Datos de temperatura durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.
- 59.- Carta Bioclimática con los datos para Temixco, aplicados para Xochitepec, Morelos, de enero a junio.
- 60.- Carta Bioclimática con los datos para Temixco, aplicados para Xochitepec, Morelos, de enero a junio.
- 61.- Rosas de los vientos mensuales, aplicables a la localidad.
- 62. - Resumen anual de la rosa de los vientos.
- 63. - Datos de magnitud del viento, durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.
- 64. - Datos de la dirección del viento, durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.
- 65. - Datos de ráfagas de viento, durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.
- 66. - Datos de la magnitud de ráfagas de viento, durante 24 horas, del día 17 de abril del 2016.
- 67.- Conjunto de Búngalos en Xochitepec, Morelos.

Tablas

- 01.- Temperaturas de equilibrio para climas diferentes.
- 02.- Ejemplo de combinación de temperatura, humedad y viento.
- 03.- Escala de viento de Beaufort
- 04.- clasificación climática de Köppen.
- 05. - Normal Climatológica de la Estación Temixco, del Servicio Meteorológico Nacional. Periodo. 1951- 2010.
- 06. - Normal Climatológica de la Estación Cuernavaca de la Comisión Nacional del Agua. Periodo. 1951- 2000.
- 07. - Tabla de Humedades Relativas Horarias, para la localidad de Temixco, Morelos.
- 08. - Tabla de Vapor y agua saturada; y su relación con la temperatura.
- 09. - Temperaturas y humedades horarias. Desarrollada con los datos de temperatura y humedad recopilados en la Estación Meteorológica de Temixco, Morelos.
- 10.- Rangos de confort para el municipio de Xochitepec y su escala cromática.
- 11. - Total de horas requeridas de enfriamiento, calentamiento, humidificación y deshumidificación al año.

Planos

- D 01 Diseño de la sección transversal del elemento.
- D 02 Diseño de la sección transversal de la cubierta del elemento a Barlovento.
- D 03 Diseño de la sección transversal de la cubierta del elemento a Sotavento..
- D 04 Diseño de la captación y salida del viento.
- A 01 Plantas arquitectónicas actuales.
- A 02 Fachadas arquitectónicas actuales
- A 03 Fachadas arquitectónicas actuales
- A 04 Cortes arquitectónicos actuales.
- L 01 Localización de las torres de ventilación y entradas de aire fresco.
- L 02 Localización de las torres de ventilación y salidas de aire caliente.
- D 05 Diseño de la base y cuerpo de la torre de ventilación.
- D 06 Diseño de la cubierta.
- D 07 Alzados interiores de la torre.
- D 08 Integración del alzado interior con el alzado exterior.
- D 09 Plantas y alzados de la torre de ventilación.
- D 10 Plantas y alzados de la torre de ventilación.
- D 11 Fachadas actuales con una torre de ventilación.

Bibliografía

FATHY Hassan, Natural Energy and Vernacular Architecture, University of Chicago Press, U.S.A, 1986.

FUENTES F. Víctor, Ventilación Natural. Cálculos básicos para arquitectura, U.A.M. México, 2004.

GARCÍA Enriqueta Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen U.N.A.M. México, 1988.

GARCÍA C. José Roberto Diseño Bioclimático Para ahorro de energía y confort ambiental U.A.M. México, 1996.

GARCÍA C. José Roberto y FUENTES Víctor Viento y Arquitectura Ed. Trillas México, 1995.

KASPÉ Vladimir Arquitectura como un todo Ed. Diana México, 1986.

KONYA. Allan Diseño en climas cálidos H. Blume Ediciones. Madrid 1981.

LACOMBA Ruth Manual de Arquitectura Solar Ed. Trillas, México 1991.

LACOMBA Ruth Las casas vivas: Proyectos de arquitectura sustentable Ed. Trillas, México 2012.

OLGYAY Víctor Arquitectura y clima Ed. Gustavo Gili, Barcelona 1962.

PUPPO G. Sol y diseño, Marcombo Barcelona 1980.

SCHJETNAN Mario Principios de Diseño Urbano ambiental Árbol Editorial, México 1997.

SZOKOLAY S., Environment Science Handbook the Construction Press Lancaster Inglaterra, 1980.

SZOKOLAY S. Solar Geometry, Plea Notes,

TAYLOR S. John Arquitectura anónima. Ed. Stylos

TIETS Jürgen Historia de la Arquitectura del Siglo XX Ed. Könemann Verlagsgesellschaft mbH Colonia 1998.

TUDELA F. Ecodiseño UAM-X, México 1982.

VARIOS Introducción a la Arquitectura Bioclimática. U.A.M.
Ed. Limusa, México 2001.

VÉLEZ G. Roberto La Ecología en el Diseño Arquitectónico Ed. Trillas,
México, 1992.

YEANG Ken Proyectar con la Naturaleza Ed. Gustavo Gili,
Barcelona 1999.

YEANG Ken El Rascacielos ecológico Ed. Gustavo Gili,
Barcelona 2004.

Páginas consultadas:

<https://energiayhabitabilidad2013.wordpress.com/2013/08/23/los-bagir/>

<http://smn.cna.gob.mx/emas/graf/MO01dir1.gif>

<http://www.ehu.es/mmtde/materiala/tablas%20y%20diagramas.pdf>

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/municipios/17028a.html>

<https://www.windfinder.com/wind/windspeed.htm>

Anexo.

Costo de la construcción de la Torre de Ventilación.

Basado en el diseño de la torre de ventilación, se ha procedido a la elaboración del catálogo de conceptos para su construcción y al análisis de costos correspondiente, tomando como referencia los precios del mercado vigentes en julio del 2016.

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS
Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
A	Torre de ventilación multidireccional					
A01	TRABAJOS PRELIMINARES.					
PRE002	TRAZO EN OBRAS INTERIORES, INCLUYE: LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE NIVEL, MATERIALES DE CONSUMO, EQUIPO DE MEDICIÓN, HERRAMIENTA MENOR Y MANO DE OBRA	M2	0.80	\$5.25	(* CINCO PESOS 25/100 M.N. *)	\$4.20
PRE02	DEMOLICIÓN DE FIRME DE CONCRETO EN INTERIORES. INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, EQUIPO DE MEDICIÓN, HERRAMIENTA MENOR Y MANO DE OBRA.	M3	0.10	\$46.26	(* CUARENTA Y SEIS PESOS 26/100 M.N. *)	\$4.63
PRE03	EXCAVACIÓN EN TERRENO NATURAL HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 50 CMS. INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, EQUIPO DE MEDICIÓN, HERRAMIENTA MENOR, ACARREOS Y MANO DE OBRA.	M3	0.50	\$154.17	(* CIENTO CINCUENTA Y CUATRO PESOS 17/100 M.N. *)	\$77.09
PRE006	RETIRO DE TEJA DE BARRO DE LA AZOTEA. INCLUYE: ACOPIO DEL MATERIAL, ACARREOS HORIZONTALES Y VERTICALES, DENTRO DE LA OBRA AL SITIO QUE INDIQUE LA SUPERVISIÓN, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M2	0.80	\$46.26	(* CUARENTA Y SEIS PESOS 26/100 M.N. *)	\$37.01

Monto Acumulado Hoja Anterior:
Monto esta Hoja: **\$122.93**
Acumulado: **\$122.93**

Torre de ventilación multidireccional

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS
Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
PRE050	A PUNTALAMIENTO TEMPORAL DE LOSAS A BASE DE POLINES DE MADERA A CADA 0.60 M. EN AMBOS SENTIDOS INCLUYE: ARRASTRES, MADRINAS, CONTRAVENTE, MATERIALES, DESPERDICIOS, COLOCACIÓN Y RETIRO DE LOS PUNTALES, LIMPIEZA DEL AREA DE TRABAJO, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M2	3.00	\$349.10	(* TRESCIENTOS CUARENTA Y NUEVE PESOS 10/100 M.N. *)	\$1,047.30
PRE007	DEMOLICIÓN DE CAPA DE COMPRESIÓN EN AZOTEA INCLUYE : A COPIO DEL MATERIAL PRODUCTO DE DEMOLICIÓN, MEDIDO EN BANCO, CARGA Y ACARREOS HORIZONTALES Y VERTICALES DENTRO DE LA OBRA AL SITIO QUE INDIQUE LA SUPERVISIÓN HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M3	0.80	\$25.98	(* VEINTICINCO PESOS 98/100 M.N. *)	\$20.78

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$122.93
Monto esta Hoja: \$1,068.08
Acumulado: \$1,191.01

TORRE DE VENTILACIÓN

Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
 Lugar: Chiconcuac
 Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:

Duración:

Fin Obra:

Inicio Obra:

**CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS
 Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
PRE102	RETIRO A MANO DE CELOSÍA DE BARRO DE 60x40 CMS. CON RECUPERACIÓN DE MATERIAL, HASTA UNA ALTURA DE 3 M. S.N.P.T. INCLUYE: LA DEMOLICIÓN DEL MORTERO A COPIO DEL PRODUCTO DE DEMOLICIÓN, CARGA Y ACARREO DENTRO DE LA OBRA A EL LUGAR INDICADO POR LA SUPERVISIÓN, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M2	0.80	\$40.41	(* CUARENTA PESOS 41/100 M.N. *)	\$32.33
Total:	TRABAJOS PRELIMINARES.					\$1,223.34
A02	TERRACERÍAS					
TER022	RELLENO DE CEPAS CON MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACIÓN, COMPACTADO CON BAILARINA, EN CAPAS DE 20 CM. PREVIA INCORPORACIÓN DE AGUA. INCLUYE COMPACTACIÓN, CARGA Y ACARREO DENTRO DE LA OBRA A EL LUGAR INDICADO POR LA SUPERVISIÓN, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M3	0.50	\$133.02	(* CIENTO TREINTA Y TRES PESOS 02/100 M.N. *)	\$66.51

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$1,191.01

Monto esta Hoja: \$98.84Acumulado: \$1,289.85

TORRE DE VENTILACIÓN

Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
 Lugar: Chiconcuac
 Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
 Duración:
 Fin Obra:
 Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS**Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
TER042	ACARREO EN CAMIÓN DE MATERIAL PRODUCTO DE DESMANTELAMIENTOS, DEMOLICIONES Y/O EXCAVACIONES, MEDIDO EN BANCO, KILÓMETROS SUBSECUENTES.	M3/KM	10.00	\$10.76	(* DIEZ PESOS 76/100 M.N. *)	\$107.60
Total:	TERRACERÍAS					\$174.11
A03	ALBAÑILERIA					
ALB650	RANURA Y RESANE DE 10 cm. EN MURO DE TABIQUE ROJO RECOCIDO, Y RESANES CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1:4. INCLUYE: SUMINISTRO DE LOS MATERIALES EN EL LUGAR DE SU UTILIZACIÓN, TRAZO, CORTES, CARGA Y ACARREO DEL PRODUCTO DE RANURADO DENTRO DE LA OBRA A EL LUGAR INDICADO POR LA SUPERVISIÓN, HERRAMIENTA NECESARIA, ANDAMIOS, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	ML	4.00	\$228.31	(* DOSCIENTOS VEINTIOCHO PESOS 31/100 M.N. *)	\$913.24

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$1,289.85
 Monto esta Hoja: **\$1,020.84**
 Acumulado: **\$2,310.69**

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS
Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
ALB030	ACABADO PULIDO INTEGRAL EN PISOS Y/O FIRMES DE CONCRETO, CON LLANA METALICA INCLUYE: SUMINISTRO DE MATERIALES, NIVELACIÓN, DESPERDICIOS, ACARREOS AL SITIO DE TRABAJO, EQUIPO Y/O HERRAMIENTA NECESARIA, RETIRO DEL MATERIAL SOBRENTE, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M2	0.80	\$31.44	(* TREINTA Y UN PESOS 44/100 M.N. *)	\$25.15
CAR130	CONSTRUCCION DE LOSA DE CIMENTACIÓN DE CONCRETO ARMADO DE 15 CM. INCLUYE: SUMINISTRO DE MATERIALES, PIEZA DE AJUSTE PERIMETRALES, ABERTURAS PARA CONTACTOS, DESPERDICIOS, HERRAMIENTAS, ACARREOS, MANO DE OBRA, FIJACIÓN, COLOCACION, NIVELACION, PLOMEO Y LIMPIEZA DEL SITIO.	M2	0.80	\$839.71	(* OCHOCIENTOS TREINTA Y NUEVE PESOS 71/100 M.N. *)	\$671.77

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$2,310.69
Monto esta Hoja: \$696.92
Acumulado: \$3,007.61

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS

Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
ALB650.A	RANURA Y RESANE DE 10 cm. EN MURO DE ADOBE DE 20 CM. DE ESPESOR, Y RESANES CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1:4 INCLUYE: SUMINISTRO DE LOS MATERIALES EN EL LUGAR DE SU UTILIZACIÓN, TRAZO, CORTES, CARGA Y ACARREO DEL PRODUCTO DE RANURADO DENTRO DE LA OBRA A EL LUGAR INDICADO POR LA SUPERVISIÓN, HERRAMIENTA NECESARIA, ANDAMIOS, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	ML	4.00	\$228.31	(* DOSCIENTOS VEINTIOCHO PESOS 31/100 M.N. *)	\$913.24
ACA225.A	CONSTRUCCIÓN DE MURO DE DUROCK, FIJADO CON ESTRUCTURA A BASE DE ÁNGULOS DE HERRERIA DE 1" X1". ANCLAS, RESANES CON PERMACINTA Y REDIMIX, REFORZANDO CON ESQUINEROS METÁLICOS LOS VÉRTICES EXPUESTOS A DAÑO, Y EN JUNTAS FRIAS (CONSTRUCTIVAS) INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, NIVELACIÓN FIJACIÓN, CORTES, DESPERDICIOS Y LIMPIEZA DE SITIO.	M2	5.60	\$844.47	(* OCHOCIENTOS CUARENTA Y CUATRO PESOS 47/100 M.N. *)	\$4,729.03

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$3,007.61
Monto esta Hoja: \$5,642.27
Acumulado: \$8,649.88

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS

Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
ALB058.B	CONSTRUCCION DE MURO CURVO DE PANEL W. DE 3" DE ESP. REFORZADO CON 3/4" @ 40 CM EN AMBOS SENTIDOS, HASTA UNA ALTURA DE 3M. S.N.P.T. REPELLADO Y APLANADO CON CEMENTO - ARENA 1:4 DE 2.5 cm. DE ESPESOR ACABADO FINO EN AMBAS CARAS. INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, ACARREOS AL SITIO DE TRABAJO, TRAZOS, CORTES, NIVELACIÓN, FIJACIÓN, HERRAMIENTA NECESARIA, DESPERDICIOS, RETIRO DEL MATERIAL SOBRENTE, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M2	4.50	\$1,065.15	(* UN MIL SESENTA Y CINCO PESOS 15/100 M.N. *)	\$4,793.18
ALB058.A	CONSTRUCCION DE MURO HEXAGONAL DE PANEL W. DE 3" DE ESP. REFORZADO CON VARILLA DE 3/4" @ 40 CM. EN AMBOS SENTIDOS HASTA UNA ALTURA DE 5 M. S.N.P.T. REPELLADO Y APLANADO CON CEMENTO - ARENA 1:4 DE 2.5 cm. DE ESPESOR ACABADO FINO EN AMBAS CARAS. INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, ACARREOS AL SITIO DE TRABAJO, TRAZOS, CORTES, NIVELACIÓN, FIJACIÓN, HERRAMIENTA NECESARIA, DESPERDICIOS, RETIRO DEL MATERIAL SOBRENTE, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M2	5.80	\$1,065.15	(* UN MIL SESENTA Y CINCO PESOS 15/100 M.N. *)	\$6,177.87

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$8,649.88
Monto esta Hoja: \$10,971.05
Acumulado: \$19,620.93

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS
Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
Total:	ALBAÑILERIA					
A04	INSTALACIÓN HIDRÁULICA Y SANITARIA					
IHS002	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE TUBO DE COBRE DE 13 mm. DE DIÁMETRO, TIPO M. INCLUYE: CORTES, DESPERDICIOS, ACARREOS INTERNOS, RETIRO DEL MATERIAL SOBRENTE FUERA DE LA OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	ML	3.00	\$108.60	(* CIENTO OCHO PESOS 60/100 M.N. *)	\$325.80
IHS073	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE TUBO DE PVC SANITARIO DE 50 mm. DE DIÁMETRO, TIPO ANGER, EXTREMOS LISOS. INCLUYE: CORTES, DESPERDICIOS, ACARREOS INTERNOS, RETIRO DEL MATERIAL SOBRENTE FUERA DE LA OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	ML	2.00	\$59.91	(* CINCUENTA Y NUEVE PESOS 91/100 M.N. *)	\$119.82

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$19,620.93
Monto esta Hoja: \$445.62
Acumulado: \$20,066.55

TORRE DE VENTILACIÓN

Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS**Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
IHS1419	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE CESPOL TIPO BOTE DE PVC CON REJILLA CROMADA INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, TRAZO, NIVELACIÓN, CONEXIÓN, A CARREOS INTERNOS, RETIRO DEL MATERIAL SOBRAANTE FUERA DE LA OBRA, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	PZA	1.00	\$77.98	(* SETENTA Y SIETE PESOS 98/100 M.N. *)	\$77.98
Total:	INSTALACIÓN HIDRÁULICA Y SANITARIA					\$523.60
A05	CANCELERIA					

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$20,066.55
Monto esta Hoja: \$77.98
Acumulado: \$20,144.53

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS
Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
ALU052	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CANCELERIA DE ALUMINIO ANODIZADO NATURAL FORMADO POR LOUVERS PARA PERSIANAS A BASE DE PERFILES LÍNEA BOLSA DE 3", SEGÚN PROYECTO. INCLUYE: MATERIALES DE CONSUMO, TRAZO, CORTES, AJUSTES, DESPERDICIO, LOUVERS Y MECANISMO DE OPERACIÓN SENCILLO, PLOMEADO, PIJAS CADMINIZADAS, TAQUETES Y TORNILLOS, FELPA, MANJAS, ESCUADRAS, SELLADO PERIMETRAL CON SELLADOR DOWN CORNING, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, RETIRO DEL MATERIAL SOBRENTE, HERRAMIENTA NECESARIA, ANDAMIOS, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M2	1.60	\$1,934.64	(* UN MIL NOVECIENTOS TREINTA Y CUATRO PESOS 64/100 M.N. *)	\$3,095.42

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$20,144.53
Monto esta Hoja: \$3,095.42
Acumulado: \$23,239.95

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS
Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
ALU110	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUERTAS ABATIBLES DE ALUMINIO ANODIZADO NATURAL A BASE DE PERFILES LÍNEA BOLSA DE 3", SEGÚN PROYECTO. VER CROQUIS INCLUYE: MARCO, BATIENTES, MATERIALES DE CONSUMO, TRAZO, CORTES, AJUSTES, DESPERDICIO, PLOMEADO, PUJAS CADMINIZADAS, TAQUETES Y TORNILLOS, FELPA, MANIJAS, JUNQUILLO, TENSORES, BIBELES, SELLADO PERIMETRAL CON SELLADOR DOWN CORNING, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, RETIRO DEL MATERIAL SOBANTE, ANDAMIOS, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M2	1.00	\$1,998.31	(* UN MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y OCHO PESOS 31/100 M.N. *)	\$1,998.31
Total:	CANCELERIA					\$5,093.73
A06	IMPERMEABILIZACIÓN					

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$23,239.95
Monto esta Hoja: \$1,998.31
Acumulado: \$25,238.26

TORRE DE VENTILACIÓN

Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
 Lugar: Chiconcuac
 Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
 Duración:
 Fin Obra:
 Inicio Obra:

**CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS
 Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
IMP136	SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE IMPERMEABILIZANTE ACRÍLICO MARCA SIKA APLICADA EN CUBIERTA, A CUALQUIER NIVEL. INCLUYE: PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, UNA BASE DE SELLADOR VINÍLICO, APLICACIÓN DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE LA SUPERFICIE, DESPERDICIOS, ACARREOS AL SITIO DE TRABAJO, RETIRO DE MATERIAL SOBRENTE, PROTECCIÓN DE AREAS, HERRAMIENTA NECESARIA, ANDAMIOS, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA	M2	4.00	\$145.38	(* CIENTO CUARENTA Y CINCO PESOS 38/100 M.N. *)	\$581.52
Total:	IMPERMEABILIZACIÓN					\$581.52
A07	PINTURA					

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$25,238.26
 Monto esta Hoja: \$581.52
 Acumulado: \$25,819.78

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS

Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
PIN001	SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE PINTURA VINÍLICA VINIMEX O SIMILAR EN CALIDAD, APLICADA EN MUROS Y PLAFONES CON APLANADO DE MEZCLA O YESO NUEVO, A CUALQUIER NIVEL. INCLUYE: PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, UNA BASE DE SELLADOR VINÍLICO, APLICACIÓN DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE LA SUPERFICIE, DESPERDICIOS, ACARREOS AL SITIO DE TRABAJO, RETIRO DE MATERIAL SOBRENTE, PROTECCIÓN DE AREAS, HERRAMIENTA NECESARIA, ANDAMIOS, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA	M2	15.00	\$68.66	(* SESENTA Y OCHO PESOS 66/100 M.N. *)	\$1,029.90

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$25,819.78
Monto esta Hoja: \$1,029.90
Acumulado: \$26,849.68

TORRE DE VENTILACIÓN

Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

**CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS
 Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
Torre de ventilación multidireccional						
HER002	SUMINISTRO, FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE HERRERÍA EN VENTANAS A BASE DE PERFILES ESTRUCTURALES (ÁNGULO, SOLERA Y CUADRADO) CON PREPARACIÓN PARA RECIBIR VIDRIO, SEGÚN PROYECTO. INCLUYE: BISAGRAS O MECANISMOS NECESARIOS, MANIJAS Y JALADERAS, MATERIALES DE CONSUMO, TRAZO, CORTES, ARMADO, SOLDADURA, ESMERILADO, HERRAJES DEL MISMO MATERIAL, NIVELACIÓN, PLOMEO, FIJACIÓN Y AMACIZADO, UNA MANO DE PINTURA ANTICORROSIVA, ACARREOS AL SITIO DE TRABAJO, RETIRO DE MATERIAL SOBRANTE, MERMAS, DESPERDICIOS, EQUIPO, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA.	M2	4.50	\$2,542.83	(* DOS MIL QUINIENTOS CUARENTA Y DOS PESOS 83/100 M.N. *)	\$11,442.74

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$26,849.68
Monto esta Hoja: \$11,442.74
Acumulado: \$38,292.42

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Obra: Torre de Ventilación
Lugar: Chiconcuac
Ciudad: Xochitepec, Morelos

Fecha:
Duración:
Fin Obra:
Inicio Obra:

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS

Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
PIN611	SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE PINTURA ANTI HONGO EN PAREDES DE DUROCK APLICADA EN MUROS Y PLAFONES, A CUALQUIER NIVEL. INCLUYE: PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, UNA BASE DE SELLADOR VINÍLICO, APLICACIÓN DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE LA SUPERFICIE, DESPERDICIOS, ACARREOS AL SITIO DE TRABAJO, RETIRO DE MATERIAL SOBRENTE, PROTECCIÓN DE AREAS, HERRAMIENTA NECESARIA, ANDAMIOS, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA GRUESA	M2	11.20	\$181.17	(* CIENTO OCHENTA Y UN PESOS 17/100 M.N. *)	\$2,029.10
Total:	PINTURA					\$14,501.74
A08	LIMPIEZAS					
LIM004	LIMPIEZA GENERAL PARA ENTREGA DE OBRA INCLUYE: SUMINISTRO DE LOS MATERIALES DE CONSUMO, RETIRO DE SOBRESANTES, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, ANDAMIOS, HERRAMIENTA NECESARIA Y MANO DE OBRA.	M2	4.00	\$21.31	(* VEINTIUN PESOS 31/100 M.N. *)	\$85.24
Total:	LIMPIEZAS					\$85.24

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$38,292.42
Monto esta Hoja: \$2,114.34
Acumulado: \$40,406.76

TORRE DE VENTILACIÓN
Presupuesto para su ejecución

Fecha:
 Duración:
 Fin Obra:
 Inicio Obra:

Obra: Torre de Ventilación
 Lugar: Chiconcuac
 Ciudad: Xochitepec, Morelos

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS

Y MONTO TOTAL DE LA PROPUESTA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Precio con Letra	Importe
A09	EQUIPAMIENTO					
EQ001	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE EQUIPO DE ENFRIAMIENTO DE AIRE DE 1 1/2 TONELADAS MARCA CARRIER, O SIMILAR EN CALIDAD, GARANTÍA Y MANTENIMIENTO. INCLUYE MATERIALES DE CONSUMO, FIJACION, NIVELACION, ACARREOS AL SITIO DE TRABAJO, PRUEBAS, EQUIPO, HERRAMIENTA NECESARIA, MANO DE OBRA Y LIMPIEZA.	PZA	1.00	\$8,761.12	(* OCHO MIL SETECIENTOS SESENTA Y UN PESOS 12/100 M.N. *)	\$8,761.12

Total: **EQUIPAMIENTO** \$8,761.12
 Total: **EDIFICIO "A"** \$49,167.88
 Total del Presupuesto sin IVA: \$49,167.88

Monto Acumulado Hoja Anterior: \$40,406.76
 Monto esta Hoja: \$8,761.12
 Acumulado: \$49,167.88