



Estudios sobre
Arquitectura
y Urbanismo
del Desierto

VOLUMEN III · NÚMERO 3 · OCTUBRE 2010

ESTUDIOS SOBRE ARQUITECTURA Y URBANISMO DEL DESIERTO

Volumen III. Número 3



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Octubre 2010

Estudios Sobre Arquitectura y Urbanismo del Desierto

Volumen III. Número 3. Octubre 2010

ISSN: en trámite

Número de reserva al título expedida por la Dirección de Reservas de Derechos del Instituto Nacional de Derechos de Autor: en trámite

Estudios Sobre Arquitectura y Urbanismo del Desierto es una publicación del Programa de Arquitectura de la Universidad de Sonora. El contenido de los artículos es responsabilidad de sus autores y no necesariamente refleja el punto de vista del Comité Editorial o de la propia institución. Para la reproducción del material contenido en esta publicación se requiere la autorización expresa del Comité Editorial de Arquitectura. Las colaboraciones deben dirigirse a esaud@arq.uson.mx o al Programa de Arquitectura de la Universidad de Sonora, edificio "3-O", Centro de las Artes, Blvr. Luis Donaldo Colosio y Rosales, Colonia Centro, C. P. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Teléfono y fax: +52 (662) 2592180. ISSN en trámite.

Imagen de portada: *Agave parryi v. truncata*; fotografía de Irene Marincic.

Impreso en México / *Printed in Mexico*

UNIVERSIDAD DE SONORA

Rector

Heriberto Grijalva Monteverde

Secretario General Académico

Enrique Velázquez Contreras

Vicerrectora Unidad Regional Centro

Arminda Guadalupe García de León Peñúñuri

Directora de la División de Humanidades y Bellas Artes

Rita Plancarte Martínez

Director de Vinculación y Difusión

Manuel Ignacio Guerra Robles

Jefe del Departamento de Producción y Desarrollo Editorial

Raúl Acevedo Savín

PROGRAMA DE ARQUITECTURA

Editor

Irene Marincic Lovriha

Comité editorial

Jefe de Producción: José Manuel Ochoa de la Torre

Jefe de Distribución y Ventas: María Guadalupe Alpuche Cruz

Jefe de Redacción: Hortencia Orozco Estebané

Comité científico

Dennis C. Doxtater

The University of Arizona (Tucson, E.E. U.U.)

Eloy Méndez Sáinz

El Colegio de Sonora (Hermosillo, Sonora, México)

Guillermo E. Gonzalo

Universidad Nacional de Tucumán (S. M. de Tucumán, Argentina)

Jorge Alberto Estrada Álvarez

Universidad Autónoma de Sinaloa (Culiacán, Sinaloa, México)

Iván San Martín Córdova

Universidad Nacional Autónoma de México (México, D. F.)

Víctor Fuentes Freixanet

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (México, D. F.)

Jaume Roset

Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España)

Pablo Elías López

Universidad Autónoma de Tamaulipas (Tampico, Tamaulipas, México)

ÍNDICE

Diseño bioclimático en espacios abiertos para zonas áridas urbanas en el desierto chihuahuense	9
<i>Leticia Peña Barrera</i>	
Análisis térmico de una vivienda económica en clima cálido-seco bajo diferentes orientaciones y medidas de sombreado	31
<i>Daniel Solís</i>	
Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes	59
<i>María Guadalupe Alpuche, Hugo Moreno, José Manuel Ochoa e Irene Marincic</i>	
Selección de los materiales de muros y techos para mejorar el confort térmico en edificaciones no climatizadas	69
<i>Guillermo Barrios, Pablo Elías, Guadalupe Huelsz y Jorge Rojas</i>	
Arquitectura industrial: sistemas de aislamiento en un clima extremo	85
<i>Gilberto Romero Moreno</i>	

Presentación

El Programa de Arquitectura tiene el agrado de presentar el tercer número de la revista *Estudios sobre Arquitectura y Urbanismo del Desierto*, cuyo objetivo es dar a conocer investigaciones sobre aspectos culturales, históricos y tecnológicos que definen la Arquitectura y el Urbanismo regionales, particularmente en zonas desérticas, tanto de México como de regiones de estas mismas características en otros países. Como nuestro objetivo es la difusión de artículos científicos con esta temática, a partir del presente número se publica en formato digital, para que pueda llegar con facilidad a mayor número de lectores.

Los trabajos científicos que aquí se presentan son arbitrados por un comité de reconocidos especialistas de varios países, que garantizan la calidad de los mismos para su publicación. Por otro lado, nuestra revista permite que se incrementen las oportunidades de los investigadores en el área de la Arquitectura y el Urbanismo para la publicación de sus trabajos.

En este número hemos aglutinado artículos con una temática muy específica: la respuesta de diseño y constructiva de la Arquitectura y el Urbanismo en zonas áridas, desde el punto de vista energético y de adaptación al medio. Así, encontramos un artículo sobre diseño bioclimático de espacios exteriores confortables, áreas “verdes” frecuentemente olvidadas. Con la temática de vivienda económica tenemos dos artículos: uno es un análisis del comportamiento térmico de viviendas económicas bajo diferentes configuraciones de diseño, y uno más es un análisis térmico de viviendas económicas con techos verdes. También aparecen aquí estudios más técnicos sobre cómo seleccionar materiales adecuados para muros y techos a utilizarse en edificios no climatizados y, opuestamente, un trabajo sobre sistemas constructivos innovadores para cámaras de refrigeración utilizadas en la industria.

Agradecemos a los lectores interesados en nuestra revista, así como a los investigadores que enviaron sus trabajos para ser publicados. Invitamos a los que así lo deseen a aportar su valiosa contribución en las siguientes ediciones, consultando las “Instrucciones para los autores” que encontrarán al final de este ejemplar.

Comité Editorial del Programa de Arquitectura

Diseño bioclimático en espacios abiertos para zonas áridas urbanas en el desierto chihuahuense

Leticia Peña Barrera
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Departamento de Arquitectura

Resumen

Las ciudades ubicadas en la extensa zona del desierto chihuahuense se caracterizan por estar expuestas a condiciones de clima extremoso, seco, con vientos dominantes, nevadas, heladas o granizo en diferentes temporadas del año. Por ello, las alternativas para adecuar los espacios urbanos y arquitectónicos –en específico el uso de los ambientes exteriores– podrían ampliarse si las condiciones fueran mejoradas al aplicar principios básicos de diseño bioclimático.

Los espacios urbanos exteriores, en general se usan en diferentes horarios durante el día y la tarde, debido a las condiciones de incidencia solar y temperaturas extremas en las zonas urbanas del desierto chihuahuense. Al carecer de opciones, se aprovechan en horarios con baja incidencia solar en el verano y durante temperaturas ambiente adecuadas en el invierno, las cuales podrían mejorarse mediante la aplicación de principios de diseño bioclimático.

Las soluciones para espacios abiertos deben considerar diferentes alternativas de diseño urbano conforme a las condiciones climáticas o bioclimas estacionales para el verano, el invierno y la transición entre ambos. Cada estación requiere de diferentes estrategias de tipo pasivo, incluyendo otros sistemas activos que permitan mitigar el soleamiento excesivo, los vientos acelerados, la falta de humedad y el frío intenso, para que, en ciertos momentos, se pueda disfrutar del espacio exterior.

Este trabajo plantea algunas estrategias bioclimáticas (pasivas y activas) para lograr eficiencia en los ambientes exteriores urbanos del desierto y semidesierto chihuahuense. Se proponen estrategias para sendas o recorridos temáticos, en plazas y áreas verdes

o recreativas, con alternativas de mobiliario urbano, tratamientos de pisos, nichos vegetales y captadores solares y pluviales.¹

Estos sistemas, además de contribuir a que los espacios abiertos sean confortables y adecuados, resuelven las necesidades que tienen las comunidades o barrios de contar con áreas comunes de bajo mantenimiento, aunado a la reducción del consumo energético y a la mejora ambiental que estas alternativas logran con impactos positivos de largo plazo.

Las personas, al aumentar sus actividades al aire libre durante varias horas al día en plazas, andadores, parques o áreas verdes, gracias a que estos espacios han sido acondicionados satisfactoriamente, utilizan menos tiempo el espacio interior, lo que impacta positivamente en los hogares al reducir el consumo de energéticos.

Abstract

Cities located in the extensive zone of the desert of Chihuahua, are characterized for being exposed to extreme climatic conditions such as dry and prevailing winds, snowstorms, frost and hail in different seasons during the year, this is the reason why proposing alternatives to introduce urban and architectonic spaces, specifically outer atmospheres, is necessary to improve its level of comfort.

The use of outer urban spaces generally, they are used in different schedules during the morning and the afternoon, due to the conditions of solar incidence and extreme temperatures in the zones of the chihuahuan desert. When lacking options settles down during schedules with low solar incidence and during suitable ambient temperatures, to provoke that open spaces in the city become attractive during daylight in arid and semi-arid zones of extreme climates, and they could improve if principles of bio-climatic design are applied.

Open spaces solutions must consider different alternatives, to climatic conditions in Ciudad Juárez: summer, winter and the transition between both. Each season, requires different strategies of the passive kind, including other active systems that allow to mitigate the excessive sunning, accelerated winds, lack of humidity and intense cold, so that at certain times is possible to enjoy the outdoors.

This works presents some bio-climatic strategies (passive and active) to obtain efficiency in the outer urban atmospheres for the chihuahuense desert and semi-desert. Strategies for footpaths or routes are proposed, in public places and green or recreational areas. Alternatives to facilities of urban equipment, floor treatments, vegetable niches, solar and pluvial receivers.

These systems besides contributing that open spaces are adequate and comfortable solve communities or districts needs to have common areas of low main-

¹ Parte de este artículo se presentó en la 33 Semana Nacional de Energía Solar (Peña y Hernández, 2009), mismo que se ha complementado y reestructurado para la presente publicación.

tenance, combining the reduction of power consumption and environmental improvement that these alternatives obtain with positive long term impacts.

People, when increasing its outdoors activities during several hours of the day, in places such as walkers, parks or other green areas, due to the fact that they have been prepared satisfactorily, can positively impact the homes, using less time in the interiors and reducing energy consumption.²

Introducción

El desarrollo urbano de Ciudad Juárez, Chihuahua, se ha caracterizado en las últimas cuatro décadas por un crecimiento acelerado³ al ocupar de manera dispersa y expansiva el espacio municipal, aunado a políticas económicas que han favorecido la instalación de maquiladoras, con oportunidad de empleo pero sin iniciativas que atiendan la problemática social y los requerimientos de largo plazo de sus habitantes. Es decir, se carece de estrategias que a futuro controlen la expansión territorial, conserven el medio natural y mitiguen el impacto con la aplicación de alternativas diversificadas, lo que, por tanto, no garantiza un futuro sustentable⁴ para la localidad.

Actualmente, en Ciudad Juárez se ha favorecido el desarrollo habitacional hacia la zona sur y sur-oriente, crecimiento que ocupa parte del desierto chihuahuense y ocasiona un impacto regional, nacional e internacional, ya que los ecosistemas de la región, involucran a diversas comunidades de México y Estados Unidos de Norteamérica. Parte del impacto ecológico son los cambios en las características naturales y conformaciones topográficas, despalme de amplias superficies, modificación de flora y fauna del desierto (matorral mezquite sobre dunas) y del río Bravo, así como un cambio en las pendientes y contaminación del suelo y de los cauces naturales, entre otros.

Otros aspectos con repercusiones en el medio ambiente regional son:

- ▶ Baja captación pluvial por la presencia de superficies impermeables e invasión de cauces naturales o desviación de los mismos.⁵

² Traducción de Lidia Sandoval Rivas.

³ La información es con base en la dinámica de crecimiento observada en los últimos cuarenta años, aunque existen nuevas condiciones a partir de 2007 debido a las circunstancias de violencia local, lo que ha generado periodos de expulsión de población.

⁴ “El desarrollo sustentable implica también cambiar los patrones de producción y consumo insostenibles [...], atender la infraestructura urbana y restringir la degradación del medio ambiente” (Sánchez, 2004: 97).

⁵ “Una vez tuvimos un gran lago de agua debajo del desierto, pero ahora parece que está vacío”, dice Héctor Arias del wwf –World Wildlife Fund– (Pearce, 2008).

- ▶ Los cauces superficiales, en periodos de lluvia torrencial, se vierten hacia el río Bravo y arrastran todo tipo de contaminantes al mismo.
- ▶ Pérdida de agua pluvial por la rápida evapotranspiración debido al aumento de áreas impermeables.⁶
- ▶ Inadecuada solución urbana al propiciar la expansión demográfica de manera dispersa y sin consolidar sobre los diferentes ecosistemas de la región.⁷
- ▶ Falta de andadores, áreas verdes y equipamiento para las actividades al aire libre que propicien una relación armónica hombre-naturaleza.
- ▶ Urbanización con amplias calles pavimentadas que carecen de camellones o ambientes con vegetación.
- ▶ Tendencia a la desertificación con esquemas de urbanizaciones⁸ que no consideran estrategias para conservar el medio ambiente.
- ▶ Aumento en el desuso de viviendas en nuevas zonas habitacionales; factor de contaminación y proliferación de fauna nociva y de inseguridad.
- ▶ Se localizan áreas vulnerables y de riesgo que favorecen la degradación ambiental y social.
- ▶ La aprobación de planes y normas de expansión urbana con efectos negativos en los ecosistemas del margen del río Bravo y del desierto chihuahuense.

El desarrollo urbano ha centrado su principal interés en ampliar la cobertura de zonas habitacionales. Sin embargo, no se incorporan propuestas con nuevas tecnologías que reduzcan el consumo energético en el ámbito doméstico, productivo o comercial.

El impacto que ha tenido el crecimiento urbano registrado en los últimos cuarenta años se observa en la reducción del caudal del río y de los mantos freáticos, en la pérdida de humedales y corredores silvestres, en el aumento en el registro de especies en peligro de extinción de ambos ecosistemas, así como en la tendencia del calentamiento global y del cambio climático en general.

⁶ Se tienen datos de baja captación pluvial (3%) en la ciudad, ya sea por lluvia, nevadas, granizo o heladas.

⁷ Se tiene el ecosistema del desierto chihuahuense y el de la cuenca del río Bravo, ambos con implicaciones de tipo nacional e internacional.

⁸ García-Gutiérrez (2001: 18) considera que “el hombre es el factor más desertificante”.

Las decisiones para el desarrollo urbano provocan una vulnerabilidad en la región y en sus ecosistemas (desierto y río Bravo), debido a que se privilegian los intereses individuales por encima de las comunidades establecidas, lo cual repercute en el corto y mediano plazo.⁹

En este sentido, el equilibrio entre los intereses económicos, políticos y sociales puede favorecer cambios en las tendencias actuales de desarrollo al plantear estrategias enfocadas al desarrollo sustentable de la región que midan el impacto y los beneficios en la calidad de vida de manera sostenida.

Características climáticas de la región

El desierto chihuahuense, en la región Paso del Norte, se ubica en promedio a 1 140 metros sobre el nivel del mar y se localiza a 31° 44' latitud norte. Cuenta con un clima cálido seco con temperatura promedio anual de 18 °C, aunque los registros indican temperaturas mínimas de -10 °C y máximas de hasta 46 °C. La oscilación térmica, en promedio, es variable de 18 °C en julio a 7 °C en enero (INEGI, 2001).

De este modo, se identifican tres periodos o climas estacionales: invierno, verano y transición.

- ▶ El invierno es frío, con temperaturas inferiores a 0 °C, con presencia de heladas, nevadas y granizo; se presenta durante los meses de noviembre a febrero.
- ▶ El verano es caluroso en los meses de mayo a septiembre, con registro de precipitaciones en julio y agosto y temperaturas superiores a 40 °C.
- ▶ El clima de transición corresponde a la primavera y otoño, periodos relativamente cortos que suceden durante los meses de marzo, abril y octubre, los cuales se caracterizan por una temperatura templada durante el día con tendencia a ser muy fresca por la noche. En este periodo se presentan vientos acelerados que ocasionan tormentas de arena con impactos elevados en la contaminación del aire y efectos en la salud pública en general.

⁹ Frontera 2012 lo define como “el desarrollo social y económico, orientado a la conservación, que enfatiza la protección y uso sustentable de los recursos, atendiendo a las necesidades actuales y futuras y los impactos actuales y futuros de las acciones humanas” (Semarnat-EPA, 2002: 2).

En cuanto a la precipitación pluvial, esta región registra un promedio de 255 mm al año, con lluvias esporádicas y torrenciales que, inclusive, pueden aportar en menos de cuatro horas el caudal de todo el año, lo que implica la descarga de diques, cauces y arroyos superficiales, a la vez que ocasiona situaciones de contingencia en ciertos días del mes de agosto.¹⁰

Sin embargo, los registros de humedad son mínimos, 46.6% de promedio anual, con variaciones entre 60% a 90% en días de lluvia o posteriores a éstos, e inferiores a 30% en meses muy secos. A lo anterior se le añade el fenómeno de evapotranspiración durante el verano, lo que representa pérdidas significativas en el balance hídrico de la región.

En cuanto a los vientos dominantes, los provenientes del suroeste suelen llevar una mayor velocidad durante el verano, mientras que en invierno son los provenientes del noreste los que provocan mayor frío. Ambos periodos son los más críticos y requieren de estrategias bioclimáticas adecuadas por estación.

El potencial total de insolación en esta región es de 80% anual, esto es, 320 días de sol, lo que introduce en la utilización del espacio abierto alternativas de diseño bioclimático en el ámbito urbano o público que desarrollen una cultura diferente de uso y ahorro de energía.

Definición de las estrategias de diseño

En cuanto a la calidad de los ambientes exteriores, debido a estas condiciones climáticas de la región, se plantean soluciones y estrategias de diseño que puedan incidir en la optimización de estos recursos renovables y proponer soluciones de mobiliario urbano para mitigar los embates del entorno. Igualmente, se pueden aplicar principios de ventilación y calentamiento, pasivo o semiactivo, en el diseño urbano, al considerar vegetación, edificios y pendientes de manera integral para los requerimientos de los tres bioclimas estacionales.

Las condiciones del clima seco de tipo desértico inciden en las características de la flora y la fauna, ambos ejemplos válidos para incorporar en el diseño: por un lado, la vegetación nativa subsiste y se adapta a la escasez de agua o con el mínimo de riego; por otro lado, la fauna utiliza el pigmento claro de la piel para soportar la insolación y consume semillas y raíces, ade-

¹⁰ Un ejemplo son las situaciones de contingencia ocurridas en 2006 y 2008, con inundaciones y debilitamiento de los sistemas de diques que contienen el agua y evitan el arrastre, lo cual puso en riesgo a los habitantes de varios sectores de Ciudad Juárez.

más de que minimiza su consumo de agua para reducir la evapotranspiración orgánica.

En este sentido, el espacio abierto está supeditado a las circunstancias del entorno, ya sea por soleamiento excesivo con temperaturas extremas, por vientos acelerados o tormentas de arena o por la escasez de agua y humedad. Es así que los tres bioclimas de tipo estacional de la región, nos plantean estrategias de diseño bioclimático definidas por objetivos de adecuación climática, aprovechando todas las opciones posibles para el uso del espacio exterior.

En el bioclima invernal se propone contar con estructuras para captar radiación durante el día y prolongar su efecto hasta el atardecer para ofrecer ambientes templados que estimulen el uso de los espacios públicos en un horario más amplio. La localización de protección al noreste y la eliminación de sombras para captar soleamiento se definen en el diseño (véase tabla 1).

El verano es la estación que requiere más estrategias de diseño para mejorar el ambiente exterior, factibles en horarios matutino y vespertino. A fin de evitar la incidencia solar en un horario de 11:00 a 18:00 horas, se proponen soluciones con sombreados naturales con árboles de hoja caduca y artificiales, además del uso de pérgolas, aleros y muros verdes en los edificios que filtren el viento para refrescarlo, ya que bajo sombra ofrecen beneficios muy convenientes (véase tabla 2).

En la estación de transición se presentan ambientes más confortables que durante el invierno y el verano. Sin embargo, este periodo tiene una duración corta tanto en primavera (marzo y abril) como en otoño (octubre). En esta estación es más común utilizar el espacio abierto en horarios prolongados du-

Tabla 1. Clima estacional de invierno

Temperatura exterior (promedio) ^a	Periodo	Estrategias ^b	Propuesta urbana ^c
7 °C		Propiciar ganancia de calor durante el día.	Uso del espacio urbano en horarios vespertinos.
	Noviembre, diciembre, enero y febrero	Amortiguar en interiores las diferencias térmicas exteriores entre el día y la noche (14 hs RT).	Propuestas para lograr ganancia de calor en recorridos de sendas, plazas y áreas verdes.
		Protección de los vientos fríos. Almacenar el calor con materiales de masa térmica.	Uso de trampas solares y de muros captadores y de protección de vientos fríos.

Fuentes: ^a INEGI, 2001; ^b Herrera, 2006; ^c Peña, en Peña y Hernández, 2009, y por la autora para esta investigación.

Tabla 2. Clima estacional de verano

Temperatura exterior (promedio) ^a	Periodo	Estrategias ^b	Propuesta urbana ^c
24 °C	Mayo, junio, julio, agosto y septiembre	Reducir los aportes caloríficos del exterior todo el día. Protección de soleamiento directo. Amortiguar en interiores las diferencias térmicas exteriores entre el día y la noche (14 hs RT). Propiciar el enfriamiento nocturno estructural. Propiciar la humidificación todo el día. Optimizar la ventilación natural. Reducir el calor acumulado en la estructura. Propiciar el enfriamiento evaporativo al mediodía.	Uso del espacio urbano en horarios matutinos o nocturnos. Propuestas para humidificar, proteger del calor y la radiación en recorridos de sendas, plazas y áreas verdes. Aspersores o micronebulizadores manuales, ventilación filtrada y sombreados naturales o artificiales.

Fuentes: ^a INEGI, 2001; ^b Herrera, 2006; ^c Peña, en Peña y Hernández, 2009, y por la autora para esta investigación.

rante el mediodía y la tarde, salvo en días con vientos acelerados que provocan tormentas de arena e impiden la visibilidad y dificultan las actividades al exterior; por tanto, es importante proteger de vientos dominantes del suroeste, humidificar el ambiente y diseñar captadores o trampas solares para ampliar las opciones nocturnas, ya que éstas tienden a ser frías (véase tabla 3).

En cada estación se requieren diferentes estrategias de acuerdo a condiciones de soleamiento, ventilación o sombreado, mismas que responden a necesidades y variables determinadas por el lugar. Es decir, el invierno implica captar radiación solar para aumentar la temperatura y protegerse de vientos fríos; radiación que, por el contrario, debe evitarse en verano mediante sombreados y aprovechando vientos y humedad en periodos de lluvia; por último, en la estación de transición se tendrá que aprovechar el soleamiento diurno para prolongar el uso por el atardecer.¹¹ En consecuencia, al aplicar estrategias bioclimáticas para su adecuación, los espacios exteriores se aprovechan en horarios extendidos y reciben una mayor afluencia de

¹¹ La trayectoria solar y la latitud son determinantes para la colocación de sistemas solares pasivos y activos (Rodríguez *et al.*, 2001).

Tabla 3. Clima estacional de transición

Temperatura exterior (promedio) ^a	Periodo	Estrategias ^b	Propuesta urbana ^c
17 °C	Marzo, abril y octubre	<p>Propiciar la ganancia solar en la mañana y en la tarde</p> <p>Reducir los aportes caloríficos al exterior a mediodía</p> <p>Propiciar humidificación ligera a mediodía</p> <p>Protección de vientos fuertes durante todo el día</p> <p>Amortiguar en interiores las diferencias térmicas exteriores entre el día y la noche (14 hs RT)</p>	<p>Uso del espacio urbano en horarios vespertinos.</p> <p>Propuestas para humidificar, proteger del calor y los vientos en recorridos de sendas, plazas y áreas verdes.</p> <p>Trampa solar durante el día, aspersores para humidificar y protección de vientos dominantes o intensos.</p>

Fuentes: ^a INEGI, 2001; ^b Herrera, 2006; ^c Peña, en Peña y Hernández, 2009, y por la autora para esta investigación.

visitantes debido a las alternativas de adaptación del mobiliario, lo que, a su vez, mejora la relación hombre-naturaleza.

Estrategias bioclimáticas de tipo estacional para el espacio urbano

Las soluciones de diseño urbano bioclimático para ambientes exteriores se definen a partir de diversas estrategias conforme a las condiciones climáticas de la región, ya sean naturales o extraordinarias. En invierno, verano o periodo de transición, las variables de diseño se refieren a:

- a. Estrategias de diseño para cada bioclima de tipo estacional.
- b. Definición de estructuras o elementos de equipamiento urbano

a. Estrategias de diseño por bioclima estacional

El invierno, generalmente menos cruento que otras épocas, y debido a la urbanización y cambios climáticos, presenta temperaturas bajo cero durante las noches que comprenden la temporada, así como en los días del mes de enero. Por esta razón, la captación de radiación solar al eliminar sombras de árboles y elementos móviles para lograr el calentamiento de estruc-

turas durante el día o captar calor, integran las estrategias para favorecer las actividades de convivencia en horarios diurnos y vespertinos.

En contraparte, durante el verano las variables del clima permiten más opciones de uso en el espacio abierto —con recorridos matutinos y vespertinos—, evitando las horas con mayor incidencia solar. Lo anterior puede mejorarse al emplear texturas sobre las superficies de cubiertas, muros y pavimentos, con diferentes materiales que reducen la absorción de calor, aunado a elementos de sombreado móvil o vegetación de hoja caduca.

El periodo con más días de temperatura confort corresponde al bioclima de transición, debido a la inclinación e incidencia solar. No obstante, el espacio urbano se torna inhóspito por ser muy seco y presentar vientos acelerados que se convierten en tormentas de arena o tolvaneras. La estrategia principal es controlar la exposición de los elementos con una orientación adecuada, vegetación y elementos construidos que obstruyan la trayectoria del viento.

b. Definición de estructuras o elementos de equipamiento urbano¹²

Se proponen diferentes alternativas para mejorar los recorridos peatonales o andadores, las plazas y parques o áreas recreativas, al incorporar algunos principios de diseño pasivo y activo para los espacios urbanos: por captación pluvial o por reuso de agua, al mitigar la incidencia de vientos dominantes, captar radiación solar o ganancia de calor y propiciar sombreados naturales o artificiales, por mencionar sólo algunos.

Las estrategias incluyen elementos de diseño urbano en las siguientes áreas:

- ▶ Recorridos y sendas peatonales
- ▶ Plazas de encuentro comunitario
- ▶ Parques o áreas recreativas

Estrategias para recorridos y sendas peatonales

Se plantean dos aspectos en el recorrido de sendas y andadores peatonales respecto a la estructura o propuesta, así como a la adecuación climática. La estructura o propuesta del recorrido considera que:

¹² En el equipamiento urbano se consideran aspectos de viabilidad económica y socio-cultural; se incorporan elementos de bajo mantenimiento y condiciones de uso común para que los beneficiarios o usuarios obtengan la efectividad de su uso; se tiene en cuenta el rol participativo de los habitantes por medio de la difusión y explicación visible del funcionamiento.

- ▶ El recorrido debe establecerse con un objetivo claro de trayecto que motive a las personas a utilizarlo y disfrutarlo.
- ▶ Debe proponer alternativas de uso que sean prácticas para todos: niños, jóvenes, adultos y discapacitados.
- ▶ El trayecto de la senda debe considerar como objetivo el equipamiento urbano o edificios públicos; es decir, simplificar las actividades de un sitio a otro.
- ▶ También se proponen por su utilidad al conectar con el sistema de transporte público o con plazas y áreas comunitarias.
- ▶ En los trayectos largos se proponen zonas de descanso, áreas de espera –o referencia social– y servicios de mobiliario urbano accesible a todas las personas.

En cuanto a la adecuación climática, se propone lo siguiente:

- ▶ Integrar sistemas de sombreado por medio de vegetación de hoja cauduca o elementos artificiales para evitar el sol en verano y captarlo en el invierno.
- ▶ Atenuar los vientos dominantes provenientes del suroeste por medio de la orientación de las sendas con un diseño sinuoso o evitando los trayectos rectos.¹³
- ▶ Establecer sendas protegidas con elementos de edificios o volúmenes que reduzcan la velocidad del viento (véase figura 1).
- ▶ Crear un ambiente agradable de vegetación, texturas y volúmenes, equilibrando los aspectos de la vida urbana y el contacto con la naturaleza.
- ▶ Protección contra los vientos fríos provenientes del noreste ubicando árboles de hoja perenne de fronda mediana para evitar sombreados en invierno.
- ▶ Ubicar trampas solares para las áreas de descanso, las cuales en invierno calientan el sitio y, en consecuencia, extienden el horario de uso vespertino.

La figura 1 corresponde a un sitio de descanso con orientación del muro verde al sur y suroeste para aprovechar los vientos dominantes del verano, los

¹³ Las sendas sinuosas y no rectas mantienen la velocidad del aire de manera moderada, lo que pudiera complicarse al recorrer entre los edificios. Se logra adecuar el ambiente de senderos, evitando los efectos de vientos dominantes, al diseñarlas con cambios de trayecto y con vegetación arbórea que proteja.

cuales, al pasar por la celosía cubierta de vegetación nativa trepadora, filtran el polvo, mientras que el aire caliente puede refrescarse al cruzar hacia el lugar de descanso.¹⁴ Asimismo, se ubican árboles de hoja caduca para ofrecer sombras en verano.

Es importante el tratamiento de la senda y los materiales del elemento construido, a fin de lograr que no reflejen los rayos solares al sitio de espera. En invierno la celosía está libre de vegetación para captar una mayor radiación y, por su parte, los vientos dominantes del noreste (estos no aparecen en la figura 1) se mitigan con árboles de hoja perene, ubicados en esta orientación. Los árboles de hoja caduca al suroeste no producen sombra por la caída de hojas, lo que permite captar cierta insolación para calentar los materiales.¹⁵

Esta estructura puede mejorarse agregando al sur una trampa solar: las piedras al recibir radiación se calientan y los espacios de aire también, de manera que, por medio de una tubería de PVC, se conduce al sitio de descanso.

Se propone, además, una cubierta con huecos para dejar pasar los rayos solares a fin de obtener ganancia térmica en invierno y en el clima de transición de primavera. En verano, la trampa solar y los tubos son clausurados.

Estrategias para plazas de encuentro comunitario

Los lugares de encuentro comunitario como plazas de convivencia o accesos a espacios públicos se resuelven con varias opciones para captar, controlar o mejorar el ambiente y la incidencia solar.

Entre las sugerencias propuestas están los *pisos captadores*, cuya función es modificar las condiciones de exposición, incidencia o captación solar, al atrapar o desviar los rayos por reflexión que se generan sobre los materiales o superficies, por medio de diferentes texturas y tratamientos combinados (véase tabla 4). Se propone una combinación de concreto, adoquín, piedra y vegetación cubresuelos nativa o introducida, con la finalidad de conducir, absorber y conservar el agua, así como reflejar, desviar o reducir la incidencia solar. Con este método pueden obtenerse diferencias entre 2 °C y 5 °C, debido a los cambios en el tratamiento de pisos, con lo que se evita

¹⁴ En la zona árida del desierto chihuahuense los vientos mejoran las condiciones de temperatura estando bajo sombra y al cruzar ambientes con vegetación, debido a su baja captación de incidencia solar.

¹⁵ Rodríguez, Figueroa *et al.* (2001: 21) mencionan que la radiación solar es la energía disponible más abundante para el calentamiento de aire o agua.

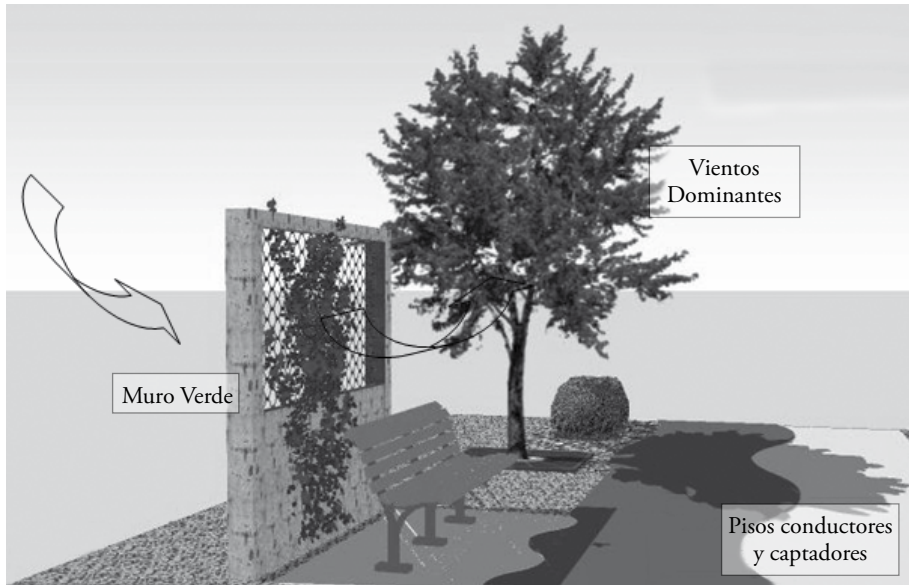


Figura 1. Ventilación natural por muro verde y pisos captadores (fuente: Peña, en Peña y Hernández, 2009).

la reflexión solar veraniega y, al mismo tiempo, se logra la ganancia térmica necesaria en invierno. Por ejemplo, una superficie de concreto al recibir un riego de agua en verano provoca el efecto de evapotranspiración y reduce de 1 °C a 2 °C su temperatura.¹⁶

Otro aspecto del tratamiento en pisos es el *cambio de color y textura*, lo que provoca en los usuarios una percepción sobre la posibilidad de acercarse o alejarse de un sitio, al delimitarse como privado o de uso frecuente, lo cual ayuda a organizar los trayectos por categorías: para el tránsito, sitio de espera o descanso, acceso privado o común o que motiven y generen sorpresa, por mencionar algunos (véase figura 2).

Los *sistemas de sombreado*, por su parte, se resuelven utilizando cubiertas o vegetación para la generación de sombras que amortigüen el soleamiento excesivo en verano, con lo que se reduce la temperatura bajo sombra y se obstruye el viento para reducir su velocidad; si, además, se le incorpora vegetación, el efecto del sombreado es más eficiente. En invierno los rayos solares pueden pasar entre las estructuras, ya que éstas permanecen

¹⁶ “Cualquier cuerpo de agua incrementará la humedad del aire”, lo que provoca la reducción de la temperatura (Rodríguez *et al.*, 200: 15).

Tabla 4. Diferentes tratamientos y su impacto en la zona árida y semiárida

Material	Uso	Características	Ventajas	Impacto
Concreto o pavimento	Áreas de tránsito continuo para movilidad a pie, bicicleta o silla de ruedas	Superficie lisa, con pendientes moderadas; traslada flujos de agua	Facilidad de tránsito rodante; conductor de masas líquidas, poco absorbente	Mayor efecto de evapotranspiración y reflexión solar. Provoca islas de calor
Adoquín	Sitios de uso frecuente para movilidad a pie, bicicleta o silla de ruedas	Superficie poco absorbente, semilisa, capta agua y permite conducción de agua en término medio	Ofrece captación media y facilidad de tránsito. Diversidad de texturas y colores	Mayor diversidad. Es más eficiente, reduce incidencia solar
Adopasto	Sitios de descanso o de captación de agua, sin tránsito	Combina huecos con pasto y nervaduras de concreto; absorción media de agua	Permite captar aguas pluviales con poco cauce. Mejora el ambiente visual	Reduce el efecto de radiación y reflexión solar en áreas de descanso
Piedra bola, grava o laja	Áreas de captación, sin tránsito	Capta y absorbe agua, con baja conducción. Mantenimiento mínimo	Modifica la reflexión solar. Diferentes texturas y colores, captación adecuada en pozos de absorción	Mejora el ambiente con cambios visuales, reduce la incidencia solar y ofrece opciones de diseño
Vegetación endémica de cubresuelos	Espacios de descanso y captación; de baja conducción superficial	Favorece la absorción a mantos freáticos. Opciones de variedad visual todo el año. Calidad ambiental	Mejora la humidificación, reduce la reflexión solar y modifica la visual ambiental	Reduce la temperatura al evitar la incidencia solar; de alta absorción
Vegetación arbórea con sombra	Espacios de descanso y esparcimiento	Disminuye la incidencia de rayos y su reflexión. Mejora la temperatura ambiente; con viento moderado hay confort en verano y transición	Reduce la isla de calor y la temperatura ambiental, bajo costo y visual ambiental agradable	Mejora la temperatura ambiente y propicia el uso de áreas exteriores. Variedad con riego bajo
Natural (arena o caliche)	Áreas con poco uso, para andar a pie o trotar	Movilidad lenta, desgaste natural y al intemperismo	Tiene bajo costo y mantenimiento. Se mejora con riego anual de emulsionante soluble en agua	Reduce incidencia solar, pero se trasladan partículas en periodos de viento o lluvias
Cáscara de nuez (u otros)	Áreas sin uso o de tipo contemplativo	La cáscara se esparce en espacios amplios y poco expuestos a vientos dominantes	Mantenimiento medio: dos veces al año o disposición en zonas delimitadas	Reduce la incidencia solar y polvo en periodo de vientos

Fuente: Peña, en Peña y Hernández, 2009.



Figura 2. Plaza de uso común con tratamientos de pisos y elementos de sombreado (fuente: Peña, en Peña y Hernández, 2009).

sin plantas.¹⁷ Aunque la misma estructura, a pesar de no tener la misma vegetación veraniega, disminuye la captación de radiación, también resulta útil como protección contra los vientos fríos.

El *sombreado de los edificios públicos* o elementos arquitectónicos también contribuye a mejorar el espacio abierto, siempre y cuando se tome en cuenta la orientación y el volumen de los mismos, ya que por medio del diseño urbano del sitio se modifica la percepción de su ubicación y, además, se reduce la insolación. Un ejemplo frecuente se da cuando las personas permanecen en ciertos lugares por su diversidad de ambientes o por el aislamiento que se logra con respecto del bullicio de la ciudad.

Estrategias para parques o áreas recreativas

La ubicación y extensión de un espacio para parque puede ser favorable para que los habitantes se involucren en el mantenimiento y cuidado del espacio común, con lo que se evita, además, el abandono y un costo extra para su conservación.

En el diseño habitacional los espacios recreativos y parques deben favorecer la confluencia y la convergencia de senderos o recorridos para que sean seguros y de interés para los pobladores; si esto no se prioriza, terminan como terrenos baldíos en desuso o como espacios residuales.

¹⁷ Algunas plantas silvestres del desierto se secan completamente en invierno, sin dejar ramas, tales como la hiedra o zarza, que en verano tienen hojas y flores blancas o coloridas que tornan agradable el ambiente.

El diseño de estas áreas incorpora dos variables, la participación social y los aspectos bioclimáticos o medioambientales. En la participación social se observa que el parque debe localizarse frente a los accesos de las viviendas para garantizar los beneficios visuales y de cercanía a los pobladores, sobre todo si se busca que los residentes sean los encargados de su conservación. Soluciones poco viables son la definición sobre avenidas primarias o como corredores urbanos, aislados de la zona habitacional.

Otro aspecto es el tamaño del parque, ya que debe considerarse una proporción que realmente pueda ser atendida por los residentes que viven frente al mismo; es decir, un área cuyo cuidado pueda distribuirse entre treinta y cincuenta familias, lo que da un total máximo de 1 a 2 m² por participante, lo cual facilita la colaboración y organización vecinal. Igualmente, es recomendable introducir sistemas de conservación de bajo costo para el cuidado de la vegetación y del mobiliario urbano que involucre la mano de obra voluntaria o, bien, que no implique altas contribuciones de parte de los residentes.

También pueden integrarse aspectos de participación socio-ambiental por medio de áreas de reforestación, localización de desechos, captación de aguas pluviales (o con la creación de humedales) e inclusión de espacios cubiertos para actividades colectivas o sitios de referencia local.¹⁸ Estos factores de diseño son esenciales para el éxito y conservación de un sitio común, pues involucra a los interesados en procesos organizativos de interés colectivo.

Para las soluciones bioclimáticas y de ahorro energético, se propone:

- ▶ Sitios de recolección de basura separada para el uso de desechos orgánicos para elaborar composta y de inorgánicos para reciclaje; esto implica una culturización ecológica a los pobladores, quienes deberán conocer las ventajas y beneficios de estas prácticas.
- ▶ Áreas de captación pluvial, ya sea de pozos de absorción o vasos captadores, que puedan ser utilizados en el riego de jardines.
- ▶ Crear humedales artificiales¹⁹ con la separación de aguas grises y negras, con la utilización de tratamientos de tipo primario o secundario, que mejoren las condiciones de humedad del área o parque.

¹⁸ “Las teorías *socioculturales*, contemplan la conducta territorial [...] en función del aprendizaje social y las influencias culturales” (Holahan, 2005: 309).

¹⁹ Los humedales artificiales de aguas grises o negras se proponen de acuerdo a las pendientes y localización de áreas habitacionales que los proveen, teniendo un tratamiento de separación de sólidos y mejoramiento de caudales para reducir elementos patógenos.

- ▶ Sistemas de iluminación fotovoltaica que reduzca el consumo energético en el espacio abierto.

Por último, se proponen también sistemas pasivos para el diseño bioclimático con alternativas de adecuación al espacio abierto, lo cual resulta una estrategia económica viable.

- ▶ *Organización de la vegetación* para modificar las condicionantes del clima (temperatura, vientos, humedad y radiación, por mencionar algunos): localización de vegetación de hoja caduca para provocar sombreados en verano y de hoja perene para proteger de vientos fríos en invierno, cubresuelos para mitigar la radiación solar en espacios amplios y flora nativa o de bajo riego para hacer eficiente su aplicación. En este mismo sentido, se proponen *nichos vegetales*²⁰ para definir sitios de reunión que sean hitos de convergencia social.
- ▶ Las *pendientes y relieves naturales o artificiales* que sirven para modificar el sitio, la percepción espacial, la jerarquización de usos y la adaptación al medio, cambiando la dirección de vientos y la reflexión solar, convenientes para la organización espacial y adecuación al clima.

Los sistemas activos que se proponen son alternativas que hacen más eficientes los sistemas pasivos y que no condicionan sus beneficios, esto es, son auxiliares y para uso eventual.

- ▶ Para contrarrestar los efectos del clima cálido seco, se proponen depósitos adosados al mobiliario urbano –*nebulizadores para humidificación*–, que los usuarios pueden aprovechar para refrescar o mejorar el balance hídrico de la estación. Los nebulizadores facilitarían la modificación del ambiente seco y mejorarían la temperatura ambiente del sitio. Es importante resaltar que debe contemplarse la necesidad de un aprendizaje social para su uso.²¹
- ▶ La incidencia solar anual en el desierto, de 320 días al año, igualmente puede ser aprovechada mediante *sistemas fotovoltaicos de ilumina-*

²⁰ Nichos vegetales protegidos con flora que mejoran los lugares abiertos de los vientos dominantes, del clima extremo y de otros fenómenos extraordinarios.

²¹ Estos nebulizadores tendrían diferentes sistemas por captación agua pluvial, o bien, recibir agua del sistema general de abasto de la ciudad.

- ción*, lo cual permitiría el almacenamiento de energía en baterías que, durante la noche, mantienen el espacio iluminado, lo que resulta en un importante ahorro energético en el espacio público de la ciudad.
- ▶ *El reciclaje de basura orgánica e inorgánica* es igualmente necesario, por lo que se propone el diseño de mobiliario urbano para incluirse en las áreas de descanso, de espera de transporte público o en zonas generales como centros de recolección o acopio. También se contemplan muros y estructuras para la concentración de pilas, latas de aluminio y materiales de tratamiento diverso, que sean de fácil manejo y control. Este tipo de acciones favorecen la introducción de prácticas de participación socio-ambiental que contribuyen a un cambio cultural de la vida urbana vinculada al cuidado del medio y el contexto. Al respecto, Peña y Hernández (2009) proponen el siguiente ejemplo: “una pérgola que tiene un sistema de aspersión para el riego y la humidificación que recibe en forma de rocío cada determinado tiempo, o en su defecto se aplica manualmente. Este sistema deberá contar con un programa de mantenimiento para evitar su deterioro”
 - ▶ Otra solución al exceso de sol en la región es la colocación de *semicubiertas de lonarías o vegetales*,²² que producen sombras para mitigar el soleamiento excesivo en horarios de insolación en verano, a la par que se definen como sitios para protegerse y se adaptan a otro tipo de situaciones climatológicas como lluvia, viento o granizo. Estos sistemas pueden desmontarse o cerrarse durante el invierno para eliminar sombras y captar radiación solar, para lo cual pueden utilizarse las propuestas antes indicadas de pisos captadores o vegetación nativa.
 - ▶ *Reutilización de materiales de desecho* para el mobiliario urbano, ya sea para tratamientos de pisos o para delimitar áreas o juegos infantiles. Por ejemplo, la fibra triturada de llantas ofrece buena resistencia para la fabricación de banquetas o sendas,²³ y se puede prediseñar para una fácil instalación. Asimismo, la llanta completa se usaría para columpios, arriates y tratamiento de asientos en bancas, que al-

²² Se aplican principios básicos para el espacio urbano, ya que “aleros, toldos, celosías, paneles, etcétera, fijos y móviles, fueron desarrollados y usados, a lo largo de la historia, como sistemas de control de la incidencia de rayos solares en la arquitectura” (Rodríguez *et al.*, 2001: 68).

²³ “El agregado de neumáticos al pavimento puede hasta duplicar la vida útil de la vía, debido a que el caucho le confiere propiedades de elasticidad ante las variaciones de temperatura”, además de amortiguar el ruido (Cantanhede y Monge, 2002: 11).

gunos habitantes ya diseñaron, y que ofrecen soluciones con buena resistencia al intemperismo y garantizan durabilidad.²⁴

Evaluación de la eficiencia de estas estrategias

Algunas de estas propuestas se han aplicado, de manera empírica, en diferentes proyectos de la ciudad. Actualmente se tiene planeado realizar mediciones de las cualidades técnicas bioclimáticas y de la efectividad en cuanto a cambio de prácticas de las personas y de ahorro energético. Este registro permitirá precisar los beneficios o aportes de estas estrategias de manera sistemática durante los periodos estacionales.

Entre los sistemas de medición a emplear, se sugieren los siguientes:

- ▶ *Medición corporal.* Para captar los beneficios de las estructuras o sistemas pasivos aplicados, directamente en el beneficiario, se propone la medición de la temperatura corporal de personas expuestas al asoleamiento en forma cotidiana, así como de aquellas que utilizan estos espacios urbanos, a fin de observar los cambios que se presentan y los beneficios que se obtienen, por mínimos que sean, al utilizar las áreas con estos diseños o modificadores.²⁵
- ▶ *Medición climática de humedad, velocidad del viento y temperatura.* Para detectar las ventajas y variables del medio exterior en conjunto, o individualmente, además de sus condiciones extremas durante las mediciones de tipo corporal.²⁶

Conclusiones

Las alternativas de diseño bioclimático para el espacio urbano que se mencionan en este artículo introducen diversas soluciones, algunas de ellas innovadoras y otras que ya se aplican de manera aislada. Se sugiere la imple-

²⁴ Rincones y Bustillos (2008: 195) mencionan que existen 4.4 millones de llantas confinadas en el basurero municipal de Ciudad Juárez, lo que hace factible su aplicación.

²⁵ Se sugiere el uso de cámara térmica, anemómetros, termómetros láser manuales e instrumentos que faciliten el registro de estos beneficios o confort de las personas que utilizan los espacios.

²⁶ Utilizar mediciones a nivel ciudad y en el sitio para su comparación.

mentación de varias estrategias para resolver los diferentes requerimientos de los bioclimas de tipo estacional y, de esta forma, sumar mayores beneficios de adecuación climática.

Las opciones de diseño de sendas o andadores peatonales, plazas de encuentro y áreas verdes o recreativas, son esenciales en la restructuración del espacio urbano y tienen la ventaja de ofrecer beneficios en la calidad de vida de los habitantes de una ciudad; esto se debe, en principio, a que la pérdida de ambientes naturales debe ser compensada con soluciones creadas en espacios que aporten mayor calidad.

Los cambios o modificaciones que se proponen con la adecuación de espacios y tratamientos de pisos se consideran modificadores con algunas variables en la temperatura (2 a 5 °C), en la humedad (aumentar el porcentaje) o al captar agua pluvial por absorción o en depósitos. Esto significa que en la región del desierto chihuahuense y de la cuenca del río Bravo, las condiciones climáticas del espacio abierto pueden mejorar a partir de conceptos teóricos y prácticas locales de uso vernáculo, las cuales, al incluir el monitoreo, podrán ofrecer información técnica relevante de los beneficios que aportan.

Los efectos sociales de estas soluciones tienen incidencia en la problemática social tanto en sectores populares como en barrios antiguos, ya que favorecen el uso del espacio público y consolidan las prácticas de tipo vecinal y la de redes sociales. Sin embargo, con esto se pretende impactar en la vida de los habitantes al motivar el uso del espacio exterior y reducir el consumo de energéticos en el interior de la vivienda. En consecuencia, éste es, sin duda, un planteamiento con efectos de largo plazo.

Al introducir soluciones integrales en el diseño urbano y apropiarlas a la región con beneficios de tipo funcional y paisajístico, incorporando, además, la premisa de adecuación climática y al medio como factor determinante, se obtienen beneficios de largo plazo en la calidad de vida de los habitantes de un sector.

Bibliografía

- Bustillos, S. y R. Rincones (2008) "Espacio común: el ambiente fronterizo México-Estados Unidos", *Chihuahua Hoy*, México, pp. 173-195.
- Cantanhede, Á. y G. Monge (2002) *Estado del arte en el manejo de llantas usadas en las américas*, Lima, Perú, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-Organización Panamericana de la Salud-Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.

- García, C. (2001) “La gestión del espacio”, en D. Lauer, C. García-Gutiérrez, A. Flores, A. Lafón, J. P. Scudday, S. Contreras, M. T. Guerrero y E. Servín, *Luces y voces del desierto chihuahuense* (México Desconocido) México, Grupo Cementos de Chihuahua, pp. 17-28.
- Herrera, L. (2006) *1 Foro Taller de Recursos Alternos para el Confort y Diseño Bioclimático* (Memorias en DVD) México, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Holahan, Ch. (2005) *Psicología ambiental. Un enfoque general*, México, Limusa-Noriega.
- INEGI (2001) *Cuaderno Estadístico Municipal*, Juárez, Chihuahua, México, INEGI.
- Peña, L. y J. Hernández (2009) “Sistemas pasivo y activo para el diseño urbano bioclimático”, *XXXIII Semana Nacional de Energía Solar*, Guadalajara, México, Asociación Nacional de Energía Solar/Universidad Tecnológica de Guadalajara, octubre.
- Rodríguez, M., G. Castorena, A. Figueroa, V. Fuentes, V. Huerta, J. García, L. Guerrero, F. Rodríguez (2001) *Introducción a la arquitectura bioclimática*, México, Limusa-Noriega.
- Semarnat/EPA (2002) *Frontera 2012: Programa Ambiental México-Estados Unidos*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México) y Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos (versión en español).
- Sánchez, N. (2004) “Desarrollo urbano y derecho ambiental, México, Porrúa.
- Pearce, F. (2008) *Agua en el desierto: Bravo para el río* (http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=23672_208&ID2=DO_TOPIC).

Créditos de tablas y figuras

Las tablas y figuras fueron elaborados por Leticia Peña (Peña y Hernández, 2009). La representación de las figuras 1 y 2 son obra de Omar Paniagua, estudiante de arquitectura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2009.

Análisis térmico de una vivienda económica en clima cálido-seco bajo diferentes orientaciones y medidas de sombreado

Daniel Solís

*Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas,
Instituto Politécnico Nacional*

Resumen

El clima predominante en el norte de México es el cálido-seco, el cual puede llegar incluso a ser extremo, por lo que el nivel de adaptación de las viviendas afecta sensiblemente la necesidad de enfriamiento. A continuación se presenta un estudio térmico, mediante el programa DesignBuilder, de seis viviendas económicas de 30 m² con alta carga térmica interna, ubicadas en ciudades del norte de México, una por cada estado fronterizo. El objetivo es cuantificar el efecto de la orientación y del sombreado en el confort a través de un índice de confort térmico, en caso de no contar con climatización, y del consumo de energía eléctrica, en caso de contar con ella.

Las viviendas forman un fraccionamiento que presenta esquema pareado, de manera que a cada vivienda con fachada en cierta orientación le corresponde otra con disposición antípoda, por lo que el análisis considera orientaciones en par y los resultados son los promedios de ambas. El par de orientaciones Norte-Sur (N-S) arrojó los mejores resultados, mientras que el par Este-Oeste (E-O) obtuvo los más bajos, con un consumo anual promedio por climatización de, aproximadamente, 11% más respecto al primer par. El sombreado se analizó exclusivamente para el par N-S, dando como resultado poca reducción en el consumo eléctrico anual para aleros y persianas externas, alrededor de 3%, mientras que el sombreado completo promedió 14%. El uso de alero y sombreado general también se simuló utilizando una carga térmica interna reducida y se obtuvieron ahorros porcentuales similares.

Se concluye que, a pesar de que las viviendas dentro del fraccionamiento presentan orientaciones pareadas, el impacto de las mismas no se anula, por lo que la elec-

ción de las orientaciones del conjunto afecta sensiblemente la necesidad de enfriamiento. Por su parte, el sombreado, aunque es una técnica muy útil en la mayoría de los casos, en éste en particular requiere de ser total para ser eficiente por sí mismo.

Abstract

The predominant climate in the north of Mexico is the hot-dry, which sometimes is extreme. The adaptation level of housing in such a climate significantly affects the need for cooling. Using DesignBuilder, a thermal study is made on an economic house of 30 m² with high internal heat load in six cities belonging to each of the six northern Mexican border states. The aim is to quantify the effect of orientation and shading on comfort, through a thermal comfort index if there is not air conditioning and power consumption if the house is conditioned.

The houses form a settlement with a paired scheme, so that each home with some façade's orientation, presents another house with antipodal orientation, so the analysis considers orientations in pairs and the results are averages. The North-South (N-S) orientations pair was the best, while the East-West (E-W) was the worst, with about 11% higher annual air-conditioning consumption compared with the first. The shading is analyzed exclusively for the pair N-S, resulting in annual electricity consumption reduction for eaves and external shutters, around 3%, while complete shading averaged 14%. The use of eaves and general shading eaves was also simulated considering low internal thermal load, obtaining similar percentage savings.

The conclusions are that although the houses within the settlement have paired orientations, the effect does not cancel each other, and the choice of the orientations of the settlement affects significantly the need for cooling. Despite the shading is a very useful technique in most cases, requires being complete to be useful by itself in this one.

Introducción

En el año 2005, México contaba con una población de 103.3 millones de habitantes y 24 millones de viviendas (INEGI, 2007). Según Figueroa y Fuentes (1989), quienes analizaron cuatrocientas ciudades mexicanas para determinar la distribución climática del país, 16% del territorio mexicano (sesenta y cinco ciudades concentradas principalmente en el norte del país) presenta un clima cálido-seco; es decir, con temperaturas arriba de los 26 °C y precipitaciones promedio anuales menores a los 650 mm.

La interacción fronteriza con Estados Unidos ha propiciado el crecimiento de ciudades en estas zonas de la república, además de que la misma cercanía con dicho país facilita la adquisición de electrodomésticos de segunda

mano a bajo precio, lo que trae como consecuencia un incremento en la Carga Térmica Interna (CTI) de las viviendas. De este modo, si una vivienda de área reducida no está adaptada al clima en el que es construida y, al mismo tiempo, tiene una alta CTI, presentará mayores necesidades de enfriamiento y calentamiento, en especial considerándose por m².

El objetivo del presente trabajo es mostrar el efecto causado por la elección de las orientaciones y sombreados en un fraccionamiento de vivienda económica con alta CTI en clima cálido-seco. De manera secundaria, se planeó también mostrar las consecuencias de una reducción en la CTI. Para lograr el objetivo hubo que enfrentarse a dos escollos: 1) determinar la transmisión de calor hacia el terreno en el caso no climatizado y, 2) elegir entre dos tipos de vivienda pertenecientes al mismo emplazamiento. El primero fue ocasionado por la falta de un método que permitiera calcular temperaturas de terreno para una edificación pequeña no climatizada; el segundo, a causa de que el fraccionamiento del que se dispuso construyó dos tipos de vivienda similares.

Antecedentes

Domínguez y Morillón (2002) estimaron que un correcto diseño bioclimático de las 2 310 000 viviendas que el Infonavit previó construir durante el periodo 2001-2010 hubiera conllevado un ahorro de 4 869 711 kWh eléctricos, para el año 2010. Asimismo, se habrían dejado de emitir 3 316.27 toneladas de CO₂ equivalentes totales.

En este sentido, diversos autores y guías, tanto nacionales como extranjeras, han remarcado la importancia de la orientación de la vivienda, entre ellos la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (2006), Guerra (2003), ALTENER (2002), Geohabitat (2000), el Instituto Argentino de Normalización IAN (1996), Krishan (1996) y Lacomba (1990).

Mediante simulación térmica, ya sea computacional, numérica o con métodos propios, diversos autores, como Pérez *et al.* (2004), Carrasco y Morillón (2004), Morillón (2004), Carrasco (2005), Fernández (1995), Alias y Jacobo (2004a y 2004b), Torres y Evans (1999) y Corral y González (2001), han evaluado cuantitativamente el efecto energético de la orientación, pero sólo considerando la vivienda aislada. Entre los resultados expuestos, los autores consensúan en reducir –o evitar– ventanas y grandes áreas de muro expuestos con orientación Sur, además de sombrear las ventanas restantes en esta misma

orientación. Igualmente, coinciden en designar al Este y al Oeste como las orientaciones menos recomendables, sobre todo a esta última, debido a la radiación que recibe por la tarde. En cambio, encuentran el Norte como una disposición ideal para fachadas.

Por su parte, el uso de sombreado veraniego en climas cálidos es propuesto tanto por el Green Building Council of Australia (2005) como por Morillón (1993), IAN (1996), Terrazas (2000), Guerra (2003), Rojas *et al.* (1999), Rodríguez (2005) y Carrasco y Morillón (2004). En tanto, ALTENER (2002) lleva a cabo un análisis de las variaciones observadas en la transmisión directa para algunos tipos de aleros y partesoles. Como resultado, determina que los dispositivos externos son más efectivos que los internos.

Krishan (1996) estudia la arquitectura de una ciudad de Jaisalmer, en un desierto hindú, a una latitud de 26° 55' N. En esta localidad las fachadas tienen gran número de proyecciones y el alto de las construcciones es varias veces superior al ancho de las calles, esto con el objetivo de producir la mayor cantidad de sombra posible, tanto sobre las calles como sobre las fachadas vecinas.

Hernández *et al.* (1980) y Baez *et al.* (1980), a su vez, muestran prototipos de vivienda solar Infonavit, adaptados para Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua; La Paz, Baja California Sur, y San Luis Potosí, San Luis Potosí. En estos proyectos, al igual que en los estudios mencionados con anterioridad, uno de los sistemas pasivos utilizados fue el sombreado, principalmente sobre ventanas.

En 1957, los arquitectos Olgyay publicaron un método de cálculo para protección solar mediante aleros y partesoles. Con base en la temperatura ambiente horaria y la temperatura de confort determinaron las horas de sombra necesarias para que la protección fuera eficiente. Sin embargo, sólo consideran el ingreso de radiación y no el efecto que puedan tener las cargas térmicas internas ni el efecto invernadero al interior de la vivienda (Olgyay y Olgyay, 1957).

Otros arquitectos e ingenieros que desarrollaron métodos para calcular la protección solar óptima, pero con las mismas deficiencias de los hermanos Olgyay, son Koenigsberger *et al.* (1977), Mazria (1985), Raeissi y Taheri (1998) y Morillón y Mejía (2004).

Para el caso analizado en este trabajo, el ángulo de sombreado de aleros y partesoles no se eligió con base en alguno de los métodos anteriores, debido a que éstos consideran la necesidad de sombreado cuando hay sensación de confort o calor y el ingreso de radiación cuando la sensación es de frío. El pro-

blema radica en que la temperatura es una variable preponderante en el cálculo del confort, por lo que implícitamente lo resulta ser en los cálculos de sombras mencionados y, por tanto, utilizar temperaturas ambientales provenientes de archivos climatológicos es inviable, ya que, como muestra la figura 1, la temperatura interior resulta ser significativamente superior a la exterior, razón por la cual los datos utilizados para calcular aleros o partesoles deberían ser éstos, pero si se dispone de la opción de simulación para obtenerlos sería más factible lograr la eficiencia de los aleros y partesoles directamente por simulación, especialmente al considerar que cada nueva técnica aplicada modifica los resultados y tendría que recalcularse el alero y el partesol ideal.

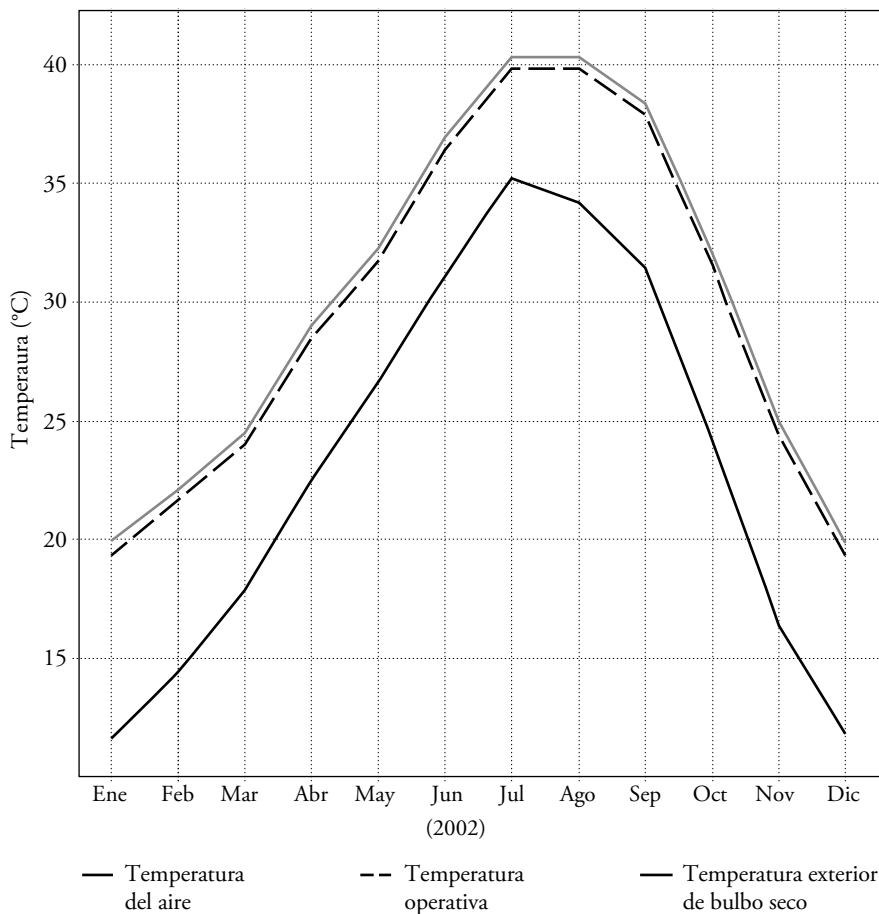


Figura 1. Temperatura promedio mensual: exterior ambiental (línea continua negra), interior operativa (línea gris punteada) e interior de aire (línea gris continua).

Clima y consumo energético

Durante el año 2004, el consumo energético del sector residencial, comercial y público en México fue de 842 PJ, lo que representa 20.6% del consumo nacional total. De la cifra anterior, el subsector residencial representó 83.6% (Sener, 2005) del total, porcentaje por demás alto, sobre todo si se considera que la Secretaría de Energía prevé un incremento de 5.1% en la demanda eléctrica residencial para el periodo 2005-2013 (Sener, 2006).

En poblaciones superiores a cien mil habitantes, el pico de demanda eléctrico se incrementa entre 2.7 y 3.6% por cada °C de incremento en la temperatura del aire¹ (Akbari *et al.*, 1992), en parte debido a que el efecto de isla de calor aumenta la necesidad de enfriamiento. Santamouris (1997) muestra que la intensidad de la isla de calor se ha llegado a presentar, en caso extremo, hasta 30 °C. Por otro lado, De Buen (2004) menciona que el uso de aire acondicionado determina la demanda pico en las zonas cálido-secas mexicanas, misma que requiere del país una inversión que oscila entre los \$7 615.00 y los \$12 692.00 pesos por cada kW de demanda adicional.²

Tarifa

Desde el año 2008, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) aplica el cobro de la electricidad residencial en México de acuerdo a la temperatura media de verano (seis meses más cálidos), con base en lo cual se definen siete tarifas: 1 ($T_v < 25$ °C); 1A ($T_v > 25$ °C); 1B ($T_v > 28$ °C); 1C ($T_v > 30$ °C); 1D ($T_v > 31$ °C); 1E ($T_v > 32$ °C) y 1F ($T_v > 33$ °C).³ De este modo, a Mexicali y Hermosillo les corresponde la tarifa 1E, a Nuevo Laredo la 1E, a Monterrey y Torreón la 1C y a Chihuahua la tarifa 1B.

Los datos que CFE utiliza para determinar la tarifa provienen de reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), por lo que no necesariamente corresponden a los de otros reportes, como es el caso de los archivos meteorológicos utilizados aquí, según los cuales, Chihuahua ($T_v = 25.6$ °C) sería 1A, Nuevo Laredo (28.3 °C), Torreón (28.1 °C) y

¹ La referencia original cita 1.5-2% por cada °F. Se transforma tomando una equivalencia lineal de 1.8 °F = 1 °C.

² La referencia original cita entre 600 y 1 000 dólares. Para la conversión se toma el tipo de cambio promedio de enero-agosto de 2010, correspondiente a \$12.6924 pesos mexicanos por cada dólar estadounidense, obtenido del Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (2010).

³ T_v es la temperatura media de verano.

Monterrey (29.6 °C) serían 1B, Mexicali (30.5 °C) sería 1C y Hermosillo (31.2 °C) sería 1D. De acuerdo con las normales climatológicas elaboradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) durante el año 2008, Chihuahua sería 1 (23.5 °C), Torreón (26.3 °C) y Monterrey (26.7 °C) serían 1A, Nuevo Laredo (28.6 °C), Mexicali (29.7 °C) y Hermosillo (29.9 °C) serían 1B.

Dadas las discrepancias, la validez de una simulación en determinada ciudad quedaría supeditada a la exactitud y precisión de las mediciones del clima utilizadas como referencia. Lamentablemente, no se tuvo acceso a las normales que CFE menciona provenientes de Semarnat, a pesar de lo cual, los climas analizados son extremos, como se verá más adelante, y el análisis en formato comparativo sigue siendo válido.

Para cada tarifa, el costo unitario del kWh varía con el consumo hasta llegar a un límite doméstico de alto consumo (DAC) en que desaparece la subvención gubernamental. Por tanto, reducir la necesidad de consumo eléctrico traería como consecuencia ahorro monetario para el usuario, pero también para el país, ya que subvencionaría menor cantidad de energía. Asimismo, habría un ahorro ecológico para el planeta, pues se emitirían menos contaminantes causados por la producción de electricidad. La figura 2 muestra el costo del kWh unitario en verano, con base en la tarifa y el consumo. Cada línea termina en el límite DAC, mismo que varía con la tarifa, pues se considera que entre más cálido sea el clima mayor necesidad habrá de enfriar mediante el uso de la electricidad. Debido a la posibilidad de calentar utilizando gas, no se considera una necesidad extra de electricidad por climatización para el invierno, de ahí que el precio unitario tiende a ser similar entre las distintas tarifas analizadas durante el invierno.

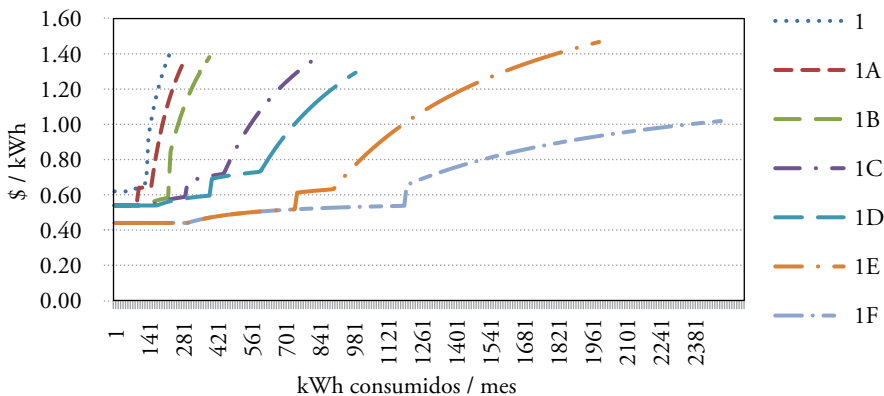


Figura 2. Precio unitario (en pesos mexicanos) del kWh por tarifa en verano (fuente: elaboración propia con base en datos de CFE durante el año 2008).

Ciudades analizadas

En la tabla 1 se muestran algunas características de localización y clima observadas durante el verano en las ciudades estudiadas. Para fines prácticos, *V* es verano –sólo se contempla el periodo de mayo a septiembre–; *T* es temperatura; *HR*, humedad relativa; *mín*, mínimo; *máx*, máximo; *prom*, promedio; *R*, radiación y *Dire*, directa (entre paréntesis se muestra la radiación difusa en unidades Wh/m²-día). La fuente de casi todos los datos son los archivos climáticos, excepto para la Precipitación Anual –PA– (SMN, 2007) y para la Población Municipal –PM– (INEGI, 2007). La American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) engloba a las seis ciudades en la clasificación 4B (seco mixto), mientras que la clasificación de Köppen las enmarca en la clasificación BWh (desértico cálido), con excepción de Nuevo Laredo, a quien ubica en BSh (estepario cálido).

Vivienda

Según la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi, 2008), una casa habitación económica posee una superficie estándar de 30 m² y un costo promedio de 117 salarios mínimos. Para la simulación se eligió una vivienda de Infnavit, con una superficie de 32.6 m², ubicada en un fraccionamiento construido en la ciudad de Mexicali. El fraccionamiento en cuestión cuenta con dos tipos de vivienda con clave VU-33, con fachadas orientadas tanto al

Tabla 1. Resumen de características de las ciudades analizadas

Característica	Mexicali	Nuevo Laredo	Torreón	Monterrey	Chihuahua	Hermosillo
Latitud	32° 47' N	27° 31' N	25° 31' N	25° 51' N	28° 42' N	29° 3' N
Longitud	115° 35' W	99° 27' W	103° 26' W	100° 13' W	105° 57' W	110° 57' W
Altitud	-9 msnm	152 msnm	1 124 msnm	448 msnm	1 360 msnm	211 msnm
T _{min,prom,V}	24.1 °C	24.2 °C	22.6 °C	25.2 °C	20.1 °C	26.0 °C
T _{prom,V}	31.7 °C	29.1 °C	28.6 °C	30.3 °C	26.5 °C	32.0 °C
T _{max, prom,V}	38.7 °C	34.6 °C	34.5 °C	35.4 °C	32.7 °C	38.0 °C
T _{media anual}	23.1 °C	22.9 °C	23.5 °C	24.7 °C	20.3 °C	25.6 °C
HR _{min, prom,V}	15.20%	38.80%	28.80%	39.20%	23.00%	27.80%
HR _{max, prom,V}	37.00%	84.60%	64.40%	74.20%	53.60%	60.20%
PA	84.1 mm	562.5 mm	231.9 mm	631.4 mm	381.9 mm	320.1 mm
Viento Dom,V	S (3.4 m/s)	SE (6.1 m/s)	S (2.2 m/s)	S (3.9 m/s)	S (3.4 m/s)	S (2.2 m/s)
RDire, prom,V	6 968 (2 032)	5 327 (2 370)	5 882 (2 293)	4 801 (2 622)	6 351 (2 252)	5 704 (2 381)
PM	855 962	355 827	577 477	1 113 814	758 791	701 838

Norte como al Sur. Ambos tipos de casa, aunque con ciertas similitudes, no eran iguales, pues uno tendía a la forma rectangular (T1) y el otro a la cuadrada (T2).

Para llevar a cabo la comparación, eje central del presente trabajo, se realizó una simulación básica activando la calefacción por radiadores a 19 °C y, al mismo tiempo, el enfriamiento a 28 °C, durante todo el año, bajo esquema de terreno adiabático y sin cargas térmicas internas. Dado que el T1 presentó 5.8% más gasto energético anual que el T2, se eligió el T2 para simularse. El tipo seleccionado tiene dimensiones a eje de muros de 5.77 m (frente) y 5.40 m (fondo), y bloques de 12 cm de ancho, con una altura interior variable por inclinación de 2.3 a 2.38 m. Las viviendas están colocadas en zigzag, de tal manera que la mitad de ellas comienzan su fachada a 6 m de la banqueta y la otra mitad a 6.6 m. Por su parte, el terreno de cada vivienda tiene 6.86 m de frente por 17.50 m de fondo, lo que crea una separación lateral entre viviendas de 97 cm y 11.36 m de separación en el otro eje.

Dadas las características del conjunto, se decidió simular cuatro viviendas (véase figura 3), dos en una orientación y dos en la orientación antípoda, lo cual permite abarcar viviendas en ambos formatos del zigzag. Se incluyen, además, otros ocho bloques del tamaño de las viviendas para poder caracterizar mejor el conjunto habitacional en términos de sombreos y reflexiones. Los resultados son promedios exclusivamente de las cuatro viviendas centrales.

Materiales

La mayoría de las características térmicas de los materiales fueron obtenidas de tablas internas del programa DesignBuilder. El terreno se manejó con 17 cm de grava simple (*conductividad térmica* - $k = 1.280 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) sobre tierra natural ($k = 0.520 \text{ W/m} \cdot \text{K}$), encima de lo cual se aplicó un piso de 10 cm de concreto vaciado ($k = 1.130 \text{ W/m} \cdot \text{K}$).

El techo fue compuesto por vigueta de concreto ($k = 1.130 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y bovedilla de poliestireno ($k = 0.160 \text{ W/m} \cdot \text{K}$). La sección de bovedilla la conforman 15 cm de poliestireno y abarca claros de 61 cm, mientras que las viguetas, de 13 cm de ancho, se componen de 5 cm de poliestireno y 10 cm de concreto. Todo el sistema fue cubierto por una capa extra de 5 cm de concreto. Asimismo, el exterior fue recubierto con capas de diversos materiales, hasta lograr un ancho total de 1.7 cm. El valor U total de la construcción es de $0.859 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ para el caso bovedilla y $1.592 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ para vigueta.



Figura 3. Viviendas simuladas (fuente: elaboración propia en DesignBuilder).

Las paredes son de block de concreto de mediana densidad ($k = 0.510 \text{ W/m} - K$) de 12 cm de ancho con 1 cm de revoque interno, aunque el exterior va al natural. El valor U de la construcción es $2.408 \text{ W/m}^2 - K$ sin pintura y, con pintura (sólo la fachada), es de $2.379 \text{ W/m}^2 - K$. La construcción presenta dos encadenados de bloque dala de 20 cm de alto, además de cerramientos de 5 cm, todos ellos simulados como concreto vaciado y con un valor U de $3.494 \text{ W/m}^2 - K$. La fachada lleva un frontis.

La cancelería es de aluminio natural de 5 mm ($U = 5.881 \text{ W/m}^2 - K$) con vidrio claro de 3 mm ($U = 6.257 \text{ W/m}^2 - K$) sin ruptura térmica. Todas las ventanas tienen un divisor vertical de 4 cm y ninguno horizontal. Hay dos ventanas frontales con medidas de $1.03 \times 1.03 \text{ m}$, una trasera de 0.62 m (ancho) \times 1.03 m (alto) y una lateral del baño de 0.82 m de ancho por 0.41 m alto, todas con un remetimiento de 5.85 cm .

Hay una puerta frontal y una trasera, ambas de 1.03 m de ancho por 2.06 m de alto, las cuales se simularon como 38.1 mm de aire encerrado entre dos capas de 3.2 mm de madera de pino a 20% de humedad. El valor U es de $0.575 \text{ W/m}^2 - K$.

El techo y el frente se consideraron color terracota y, dado que el resto de la vivienda externa no presenta acabados, el color en otros puntos exteriores es directamente el propio del material; es decir, concreto. Banqueta y calle se simularon como 6 m de concreto, mientras que los patios son terreno al natural (tierra común). Se utilizaron valores internos de la biblio-

teca de DesignBuilder para las absorptividades solar, visible y térmica (referida esta última como equivalente a la emisividad). Los valores respectivos para el color terracota son 0.6, 0.6 y 0.9, mientras que para el concreto y la tierra son 0.7, 0.7 y 0.9, respectivamente.

Simulación

El programa de simulación utilizado es DesignBuilder v1.4 (DB), una interfaz gráfica que utiliza como núcleo de cálculo a EnergyPlus 2.1 (E+).

Disponibilidad de datos

Para Mexicali y Nuevo Laredo se utilizaron archivos meteorológicos de Calexico (El Centro) y Laredo, respectivamente, ambas en Estados Unidos. El grupo de EnergyPlus, a través del programa MeteoNorm 6.0,⁴ creó archivos climáticos para Torreón, Coahuila; Monterrey, Nuevo León; Chihuahua, Chihuahua, y Hermosillo, Sonora.

Temperaturas de terreno

Para calcular el flujo de calor al terreno, E+, y por ende DB, trabajan con temperaturas mensuales constantes del terreno. Para ello, E+ incluye un subprograma para calcularlas, SlabProgram (SP), el cual no pudo utilizarse para el caso de estudio debido a que está diseñado para edificaciones grandes y climatizadas. Para la vivienda no climatizada se determinaron alternativas: utilizar terreno adiabático (*Adiab*), utilizar temperaturas de terreno⁵ e interponer entre ellas y el piso una capa de tierra (*Tie*) o una de tierra y grava (*TyG*), con ancho igual a la profundidad de medición, y utilizar el SP con temperaturas de climatización iguales a las medias interiores naturales (proceso iterativo entre los programas DB y SP, donde la convergencia no es garantía de que sea físicamente realista) con clave SP.

A fin de simplificar el proceso, la comparación fue realizada mediante una simulación de un solo día, el 21 de junio, exclusivamente con fachadas de orientación N-S ubicadas en el área de Mexicali. Los resultados para las

⁴ Utiliza una extensa base mundial de datos climáticos para interpolar o extrapolar datos para lugares específicos.

⁵ Temperaturas del terreno a cierta profundidad. Dependiendo del archivo, se disponen a 0.5, 1, 2 y 4 m de profundidad.

temperaturas al interior de la vivienda, tras utilizar cada uno de los métodos (0.5 y 2 m en caso de usar capas), muestran que el caso adiabático arrojó las temperaturas más altas (véase tabla 2), esto debido a la incapacidad del calor para transferirse hacia el suelo y provocar con ello el enfriamiento. Por su parte, el SP no obtuvo una medición realista, pues las temperaturas resultantes son demasiado bajas y, por tanto, la vivienda se autoclimatiza muy bien, situación que no refleja lo que ocurre en la realidad.

Por otro lado, el usar una capa de tierra o una de tierra y grava, marca una diferencia cercana al medio grado. En la construcción real se utilizó una capa de tierra y grava, razón por la cual se decidió usar la misma alternativa para la simulación. Ya que el resultado no varía con la profundidad, tanto en Mexicali como en Nuevo Laredo se usaron 2 m, mientras que para el resto de las ciudades se empleó 1 m (única profundidad con datos). La importancia de considerar este flujo hacia y desde el terreno es grande, pues se encontró que algunas ciudades transmitían, en ciertos meses, incluso más de 200 kWh mensuales de energía hacia el terreno.

Las temperaturas de confort que activan el enfriamiento y calefacción en E+ pueden variar mensualmente, pero en DB tienen que ser fijas todo el año. Como SP pertenece directamente a E+, en este método también es posible ingresar temperaturas variables mensualmente. En este sentido, para el caso climatizado se utilizó el SP como la opción más viable, pero con una iteración: como temperaturas de climatización en el SP se utiliza la temperatura de confort mínima para el periodo que comprende los meses de diciembre a febrero, la máxima de mayo a septiembre y el promedio para el resto de los meses. Los resultados son volcados en el programa DB para simular la vivienda climatizada, con orientaciones N-S, en cada una de las ciudades estudiadas.

De estos datos se obtiene tanto la amplitud promedio anual como las temperaturas medias mensuales. Estas últimas, a su vez, se reintroducen en SP para obtener, así, las temperaturas de suelo finales. Lo ideal sería recalcularlas en cada sistema bioclimático, pero por practicidad se emplearon

Tabla 2. Comparación de temperaturas media, mínima y máxima interiores según el método de obtención de temperaturas

Temperatura	SP	0.5 m Tie	2 m Tie	0.5 TyG	2 m TyG	Adiab	Te*
Tmin (°C)	27.7	33.7	33.5	34.3	34	36.1	25.0
Tmed (°C)	31.1	37.2	37.0	37.6	37.4	39.2	32.8
Tmax (°C)	34.2	40.2	40.1	40.6	40.5	42.3	41.1

* Temperatura exterior ambiental.

las mismas. En la tabla 3 se muestran las mínimas, medias y máximas tanto para el caso no climatizado (CNC) como para el climatizado (CC). Se continúa con la misma orientación para las fachadas (N-S), pero en esta ocasión se consideraron, además de los otros factores ya mencionados, las cargas térmicas internas.⁶

Carga térmica interna

La vivienda se considera habitada por una pareja adulta que mantiene un ritmo de 1 Met (producción de energía metabólica) cuando están despiertos y un gasto de 57 W por persona al momento de dormir. Los valores se organizan bajo un esquema de ausencias y estadias, en el que, incluso, durante la fase de ausencia se contempla que la pareja habita 20% (por razones de escenario extremo). En cuanto a la vestimenta y la comodidad térmica, los moradores de la vivienda utilizan 1.0 clo (aislamiento térmico de la ropa) para invierno y 0.5 clo para verano.

El consumo típico de aparatos eléctricos se obtuvo de los datos ofrecidos por CFE (2008) para una distribución de 16.6 W/m² en un horario de 6:00 a. m. a 10:00 p. m. La iluminación consume un promedio de 3.3 W/m² entre las 6:00 y las 7:00 a. m., consumo que se mantiene durante la noche en el horario 6:00 p. m. a 10:00 p. m. Respecto al gasto energético de la cocina, éste proviene del gas LP, con una potencia promedio de 6.1 W/m² de 6:00 a. m. a 10:00 p. m.

Confort

El índice utilizado en el cálculo del confort fue el Thermal Sensation Vote (TSV) de 2-nodos de la Universidad de Kansas, el cual maneja una escala de [-1, 1] para la sensación de confort, [1, 4] para calor y [-4, -1] para frío. A diferencia de otros índices, para el TSV su cálculo varía si el clima es cálido o frío, lo que representa una cuestión importante, ya que Ochoa y Marincic (2005) encontraron aclimatación por épocas al analizar la ciudad de Hermosillo, a tal grado que hubo personas que reportaron confort en verano con una temperatura de 36.2 °C.

⁶ En el caso no climatizado no se tomaron en cuenta porque se trataba de discernir entre las posibles propuestas de manera natural y, en dicho caso, ya no son propuestas sino cálculos directamente a utilizar.

Tabla 3. Temperaturas de suelo profundo a 1 y 2 m dependiendo de la ciudad

Ciudad	CNC			CC		
	Mínima (°C)	Media (°C)	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Media (°C)	Máxima (°C)
Mexicali	15.2	23.0	31.0	15.3	16.9	18.2
Nuevo Laredo	17.3	22.8	28.5	18.1	19.4	20.5
Chihuahua	16.9	20.4	23.8	17.8	18.8	19.8
Hermosillo	21.5	25.7	30.0	18.3	19.4	20.5
Monterrey	21.2	24.8	28.5	16.0	17.0	19.0
Torreón	20.6	23.6	26.6	18.1	19.0	19.9

Para cuantificar el cambio de confort en el caso de no climatizar la vivienda, se utilizan el TSV absoluto de promedio anual (TSVprom), el TSV máximo de cada día promediado en verano (TSVmpv), además de una propuesta de Índice de Disconfort Total (IDT), que no sólo permite cuantificarlo sino que también incluye el número de horas de disconfort y el grado de TSV. Los índices se definen, matemáticamente, de la siguiente manera:

$$TSVprom = \frac{\sum TSVhorario}{8\ 760} \quad (1)$$

$$TSVmpv = \frac{\sum TSVmáximo\ diario\ en\ verano}{153} \quad (2)$$

$$IDT = \frac{TSVfrío * HRSfrío + TSVcalor * HRScalor}{8\ 760} \quad (3)$$

donde *TSVfrío* es el TSVprom considerando solamente las horas de frío ($TSV < -1$) y *TSVcalor* representa el TSVprom exclusivo a las horas de calor ($TSV > 1$). Por su parte, *HRSfrío* es el número de horas anuales con frío y *HRScalor* es el número de horas anuales con calor.

Climatización

El consumo eléctrico analizado corresponde a un acondicionamiento del espacio activo las 24 horas, los 365 días del año. La capacidad tanto de enfriamiento como de calefacción es de 10 kW (para garantizar climatización completa). El enfriamiento utiliza “aire comprado” mediante el método generalizado de ASHRAE, mientras que el sistema de calefacción se manejó eléctrico radiante, sin parte convectiva, con eficiencia de 100%. En cuanto a la eficiencia

del sistema de enfriamiento, ésta es de 25% y se manejó simple, esto es, sin un sistema específico.

Para calcular las temperaturas de activación de enfriamiento y de calentamiento (máxima y mínima de confort), se recurrió a los resultados de Charles *et al.* (2005), quienes tomaron velocidades de aire menores a 0.2 m/s y, a partir de diagramas de confort de ASHRAE 55-2004, obtuvieron temperaturas operativas (Top) de confort para humedad relativa media de 30 y 60% (véase tabla 4).

Utilizando la HR media de invierno y verano se interpolaron los rangos de temperaturas operativas de confort. De este modo, la mínima de invierno se usa para activar la calefacción, mientras que la máxima de verano para activar el enfriamiento. DB falla al utilizar Top en edificaciones poco aisladas (temperaturas radiantes muy altas), por lo que es preferible el uso de la temperatura del aire (T_a), sólo que, como medida de seguridad, se manejó $T_{a\ sup} = T_{op\ sup} - 1\ ^\circ\text{C}$. La inferior se dejó igual.

Medidas de sombreado y orientación

Los pares de orientaciones simulados son los principales: N-S, NE-SO, E-O y SE-NO.

Ventanas remetidas

Todas las ventanas se colocan de tal modo que el marco coincide con el fin interior de la pared. La clave del caso es VR.

Tabla 4. Temperatura operativa según ASHRAE estándar 55-2004

Humedad relativa (HR) (%)	Top de confort en verano (0.5 clo)	Top de confort en invierno (1.0 clo)
30%	24.5-28.0 °C	20.5-25.5 °C
60%	23.0-25.5 °C	20.0-24.0 °C

Tabla 5. Temperaturas operativas de confort para activación de AA

Característica	Mexicali	Nuevo Laredo	Torreón	Monterrey	Chihuahua	Hermosillo
$T_{op\ sup} = T_{a\ sup} + 1\ (^{\circ}\text{C})$	28	26	26	26	27	26
$T_{op\ inf} = T_{a\ inf}\ (^{\circ}\text{C})$	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5

Aleros y partesoles

Se simularon tres casos: AP1, AP2 y AP3, respectivamente, en los cuales la ventana del baño tiene un alero de 20 cm de saliente (64°), mientras que las ventanas orientadas hacia el norte no fueron sombreadas. En cuanto al resto de sus características, las más representativas son las siguientes:

- ▶ AP1. Las ventanas orientadas al S tienen un alero de 40 cm (68.8°).
- ▶ AP2. Aunque los aleros son de 64°, estos sobrepasan en ambos sentidos los límites del ancho de las ventanas: 20 cm en las frontales y 15 cm en la trasera.
- ▶ AP3. Los aleros miden 50 cm de saliente (64.1°); además se agregan partesoles con saliente de 30 cm (16.2°) en las frontales y de 20 cm (17.9°) en la trasera. Asimismo, a la ventana lateral se le cambia el alero por uno de 25 cm (58.6°) y se le incluye un solo partesol, contra el S, de 25 cm (17°).

Persianas

Las persianas son de color blanco, con una medida de 2.5 cm de ancho y con 1.9 cm de separación. Respecto a la conductividad, ésta es de 0.9 W/m-K, mientras que la reflectancia es de 0.5, la emisividad de 0.9 W/m-K y se encuentran a una distancia del vidrio de 5 cm. Ahora bien, las persianas pueden ser colocadas fuera o dentro de la vivienda, de ahí que PF será la clave para cuando las persianas se encuentren fuera y PD cuando se coloquen dentro.

Debido a que DB no permite manejar un horario para variar la inclinación de las tablillas, se dejaron en un ángulo de 45°, de tal forma que durante las horas de sol en verano se mantienen bajas y se levantan durante la noche. Para el caso del invierno, el acomodo de las tablillas se realiza a la inversa. No se utilizaron persianas al Norte.

Sombreado general

El sombreado general tiene por clave SG y consiste en tres partes. Una lona tensada de semisombra con emisividad 0.9, absorptividades solar y visible de 0.7 y transmitancia de 0.25, la cual se coloca a una altura de 2.8 m sobre el suelo, por lo que quedaría ubicada entre 10 y 20 cm por encima del techo. Las medidas totales de la lona son de 5.89 por 5.42 m. La separación existente entre vivienda y vivienda también se sombrea con lona ten-

sada, a una altura de 2 m sobre el suelo. Este sombreado comienza y finaliza donde coinciden las viviendas, lo que da una lona con medidas de 4.92 por 0.95 m. Hacia el sur se coloca panel W con saliente de 1 m a una altura de 2.1 m, para una medida total de 5.89 por 1 m. Respecto a la ventana, el alero tiene un ángulo de 46.9°, mientras que la pared completa forma uno de 64.5°. Como ejemplo visual de las medidas, la figura 4 muestra las viviendas bajo el esquema de sombreado general.

Disminución de Carga Térmica Interna

Como una medida comparativa más se probó con una carga menos rigurosa, a la cual se le dio la clave DCTI. El consumo eléctrico de luz –aparatos e iluminación– bajó 34%, en tanto el de cocina 33%. Es decir, la vivienda baja su consumo eléctrico base de 257 a 170 kWh/mes. Bajo este esquema se simuló nuevamente el caso AP1 y SG para el CC (ahora llamados respectivamente AP1-DC y SG-DC), además del base N-S (Base-DC) para el CNC.

Resultados

Por falta de espacio se agruparán los resultados. No se hará de acuerdo a la tarifa a la que pertenece cada ciudad, toda vez que, como se mencionó antes, eso depende de los datos de Semarnat. En vez de ello se agruparán como sigue:

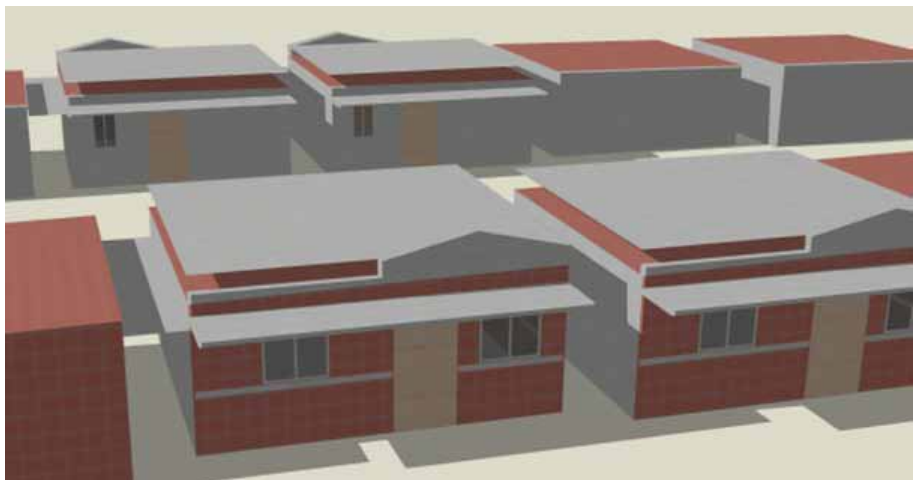


Figura 4. Viviendas con sombreado general (fuente: elaboración propia en DesignBuilder).

- ▶ Para el caso no climatizado, se agrupan según el IDT de la vivienda base, quedando las ciudades de Hermosillo (1.8740) y Monterrey (1.6198) en el Grupo A, Torreón (1.3833), Mexicali (1.3164) y Nuevo Laredo (1.2372) en el Grupo B, y Chihuahua (0.6589) en el Grupo C.
- ▶ En cuanto al caso climatizado, los resultados se agrupan según el consumo anual de climatización, de tal forma que Hermosillo (17 904 kWh), Nuevo Laredo (18,490 kWh) y Monterrey (17 741 kWh) están en el Grupo A', Torreón (13 320 kWh) y Mexicali (12 205 kWh) en el Grupo B' y Chihuahua (8 767 kWh) en el Grupo C'.

Caso no climatizado (análisis de confort)

Entre menos disconfortable es el clima, mayor es el efecto que tiene la elección de las orientaciones para el confort (véase tabla 6). En general, una mala orientación en el grupo B tiene un efecto negativo de, aproximadamente, 50% más que en el grupo A, mientras que en el grupo C triplica el porcentaje obtenido por el grupo A. En todos los casos, el par E-O es el más deficiente, ya que, en comparación con el par N-S, empeora la sensación de confort 5% para el grupo A, 8% para el B y 17% para el C.

Por su parte, el efecto del sombreado resulta eficiente entre menos disconfortable sea el clima. Así las cosas, el efecto positivo en el grupo B es un poco mayor al del A, mientras que en el C el efecto es el doble respecto al del A. Aunque el remetimiento de ventanas reduce el disconfort, esta reducción es mínima: 0.1-0.2%. Los casos de aleros y partesoles, dependiendo de la configuración, tienen un efecto de 2 a 4% sobre el grupo A, 2 a 5% en el B y 4 a 8% en el C. El sombreado general es el único con un efecto importante en los tres grupos: 12% en el A, 15% en el B y 24% en el C. En relación con las persianas, presentan poco efecto si se colocan dentro (2% en grupos A y B, y 4% en el C), pero éste se duplica si se colocan externamente (4% en el grupo A, 5% en el B y 9% en el C).

La eficiencia energética (disminuir la CTI) tiene un efecto importante: 12% en los grupos A y B y 22% en el C.

Caso climatizado (análisis de consumo eléctrico)

La tabla 7 muestra los resultados del análisis, con base en la siguiente nomenclatura: E es la necesidad eléctrica anual para enfriamiento en kWh, C es la de calentamiento en kWh, A es el ahorro porcentual de haber implementa-

Tabla 6. Resultados del análisis de confort para el caso no climatizado

Grupo A
(Hermosillo-Monterrey)

Característica	TSV1*	TSV2**	IDT	% IDT***
N-S (Base)	1.87	3.39	1.75	0.0
NE-SW	1.93	3.52	1.81	-3.5
E-W	1.96	3.54	1.84	-5.3
SE-NW	1.93	3.52	1.81	-3.6
VR	1.87	3.39	1.75	0.1
AP1	1.84	3.37	1.71	2.0
AP2	1.83	3.37	1.71	2.3
AP3	1.81	3.35	1.68	4.0
SG	1.69	3.20	1.54	11.9
PF	1.80	3.36	1.67	4.3
PD	1.84	3.37	1.71	1.9
Base-DC	1.69	3.18	1.54	11.7

Grupo B
(Torreón, Mexicali, Nuevo Laredo)

Característica	TSV1*	TSV2**	IDT	% IDT***
N-S (Base)	1.50	2.88	1.31	0.0
NE-SW	1.58	3.04	1.38	-5.3
E-W	1.60	3.08	1.42	-7.8
SE-NW	1.57	3.05	1.38	-5.4
VR	1.50	2.88	1.31	0.1
AP1	1.48	2.85	1.28	2.3
AP2	1.47	2.84	1.28	2.8
AP3	1.46	2.82	1.25	4.5
SG	1.34	2.61	1.12	14.9
PF	1.46	2.83	1.25	4.5
PD	1.48	2.85	1.29	2.0
Base-DC	1.38	2.64	1.15	12.3

* tsv1 es el tsvprom. ** tsv2 es el tsvmpv. *** % IDT es la reducción porcentual del mismo respecto al caso Base (N-S).

do la técnica (enfriamiento + calentamiento) y CO₂ son los kg de CO₂ equivalente emitidos, mismos que a su vez se basan en una relación de 0.681 kg de CO₂ equivalente por cada kWh producido para consumo residencial (Morillón, 2004). El ahorro en los casos AP1-DC y SG-DC se muestran en negritas y se calculan respecto a Base- DC.

Tabla 6 (concluye). Resultados del análisis de confort para el caso no climatizado

Característica	Grupo C (Chihuahua)			
	TSV1*	TSV2**	IDT	% IDT***
N-S (Base)	1.00	2.05	0.66	0.0
NE-SW	1.08	2.23	0.74	-12.5
E-W	1.10	2.27	0.77	-17.3
SE-NW	1.08	2.24	0.74	-12.2
VR	0.99	2.05	0.66	0.2
AP1	0.98	2.03	0.63	4.3
AP2	0.98	2.02	0.63	5.1
AP3	0.97	2.00	0.60	8.2
SG	0.91	1.84	0.50	23.9
PF	0.98	2.01	0.60	8.7
PD	0.98	2.02	0.63	4.1
Base-DC	0.92	1.84	0.51	22.3

* TSV1 es el tsvprom. ** TSV2 es el tsvmpv. *** % IDT es la reducción porcentual del mismo respecto al caso Base (N-S).

Al igual que en el caso no climatizado, en general, entre menos confortable sea el clima, mayor es el efecto que tiene la elección de las orientaciones, pero, a diferencia del CNC, en la elección de los sombreados hay casos en que el efecto en el grupo B es mayor al producido en el A. Sin embargo, el grupo C siempre presenta resultados menores a los obtenidos por el grupo A.

Nuevamente, el par de orientaciones menos eficiente es el E-O, el cual provoca, respecto al par N-S, un incremento de 9% en la necesidad de climatización para el grupo A y de 14% en los grupos B y C.

El remetimiento de ventanas, así como el uso de aleros y partesoles tiene un efecto mínimo de 0.1 a 0.5%, dependiendo del grupo. Las diferentes configuraciones de aleros y partesoles redujeron la necesidad de climatización en un rango de 2 a 4% para los grupos A y B y de 1% para el grupo C.

El sombreado general produjo un efecto importante en los tres grupos: 13% en el A, 15% en el B y 34% en el C. Las persianas son un caso especial, ya que al ser colocadas fuera reducen la necesidad de climatización en 4% para los grupos A y B y en 1% en el C, pero al ser colocadas dentro, el efecto es un incremento en la necesidad de climatización de 1.1%, 0.7% y 0.4% para los grupos A, B y C, respectivamente; esto es porque el calor es bloqueado cuando ya entró a la vivienda e impide una correcta salida convectiva/conductiva de calor por las ventanas.

Tabla 7. Resultados del análisis de consumo eléctrico anual por climatización

Grupo A
(Hermosillo, Monterrey, Nuevo Laredo)

Característica	E	C	CO ₂	A
N-S (Base)	16 470	1 575	12 289	0.0
NE-SW	17 571	1 627	13 074	-6.4
E-W	18 057	1 589	13 379	-8.9
SE-NW	17 505	1 621	13 025	-6.0
VR	16 455	1 576	12 279	0.1
AP1	16 138	1 594	12 076	1.7
AP2	16 066	1 599	12 029	2.1
AP3	15 794	1 627	11 864	3.5
SG	13 890	1 753	10 653	13.3
PF	15 793	1 612	11 853	3.5
PD	16 631	1 612	12 423	-1.1
Base-DC	12 879	1 911	10 072	18
AP1-DC	12 591	1 905	9 872	2.0
SG-DC	10 559	2 132	8 642	14.2

Grupo B
(Torreón, Mexicali)

Característica	E	C	CO ₂	A
N-S (Base)	10 311	2 451	8 691	0.0
NE-SW	11 489	2 529	9 547	-9.8
E-W	11 993	2 501	9 870	-13.6
SE-NW	11 469	2 543	9 542	-9.8
VR	10 245	2 451	8 645	0.5
AP1	9 968	2 485	8 481	2.4
AP2	9 909	2 493	8 446	2.8
AP3	9 691	2 545	8 333	4.1
SG	8 063	2 751	7 364	15.3
PF	9 727	2 552	8 362	3.8
PD	10 365	2 493	8 756	-0.7
Base-DC	7 408	2 941	7 048	18.9
AP1-DC	7 166	2 991	6 917	1.9
SG-DC	5 524	3 319	6 022	14.6

Reducir la CTI disminuye la necesidad de climatización en 18% para el grupo A, 19% para el B y 8% para el C. En el grupo C la relativa baja eficiencia se debe principalmente a que Chihuahua presenta una época de frío

Tabla 7 (concluye). Resultados del análisis de consumo eléctrico anual por climatización

Característica	Grupo C (Chihuahua)			
	E	C	CO ₂	A
N-S (Base)	3 970	4 798	5 971	0.0
NE-SW	4 922	4 907	6 694	-12.1
E-W	5 234	4 765	6 809	-14.0
SE-NW	4 892	4 866	6 645	-11.3
VR	3 961	4 801	5 966	0.1
AP1	3 808	4 873	5 912	1.0
AP2	3 777	4 890	5 902	1.1
AP3	3 666	4 998	5 900	1.2
SG	2 894	2 894	3 942	34.0
PF	3 670	5 005	5 907	1.1
PD	3 991	4 812	5 995	-0.4
Base-DC	2 319	5 740	5 488	8.1
AP1-DC	2 202	5 834	5 473	0.3
SG-DC	1 507	6 299	5 316	3.1

bien definida que requiere de calefacción (y en este caso ese calor provenía de la alta CTI).

Al simular las técnicas AP1 y SG en el esquema de CTI disminuida, se observa que los efectos porcentuales son muy similares a los obtenidos en el esquema original, excepto en el SG para el grupo C, que pasó de 34% (alta CTI) a 3% (CTI disminuida). Ello nuevamente tiene su explicación en que el clima de Chihuahua es compuesto. Cuando bajó la CTI, aumentó la necesidad de calentamiento, pero se redujo la de enfriamiento y, al incluir un sombreado general, la necesidad de enfriamiento casi no disminuyó (pues ya era baja), pero sí siguió aumentando significativamente la necesidad de calentamiento.

Conclusiones

Primeramente, se concluye que la vivienda no está adaptada al clima cálido-seco, lo que provoca una necesidad forzosa de acondicionar mecánicamente el recinto. Ello, a su vez, implica un elevado costo energético y económico. Hace falta aún mucho trabajo por desarrollar para el análisis y solución de los casos de viviendas pequeñas y no climatizadas.

El flujo de calor hacia el terreno es muy importante para una simulación realista, de ahí que, para el caso analizado, se propuso utilizar la temperatura de terreno a cierta profundidad y colocar entre la vivienda y este sumidero de calor una capa de tierra equivalente a la que se presentaría en la realidad. No obstante, lo anterior hace que el método quede limitado a viviendas de área pequeña que perturben lo menos posible el terreno, al tiempo que resulta restrictivo, esto debido a que la tierra colocada en la simulación es estándar, mas en la realidad la composición y humedad de la misma afecta sensiblemente su conductividad térmica.

Al evaluar los dos tipos de vivienda se encontró que uno era claramente mejor que el otro, lo que demuestra que realizar una simulación antes de construir es muy recomendable para definir el mejor de los prototipos propuestos.

En cuanto a las guías revisadas, éstas señalan medidas bioclimáticas, pero dejan de lado la importancia de concientizar a las personas respecto al efecto que trae consigo el consumismo energético excesivo. Durante la realización de trabajo se encontró que la CTI influye de manera apreciable en el confort de la vivienda no climatizada y, aún más, en el consumo por climatización. Reducir esta carga térmica produce en los casos de clima extremo, incluso, un efecto positivo superior al de sombrear toda la vivienda.

Las dos técnicas analizadas bajo el esquema DCTI presentan un ahorro porcentual similar al que tenían en el esquema de alto consumo.

Las ventanas remetidas no representan mejora alguna, simplemente porque el remetimiento logrado es mínimo. Respecto a las persianas, es muy importante notar que su colocación interna resultó inclusive contraproducente para el caso climatizado. Aun así, las persianas externas provocaron un mínimo ahorro, pues la temperatura interior es tan alta que el ingreso de radiación por ventanas chicas es relativamente pequeño, sobre todo si se considera que la poca aislación de las paredes facilita la transmisión de calor. Conclusiones similares aplican para los tres casos de aleros y partesoles.

El sombreado general es el único que por sí mismo presenta mejoras importantes en el confort y ahorro de energía por climatización. El problema radica, principalmente, en el costo alto, pero éste podría reducirse con una adecuada planeación desde el momento mismo del diseño.

Las viviendas económicas y de interés social representan la opción más recurrente entre un amplio sector de la población. Por tal motivo, al construirse es importante considerar las técnicas en términos de conjunto habitacional y no como viviendas aisladas. En especial, hay que resaltar cómo el

orientar las viviendas de manera pareada afecta el confort y, en mayor medida aun, la energía requerida para la climatización, misma que puede llegar a ser hasta 14% superior si se eligen orientaciones erradas. El mejor par de orientaciones en todas las ciudades resultó ser el N-S y el menos recomendable el E-O. Como ejemplo de lo anterior, en Hermosillo se produjo un consumo promedio anual por climatización de 17 904 kWh para orientaciones N-S. Sin embargo, al simular la vivienda de manera aislada, la necesidad aumenta a 20 8923 kWh en fachadas orientadas hacia el S y a 20 626 kWh en orientación N. Es de señalar que en el caso de vivienda aislada la diferencia entre N y S fue de sólo 1.3%, a razón de las altas temperaturas y poco aislamiento. No obstante lo anterior, sería prudente que las viviendas al S fueran diseñadas con sistemas pasivos extras que igualaran las necesidades de consumo entre ambas orientaciones.

Por último, cabe destacar que, incluso en climas similares, la misma vivienda puede responder distinto a las mismas técnicas. Lo anterior queda claramente expuesto al comparar los resultados porcentuales entre los tres grupos, razón por la cual la simulación computarizada se convierte en una herramienta muy efectiva que permite tomar decisiones de diseño más acertadas para cada situación y circunstancia.

Agradecimientos

Agradezco al M. I. Odón de Buen, de la Universidad Nacional Autónoma de México, asesor de la tesis de la cual surge el presente artículo; al Dr. Carlos Díccoli y al resto del equipo de la UI-2 del Instituto del Hábitat de la UNLP, Argentina, por las facilidades para el uso y aprendizaje de Design-Builder; a la M. A. Ramona Romero por facilitar las características del prototipo y al equipo de EnergyPlus por colaborar con la creación en Meteo-norm de los archivos faltantes.

Bibliografía

Akbari, H., S. Davis, S. Dorsano, J. Huang y S. Winett (1992) *Cooling Our Communities: A Guide-Book on Tree Planting and Light Colored Surfacing*, Washington, DC, US Environmental Protection Agency-Office of Policy Analysis-Climate Change Division, 16.

- Alias, H. y G. Jacobo (2004a) “Simulación del consumo de energía eléctrica para mantener el confort higrotérmico interior en viviendas”, en *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la UNNE: Jornadas de Investigación 2004*, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina (<http://www1.unne.edu.ar/cyt/2001/cyt.htm>).
- Alias, H. y G. Jacobo (2004b) “Situación Higrotérmica de Componentes de la Envolvente de Viviendas de Interés Social en el NEA Según Normativa IRAM”, en *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la UNNE: Jornadas de Investigación 2004*, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina (<http://www1.unne.edu.ar/cyt/2001/cyt.htm>).
- ALTENER (2002) “Promoting Solar Air Conditioning: Technical Overview of Passive Techniques”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 12: 08.1-08.8.
- Baez, J., H. Delgado, Hernández, E., M. Rebolledo y F. Schenabel (1980) “Programa piloto para el aprovechamiento de la energía solar en la vivienda de Infonavit”, *Memorias de la IV Reunión Nacional de Energía Solar*, SLP, México, pp. 30-34.
- Carrasco, C. (2005) *Análisis cuantitativo de comportamiento térmico de los elementos bioclimáticos de la arquitectura vernácula: caso clima cálido seco* (tesis de maestría) México, UNAM, editado por el autor.
- Carrasco, C. y D. Morillón (2004) “Adecuación bioclimática de la vivienda de interés social en el noroeste de México con base al análisis térmico de la arquitectura vernácula” *Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente* 8(1), Argentina, 5.97-5.102.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (2010) Estadísticas Históricas Indicadores Macroeconómicos 1980-2006: Tipo de Cambio FIX 2010 (http://www.cefp.gob.mx/intr/e-stadisticas/copianewe_stadisticas.html).
- Charles, K., J. Reardon y R. Magee (2005) “Indoor Air Quality and Thermal Comfort in Open-Plan Offices”, *Construction Technology Update* 64 (<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/ctus/ctus-n64.html>).
- Comisión Federal de Electricidad (2008) Estadísticas de venta de 2006 (<http://www.cfe.gob.mx/es/InformacionAlCliente/ahorrodeenergia>).
- Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (2006) Guía Conafovi: Uso Eficiente de la Energía en la Vivienda (<http://www.conafovi.gob.mx>).
- Comisión Nacional de Vivienda (2008) Código de Edificación de Vivienda (<http://www.conafovi.gob.mx>).
- Corral, M. y A. Gonzáles (2001) “Criterios de selección de estrategias de adecuación ambiental para la vivienda en regiones desérticas de clima cálido extremo”, *VI Encac-III Enlacac* (memorias en CD) São Pedro, SP, Brasil.
- De Buen, O. (2004) “Historia del desarrollo e implantación de la primera NOM aplicable a envolvente de inmuebles”, *Consejo por la Edificación Sustentable* (<http://www.funtener.org/losarticulos.html>).

- Domínguez, D. y D. Morillón (2002) “Control solar en la vivienda como sistema de enfriamiento: beneficios energéticos y ambientales”, *Memorias del Taller de Sistemas de Enfriamiento Aplicados a la Vivienda* (<http://www.riraas.net/documentos.htm>).
- Fernández, A. (1995) “Análisis y evaluación de estrategias de diseño bioclimático para el estado de Baja California Sur”, *Memorias de la XIX Reunión Nacional de Energía Solar*, BCS, México, pp. 219-223.
- Figuroa, A. y V. Fuentes (1989) “Sistema de agrupación bioclimática para ciudades de la república mexicana”, *Memorias de la XIII Reunión Nacional de Energía Solar*, Michoacán, México, pp. 153-157.
- Geohabitat (2000) *Manual Arquitectura Solar para Climas Cálidos*, España, Systemdruck-Verlags GmbH.
- Green Building Council of Australia (2005) “Green Star Diffusion: Architecture” (www.gbcaus.org.au) pp. 16-42.
- Guerra, J. (2003) *Habitar el desierto: transición energética y transformación del proyecto habitacional colectivo en la ecología del desierto de Atacama, Chile* (tesis doctoral) Barcelona, España, Universitat Politècnica de Catalunya (edición de autor).
- Hernández, E., R. Martínez y E. Mayer (1980) “Arquitectura solar y vivienda de interés social en Latinoamérica”, *Memorias de la IV Reunión Nacional de Energía Solar*, SLP, México, pp. 17-20.
- Instituto Argentino de Normalización (1996) Norma IRAM 1160. Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambiental de la República de Argentina, Buenos Aires, Argentina, IRAM, 47.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2007) *Censos de Población y Vivienda 1950 a 2000* (www.inegi.gob.mx).
- Koenigsberger, O., T. Ingersoll, A. Mayhew y S. Szokolay (1977) *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*, Madrid, Paraninfo.
- Krishan, A. (1996) “The Habitat of Two Deserts in India: Hot-Dry Desert of Jaisalmer (Rajasthan) and the Cold-Dry High Altitude Mountainous Desert of Leh (Ladakh)”, *Energy and Buildings* 23 (www.elsevier.com).
- Lacomba, R. (1990) “Estrategias de diseño bioclimático para clima cálido seco”, *Memorias de la XIV Reunión Nacional de Energía Solar*, BCS, México, pp. 193-195.
- Mazria, E. (1985) *El libro de la energía solar pasiva*, México, Gustavo Gili.
- Morillón, D. (1993) *Bioclimática: sistemas pasivos de climatización*, Jalisco, México, Universidad de Guadalajara.
- Morillón, D. (2004) “Historia y práctica de la arquitectura bioclimática en México” (<http://www.funtener.org/ponenciasverdes.html>).
- Olgyay, V. y A. Olgyay (1957) *Solar Control and Shading Devices*, New Jersey, USA, Princeton University Press.

- Pérez, J., A. Borbón y L. Cubillas (2004) “Desempeño térmico de una vivienda de interés social en la ciudad de Hermosillo, Sonora”, *Memorias de la XXVIII Reunión ANES y 12th International Symposium SolarPaces*, Oaxaca, México, pp. 81-88.
- Raeissi, S. y M. Taheri (1998) “Optimum Overhang Dimensions for Energy Saving”, en *Building and Environment* 33 (5): 293-302.
- Rodríguez, M. (2005) *Introducción a la arquitectura bioclimática*, México, Limusa.
- Rojas, D., G. San Juan y E. Rosenfeld (1999) “Protección solar en la edificación. Una propuesta metodológica”, v *Encac-II Enlacac* (memorias en CD) Fortaleza, Brasil.
- Santamouris, M. (1997) “Passive Cooling and Urban Layout”, *Interim Report, POLIS Research Project, European Comission, Directorate General for Science, Research and Development* (disponible mediante comunicación directa con el autor).
- Secretaría de Energía-Subsecretaría de Planeación y Desarrollo Tecnológico-Dirección General de Información y Estudios Energéticos (2005) Balance Nacional de Energía 2005, México, Sener.
- Secretaría de Energía-Dirección General de Planeación Energética (2006) Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014, México, Sener.
- Servicio Meteorológico Nacional (2007) Normales Climatológicas (<http://smn.cna.gob.mx/>).
- Terrazas, J. (2000) Diseño bioclimático en Ciudad Juárez, Chihuahua: manual para arquitectos (tesis de maestría) Chihuahua, UNAM/UACJ (edición de autor).
- Torres, S. y J. Evans (1999) “Diseño arquitectónico y consumo de energía estudios paramétricos con Energy-10”, xxii Congreso de Asades (memorias en CD) *Averma* 3(2) Tucumán, Argentina.

Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes

María Guadalupe Alpuche, Hugo Moreno,
José Manuel Ochoa e Irene Marincic
Universidad de Sonora
Departamento de Arquitectura y Diseño

Resumen

Según el Balance Nacional de Energía (México, 2008), el consumo de electricidad en el sector residencial y comercial representa 33% del total consumido en el país. La mayor parte de la energía se consume durante el verano, cuando es necesario el uso de aire acondicionado para mantener las condiciones de confort interior en los edificios. Este aspecto toma relevancia en los climas cálidos secos, donde un mal diseño de las ventanas y la envolvente pueden añadir a la carga térmica de producción un aumento adicional a causa de los sistemas de aire acondicionado y los altos costos por consumo de electricidad de la energía. Por esta razón, tienen que ser aplicadas estrategias adecuadas de diseño y conceptos termodinámicos para que las viviendas sean confortables. Para llevar a cabo este trabajo, han sido simuladas y analizadas dos viviendas. La primera fue hecha de materiales regionales, como las tradicionales paredes de bloques de concreto, techos de concreto reforzado y acabados económicos; la segunda se propone con un techo verde y aislamiento en las paredes. Se han obtenido ganancias de calor a través de los diferentes elementos constructivos para analizar el impacto de ellos en el consumo de energía eléctrica de los sistemas de aire de refrigeración.

Abstract

According to the National Energy Balance (Mexico, 2008), the electricity consumption in the residential and commercial sector represents 33% of the total

consumed in the country. Most of the energy is consumed during the summer, when it is necessary to use air conditioning to maintain comfort conditions inside buildings. This aspect takes relevance in warm-dry climates, where a bad design of windows and envelope can increase the thermal loads producing an extra load to air conditioning systems and high costs by electricity energy consumption. For this reason, adequate design strategies and thermodynamic concepts have to be applied to make comfortable dwellings. Two dwellings are simulated and analyzed, the first one is made of regional materials like traditional concrete block walls, reinforced concrete roofs and economic finishes, the second one is proposed with a green roof and insulated walls. The heat gains through the different constructive elements have been obtained, to analyze the impact of them on the electricity energy consumption of air conditioning systems.

Introducción

En Hermosillo, Sonora, México, debido en gran medida al aumento desmedido de la población, se ha generado un crecimiento sin planeación dentro de la mancha urbana. Esta falta de planeación ha provocado, prácticamente, la desaparición de áreas verdes, mismas que son indispensables para la generación de oxígeno. Asimismo, los automóviles, aparatos de aire acondicionado, pavimentos asfálticos y las construcciones de concreto, hacen que se genere más calor y que además éste se concentre hasta formar una isla de calor en la ciudad.

En este caso, la vegetación funciona como una barrera, pues capta la radiación solar, lo cual evita la tendencia a sobrecalentarse que caracteriza tanto a los pavimentos asfálticos como al concreto y al acero, materiales que, en conjunto, invaden la mayor parte de la ciudad. Igualmente, las azoteas de las construcciones, en especial si son de concreto y color oscuro, pueden llegar a sobrepasar los 70 °C. Atendiendo a este principio, si las azoteas son la mayor forma de captación de radiación solar, se pueden instalar techos ajardinados como un medio eficaz para reducir la captación y posterior emisión de calor y, de esta manera, se provoca que las edificaciones se encuentren mejor aisladas ante el calor captado del sol. Si este tipo de acciones se realizan de forma general en las edificaciones de la ciudad se ampliaría la cantidad de áreas verdes a nivel urbano, con lo que se ayuda a contrarrestar el efecto de isla de calor.

Los sistemas de azoteas verdes son tecnologías antiguas que han sido reconsideradas para una variedad de aplicaciones modernas. El ejemplo más

remoto que se conoce son los jardines colgantes de Babilonia, considerados una de las siete maravillas del mundo (Company, 2008). Le Corbusier publica en 1927 los “Cinco puntos de una nueva arquitectura”, en los cuales involucra como segundo punto esencial a la cubierta-jardín. Al respecto se han realizado numerosos ejemplos en lugares fríos como Islandia, Canadá, Estados Unidos y Escandinavia, pero igualmente en sitios cálidos como Tanzania; incluso dentro de nuestro país existen ejemplos en la Ciudad de México y en Guadalajara.

El principal objetivo de este documento es contribuir con la investigación en la mejora del diseño de las edificaciones, a fin de minimizar el consumo de energía, ya sea mediante el uso de estrategias pasivas o, bien, sistemas mecánicos de acondicionamiento de aire, principalmente en los climas cálidos, tanto húmedos como secos.

Descripción del estudio de caso

Para el análisis se ha tomado como caso una casa-habitación localizada en un fraccionamiento de interés social en la ciudad de Hermosillo, Sonora. Esta vivienda comprende un solo nivel, con un total de 43 m² distribuidos en un dormitorio, un baño completo, sala, comedor y cocina, dentro de un predio de 140 m² (véase figura 1). El sistema constructivo es con base en muros de bloques de concreto de 15 cm de espesor, firme de concreto y azotea de concreto reforzado de 10 cm.

En una primera etapa se evalúa el comportamiento térmico de la edificación sin aplicar ningún tipo de aislamiento. Posteriormente, se toma este mismo modelo pero aplicando el sistema de azotea verde como protección ante las condiciones climáticas de la región, la cual se puede apreciar en la figura 2. Para el cálculo del análisis térmico se utilizó el programa Design-Builder, el cual tiene como soporte de cálculo a EnergyPlus.

Para efectos de la evaluación térmica se dividió la edificación en tres zonas principales: habitación, baño y zona común, esta última integrada por sala, comedor y cocina. El número de ocupantes, así como los requerimientos de iluminación, tienen un efecto importante sobre las cargas internas, por lo que, para llevar a cabo el cálculo, se simuló que la edificación estaba habitada por cuatro usuarios. La iluminación fue modelada con lámparas fluorescentes compactas y las propiedades térmicas de los materiales se obtuvieron de la base de datos de materiales del programa.



Figura 1. Distribución espacial del caso de estudio.

La propuesta de azotea verde fue simulada con la opción expuesta y, acto seguido, se implementó en la base de datos del programa. La condición de temperatura de diseño inicial fue de 25 °C.

Resultados

Como parte del trabajo se realizaron mediciones de temperaturas superficiales a diversos materiales comúnmente utilizados en los diferentes sistemas constructivos, los cuales fueron: impermeabilizante elastomérico, cubierta de lámina, concreto, tierra, pasto verde y pasto seco. Los resultados se basan en los valores que se obtuvieron el día 16 de marzo de 2009, cuya medición se llevó a cabo cada hora a partir de las 7:00 h y hasta las 18:00 h (véase figura 3).

En cuanto a los valores, podemos observar que el comportamiento térmico superficial del pasto es mucho menor al del resto de los materiales, con un valor menor de hasta 8 °C con respecto al impermeabilizante elastomérico, material comúnmente utilizado como acabado final en las cubiertas de la región.

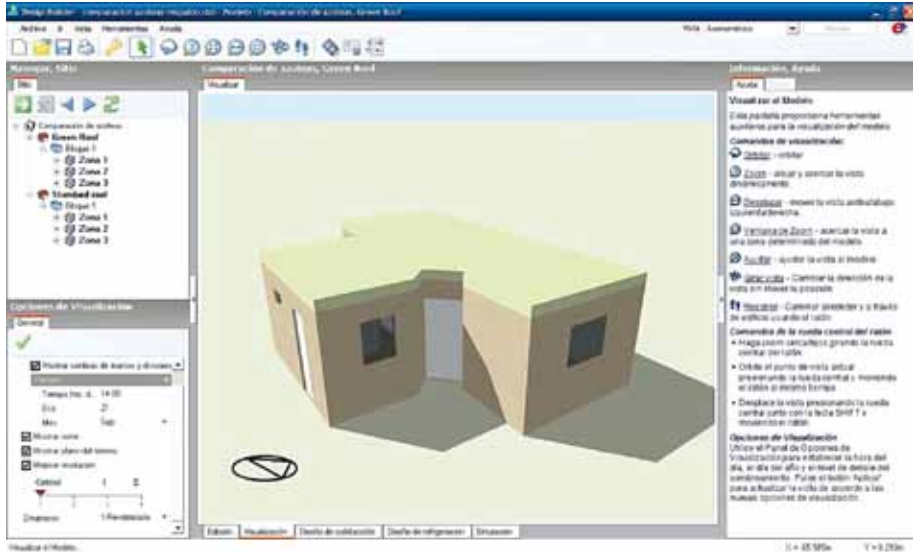


Figura 2. Croquis de la vivienda con la aplicación de techo verde (fuente: elaboración propia con DesignBuilder).

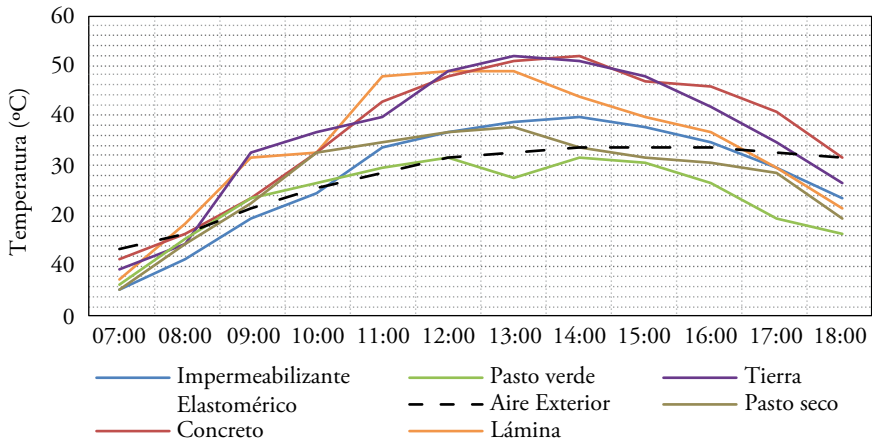


Figura 3. Temperaturas superficiales de diversos materiales.

Posteriormente, se presentan los resultados que se obtuvieron de la simulación, donde se observan valores promedios diarios para el mes de julio (el mes más cálido del año). La figura 4 muestra los datos resultantes de la comparación entre las temperaturas interiores del caso de estudio y la temperatura exterior al utilizar losa de concreto y la azotea ajardinada. Los valores ob-

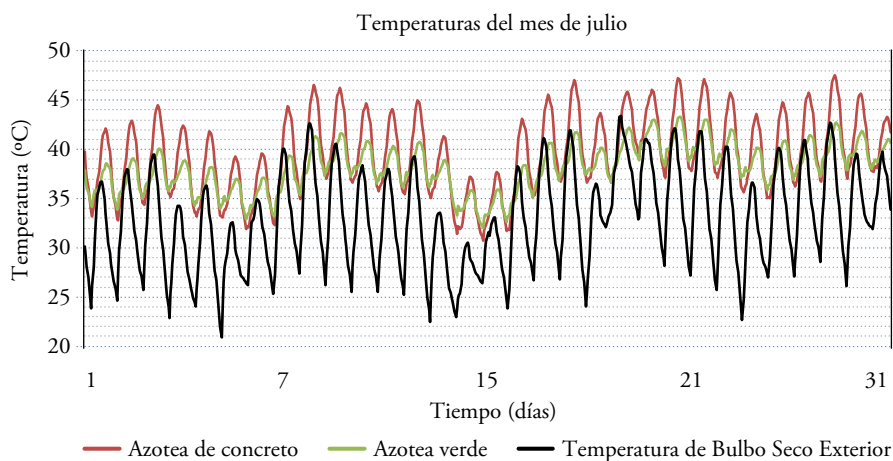


Figura 4. Temperatura exterior e interior del caso de estudio con azotea verde y losa de concreto para el mes de julio.

tenidos demuestran que el uso de la azotea verde ha contribuido a una disminución de hasta 5 °C en la temperatura al interior en relación con la temperatura exterior, así como una reducción de 6 °C respecto a la temperatura interior del modelo con azotea de concreto. Estos valores fueron calculados sin la utilización de un sistema mecánico de acondicionamiento de aire.

Es importante recalcar que, debido a las condiciones climáticas, durante el mes de julio no es posible alcanzar temperaturas de confort al interior de la vivienda sin la ayuda de un sistema mecánico de acondicionamiento de aire.

Por su parte, las ganancias de calor registradas en la simulación a través de las cubiertas evaluadas durante el período establecido denotan con mayor claridad un mejor comportamiento térmico de la azotea verde en comparación con la azotea de concreto (véase figura 5). Los valores de la azotea verde muestran promedios cercanos a cero mientras que la azotea de concreto muestra valores superiores a 35 kWh durante el mes, lo cual representa 30% respecto a las ganancias totales, debido a la envolvente y a las actividades que se realizan dentro del espacio.

Una vez comparados los resultados, se analizó la cantidad de consumo energético que se podría ahorrar con la implementación de la azotea verde, para lo cual se realizó la simulación de un sistema de aire acondicionado de tipo multisplit, en el cual un solo aparato abastece a toda la vivienda. Los resultados que se presentan corresponden únicamente a la ganancia de ca-

lor a través de la envolvente y, por tanto, no incluyen los valores correspondientes a iluminación y equipos eléctricos.

A fin de determinar correctamente dichos valores se tomó en cuenta únicamente la temporada de verano, en la cual la mayoría de la población en la región recurre a mecanismos de aire acondicionado. Estos sistemas de refrigeración se comienzan a utilizar, generalmente, a partir del mes de marzo y se continúa su uso hasta finalizar el mes de octubre.

La figura 6 muestra el consumo energético requerido en sistemas de aire acondicionado, tanto para la edificación con azotea de concreto como para aquella que posee azotea verde; destaca que esta última disminuye el con-

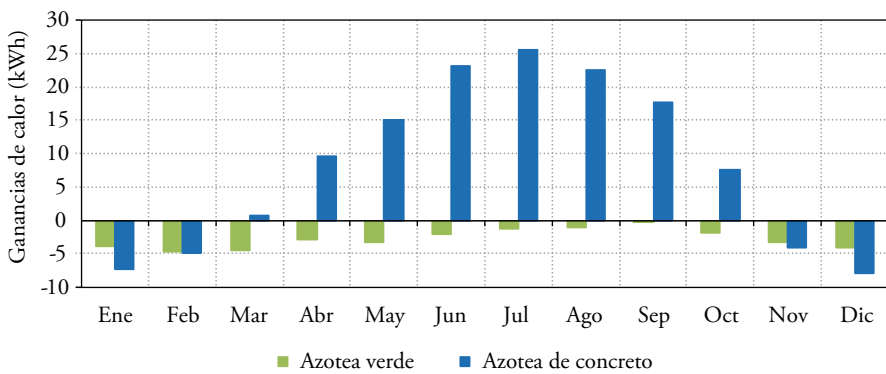


Figura 5. Ganancias de calor promedio mensual presentadas por la azotea durante todo el año en los casos analizados.

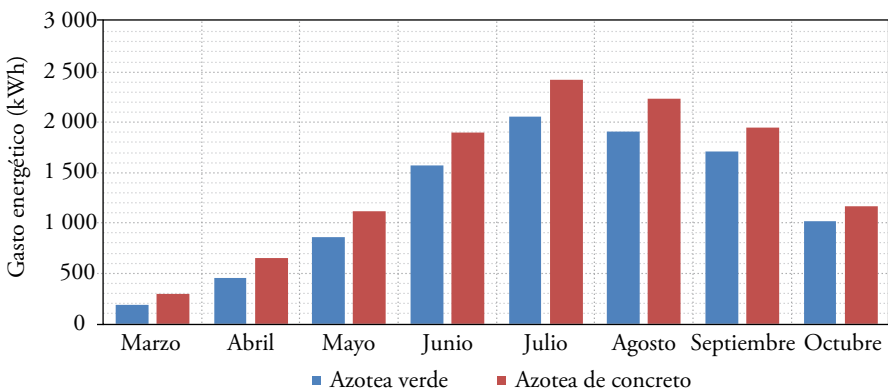


Figura 6. Consumo de energía en la temporada de verano del sistema de aire acondicionado.

sumo hasta 350 kWh en promedio mensual, lo cual representa un ahorro energético de 16 % sobre el consumo total.

Conclusión

Los resultados que se obtuvieron mediante la simulación de las azoteas verdes mostraron una disminución en la temperatura al interior de la casa evaluada, ello en comparación con la azotea común de concreto. Al obtenerse menores ganancias de calor a través de la cubierta, se presenta, en consecuencia, un menor gasto energético por concepto de disminución en el uso de aire acondicionado, lo cual finalmente representa un ahorro que se ve reflejado en la facturación de la energía eléctrica.

Con esto se ha demostrado que la utilización de azoteas verdes en Hermosillo puede ser factible para obtener un ahorro en el consumo de energía eléctrica y, por consiguiente, en los costos de facturación debido al uso de sistemas de aire acondicionado.

Los probados beneficios que esta práctica conlleva, han provocado un mayor apogeo en el empleo de azoteas verdes tanto en la esfera nacional como en la internacional, auge que se intensifica sobre todo en este último ámbito. Las bondades que la utilización de esta técnica constructiva provee, hacen factible que su aplicación se conciba como un método eficaz en la reducción del impacto ambiental, capaz de mejorar el microclima al interior de las edificaciones.

Por último, el uso de herramientas computacionales para la simulación de las edificaciones, así como la evaluación de las estrategias de diseño, deberían utilizarse con mayor frecuencia en el diseño de edificaciones energéticamente eficientes, dada su capacidad para aportar datos fidedignos y confiables, antes de llevar a cabo el proceso de construcción, con lo cual se evitarían gastos innecesarios.

Agradecimientos

Al Fondo Sectorial de Investigación para la Educación y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo financiero al proyecto CB-2006/59386.

Bibliografía

- Alpuche, M. G., C. Heard, R. Best y J. Rojas (2004) “Efecto de las estrategias pasivas para el enfriamiento de edificaciones en climas cálido-húmedos”, *Actas del XII Congreso Ibérico y VII Ibero Americano de Energía Solar*, Vigo, Galicia, España, 14-18 septiembre, pp. 91-96.
- ASHRAE (1993) *Handbook of fundamentals*, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers.
- CFE (2009) Casa habitación (<http://www.cfe.gob.mx/es/InformacionAlCliente/ahorrodeenergia/#aire>).
- Company, T. G. (2008) History of Green Roofs (<http://www.garlandco.com/green-roof-history.html>).
- Corbusier, L. (1927) “Cinco puntos de la nueva arquitectura”, *L'Architecture Vivante*.
- Moreno, H. C. (2010) Evaluación del uso de azoteas ajardinadas en Hermosillo, Sonora (tesis de licenciatura) Universidad de Sonora.

Selección de los materiales de muros y techos para mejorar el confort térmico en edificaciones no climatizadas

Guillermo Barrios,* Pablo Elías,*^o Guadalupe Huelsz* y Jorge Rojas*

* *Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigación en Energía*

^o *Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo*

Resumen

Se presenta un modelo para la simulación numérica de la transferencia de calor dependiente del tiempo a través de un muro o techo de una edificación no climatizada. Los resultados de este modelo proporcionan una guía para la selección de materiales y configuraciones de la envolvente que ayuden a lograr condiciones de confort térmico al interior de edificaciones. Se proponen cuatro parámetros para evaluar el confort térmico al interior de una edificación y se concluye que el índice de desconfort térmico es el más adecuado para guiar la selección de materiales. Además, se resalta la importancia del color exterior del techo o muro en el comportamiento del confort térmico al interior de las edificaciones.

Abstract

A model for numerical simulations of transient heat transfer through one roof or wall of a non air-conditioned building is presented. The results provide a guide for the selection of the envelope materials that can act to improve thermal comfort at the interior of a building. Four parameters for the evaluation of the interior thermal comfort are introduced and it is concluded that the discomfort index is the more suitable to guide the selection. Also the relevance of the exterior color of the roof or wall in the behavior of the internal thermal comfort is emphasized.

Antecedentes

El diseño bioclimático requiere que los materiales que conforman la envolvente arquitectónica sean seleccionados de acuerdo al clima de la localidad, de tal manera que éstos logren mejorar el confort térmico al interior de la edificación sin la necesidad de hacer uso de los sistemas electromecánicos de acondicionamiento para el enfriamiento o calentamiento de la edificación.

En climas donde la radiación solar es significativa y la oscilación de la temperatura diaria es importante, como sucede en la mayor parte de México, la transferencia de calor a través de muros y techos se debe analizar en función del tiempo. Para estos climas, la transferencia de calor independiente del tiempo puede llevar a una selección inadecuada de los materiales (Huelsz *et al.*, 2009 y 2010). En la literatura se han reportado varios estudios sobre la transferencia de calor dependiente del tiempo en muros o techos, desde los trabajos pioneros realizados por Alford *et al.* (1939), con soluciones analíticas, hasta los efectuados más recientemente, los cuales incluyen soluciones analíticas (Yumrutaş *et al.*, 2007), resultados experimentales (Ulgen, 2002; Vijayalakshmi *et al.*, 2006) y soluciones numéricas (Vijayalakshmi *et al.*, 2006; Kontoleon y Bikas, 2007; Balocco *et al.*, 2008). En estos trabajos se evalúa el desempeño térmico de muros o techos con distintos materiales y combinaciones de ellos en multicapas. Sin embargo, posiblemente porque la atención se ha centrado en la reducción del consumo de energía usada para calentamiento y para enfriamiento de las edificaciones, todos estos estudios han considerado la temperatura al interior como una constante.

El objetivo principal de este trabajo es proporcionar una guía para la selección de materiales que ayuden a mejorar el confort térmico al interior de edificaciones sin usar sistemas de aire acondicionado ni de calefacción. Un segundo objetivo es proponer parámetros que permitan evaluar el confort térmico al interior de una edificación no climatizada.

En la primera sección de este trabajo se presenta el modelo físico y las ecuaciones para el análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo. En la segunda se proponen parámetros para evaluar el confort térmico. En la tercera se presentan los resultados donde se compara el desempeño térmico de siete configuraciones de techos, de un solo material o formados por multicapas. Por último, en la cuarta sección se presentan las conclusiones derivadas de este trabajo.

Modelo físico

Para evaluar el comportamiento térmico de un elemento (muro o techo) de la envolvente de una edificación se puede usar, como una aproximación, un modelo unidimensional; es decir, se desprecian los efectos bidimensionales y tridimensionales por las uniones con otros elementos o por vanos en el elemento a evaluar. El modelo unidimensional se considera una buena aproximación, ya que, en la envolvente, la proporción de las zonas de muros y techos donde los efectos bidimensionales y tridimensionales son importantes es pequeña comparada con las zonas donde no lo son.

Los efectos de convección y radiación en las superficies del elemento se modelan usando coeficientes de transferencia de calor de película debida a la convección y la radiación, h_o para la superficie exterior y h_i para la interior, ambos en $W/m^2\text{°C}$. El modelo físico se esquematiza en la figura 1 para el caso particular de un elemento compuesto por dos capas. Las temperaturas del aire al exterior y al interior están denotadas por T_o y T_i , respectivamente, T_{wo} es la temperatura de la superficie externa del elemento y T_{wi} es la temperatura de la superficie interna del elemento. El modelo considera que al interior, a una distancia d del elemento, existe una condición de flujo de calor cero, ya sea por una pared adiabática o por una condición de simetría.

En el modelo, el efecto combinado de la radiación solar incidente en el elemento de la envolvente y la temperatura del aire exterior se toma en cuenta a

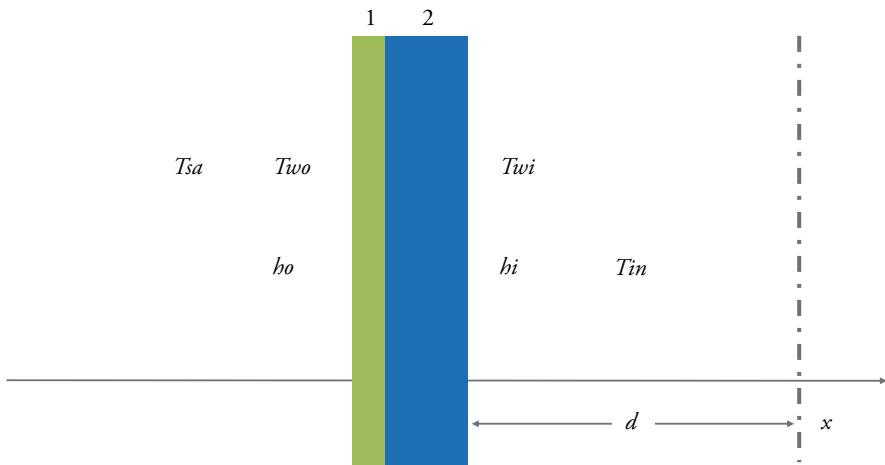


Figura 1. Modelo físico de la transferencia de calor a través de un elemento de la envolvente. Caso de un elemento compuesto por dos capas.

través de una temperatura equivalente llamada temperatura sol-aire (Kuehn *et al.*, 2001):

$$T_{sa} = T_o + \frac{aI}{h_o} - RF \quad (1)$$

donde T_{sa} es la temperatura sol-aire ($^{\circ}\text{C}$), T_o es la temperatura del aire en el exterior ($^{\circ}\text{C}$), I es la radiación solar por unidad de área sobre la superficie del elemento (W/m^2); estas tres cantidades son función del tiempo. Los factores a y h_o son, respectivamente, la absorptividad de la superficie (adimensional), el coeficiente de transferencia de calor de película exterior debida a la convección y la radiación ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$). El término RF es el factor por la radiación infrarroja radiada desde la superficie del elemento hacia el cielo, ASHRAE recomienda asignar un valor de $3.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ para superficies horizontales exteriores (techos). Para elementos verticales (muros) RF se toma como cero (ASHRAE, 1997). Utilizando esta temperatura equivalente, la temperatura exterior T_o se sustituye por T_{sa} . Entonces, el problema consiste en conocer la temperatura al interior T_i por efecto del elemento, dada una temperatura sol-aire T_{sa} .

Para analizar la transferencia de calor dependiente del tiempo a través de un elemento compuesto por N capas de materiales, se emplea para cada j -ésima capa de espesor L_j la ecuación de conducción de calor en una dimensión dependiente del tiempo (Incropera y De Witt, 2002):

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} - \alpha_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial x^2} = 0 \quad (2)$$

Esta ecuación describe la variación de la temperatura dentro de la j -ésima capa T_j como función del tiempo t y de la posición transversal al muro x . El coeficiente α_j es la difusividad térmica del material de la j -ésima capa (m^2/s) y se define como la relación entre la conductividad térmica k_j ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$) y la capacidad de almacenamiento térmico o capacidad calorífica del material por unidad de volumen $C_j = \rho_j c_j$:

$$\alpha_j = \frac{k_j}{C_j} = \frac{k_j}{\rho_j c_j} \quad (3)$$

donde ρ_j es la densidad (kg/m^3) y c_j es el calor específico ($\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$). De la ecuación (2) se observa que para que la variación de temperatura con el tiempo sea menor, α_j debe ser pequeña. Esto se logra si k_j es pequeña y C_j es grande.

El espesor total del elemento L está dado por la suma de los espesores de sus componentes:

$$L = \sum_{j=1}^N L_j \quad (4)$$

Por conservación de energía en las uniones de las capas, el flujo de calor que sale (o entra) de la capa j -ésima debe ser igual al que entra (o sale) por la $j + 1$ -ésima capa, por lo que:

$$-k_j \frac{dT}{dx} \Big|_{j,j+1} = -k_{j+1} \frac{dT}{dx} \Big|_{j,j+1} \quad (5)$$

donde $j, j + 1$ indica que se evalúa en la interfase entre los dos materiales. También por conservación de energía, el flujo de calor que es transferido desde el aire a la superficie externa es igual al flujo de calor que es conducido hacia el interior del muro:

$$h_o (T_{sa} - T_{wo}) = k_1 \frac{dT}{dx} \Big|_{wo} \quad (6)$$

Por conservación de energía, el flujo de calor que es conducido del interior del muro a la superficie interior es igual al transferido al aire en el interior de la edificación; este flujo de calor produce un cambio temporal en la temperatura del aire en el interior de la edificación T_{in} , de tal forma que se tiene:

$$-k_N \frac{dT}{dx} \Big|_{wi} = h_i (T_{wi} - T_{in}) = \rho_a c_a d \left(\frac{\partial T_{in}}{\partial t} \right) \quad (7)$$

donde ρ_a y c_a son la densidad y el calor específico de aire, respectivamente. En este modelo se asume que la única fuente de calor para modificar la temperatura interior T_{in} es a través del elemento y que la superficie interna del elemento tiene una distancia d al centro de la habitación o a una superficie adiabática (flujo de calor nulo).

El conjunto de ecuaciones de conducción de calor en una dimensión dependiente del tiempo correspondientes, las N capas (ecuación 2), con las condiciones de frontera dadas por las ecuaciones (5) a (7), se resolvieron por el método de volumen finito, usando un esquema implícito (Patankar, 1980) programado en lenguaje C. Para la condición inicial se usó un procedimiento iterativo, de tal manera que la temperatura en todo x , la temperatura en el tiempo inicial $t = 0$, tuviera el mismo valor ($\pm 0.1^\circ\text{C}$) que la temperatura en $t = 24\text{h}$.

Dadas unas condiciones climáticas (T_o e I), y considerando los mismos valores de los coeficientes de película h_o y h_i , la temperatura al interior T_i obtenida por este modelo depende de la absorptividad a de la pintura o recubrimiento exterior del elemento y de la composición del elemento mismo (espesor, propiedades y localización de las capas). Esto permite hacer comparaciones del desempeño de diferentes tipos de muros o techos.

En la práctica, la temperatura interior de la edificación es resultado del efecto combinado de muros, techos, ventanas, infiltración, etcétera, de una manera compleja; sin embargo, el modelo presentado en este trabajo permite evaluar de manera separada el efecto debido sólo al muro o al techo en cuestión y proporciona una guía para la selección de los materiales de los muros y techos dado un día típico, que puede ser el del mes más caluroso o el más frío de una localidad.

Confort térmico

Los estudios recientes sobre confort térmico reconocen la capacidad del hombre para adaptarse a su entorno. Siguiendo esta idea, Humphreys y Nicol (2000) propusieron un modelo adaptativo donde se define la temperatura de confort mensual T_c (°C) como:

$$T_c = 13.5 + 0.54T_{ma} \quad (8)$$

donde T_{ma} (°C) es la temperatura exterior media mensual.

El rango de temperatura de confort está comprendido entre la temperatura mínima de confort $T_{c_{\min}} = T_c - \Delta T_c / 2$ y la temperatura máxima de confort $T_{c_{\max}} = T_c + \Delta T_c / 2$, donde la amplitud de la zona de confort ΔT_c depende de la amplitud de la oscilación promedio de la temperatura del aire ΔT_a de acuerdo con la tabla 1.

Para medir el nivel de confort al interior de la edificación, en este trabajo se proponen cuatro parámetros: el número de horas de confort al día, el índice de disconfort cálido, el índice de disconfort frío y el índice de disconfort.

El número de horas de confort al día HC es el tiempo en que la temperatura se encuentra dentro del rango de temperatura de confort:

$$HC = \sum_i \Delta t_i \quad \text{tal que} \quad T_{c_{\min}} \leq T_{in_i} \leq T_{c_{\max}} \quad (9)$$

Tabla 1. Amplitud de la zona de confort para diferentes amplitudes de la oscilación promedio de la temperatura

Amplitud de la oscilación promedio de la temperatura del aire ΔT_a (°C)	Amplitud de la zona de confort ΔT_c (°C)
$\Delta T_a < 13$	2.5
$13 \leq \Delta T_a < 16$	3.0
$16 \leq \Delta T_a < 19$	3.5
$19 \leq \Delta T_a < 24$	4.0
$24 \leq \Delta T_a < 28$	4.5
$28 \leq \Delta T_a < 33$	5.0
$33 \leq \Delta T_a < 38$	5.5
$38 \leq \Delta T_a < 45$	6.0
$45 \leq \Delta T_a < 52$	6.5
$52 \leq \Delta T_a$	7.0

Fuente: modificada de Morillón *et al.*, 2004.

donde Δt_i es el *i-ésimo* paso de tiempo en la simulación numérica (en horas), el subíndice en Tin_i indica que la temperatura interior se evalúa en el *i-ésimo* paso de tiempo. La sumatoria se realiza durante un día.

El índice de disconfort cálido *IDC* se define como el número de horas en que la temperatura tiene un valor mayor que la temperatura máxima del rango de confort multiplicado por la diferencia del promedio de la temperatura durante ese tiempo menos la temperatura máxima del rango de confort:

$$IDC = \sum_i \Delta t_i (Tin_i - Tc_{\max}) \text{ tal que } Tin_i > Tc_{\max} \quad (10)$$

El índice de disconfort frío *IDF* se define como el número de horas en que la temperatura tiene un valor menor que la mínima del rango de confort multiplicado por el valor absoluto de la diferencia del promedio de la temperatura durante ese tiempo menos la temperatura mínima del rango de confort:

$$IDF = \sum_i \Delta t_i (Tc_{\min} - Tin_i) \text{ tal que } Tin_i < Tc_{\min} \quad (11)$$

El índice de disconfort *ID* está dado por la suma de los índices de disconfort cálido y frío:

$$D = IDC + IDF \quad (12)$$

los tres índices *IDC*, *IDF* e *ID* tienen unidades de h°C.

Es claro que, dadas las mismas condiciones, un muro o techo tendrá un mejor desempeño térmico y será una mejor selección si la temperatura al interior de la edificación presenta un mayor número de horas de confort y menores índices de desconfort cálido, frío y el global.

Análisis de resultados

Para todos los resultados que se muestran a continuación se consideró la variación de la temperatura como función del tiempo dada por la ecuación propuesta por Chow y Levermore (2007), la cual requiere de los datos de temperatura ambiente máxima, mínima y tiempo de ocurrencia de cada una de ellas. Para la radiación solar se consideró la radiación diurna tipo sinusoidal con máximo a las 12:00 horas del día solar. Como ejemplo se utilizaron los valores promedio para el mes de mayo de la ciudad de Torreón, Coahuila: temperatura ambiente máxima de 35 °C a las 14:00 horas y mínima de 20.6 °C a las 6:00 horas, radiación máxima $I_{max} = 1\ 000\text{W/m}^2$. Se consideró un factor de radiación infrarroja al cielo de $RF = 3.9$ °C. La distribución de la radiación solar y este factor de radiación infrarroja corresponden a un techo horizontal; para simular muros se deben modificar estos valores. Sin embargo, es importante señalar que las conclusiones derivadas de los resultados que aquí se presentan son las mismas que se obtienen de las simulaciones de muros.

Se utilizaron los valores de los coeficientes de transferencia de calor de película para techos de la norma NOM-008-ENER-2001 (Diario Oficial, 2001), para la superficie exterior $h_o = 13\text{W/m}^2\text{°C}$ y para la interior $h_i = 6.6\text{W/m}^2\text{°C}$. En la ecuación (7) se consideró $d = 2.5$ m, que es la altura típica de una habitación. Se utilizaron valores de la absorptividad para la radiación solar de la superficie exterior del elemento de $a = 0.2, 0.4$ y 0.85 que corresponden a un blanco, gris claro y negro, respectivamente (Givoni, 1981).

Ya que el objetivo de este trabajo es la comparación del desempeño térmico de techos que utilizan diferentes materiales, se simularon siete configuraciones distintas, mismas que se presentan en la tabla 2; el orden de los materiales se describe del exterior hacia el interior. Para estas configuraciones se consideró un valor de la absorptividad de la superficie exterior del elemento para la radiación solar de $a = 0.4$ que corresponde a un gris claro (Givoni, 1981), por lo que las diferencias en comportamiento térmico de las configuraciones serán sólo por los materiales, su espesor y la posición dentro del techo. En la tabla 2 se incluye la resistencia térmica de cada techo que es el parámetro, ba-

Tabla 2. Configuraciones de los techos evaluados

Denominación	Descripción (de exterior a interior)	Resistencia térmica [m ² °C/W]
CAD	Concreto alta densidad: 10 cm	0.278
EPS	Poliestireno expandido: 10 cm	2.728
CAD_I	Impermeabilizante: 0.2 cm + concreto de alta densidad: 10 cm	0.318
PIU_ext	Impermeabilizante: 0.2 cm + poliuretano esparcido: 2.54 cm + concreto de alta densidad: 10 cm	1.226
Verm	Impermeabilizante: 0.2 cm + vermiculita: 5 cm + concreto de alta densidad: 10 cm	0.582
Asb	Lámina de asbesto: 0.5 cm	0.258
Zinc	Lámina de zinc: 0.2 cm + poliestireno expandido: 10 cm + lámina de zinc: 0.2 cm	2.728

sado en un análisis de transferencia de calor independiente del tiempo, para la selección de configuraciones usado en las normas mexicanas (Diario Oficial, 2001; ONNCCE, 2009); de acuerdo a éstas, entre mayor sea el valor de la resistencia térmica (valor R), mejor será el desempeño térmico del techo o muro.

Los valores de las propiedades de los materiales involucrados fueron tomados del programa EnergyPlus (DOE, 2009); éstos se muestran en la tabla 3.

Como ejemplo, en la figura 2 se muestra la gráfica de la temperatura del aire al interior como función del tiempo solar para un techo de una sola capa hecho de concreto de alta densidad (CAD) pintado al exterior de gris claro ($a = 0.4$). En esta gráfica se incluye el rango de confort térmico y las temperaturas exterior y sol-aire.

En la figura 3 se presenta un gráfico con las horas de confort, las horas de disconfort frío y las horas de disconfort cálido obtenidas por los distintos techos evaluados. Se observa que el techo CAD_I es el que presenta mayor tiempo de horas de confort (3.63 horas) y el PIU_ext y Verm las 24 horas se encuentran en disconfort cálido. Para las condiciones consideradas y pintadas al exterior de gris claro ($a = 0.4$) todas las configuraciones presentan mayor índice de disconfort cálido que de disconfort frío.

En la figura 4 se presentan los índices de disconfort cálido y frío de los distintos techos evaluados; su suma es el índice de disconfort (ID). Se ob-

Tabla 3. Propiedades de los materiales

Material	K [W/m°C]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg°C]	C [J/m ³ °C]	α [m ² /s]
Asbesto	0.17	2 400	1 050	2.52×10^6	6.7×10^{-8}
Concreto aereado	0.12	550	1 004	5.52×10^5	2.2×10^{-7}
Concreto alta densidad	2.00	2 400	1 000	2.40×10^6	8.3×10^{-7}
Impermeabilizante	0.05	70	1 500	1.05×10^5	4.8×10^{-7}
Poliestireno expandido	0.04	15	1 400	2.10×10^4	1.9×10^{-6}
Poliuretano espreado	0.03	35	1 590	5.56×10^4	5.4×10^{-7}
Vermiculita	0.19	700	880	6.16×10^5	3.1×10^{-7}
Zinc	110.00	7 130	390	2.78×10^6	3.9×10^{-5}

Notas: k conductividad térmica, ρ densidad, c calor específico, C capacidad calorífica del material por unidad de volumen y α la absorptividad de la superficie.

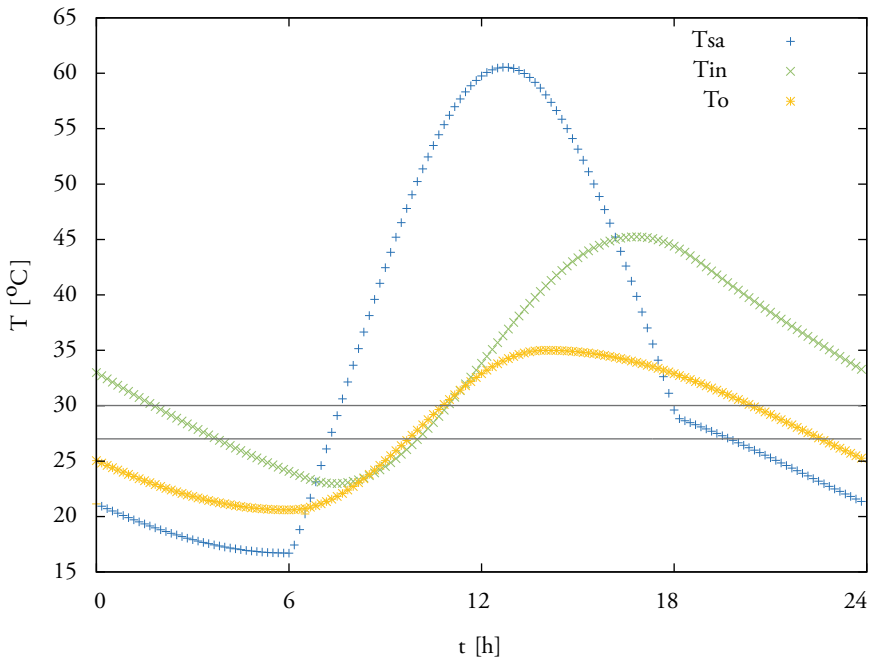


Figura 2. Temperatura del aire al interior, T_i (x), como función del tiempo solar para un techo de una sola capa hecho de concreto de alta densidad (CAD) y pintado al exterior de gris claro. Se incluye el rango de confort térmico (comprendido entre las dos líneas horizontales) y la temperatura exterior T_o (*) y la temperatura sol-aire T_{sa} (+).

SELECCIÓN DE LOS MATERIALES DE MUROS Y TECHOS
PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN EDIFICACIONES NO CLIMATIZADAS

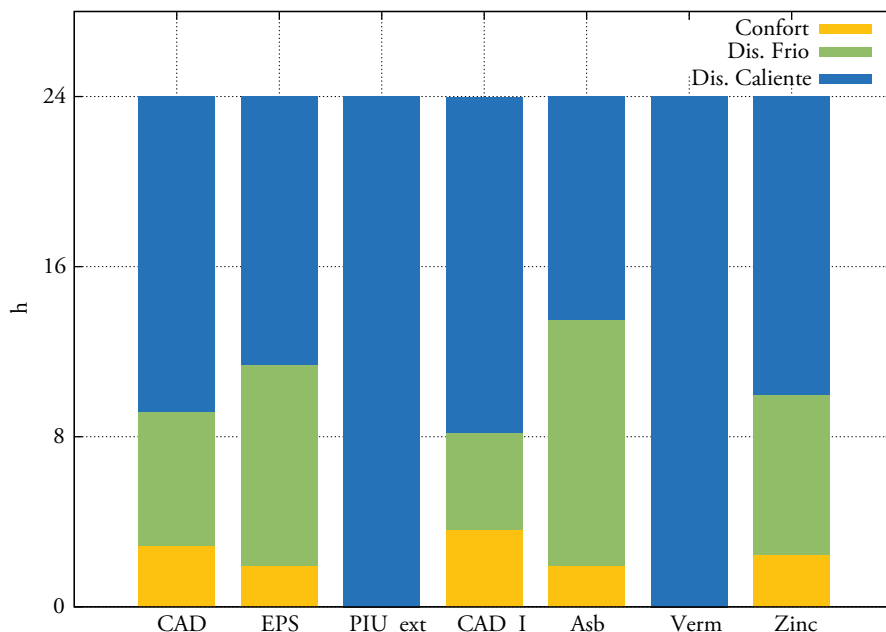


Figura 3. Horas de confort, horas de disconfort frío y horas de disconfort cálido obtenidas por los distintos techos evaluados.

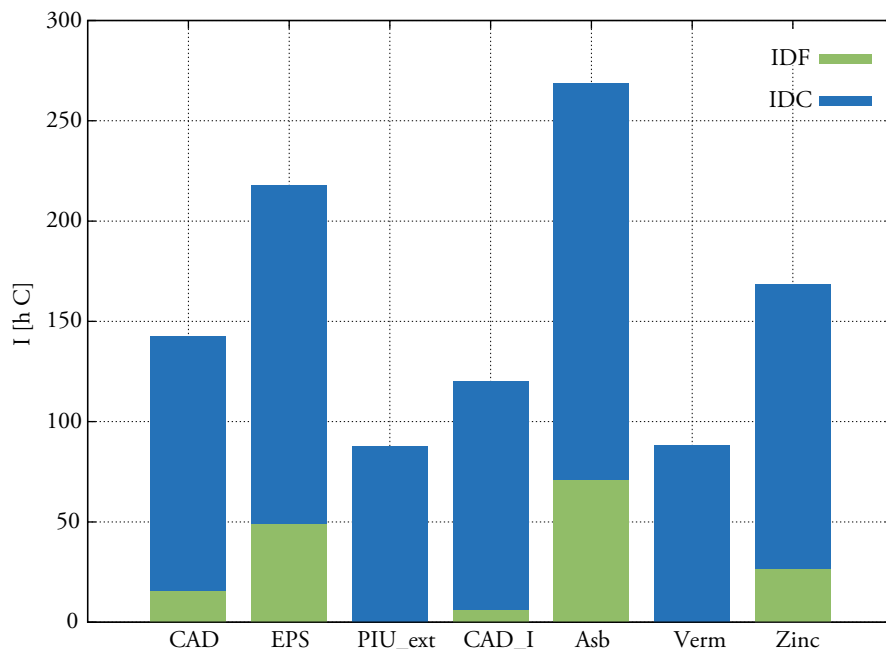


Figura 4. Índices de disconfort frío (IDF) y disconfort cálido (IDC) de los distintos techos evaluados.

serva que el techo Asb es el que tiene mayor índice de disconfort; esto se debe a que, pese a que el asbesto tiene propiedades térmicas adecuadas (baja k y alto C), el espesor de este techo es muy pequeño. Los techos PIU_ext y Verm, a pesar de que todo el tiempo están en disconfort cálido, tienen los menores valores de índice de disconfort. Es importante notar que el techo EPS presenta el segundo mayor valor del índice de disconfort y el techo Zinc el tercero; esto se debe a que, a pesar de estar formados principalmente por un material con un bajo valor de k , este material también tiene un bajo valor de C (alto valor de a).

Si se compara el valor de la resistencia térmica de cada uno de los muros en la tabla 2 con su valor del índice de disconfort en la figura 4, se pone en evidencia que la resistencia térmica no es un buen criterio para seleccionar la configuración del techo o muro de una edificación sin aire acondicionado. Los muros EPS y Zinc son los que tienen mayor resistencia térmica (cercana a 3) y presentan valores de ID mayores a 150 h°C, mientras que en el caso del CAD con resistencia un orden de magnitud menor (cercana a 0.3) su ID es menor a 150 h°C.

Las tres mejores configuraciones de techo son el techo CAD_I, el PIU_ext y el Verm. El techo CAD_I presenta el mayor número de horas en confort (3.63 horas) y el tercero menor índice de disconfort (120 h°C). Los techos PIU_ext y Verm, a pesar de que todo el tiempo están en disconfort cálido, tienen los menores valores del índice de disconfort (85 h°C). Estos valores del índice de confort son de disconfort cálido; sus bajos valores indican que, a pesar de que las temperaturas están fuera de la zona de confort, sus valores no están muy por encima de la temperatura máxima de confort, lo que supone que, usando algunas estrategias sencillas de enfriamiento (Givoni 1990), es posible llevar a las edificaciones que usen estos techos a la zona de confort. Por ello, el valor del índice de disconfort es el parámetro que da mejor información para la selección de configuraciones de techos y muros.

Ya que el techo Verm tiene el menor índice de disconfort se seleccionó para analizar la influencia del color de la superficie exterior. En la figura 5 se presenta un gráfico con las horas de confort, las horas de disconfort frío y las horas de disconfort cálido obtenidas por techos Verm con tres distintos colores de su superficie exterior, blanco ($a = 0.2$), gris claro ($a = 0.4$) y negro ($a = 0.85$). Como puede observarse, al tener la superficie exterior de color blanco se tienen 16 horas de confort, mientras que al tenerla de gris o negro las 24 horas se está en disconfort.

En la figura 6 se presentan los índices de disconfort cálido y frío de los techos Verm. Se observa que, con el simple hecho de cambiar el color de la

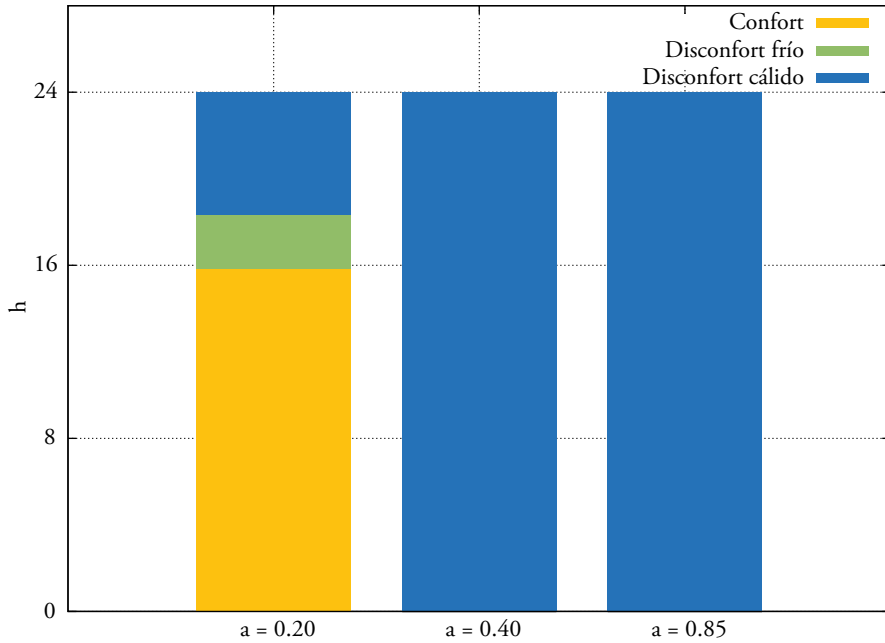


Figura 5. Horas de confort, horas de disconfort frío y horas de disconfort cálido obtenidas por techos Verm con distinto valor de absorptividad (a) de la superficie exterior.

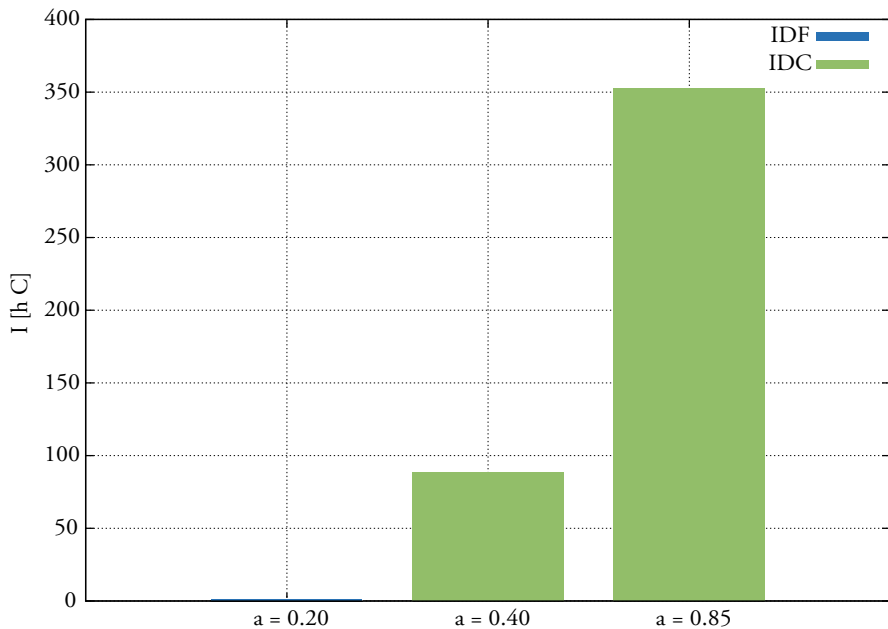


Figura 6. Índices de disconfort frío (IDF) y disconfort cálido (IDC) obtenidos por techos Verm con distinto valor de absorptividad de la superficie exterior.

superficie exterior del techo, se obtienen cambios importantes en los índices de discomfort. Con la superficie exterior pintada de color blanco el techo Verm tiene un índice de discomfort mucho menor ($1.57 \text{ h}^\circ\text{C}$) que el gris claro ($88.23 \text{ h}^\circ\text{C}$), y al pintarlo de negro el índice de discomfort aumenta considerablemente ($352 \text{ h}^\circ\text{C}$).

Conclusiones

A través de simulaciones numéricas de la transferencia de calor dependiente del tiempo para un techo se analizaron siete configuraciones con superficie exterior de color gris claro ($a = 0.4$), usando como caso de estudio el día promedio mensual del mes de mayo en la ciudad de Torreón, Coahuila. Se analizó la información proporcionada por los índices propuestos, número de horas en confort (HC), índice de discomfort cálido (IDC), índice de discomfort frío (IDF) y el índice de discomfort (ID); se encontró que el valor del índice de discomfort es el parámetro que da mejor información para la selección de configuraciones de techos y muros.

Las dos mejores configuraciones de techo de acuerdo a su ID son el techo PIU_ext compuesto (de exterior a interior) por 0.2 cm de impermeabilizante, 2.54 cm de poliuretano esparado y 10 cm concreto de alta densidad, y el techo Verm compuesto por 0.2 cm de impermeabilizante, 5 cm de vermiculita y 10 cm de concreto de alta densidad. Las dos peores configuraciones de techo son el techo de 0.5 cm de lámina de asbesto (Abs) y el de 10 cm de poliestireno expandido (EPS).

El techo Verm, de acuerdo con el criterio del valor R , sería, entre las configuraciones de techos propuestos, uno de los peores, ya que su valor de R es bajo ($0.582 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$). En cambio, el techo EPS, que tiene el más alto valor R ($2.728 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$), es la segunda peor configuración de acuerdo a su ID. Estos resultados muestran que, cuando la edificación no está climatizada, usar el valor R como parámetro para la selección de los materiales puede dar resultados contrarios a lo que se desea.

Los resultados muestran que el color de la superficie exterior es de suma importancia en el desempeño térmico de techos y muros: un color blanco puede reducir en forma importante el índice de discomfort y el negro incrementarlo considerablemente.

Aunque no se presentan en este trabajo, los resultados derivados de simulaciones con muros son similares.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por los proyectos Conacyt Fomix-Estado de Morelos 93693 y Conacyt 25116.

Bibliografía

- Alford, J. S, J. E. Ryan y F. O. Urban (1939) "Effect of Heat Storage and Variation in Indoor Temperature and Solar Intensity on Heat Transfer Through Walls", *ASHVE Trans.* 45: 387-392.
- ASHRAE (1997) *ASHRAE Handbook Fundamentals*, SI Edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Balocco, C., G. Grazzini y A. Cavallera (2008) "Transient Analysis of an External Building Cladding", *Energy and Buildings* 40: 1273-1277.
- Chow, D. H. C. y G. J. Levermore (2007) "New Algorithm for Generating Hourly Temperature Values Using Daily Maximum, Minimum and Average Values from Climate Model", *Building Services Engineering Research and Technology* 28(3): 237-248.
- Diario Oficial (2001) Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia Energética en Edificaciones, Envolvente de Edificios no Residenciales, Segunda Sección, México, 25 de abril, pp. 59-100.
- DOE (2009) Energy U. S. Energy Plus Department of Energy (<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>).
- FIDE (2009) Taller sobre la Envolvente Térmica y el Ahorro de Energía, Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, México.
- Givoni, B. (1981) *Man, Climate and Architecture*, Londres, Applied Science Publishers, p.108.
- Givoni, B. (1990) *Passive and Low Cooling of Buildings*, Nueva York, Van Nostrand Reinhold.
- Huelsz, G., G. Barrios, R. Rechtman y J. Rojas (2010) "Importancia del análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación del desempeño térmico de la envolvente de una edificación", *Anuario de Arquitectura 2009*, Universidad Autónoma Metropolitana, en prensa.
- Huelsz, G., R. Rechtman, R. Rojas (2009) "Altos valores de la resistencia térmica no aseguran un buen desempeño térmico de la envolvente de una edificación", *Memorias de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar*, ANES, Guadalajara, Jalisco, México, 28 septiembre-3 octubre, ABC-050, pp. 237-240.
- Humphreys, M. A. y F. J. Nicol (2000) "Outdoor Temperature and Indoor Thermal Comfort-Raising the Precision of the Relationship for the 1998 ASHRAE Database Files Studies", *ASHRAE Transactions* 106(2): 485-492.

- Incropera, F. P. y D. P. de Witt (2002) *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Nueva York, John Wiley and Sons.
- Kontoleon, K. J. y D. K. Bikas (2007) “The Effect of South Walls Outdoor Absorption Coefficient on Time Lag, Decrement Factor and Temperature Variations”, *Energy and Building* 39: 1011-1018.
- Kuehn, T. H., W. W. Ramsey y J. L. Threlkeld (2001) *Thermal Environmental Engineering*, Nueva Jersey, Prentice Hall, pp. 559-560.
- Morillón-Gálvez D., R. Saldaña-Flores y A. Tejeda-Martínez (2004) “Human Bioclimatic Atlas for Mexico”, *Solar Energy* 76: 781-792.
- ONNCE (2009) Norma NMX460 Industria de la Construcción –Aislamiento Térmico– Valor R para las Envolventes en Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana –Especificaciones y Verificación, México, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- Patankar, S. (1980) *Numerical heat Transfer and Fluid Flow*, Londres, Taylor and Francis.
- Ulgen, K. (2002) “Experimental and Theoretical Investigation of Effects of Wall’s Thermophysical Properties on Time Lag and Decrement Factor”, *Energy and Buildings* 34: 273-278.
- Vijayalakshmi, M. M., E. Natarajan y V. Shanmugasundaram (2006) “Thermal Behaviour of Building Wall Elements”, *Journal of Applied Sciences* 6(15): 3128-3133.
- Yumrutaş, R., Ö. Kaşka y E. Yildirim (2007) “Estimation of Total Equivalent Temperature Difference Values for Multilayer Walls and Flat Roofs by Using Periodic Solution”, *Building and Environment* 42: 1878-1885.

Arquitectura industrial: sistemas de aislamiento en un clima extremo

Gilberto Romero Moreno
Universidad de Sonora
Departamento de Arquitectura y Diseño

Resumen

La arquitectura tiene, entre otros, el compromiso de ser funcional, útil y eficiente. En el caso de Sonora, el compromiso arquitectónico se enfrenta a los factores específicos de la región: la economía de mercado, el clima extremo y el espíritu emprendedor de los productores. En este contexto, la solución de un problema de aislamiento de pisos en edificios industriales para el proceso de refrigeración de carne de cerdo, donde la temperatura de operación es de -40°C , se convierte en algo crítico por su costo e importancia en el funcionamiento de estos edificios. La arquitectura industrial, entonces, tiene como premisa la búsqueda de la aplicación de sistemas que utilicen menos energía y aprovechen los recursos naturales, en este caso, del clima cálido-seco de Sonora. El presente trabajo da cuenta de una solución que se adoptó para el control de la temperatura de los pisos en este tipo de espacios, a fin de evitar su deformación y pérdida de nivel.

Abstract

The architecture has some commitments to be functional, efficient and useful. The specific reasons in the Sonoran desert region are: the market economy, the extreme climate and the entrepreneurial spirit of the producers. The solution to a problem of insulation of floors in industrial buildings for the pork process, where the operating temperature is -40 degrees Celsius, becomes critical for its costs and importance in the operation of these buildings. Industrial architecture is premised on the pursuit of the implementation of systems that use less energy and

use the natural resources, in this case in warm dry climate. In this work, a solution is presented, that allows controlling the temperature of the floors in these spaces, avoiding distortion and loss of level by freezing.

Introducción

El estado de Sonora tiene una condición privilegiada desde el punto de vista agropecuario. Con el esfuerzo de las autoridades, las instituciones y los particulares, se ha logrado que el estado sea reconocido como una de las regiones del país libre de Peste Porcina Clásica (PPC). En septiembre de 2002, Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS), de Estados Unidos, dispuso el reconocimiento de zonas libres a los estados de Campeche, Quintana Roo, Sonora y Yucatán, posterior a una exhaustiva evaluación de riesgos.

En buena parte, el clima desértico y la región geográfica de Sonora (delimitada por el Golfo de California al oriente, la Sierra Madre Occidental y Chihuahua al poniente, la frontera estatal tan pequeña hacia Sinaloa al sur y la frontera norte con Estados Unidos, principalmente con el estado de Arizona) ayudan a controlar el tránsito de animales hacia el estado, a la vez que favorecen que los trabajos de erradicación puedan realizarse correctamente. Una situación similar puede observarse en los otros tres estados libres de PPC, los cuales ocupan la península de Yucatán y se encuentran igualmente aislados del resto de la República al estar rodeados por el Golfo de México desde el poniente hasta el norte, por el Mar Caribe desde el norte hasta el oriente, al sur por Belice y Guatemala y, por el sur poniente, por Chiapas y Tabasco. Aunque el clima en esta región es también cálido, se caracteriza por ser una zona con altas concentraciones de humedad, contrario al ambiente seco de Sonora. Sin embargo, será el aislamiento uno de los factores importantes para la erradicación de la PPC.

Ante esta ventaja, se detona un nuevo sector de la productividad en el estado de Sonora, ya que se abrió la posibilidad no sólo de criar cerdos para venta en pie o en canal, sino que ahora, además, se podía exportar al extranjero, a países como Estados Unidos, Japón, Corea y Europa, principales consumidores mundiales de este tipo de alimento. Después de algunos años de mejoras en la calidad de los proceso de producción, del cumplimiento de todas las normativas nacionales e internacionales (algunas específicas de cada país e, inclusive, de cada cliente), la exportación de productos de cerdo, principalmente a Japón, fue una realidad para Sonora (figuras 1 y 2).



Figura 1. La cría de cerdos es cada vez más importante para las industrias exportadoras de México (fuente: G. Romero).



Figura 2. El puerco es uno de los ingredientes básicos de la dieta japonesa (fuente: <http://grabyourfork.blogspot.com/2010/04/miso-japanese-restaurant-sydney.html>).

Cuando se combinan factores muy apreciados, como la importancia que le dan los japoneses al proceso de producción, la óptima calidad local, la excelencia de la mano de obra y de los materiales en el proceso de empaque, además de un precio competitivo, la exportación de productos de cerdo se convierte en un negocio rentable que permite la fluidez de los recursos para mantener este proceso libre de impedimentos, sobre todo técnicos.

A medida que los productores crecían se presentaron nuevos retos para la porcicultura sonorenses. Para adaptarse al nuevo volumen y nivel de calidad que exigía la exportación fue necesario ampliar la capacidad del rastro, de la sala de deshuese, de los congeladores rápidos, de los almacenes de producto terminado y de los edificios de servicios. Cubiertas estas exigencias, se plantea una nueva necesidad: la construcción de una planta de valor agregado.

Lo anterior significó la planeación de una obra de arquitectura industrial que posibilitara la concreción de las instalaciones adecuadas para esta etapa del proceso industrial, situación que, al considerar el factor climático de la región, automáticamente planteó un problema constructivo. Cómo se resolvió este problema relacionado con el clima extremo de Sonora es el objeto de este estudio.

El frío en los procesos de producción de carne de cerdo

Cuando el animal llega a la planta de procesos está vivo, de ahí que el primer paso del proceso de producción sea el sacrificarlo y, después, retirarle vísceras,

patas y cabeza. Estando el canal todavía a temperaturas de 26 °C, se procede a enfriar la carne para poder procesarla. La carne permanece en las cámaras canaleras aproximadamente 24 horas. Una vez transcurrido ese tiempo, sale a una temperatura inferior a los 8 °C para pasar a la sala de corte, donde se divide en partes para poder detallarla y empacarla. Durante el proceso de valor agregado el producto se mantiene por debajo de los 5 °C, temperatura bajo la cual se realiza el detallado de las piezas para su posterior congelamiento. Una vez concluido, se introduce el producto a los congeladores rápidos (*blast freezers*), en donde la temperatura baja a -40 °C, a fin de lograr la calidad de frío necesaria para que se conserve adecuadamente. Por último, después de 24 horas, el producto se pasa a los almacenes de conservación de congelado, donde se mantiene a -20 °C, en espera de ser embarcado.

El producto terminado se transporta hasta Japón en contenedores que tienen sistemas de conservación de congelado y que lo mantiene en perfectas condiciones hasta su llegada a los centros de distribución en los puertos de recepción en ese país.

Se habla entonces de la curva de frío,¹ la cual no debe confundirse con la curva para congelar el producto, un tema que no se abordará en este tra-

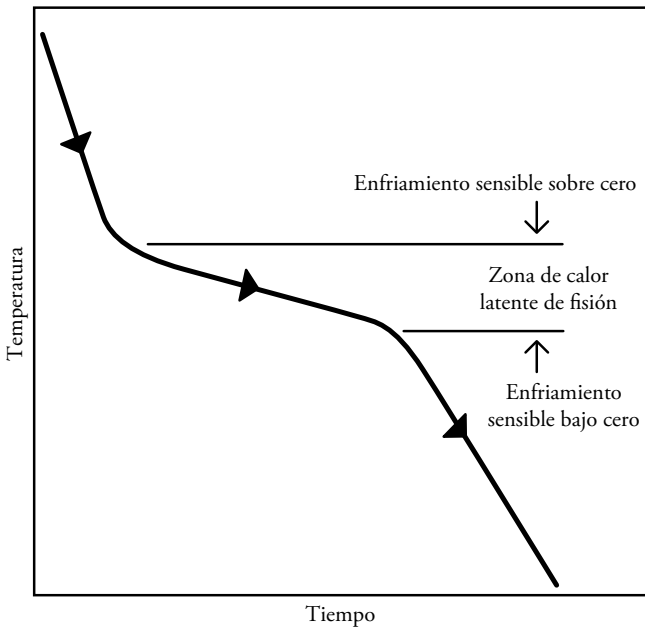


Figura 3. Curva de congelación típica (fuente: A. Encinas).

¹ La curva tiene una forma típica, aunque los valores de las temperaturas cambian según el producto.

bajo. La curva de frío refleja la necesidad de mantener siempre el producto igual o más frío de como se recibe del proceso anterior, puesto que el enfriamiento es la manera de contrarrestar la presencia de organismos microbiológicos que puedan poner en peligro la calidad sanitaria del producto (véase figura 2). De acuerdo a los requerimientos internacionales, la temperatura debe ser, máximo, $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, ya que por debajo de ésta se estima que no es posible la proliferación de bacterias (significativamente), por lo que disminuye la posibilidad de alteración y se reducen los riesgos para la salud. Hay que destacar que, después de la refrigeración, la congelación es el tratamiento que menos modificaciones produce en los alimentos, de forma tal que, una vez descongelados, los alimentos son casi idénticos a los productos crudos empleados como materia prima.

El diseño arquitectónico de edificios industriales es la conjugación y la coordinación de todos los factores que intervienen en diseño de espacios funcionales y eficientes para cada parte del proceso de producción. Cada proceso es distinto, cada espacio es diferente, son trajes a la medida, pero, al mismo tiempo, capaces de adaptarse a los cambios del mercado, a las ampliaciones y a los crecimientos; adaptaciones siempre presentes en estatutos como la legislación sanitaria, las normas internacionales, las especificaciones y parámetros de los fabricantes de maquinaria y de equipos de sistemas de producción, las necesidades especiales de cada cliente, de cada producto, de cada grupo de operarios, en fin, de cada uno de los factores contenidos en dichas normatividades y que conforman los procesos de producción (figuras 4 y 5).



Figura 4. Área de embarque de una planta de proceso (fuente: G. Romero).



Figura 5. Planta procesadora acreditada para exportación a Estados Unidos: Planta TIF-USDA (fuente: G. Romero).

De todos estos factores nos referiremos específicamente al frío en las plantas de proceso.

En climas como el de Sonora, donde la temperatura en verano excede fácilmente los $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, los espacios donde se necesita mantener temperaturas cercanas a los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ponen en aprietos a casi todos los sistemas constructivos, más aún a aquellos que pretenden mantener un clima entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Con gradientes de temperatura de más de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ se necesitan materiales y sistemas constructivos específicos para estos espacios (figura 6).

En el proceso de diseño arquitectónico de estos espacios se busca protegerlos de las orientaciones más difíciles. Por ejemplo, la protección de cubiertas se basa en la generación de áticos para que las cubiertas interiores sean so-



Figura 6. Formación de hielo en cubierta con fallas de sellado (fuente: G. Romero).

lamente plafones y no tengan contacto con el exterior. Creando cámaras de aire que funcionen como espacio tapón se disminuye el aumento de calor procedente de los techos. Este es todo un procedimiento en donde se combinan varios sistemas constructivos para lograr los mejores resultados entre costos de inversión inicial, vida útil y mantenimiento de estos edificios.

Por otro lado, los sistemas recomendados por los expertos foráneos, a pesar de haber sido aplicados con éxito en sus países de origen –Estados Unidos o algún país de Europa–, suelen no resultar una buena solución para el territorio sonorensé. Estos sistemas rebasan por mucho los costos de inversión, de operación y mantenimiento razonables para la condición financiera local. Por dar dos ejemplos de sistemas recomendados y utilizados en otros países se explicará, en primer término, el sistema de calentamiento de subsuelo por medio de una retícula de resistencias que calientan el terreno al aplicarse energía eléctrica por debajo de los firmes (figura 7). Este sistema tiene dos problemas muy serios: el primero es obvio: el consumo de energía eléctrica, nada económica en nuestro medio; el otro problema es el mantenimiento del sistema, ya que debe monitorearse y encenderse y apagarse según las necesidades del área. ¿Qué pasaría en el caso de alguna pérdida de energía? ¿Necesitaríamos tener una planta de energía eléctrica? Debido, entre otras razones, a los antecedentes en México con respecto a los apagones repentinos de energía eléctrica y a las altas tarifas eléctricas, este tipo de opciones se considera no viable por los altos costos de operación.

El otro procedimiento constructivo utiliza también una red de tuberías, las cuales se unen formando un radiador a lo largo y ancho del terreno, igualmente por debajo del firme. Este sistema se basa en la introducción de algún líquido con la temperatura adecuada para mantener el enfriamiento del terreno por debajo de las áreas de congelación (figura 8).

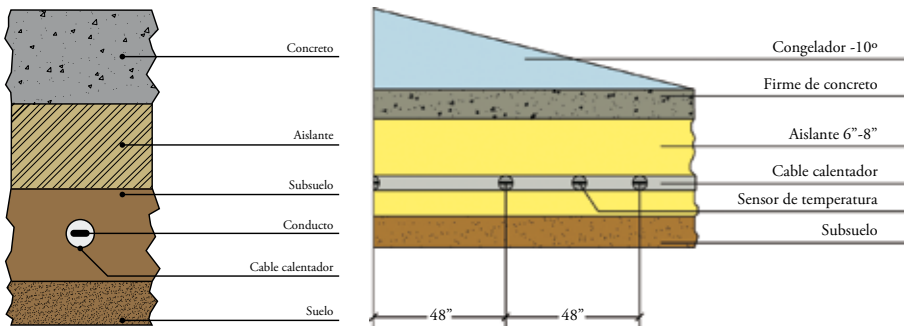


Figura 7. Sistema de control de temperatura con base en el calentamiento del terreno por medio de una retícula de resistencias y energía eléctrica (fuente: A. Encinas).

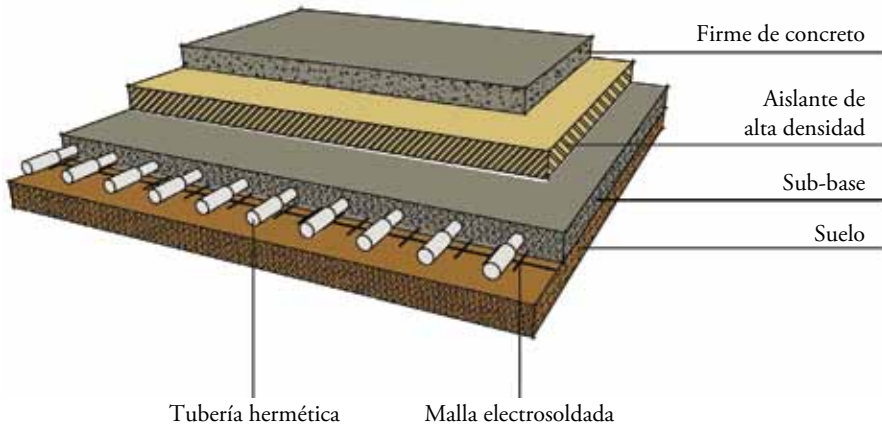


Figura 8. Sistema de control de temperatura del terreno con base en el calentamiento por medio de un radiador con líquidos calientes (fuente: A. Encinas).

Esta tubería debe estar herméticamente cerrada, con el propósito de evitar la pérdida de líquidos en el subsuelo, además, deberá tener la capacidad de soportar las presiones a las cuales estará sometida, primero por la temperatura de los líquidos y, segundo, por los sistemas de bombeo que harán recircular el líquido que se utilice como control de temperatura. Los líquidos deberán calentarse lo suficiente para contrarrestar cualquier posibilidad de congelamiento de los suelos (figuras 9 y 10).

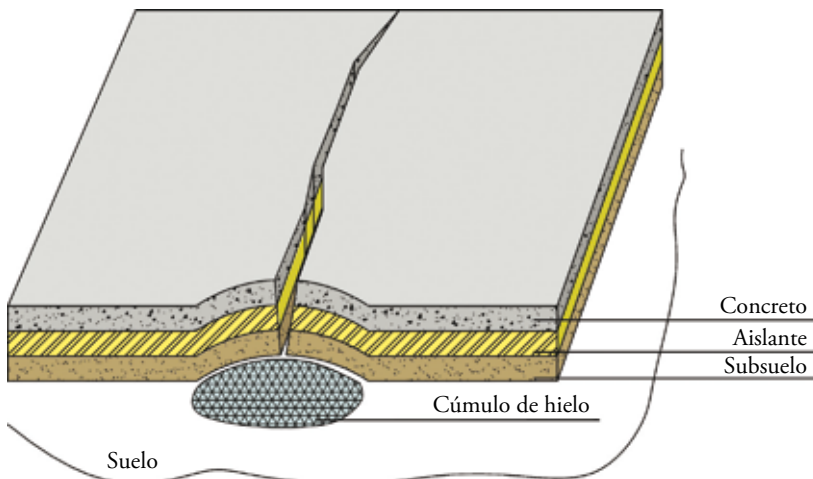


Figura 9. Croquis explicativo del resultado de la congelación del subsuelo (fuente: A. Encinas).

Además de la instalación de tubería para trabajo a presión y con temperaturas altas, también es necesario calentar este líquido y bombearlo, por lo que los costos de operación se incrementan, toda vez que se requiere introducir más variables al sistema, como, por ejemplo, implementar alguna herramienta para el control de la temperatura. Por lo tanto, este sistema también se considera poco viable debido a los costos que genera.



Figura 10. Detalle de firme con problemas de congelación del terreno (fuente: G. Romero).

Sin un adecuado sistema de control de temperatura del subsuelo por debajo de nuestros congeladores, necesariamente, y en forma rápida, se presentarán problemas de congelación del terreno y, como resultado de esta congelación, los firmes fallarán, lo cual modificará el nivel o el desnivel de los pisos debido a la expansión del hielo durante su formación. Asimismo, se generan problemas de sanidad y de operación de las cámaras. Así las cosas, el principal problema a enfrentar es el levantamiento del suelo por congelación.

En realidad, cuando este problema se presenta el encontrarle una solución resulta una tarea muy complicada. Por un lado, la dificultad que implica que una planta suspenda sus actividades para hacer esta reparación a la temperatura adecuada y, por otro, la necesidad de hacer todo, a la vez, rápido, económico y funcional. Debido a lo anterior, la reparación de una falla de este tipo es una situación que siempre se debe evitar, lo cual sólo se logra al hacer las cosas bien desde el principio.

Estudio de caso: solución del aislamiento de pisos en áreas de congelación en Sonora

Descripción del sistema

En el caso específico de Sonora, los asesores de la empresa que constituye este estudio de caso, sostenían que la solución más viable consistía en usar algún sistema de calefacción por medio de una red de tuberías (como si el piso fuera un radiador), por la cual circulara algún líquido previamente ca-

lentado (agua, aceite o glicol), controlando la temperatura del piso. Como puede observarse, la solución propuesta es un sistema de control de temperatura del terreno con base en el calentamiento por medio de un radiador con líquidos calientes; es decir, uno de los dos procedimientos poco viables explicados con anterioridad. Además de los inconvenientes del costo del sistema y las implicaciones técnicas que acarrea la hermeticidad de las tuberías, los procedimientos de calentamiento de los líquidos y el control de la temperatura —que es crítico—, resultaba imposible permitir que las cámaras ganaran el calor generado por el sistema de control de temperatura del piso.

Como el factor costo eliminó rápidamente la probabilidad de utilizar este sistema, se buscaron soluciones alternas que permitieran utilizar lo que se tenía al alcance: tecnología local, diseño tropicalizado y mucha creatividad. Es decir, una solución regional desde la perspectiva de la arquitectura industrial.

La solución debía ser rápida y simple, ya que no se contaba con suficiente tiempo para realizar un análisis exhaustivo. Siguiendo esta premisa, y puesto que la obra ya estaba en proceso, se decidió combinar dos sistemas y hacerles unas adecuaciones locales para evitar retrasos en la obra. Al mismo tiempo, se buscó una solución tal que no hubiese necesidad de contratar especialistas sino que se pudiera hacer el trabajo con mano de obra local.

Dentro de la solución se aprovecharon las condiciones climáticas de la región: temperaturas cálidas la mayor parte del año con inviernos por encima de cero, además de una humedad relativa muy baja. De este modo, el aire exterior cálido-seco se hizo circular por medio de una red de tubos rectos, los cuales se colocaron cada 90 cm, procurando que las entradas y salidas quedaran dispuestas en la mejor posición en cada caso. Como se observa en la figura 11, la agrupación de tubos más pequeña se colocó de Este a Oeste y la agrupación de tubos más grande de Norte a Sur, en cada caso por una mejor ubicación de las entradas y salidas del sistema de ventilación.

En la realización del proyecto se utilizaron tuberías de pvc de 3" de diámetro, con perforaciones alternadas cada 25 cm de la mitad del tubo hacia arriba. Estas perforaciones permiten recuperar la humedad que pueda formarse debajo de los firmes de las cámaras de congelación. Es así que el tubo recoge la humedad de condensación, la cual posteriormente es evaporada por el aire que circula por la tubería, retirándola del sistema.

Estas tuberías corren por dentro de una cama formada por capas de arena y grava que tienen distintos diámetros y espesores. El peralte de la cama variará dependiendo de la longitud de los tubos, debido a que éstos deberán

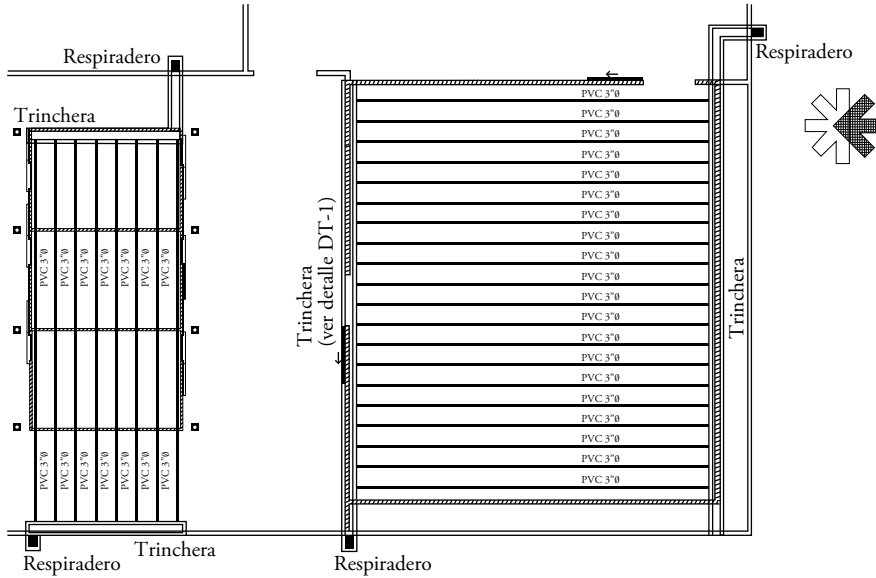


Figura 11. Distribución en planta de sistema de tuberías de control de temperatura por ventilación natural (fuente: G. Romero).

de tener una pendiente en alguno de sus dos sentidos de 0.05%, todo por debajo de los firmes de congelación (figura 12). El sistema deberá estar debidamente aislado para formar una vía que permita controlar la presencia de humedades por debajo del firme, con lo que se evita que las ganancias de calor lleguen a la cámara o, si esto llegara a suceder, que no se presenten condensaciones que propicien el congelamiento de agua, con el fin de im-

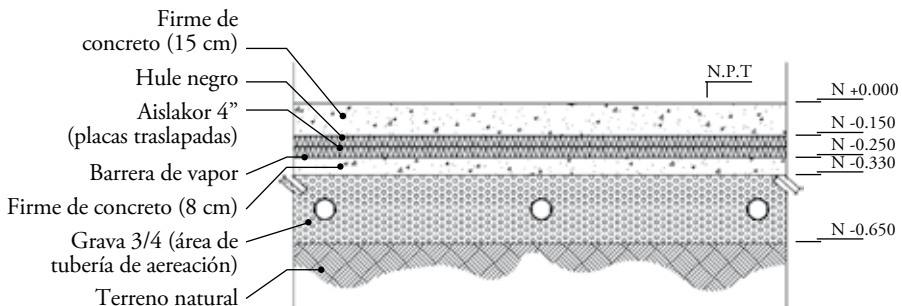


Figura 12. Sección del sistema de tuberías de control de temperatura por ventilación natural (fuente: G. Romero).

pedir que los pisos se levanten y se deformen, lo cual haría ineficiente el proceso de producción.

En cada extremo de las tuberías –en el límite exterior de las cámaras– se construyeron un par de trincheras que reciben todas las tuberías y las conectan entre sí, formando un sólo sistema. De este modo, los extremos de las trincheras son las entradas y salidas del sistema y funcionan como chimeneas de ventilación (figura 13).

Las trincheras se construyeron con block y concreto armado y generalmente están reforzadas, debido a que soportan los muros de panel de las cámaras de congelación. Es importante que su interior quede limpio y seco al

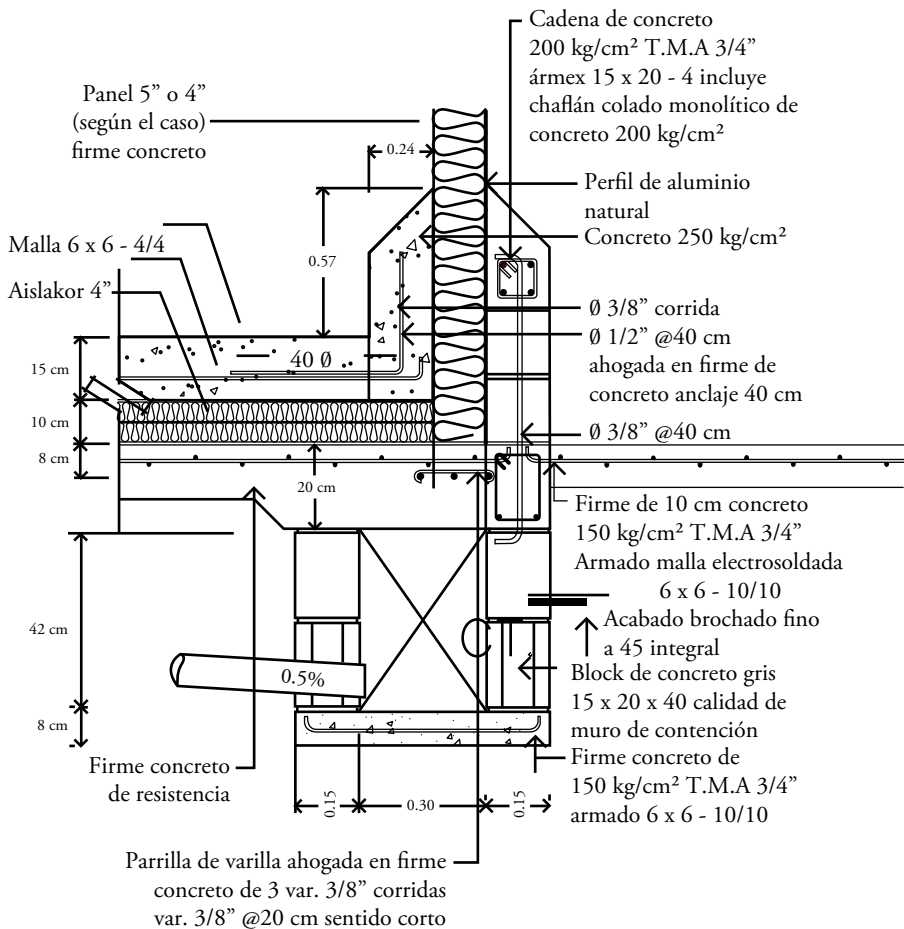


Figura 13. Detalle de la sección de la trinchera de control de temperatura por ventilación natural (fuente: G. Romero).

terminar los trabajos, así como evitar que se tapen u obstruyan con elementos del proceso constructivo, ya que esto puede disminuir su capacidad de aereación.

El sistema descrito fue diseñado de manera empírica y ya tiene algunos años funcionando; concretamente, uno de los cuartos de congelación tiene más de diez años activo sin que a la fecha haya presentado problemas. La sencillez en la fabricación, su bajo costo y nulo mantenimiento, siempre ha llamado la atención de los asesores extranjeros, lo que ha sido ampliamente aceptado en todos los proyectos que después se han realizado.

El proceso constructivo

A continuación, en las figuras 14 a 17, se presentan algunas imágenes del proceso constructivo del sistema de control de temperatura por ventilación natural.



Figura 14. Excavación lista para recibir sistema. Al fondo, construcción de la trinchera poniente (fuente: G. Romero).



Figura 15. Tendido de cama de grava y colocación de tubos de ventilación perforados (fuente: G. Romero).



Figura 16. Remate de la tubería en la trinchera poniente (fuente: G. Romero).



Figura 17. Vista general de los congeladores rápidos (*blast freezers*) terminados (fuente: G. Romero).

Conclusiones

Una vez constatada la efectividad de este sistema es necesario estudiar más a detalle y de manera científica este procedimiento constructivo, a fin de evaluar el comportamiento de todos los elementos y poder establecer fórmulas y procedimientos que permitan un cálculo más exacto para optimizar tanto sus dimensiones como sus materiales, además de evaluar su actividad real y su conveniencia y permanencia en el sistema.

Por otra parte, aunque el costo no es muy significativo al compararse con el valor total de la inversión necesaria en estos edificios, a efecto de contar con todos los elementos para la toma de decisiones, sería conveniente abordar en futuros trabajos el análisis del costo-beneficio de la utilización de este procedimiento constructivo.

Por último, la adecuación al clima local de la arquitectura en general y de la arquitectura industrial en particular, es un factor muy importante para el ahorro de energía, de ahí que sea necesario analizar con más detalle la generación de calor que se requiere para otro tipo de procesos y, con ello, diseñar nuevos sistemas que se puedan adecuar al clima y que faciliten el uso de recursos renovables como el sol y el viento, recursos hoy en día muy desperdiciados.

Bibliografía

- Becker, B. R. y B. A. Fricke (2005) *Design Essentials for Refrigerated Storage Facilities*, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Ternium (2010) Manual de Instalación Ternium Multypanel (www.ternium.com.mx) julio.
- Uponor (2010) Sistemas de Prevención para la Congelación de Suelos (<http://www.uponor-usa.com/Header/Systems/Commercial/Permafrost-Prevention/Overview.aspx>).

Instrucciones para los autores

Son bienvenidos los artículos para la revista Estudios sobre Arquitectura y Urbanismo del Desierto que soliciten su publicación. Los trabajos serán sometidos a arbitraje por especialistas en el tema. El requisito principal es que sea material original y no publicado, aunque se pueden aceptar trabajos que hayan sido publicados parcialmente. La temática de la revista abarca cuatro grandes áreas del ámbito de la Arquitectura y el Urbanismo en zonas áridas:

1. Historia y restauración
2. Teoría y diseño
3. Urbanismo y planeación
4. Tecnología y medio ambiente

Indicaciones generales

El documento deberá configurarse en hojas tamaño carta de 215.9 x 279.4 mm (8½ x 11”). Podrá enviarse en inglés o español. Deberán usarse unidades del Sistema Internacional. Cualquier otro tipo de unidad deberá reportarse entre paréntesis. El documento deberá comenzar con la información del título y de los autores. Continuará con un resumen, el cual no debe de exceder de 300 palabras. Al final del resumen en español deberá escribir una traducción del mismo al inglés, titulado Abstract. El formato preferido del texto es MS Word o RTF (Rich Text Format).

Ecuaciones y nomenclatura

Las ecuaciones y fórmulas deberán seguir las especificaciones del texto general. Deberán estar numeradas consecutivamente. La nomenclatura de los símbolos contenidos en las ecuaciones deberá estar explicada detalladamente en el texto donde se hace referencia a la misma o, bien, en una lista por separado al final del texto.

Figuras

Todas las figuras (fotografías, gráficas, dibujos, planos, etcétera) deberán ser claras y de alta calidad (200 dpi o superior). La calidad de las mismas debe ser tal que puedan distinguirse claramente al ser impresas en blanco y negro. Deberá indicarse su ubicación en el texto y, además, todas las imágenes deberán ser enviadas en archivos originales por separado (no insertadas). Los formatos aceptados son: JPG, Tiff, CDR y PDF (para imágenes), PDF (planos), XLS (para gráficos). Las figuras deberán estar referidas dentro del texto, numeradas consecutivamente y con una leyenda. La leyenda es el título o descripción de la figura e incluye el número de la figura.

Tablas

Todas las tablas deberán numerarse consecutivamente, estar referidas dentro del texto y tener su encabezado en la parte superior. Como con las figuras, deberá indicarse la ubicación de las tablas dentro del artículo y, además, se insertarán al final del artículo, de preferencia en formato Excel (no Tabla de Word) o, bien, en archivo separado de Excel.

Referencias

Las referencias deberán estar en el mismo estilo que el texto del artículo. Le rogamos seguir los lineamientos de estilo de la APA (American Psychological Association), que se pueden consultar en: <http://www.lib.berkeley.edu/TeachingLib/Guides/Citations.html>.

Cómo enviar su artículo

La manera más eficiente y segura es por correo electrónico. Si no fuera posible, podrá hacerlo en un CD por correo normal o mensajería (preferible). Por correo electrónico, envíe su archivo a esaud@arq.uson.mx. Por correo normal o mensajería, envíe el CD y una copia impresa del artículo a:

Dra. Irene Marincic o Dr. José Manuel Ochoa de la Torre
Programa de Arquitectura, Depto. de Arquitectura y Diseño, Universidad de Sonora, Rosales y Colosio s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

**Diseño bioclimático en espacios abiertos para zonas áridas urbanas
en el desierto chihuahuense**

Leticia Peña Barrera

**Análisis térmico de una vivienda económica en clima cálido-seco
bajo diferentes orientaciones y medidas de sombreado**

Daniel Solís

**Análisis térmico de viviendas económicas
en México utilizando techos verdes**

*María Guadalupe Alpuche, Hugo Moreno, José Manuel Ochoa
e Irene Marincic*

**Selección de los materiales de muros y techos para mejorar el confort
térmico en edificaciones no climatizadas**

Guillermo Barrios, Pablo Elías, Guadalupe Huelsz y Jorge Rojas

Arquitectura industrial: sistemas de aislamiento en un clima extremo

Gilberto Romero Moreno



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



ARQUITECTURA



PROGRAMA INTEGRAL DE FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL
Por la mejora y el aseguramiento de la calidad de la educación superior