



PALABRAS CLAVE
Patrimonio histórico,
Bioclimática,
Sustentabilidad,
Eficiencia energética

KEYWORDS
Historical heritage,
Bioclimatic,
Sustainability,
Energy efficiency

LA RESPUESTA BIOCLIMÁTICA DE LA ARQUITECTURA HISTÓRICA. EX CONVENTO DE SAN FRANCISCO EN QUERÉTARO

*THE BIOCLIMATIC RESPONSE OF HISTORICAL
ARCHITECTURE. FORMER CONVENT OF
SAN FRANCISCO IN QUERÉTARO*

> **GLORIA MARÍA CASTORENA ESPINOSA**
Universidad Autónoma Metropolitana
Laboratorio de Arquitectura Bioclimática
Departamento de Medio Ambiente
Ciencia y Artes para el Diseño

RECIBIDO
30 DE ABRIL DE 2021

ACEPTADO
30 DE ENERO DE 2022



EL CONTENIDO DE ESTE ARTÍCULO
ESTÁ BAJO LICENCIA DE ACCESO
ABIERTO CC BY-NC-ND 2.5 AR

> **COMO CITAR ESTE ARTÍCULO (NORMAS APA):**
Castonera Espinosa, G. M. (Noviembre 2021 - Abril 2022). La respuesta bioclimática de la arquitectura histórica. Ex Convento de San Francisco en Querétaro. [Archivo PDF]. *AREA*, 28(1), pp. 1-17. Recuperado de https://www.area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2801/2801_castorena-espinosa.pdf

RESUMEN

El ex Convento de San Francisco en Santiago de Querétaro, México, alberga, desde 1936, al Museo Regional de Querétaro. Este complejo religioso, edificado durante los siglos XVI y XVII, es analizado bajo una visión bioclimática y sustentable que permite entender el emplazamiento y la orientación del conjunto, la selección de los materiales locales en su estructura y acabados, la autosuficiencia y el uso racional de los recursos para su operación, así como la respuesta arquitectónica de las edificaciones con relación al clima y su entorno natural. Se monitoreó la temperatura del edificio y áreas exteriores para analizar el comportamiento de la edificación y los parámetros de bienestar humano, con la finalidad de evaluar a través de modelos computacionales los conceptos de diseño y las estrategias bioclimáticas aplicadas en el diseño y construcción del conjunto. Finalmente, se documentó el desarrollo de la investigación para difundir los resultados, antecedentes de la sustentabilidad y prospectivas para la revitalización de las edificaciones con valor patrimonial.

> ACERCA DE LA AUTORA

GLORIA MARÍA CASTORENA ESPINOSA. Doctora en Diseño Bioclimático por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Especialista en Diseño Ambiental, Maestra en Diseño en la Línea de Arquitectura Bioclimática por la UAM. Arquitecta por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es Profesora Investigadora en UAM Azcapotzalco, es Jefa del Área de Investigación Arquitectura Bioclimática y Responsable del Laboratorio de Arquitectura Bioclimática. Fue Directora de Obras Públicas y Desarrollo Urbano en la municipalidad de Tepetzotlán, realiza asesoría

ABSTRACT

Since 1936, the former Convent of San Francisco, located in Santiago de Querétaro, Mexico, is home to the Regional Museum of Querétaro. This religious complex, built between the XVI and the XVII centuries, is analysed under a bioclimatic perspective of sustainability that allows us to understand its siting and orientation, the selection of local materials used in its structure and its ornamentation, its self-efficiency and the rational use of resources required for its operation, as well as the architectural response of the buildings in relation to the climate and their natural environment. The temperature of the building and the outdoor areas was supervised to analyse its behaviour and its relation to the parameters well-being and comfort, in order to evaluate through digital models, the design concepts and bioclimatic strategies applied in the design and the construction of the complex. Finally, the development of the investigation was documented to share its results, the heritage, and the records of sustainability in the past and the prospects for the revitalization of buildings with a historical value.

del H. Ayuntamiento de Tepetzotlán. Trabaja en el desarrollo de proyectos y construcción en el sector vivienda, salud, educación y comercio, así como restauración de edificios histórico para la recuperación de estrategias bioclimáticas. Participó en publicaciones periódicas como Estudios de Arquitectura Bioclimática de la UAM-Azcapotzalco, Introducción a la Arquitectura Bioclimática de Editorial Trillas, SustentabiliCyAD. Participa con la UAM en la Asociación Nacional de Energía Solar.

✉ <gmce@azc.uam.mx>

Introducción

La Universidad Autónoma Metropolitana a través del Área de Arquitectura Bioclimática ha desarrollado una línea de estudio relacionada con aspectos ambientales y energéticos de edificaciones históricas, tomando como elementos de estudio los conjuntos conventuales, monásticos y educativos de los siglos XVI, XVII y XVIII. Por ser estructuras muy complejas, de amplia interrelación con el medio natural como principio de sustentabilidad albergaron en su arquitectura actividades diversas tales como la educación, la recreación y la producción o conservación de alimentos, todas ellas aunadas a un ambiente con un profundo sentido espiritual. Esta línea de investigación permite revalorar la arquitectura patrimonial por sus saberes ambientales con lo cual se tiene un valor agregado que soporte su conservación y revitalización.

Localidad

A una distancia en línea recta de 188 kilómetros de la Gran Tenochtitlán se encuentra Santiago de Querétaro, nombre oficial de la localidad de estudio, capital del Estado de Querétaro, México, a 20° 31' de latitud norte y 100° 23' de longitud. El clima que la caracteriza es semiárido, BSk según la clasificación climática de Köppen. La ruta marcada por las culturas indígenas, la continuaron desarrollando los españoles en el territorio, construyendo puentes para el paso de carretas y consolidando una movilidad cultural que facilitó el intercambio de ideas y creencias, de personas y de mercancías, principalmente del valioso metal que le dio el nombre del *Camino de la Plata*. Este sendero histórico nacional fue reconocido como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en el año 2010, mención que recibió por fungir como un elemento histórico de comunicación con el Estado de Querétaro, a través del cual llegaron los franciscanos.

Antecedentes históricos

Los antecedentes históricos se remontan al Códice Mendocino, en el cual se establece que el actual Estado de Querétaro era denominado por los habitantes oriundos como *Tlachco* en purépecha o *Nada Maxei* en lengua otomí, ambas con el mismo significado: lugar entre peñas. El sitio fue llamado por estos pobladores como *Lugar de Peñas Grandes*, con la

presencia de elevaciones como la Sierra Gorda de Querétaro y Peña de Bernal, elementos de valor simbólico para las culturas indígenas por la veneración de la fertilidad; en estas montañas se genera la vida, ya que poseen los contenedores de agua y son la representación de los dioses. En la Sierra de Querétaro en la que se localizan los grupos indígenas con cultura y sociedad afín a las poblaciones del Golfo de México, es una región rica en minerales y piedras hermosas, valoradas desde la época prehispánica. A la llegada de los españoles al territorio, en la serranía, se encontraba un grupo indígena denominado los jonaces, los cuales estaban dedicados a la recolección y la caza (EMM, s.f.).

El territorio queretano lo poblaron las culturas otomí, purépecha y chichimeca, esta última solo temporalmente; dejando su presencia en las zonas arqueológicas de Toluquilla, Las Ranas y El Cerrito. Una fusión entre la cultura prehispánica y la católica se dio en los oratorios, en los cuales se construyeron capillas que hoy en día prevalecen con una dualidad religiosa.

En el siglo XVI llegan los españoles a Querétaro y se suman a la población local, creando las primeras ciudades bajo el *Camino de la Plata* cruzando el territorio y construyendo a su paso la ciudad colonial de Santiago de Querétaro, en honor al apóstol del mismo nombre.

El resultado de esta fusión cultural crea nuevas expresiones estilísticas, como son las *Capillas Otomíes*, también denominadas *Capillas de indios*, características de la arquitectura del desierto queretano. Estas fueron construidas sobre los oratorios prehispánicos.

El sitio

El territorio de Querétaro se divide en dos unidades ambientales: la zona de la Sierra Queretana y la de los valles; esta distinción se realiza en base a sus características físicas (topografía, hidrología, vegetación) y por la condición climatológica. Santiago de Querétaro se localiza en los valles, lo cual permitió que la traza urbana se expandiera horizontalmente.

El convento de San Francisco de Querétaro

Los primeros religiosos que llegan a México son de la orden franciscana, ellos erigen las primeras capillas y ermitas que con el tiempo fueron adosando espacios

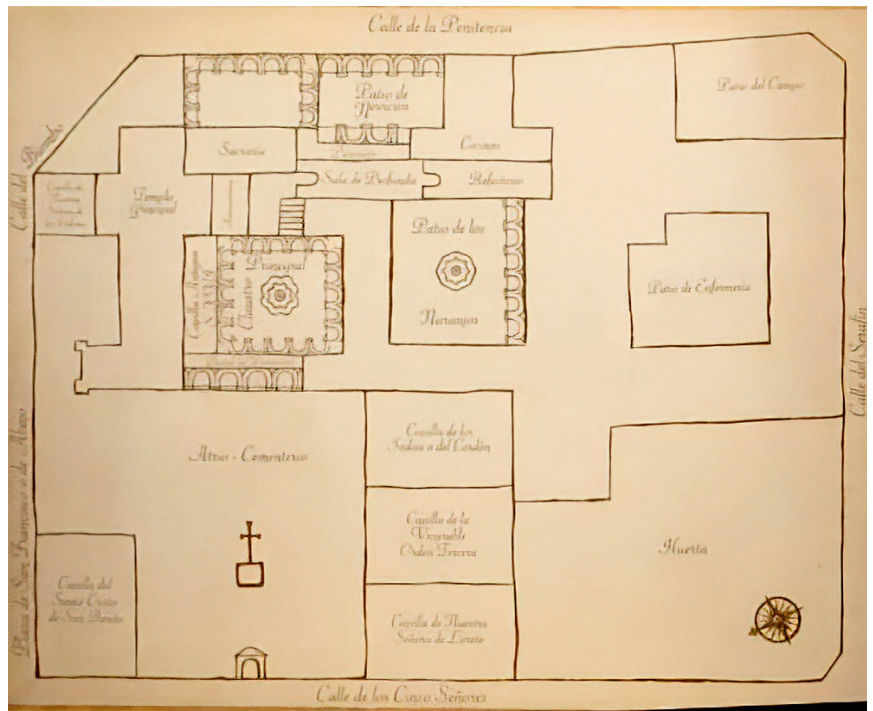
hasta formar los grandes conjuntos religiosos. Del primer convento que se edificó en Querétaro quedan solo algunos elementos reutilizados en la construcción del actual Convento de San Francisco.

La pérdida de algunos de sus edificios y espacios exteriores limita la posibilidad de documentar el comportamiento del conjunto y de algunas de las tecnologías ambientales, que seguramente ocuparon el espacio de la huerta. Se cree que el recinto franciscano era de una sola nave, con una cubierta de bóveda; tenía una viguería de madera y piezas de barro, un terrado y el acabado del piso de la azotea. La portada debió ser austera, como lo indican los principios de la orden. Los materiales característicos de la época eran la cal y canto y el adobe; igualmente se utilizaban los muros bruñidos y ornamentados con frescos de grisalla, pintura monocroma.

El religioso Fray Alonso Ponce, en el *Tratado curioso y docto de las grandezas de la Nueva España* (De Ciudad Real, 1993) escribió: “El convento de Querétaro, cuya vocación es Santiago, está acabado, con su iglesia, claustro, dormitorios y huerta, tiene buen edificio de cal y canto” (p. 74). Con el paso del tiempo el primer convento franciscano fue modificado y ampliado para cubrir las necesidades religiosas, administrativas y comerciales; espacios para la educación y la enfermería, así como los espacios destinados para los sacerdotes y el noviciado.

El conjunto monástico original, estaba localizado en un predio de forma cuadrada, en el que situaba un amplio atrio, el cementerio de la comunidad religiosa, la huerta, las cuatro capillas, el patio de la enfermería y el patio del campo. El claustro principal, el Claustro de los Naranjos y el patio de los novicios, aún los podemos observar en pie; el Claustro de los Naranjos se extendía y conformaba un tercer claustro con el patio de la enfermería al centro. La Iglesia y la casa parroquial se conservan, con funciones independientes al convento, así como el patio colindante con el patio de los novicios. El esquema arquitectónico empleado es el claustro con patio central, y es gracias a este que la luz natural, la temperatura, la humedad y la incidencia solar se controlan hacia los espacios semiabiertos de los corredores y al interior de los locales.

A lo largo del siglo XVII experimentó una intensa actividad constructiva; más que un convento, se convirtió en un conjunto religioso. Alcanzó una superficie total de aproximadamente 28.000 m², que lo transformó hasta 1803, en una microciudad



autosustentable y con actividades de formación de novicios y enseñanza de lectura y escritura a los niños con posibilidades económicas limitadas.

Desde el punto de vista bioclimático, el recinto aplica la estrategia de control microclimático con el patio rodeado por edificios elevados en dos niveles y con un sistema de humidificación por medio de fuentes, tanto en el patio principal como en el patio de los naranjos.

La masividad está presente, al igual que en muchos edificios históricos, como un

Figura 1

Plano antiguo de la Iglesia y Convento Franciscano.

Fuente: Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).

Fotografía 1

Vista aérea del convento e iglesia de San Francisco de Querétaro.

Fuente: © Google Earth.



sistema constructivo local que funciona correctamente en un clima seco como el de Querétaro, para estabilizar las temperaturas al interior de los locales por efecto de retardo térmico y oscilación al interior de los espacios.

Materiales

Los materiales utilizados en la construcción y la ornamentación de las edificaciones provinieron de los bancos de materiales existentes en la región como aparece en las fuentes bibliográficas y la cartografía del medio natural. A continuación, se describen los materiales de uso frecuente en las edificaciones, así como la localización dentro del conjunto, complementando la información con imágenes fotográficas.

La planta baja del claustro principal estructura su cubierta con bóvedas de pañuelo, mientras que en planta alta los techos cierran con bóvedas de planta circular. En el claustro del patio de los naranjos, en el interior de los locales, los techos son de bóveda catalana tanto en planta baja como en planta alta; la cubierta está soportada por una viguería de madera, en donde se apoyan piezas de barro que reciben la tierra compactada y rematan con un firme de cal y arena, con un impermeabilizante natural como acabado final.

Los muros son de cal y canto en su basamento y adobe, con un aplanado de cal y arena y un terminado final bruñido y fresco de grisalla. En algunos muros se identifican pinturas monocromáticas.

El piso de planta alta del Claustro de los Naranjos muestra el piso original y la intervención en la remodelación del edificio. Otros pisos han sido suplidos por losetas de barro, dada la función del edificio y la necesidad de tener materiales resistentes al tránsito. En una de las salas del Claustro de los Naranjos, en planta alta, se encuentran pisos de madera, y los demás pisos interiores, son de barro, tanto en la planta alta como en la planta baja.

Al exterior, en las circulaciones y andadores, el material utilizado es cantera. En la planta alta, en la Sala de Profundis, se han colocado pisos de madera; sin embargo, dominan los pisos de barro cocido al interior y de cantera para los exteriores.

Los pisos de barro tienen una conductividad térmica desde 0,36 hasta 1,21 W/°C (ASHRAE), en promedio de 80 a 87 W/m °C; al estar expuestos a la radiación directa del sol, almacenan el calor y lo intercambian con el ambiente,

conservando tibio el ambiente. Los pisos de cantera, puestos en exteriores, tienen una conductividad térmica de 3,50 W/°C (ASHRAE, piedra compacta); al estar expuestos a la radiación solar, el período de tiempo en calentarse y enfriarse es mayor que el del barro. Si a ello le sumamos la humedad de la fuente y la vegetación, el intercambio de energía por convección produce un ambiente fresco al exterior.

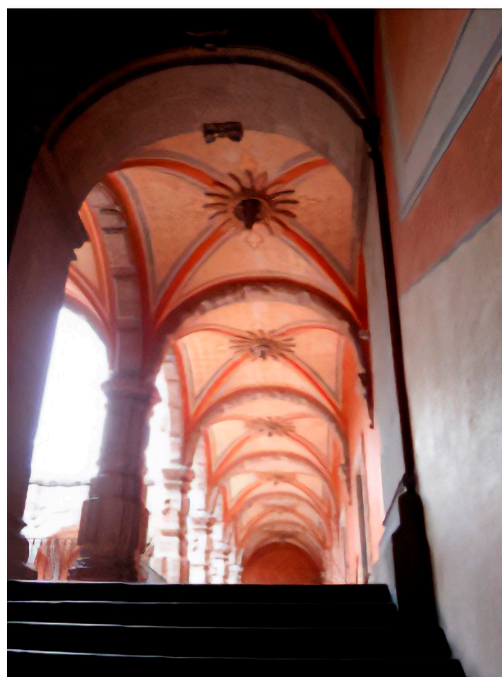
Las columnas son de cantera, con variantes en formas, texturas y ornamentación; principalmente en los capiteles, en las molduras



Fotografía 2

Acabados en muros, planta alta del Claustro de los Naranjos.

Fuente: registro fotográfico de la autora.



Fotografía 3

Planta alta del claustro principal.

Fuente: registro fotográfico de la autora.

y el estriado de los fustes. Presentan una función importante en el clima seco, al funcionar como sistema estructural de los dispositivos de control solar como son los andadores abiertos, pasillo o corredores; aportando transparencia a los espacios para la ventilación y el paisaje.

En la planta alta, los pasillos presentan una reja baja de herrería para continuar con la estética y replicar la función. Los acabados de las columnas –remates, molduras– y los marcos de las puertas y ventanas son de cantera proveniente de la región queretana.

En los muros, los aplanados son de arena cernida y cal apagada, tienen un terminado de aplanado fino bruñido con pintura a la cal y ornamentación monocromática.

La cal permite la respiración de los muros y las cubiertas abovedadas, por lo que este material ha sido utilizado desde la época prehispánica en México y durante el Virreinato en las edificaciones y pinturas al fresco de los edificios religiosos.

Las alteraciones y modificaciones que los edificios históricos han tenido en el tiempo, generan problemas de humedad al modificar la piel natural, por lo que el uso de materiales locales, aptos a las condiciones climáticas y sistemas constructivos del lugar, permiten la óptima restauración de las edificaciones.

En el caso del convento franciscano, a pesar de estar en un clima seco, se detectaron problemas de humedad por contacto tanto en los muros como en las cubiertas, o de capilaridad ascendente en espacios complementarios de la parroquia, en colindancia con el Museo Regional de Querétaro.

Las puertas y ventanas son de madera, con forma rectangular, con oscuros de madera, de dos hojas, segmentados en cinco partes cada una de ellas. Estos dispositivos permiten el control de la iluminación en fracciones de cuartos, sextos y octavos de luz, de igual manera se puede intervenir con la ventilación.

El manejo controlado de los requerimientos de iluminación, incidencia solar y ventilación permiten establecer en forma individual el requerimiento de vincularse con el exterior o la protección a las condiciones de incomodidad exterior, considerando el amplio rango de bienestar térmico que puede tener el usuario por arropamiento, actividad metabólica, edad, complejión corporal, o por el estado de salud o de ánimo.

El clima

Las condiciones atmosféricas reinantes en Santiago de Querétaro son registradas en



Fotografía 4

Fachada interior del claustro principal.

Fuente: registro fotográfico de la autora.



Fotografía 5

Fotografía de humedad en cubierta.

Fuente: registro fotográfico de la autora.

seis estaciones meteorológicas actualmente en operación. Para el análisis climatológico de la localidad se utilizaron los datos registrados de 1951 a 2010, en la estación 00022063, Querétaro (DGE), misma que se localiza en una latitud de 20° 57', una longitud de 100° 37' y a una altura de 1.872 m s.n.m. Querétaro se clasifica en un clima seco extremoso, tipo Ganges (el más seco de los climas subhúmedos, con lluvias en verano), no hay canícula (período de temperaturas altas y sequía que se presenta en verano), y un Bioclima Templado Seco (Fuentes y Figueroa, 1990).

Los valores anuales de temperatura presentan una mínima de 7,5 °C, una media de 19,1 °C y una máxima de 26,7 °C, con una oscilación promedio de 15,2 °C. Se observa que existen dos períodos térmicos diarios, el de temperaturas mínimas (siempre fuera de la zona de confort térmico general) y el

Tabla 1. Temperaturas y Días Grado

FTE	QUERÉTARO, QRO.	1951-2010			
I	Clima	B s1hw (e)g	Seco extremoso; tipo Ganges, no ha canícula		
J	Bioclima	Templado seco			
A	Latitud	20° 34'	20,57	decimal	
A	Longitud	100° 22'	100,37	decimal B s1hw (e)g	
A	Altitud	1.871	m s.n.m.		

FTE	PARÁMETROS	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL	MÍNIMA	MÁXIMA	OSCILACIÓN ANUAL
TEMPERATURAS																		
A	MÁXIMA EXTREMA	°C	35,2	33,0	33,4	37,0	36,8	36,2	32,5	34,2	31,0	32,4	29,7	28,0	37,0	28,8	37,0	8,2
A	MÁXIMA	°C	23,1	24,8	27,7	29,9	30,9	29,6	27,1	27,2	26,0	26,0	24,7	23,6	26,7	23,1	30,9	7,8
A	MEDIA	°C	15,3	16,6	19,0	21,3	22,8	22,3	20,7	20,7	19,8	18,7	16,9	15,6	19,1	15,3	22,8	7,5
A	MÍNIMA	°C	7,5	8,3	10,2	12,7	14,7	15,0	14,3	14,1	13,7	11,5	9,0	7,5	11,5	7,5	15,0	7,5
A	MÍNIMA EXTREMA	°C	5,3	5,6	8,2	10,1	11,9	13,4	13,1	12,5	12,3	9,1	6,7	4,5	4,5	4,5	13,4	8,9
E	OSCILACIÓN	°C	15,6	16,5	17,5	17,2	16,2	14,6	12,8	13,1	12,3	14,5	15,7	16,1	15,2	12,3	17,5	5,2

FTE	PARÁMETROS	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
DÍAS GRADO															
E	DÍAS GRADO GENERAL	dg	-83,7	-39,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-33,0	-74,4	-230,3
E	DÍAS GRADO LOCAL	dg	-177,8	-124,1	-63,1	0,0	0,0	0,0	-10,4	-10,4	-37,0	-72,4	-124,0	-168,5	-787,5
E	DG-enfriamiento	dg	0,0	0,0	13,3	24,0	28,9	19,4	4,5	5,3	0,0	0,8	0,0	0,0	96,2
E	DG-calentamiento	dg	-166,1	-135,4	-115,2	-73,6	-57,9	-52,6	-68,6	-70,9	-77,4	-106,1	-137,4	-164,4	-1.225,4

Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

Tabla 2. Radiación Solar en Querétaro

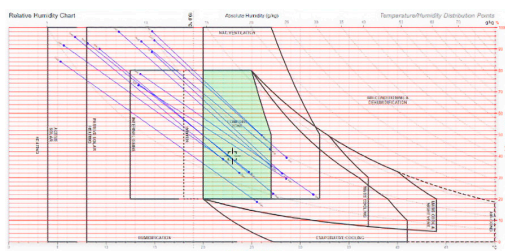
FTE	PARÁMETROS	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
RADIACIÓN SOLAR															
C	RADIACIÓN MÁXIMA DIRECTA	W/m ²	521	550	560	530	543	490	527	404	496	492	497	459	506
E	RADIACIÓN MÁXIMA DIFUSA	W/m ²	155	170	199	215	213	217	213	270	211	193	168	163	199
C	RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL	W/m ²	680	720	759	745	756	707	740	647	707	685	665	622	705

Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

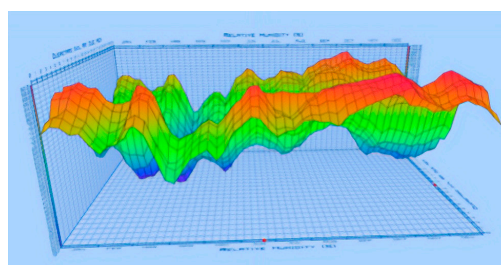
Tabla 3. Tabla de Humedad Relativa Máxima y mínima en Querétaro

FTE	PARÁMETROS	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
E2	H.R. MÁXIMA	%	91,8	84,1	90,1	73,4	78,6	94,5	89,2	93,7	98,5	98,2	93,0	95,8	90,1
AM	H.R. MÍNIMA	%	38,6	18,4	22,8	29,9	22,1	39,5	32,8	43,6	49,9	35,5	32,9	32,4	33,2

Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).



2



3

Figura 2

Carta Psicrométrica para la obtención de Humedad Relativa en Querétaro.

Fuente: basado en el trabajo de Marsh (2021).

Figura 3

Gráfica del comportamiento anual de la Humedad Relativa en Querétaro.

Fuente: basado en el trabajo de Marsh (2021).

caluroso con temperaturas máximas que sobrepasan la zona de bienestar térmico global. La localidad presenta, en los promedios anuales, una radiación solar total de 705 Wh/m², lo que indica que la radiación puede ser aprovechada para la climatización pasiva y como sistema de generación de energía, considerando que la radiación total media en los Estados Unidos Mexicanos es de 5,3 kWh/m² por día. La radiación difusa anual es de 199 W/m² día y la máxima directa de 506 W/m² por día (CONAGUA, 2021).

Condiciones climáticas

Los valores estimados de humedad media se encuentran dentro del rango de 50 a 63% a lo largo del año, con una media anual de 56,2%, mientras que la humedad relativa mínima oscila dentro del rango de 9 a 15% en promedio, con una mínima anual de 12,6%. La humedad máxima en su promedio anual es de 76,9%.

La humedad relativa está vinculada con el elemento hidrométrico de la precipitación pluvial. La clasificación de Bioclimas de Víctor Fuentes y Aníbal Figueroa (1990) considera la precipitación pluvial total como un indicador del clima.

La precipitación total anual es de 525 mm con dos períodos: el seco que corresponde a los meses de octubre a mayo y el de lluvias, en los meses de junio a setiembre. Con relación al índice ombrotérmico el período de secas corresponde a nueve meses, de los cuales 4 cuatro son húmedos.

El viento dominante proviene del norte, manteniendo una frecuencia constante entre el 15 y el 20% en el rango NO, N y NE; mientras que el rango E, SE, S, SO y O se mantiene con una frecuencia de 4 a 10% en el comportamiento promedio anual.

Conclusiones sobre el clima

El clima en Santiago de Querétaro, en la estación Querétaro (DGE), es B s1hw (e)g según la clasificación climática de Köppen, adecuada a los Estados Unidos Mexicanos por Enriqueta García (2004); correspondiendo a un clima seco extremo, tipo Ganges, no hay canícula. El Bioclima de una localidad corresponde a un templado seco, según la clasificación por Bioclimas de Figueroa y Fuentes (1990).

Estrategias de diseño bioclimático

El análisis de la información climatológica, antes descrito, determina las estrategias y conceptos de diseño para la climatización, en búsqueda del bienestar de los usuarios.

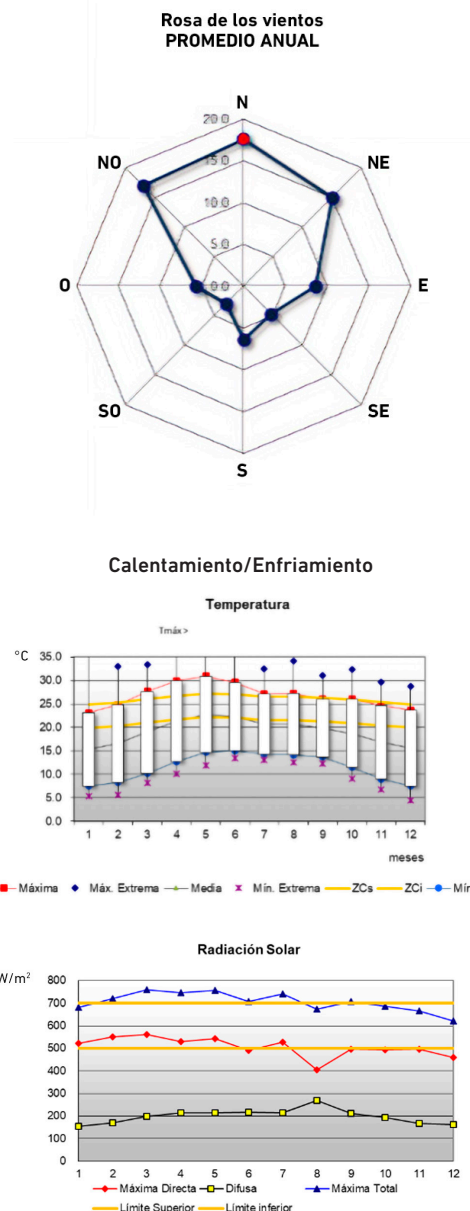


Figura 4

Diagrama de Rosa de los Vientos en Querétaro. Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

Figura 5

Gráfico de temperaturas en Querétaro. Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

Figura 6

Gráfico de radiación solar en Querétaro. Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

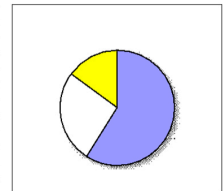
Las temperaturas mínimas se encuentran por debajo de la zona de confort térmico durante todo el año, mientras que las temperaturas medias entran en la zona de confort recién en el período de primavera y verano. Es en los meses de marzo a agosto, cuando las temperaturas máximas sobrepasan el límite superior de la zona de confort térmico.

En el gráfico de temperaturas (Figura 5) se observa la amplitud de oscilación térmica con un promedio medio anual de 15,2 °C. La mayor amplitud corresponde a los períodos secos.

Los valores horarios de temperatura muestran los requerimientos de calentamiento con un porcentaje anual de 59%, en un promedio dentro del horario de las 22 a las 11 horas del día siguiente; mientras que el estado de

MES	Tm	Tm	Tmed
Enero	23.1	7.5	15.3
Febrero	24.8	8.3	16.6
Marzo	27.7	10.2	19.0
Abril	29.9	12.7	21.3
Mayo	30.9	14.7	22.8
Junio	29.6	15.0	22.3
Julio	27.1	14.3	20.7
Agosto	27.2	14.1	20.7
Septiembre	26.0	13.7	19.8
Octubre	26.0	11.5	18.7
Noviembre	24.7	9.0	16.9
Diciembre	23.6	7.5	15.6
ANUAL	26.7	11.5	19.1

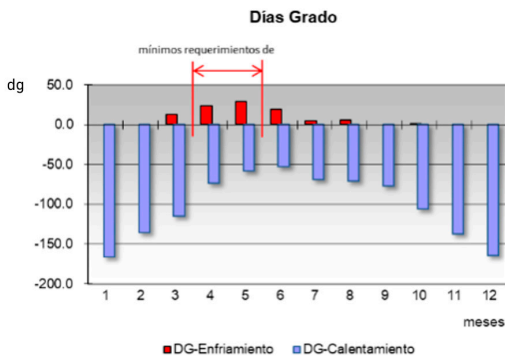
TEMPERATURA																								PRO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
11.4	10.1	9.0	8.2	7.7	7.5	8.0	9.3	11.4	13.9	16.7	19.2	21.3	22.6	23.1	22.9	22.4	21.6	20.6	19.2	17.7	16.1	14.5	12.9	15.3
12.5	11.1	9.9	9.0	8.5	8.3	8.8	10.3	12.5	15.2	18.1	20.7	22.9	24.3	24.8	24.6	24.1	23.3	22.1	20.7	19.2	17.5	15.8	14.1	16.6
14.6	13.1	11.9	11.0	10.4	10.2	10.7	12.3	14.6	17.5	20.6	23.4	25.7	27.2	27.7	27.5	27.0	26.1	24.9	23.4	21.8	20.0	18.3	16.3	19.0
17.0	15.5	14.3	13.4	12.9	12.7	13.2	14.7	17.0	19.8	22.8	25.6	27.9	29.4	29.9	29.7	29.2	28.3	27.1	25.6	24.0	22.2	20.4	18.6	21.3
18.8	17.4	16.2	15.4	14.9	14.7	15.2	16.6	18.7	21.4	24.2	26.8	29.0	30.4	30.8	30.7	30.2	29.4	28.2	26.9	25.3	23.6	22.0	20.3	22.8
18.7	17.4	16.2	15.4	14.9	14.7	15.2	16.6	18.7	21.4	24.2	26.8	29.0	30.4	30.8	30.7	30.2	29.4	28.2	26.9	25.3	23.6	22.0	20.3	22.8
18.7	17.4	16.2	15.4	14.9	14.7	15.2	16.6	18.7	21.4	24.2	26.8	29.0	30.4	30.8	30.7	30.2	29.4	28.2	26.9	25.3	23.6	22.0	20.3	22.8
17.5	16.4	15.5	14.9	14.4	14.3	14.7	15.8	17.5	19.6	21.8	23.9	25.6	26.7	27.1	27.0	26.5	25.9	25.0	23.9	22.7	21.4	20.0	18.7	20.7
17.4	16.3	15.4	14.7	14.2	14.1	14.5	15.7	17.4	19.6	21.9	24.0	25.7	26.8	27.2	27.1	26.6	26.0	25.1	24.0	22.8	21.5	20.1	18.7	20.7
16.7	15.7	14.8	14.2	13.8	13.7	14.1	15.1	16.7	18.7	20.8	22.9	24.5	25.6	26.0	25.9	25.5	24.8	23.9	22.9	21.7	20.4	19.1	17.9	19.8
15.1	13.9	12.9	12.1	11.7	11.5	11.9	13.2	15.1	17.4	19.9	22.3	24.3	25.6	26.0	25.8	25.4	24.6	23.6	22.3	20.9	19.4	17.9	16.4	18.7
13.0	11.6	10.5	9.7	9.2	9.0	9.5	10.9	13.0	15.6	18.3	20.8	22.9	24.2	24.7	24.5	24.0	23.2	22.1	20.8	19.4	17.8	16.2	14.5	16.9
11.6	10.2	9.1	8.2	7.7	7.5	8.0	9.4	11.6	14.3	17.1	19.6	21.7	23.1	23.6	23.4	22.9	22.1	21.0	19.6	18.1	16.5	14.8	13.2	15.6
15.4	14.1	13.0	12.2	11.7	11.5	12.0	13.3	15.4	17.8	20.5	22.9	24.9	26.3	26.7	26.6	26.1	25.3	24.2	22.9	21.5	20.0	18.4	16.8	19.1



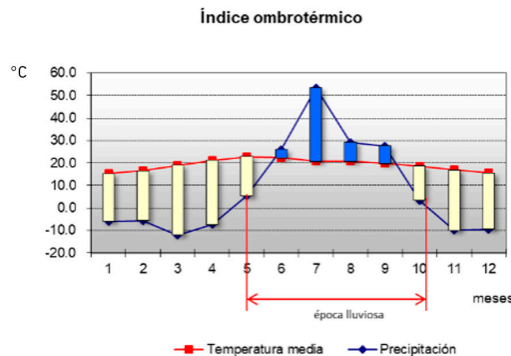
bienestar térmico es a partir de las 12 horas hasta las 21 horas a excepción de la primavera y el verano que se da un sobrecalentamiento promedio desde las 14 hasta las 17 horas, con requerimientos de enfriamiento correspondientes al 15% anual. La radiación máxima total se mantiene sobre el límite superior, a excepción de los meses de noviembre y diciembre, cuando desciende ligeramente. La radiación difusa se mantiene inferior al límite, mientras que la máxima directa se encuentra en el rango de los 500 a 700 W/m². En el gráfico de días grado (Figura 8) se tiene un requerimiento de calentamiento total de 1.225 DGC. El requerimiento

de enfriamiento se aplica a los meses de primavera y verano con un valor anual de 96,2 DGE. El índice ombrotérmico determina la relación entre la temperatura media y la precipitación pluvial con un período de lluvias de cuatro meses húmedos (junio a setiembre); siendo julio el de mayor precipitación pluvial. Los meses de primavera, otoño e invierno se clasifican como meses secos. Los valores horarios de humedad estimada (Querétaro EDG) indican que el 73% del valor anual se encuentra en confort higrométrico; el requerimiento de deshumidificación es del 25,3% y el de humidificación corresponde a 1,4% del valor anual.

Figura 7
Datos horarios de temperatura en Querétaro.
Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).



8

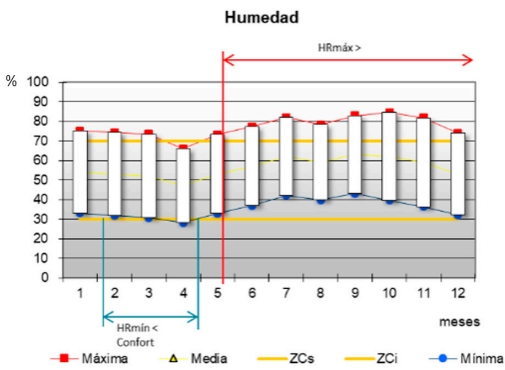


9

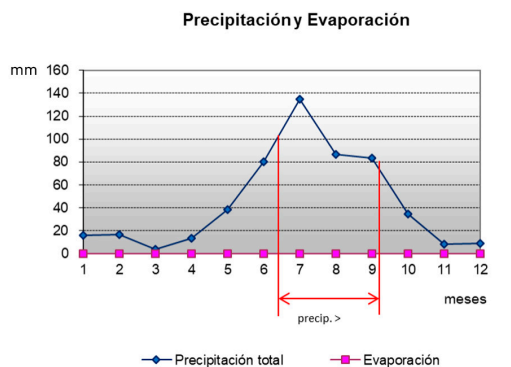
Figura 8
Días grado de calentamiento y enfriamiento en Querétaro.
Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

Figura 9
Índice ombrotérmico en Querétaro.
Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

Humidificación/Deshumidificación



10



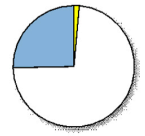
11

Figura 10
Gráfica de humedad relativa máxima y mínima en Querétaro.
Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

Figura 11
Gráfico de precipitación total y evaporación en Querétaro.
Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

MES	HRM	HRm
Enero	75	33
Febrero	74	32
Marzo	73	31
Abril	66	28
Mayo	73	33
Junio	77	37
Julio	82	42
Agosto	78	40
Septiembre	83	43
Octubre	82	40
Noviembre	84	36
Diciembre	74	32
ANUAL	77	35

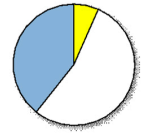
HUMEDAD RELATIVA																								PRO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PRO
65	68	71	73	75	75	74	70	65	58	50	43	38	34	33	33	35	37	40	43	48	52	56	60	54
64	67	70	72	74	74	73	69	64	57	49	42	37	33	32	32	34	36	39	42	46	51	55	60	53
63	66	69	72	73	73	72	68	63	56	48	41	36	32	31	31	32	35	38	41	45	50	54	59	52
56	60	62	64	66	66	65	61	56	50	44	38	33	29	28	28	30	32	34	38	41	45	49	53	47
63	67	69	71	73	73	72	68	63	57	49	43	38	34	33	33	35	37	39	43	47	51	55	59	53
67	70	73	75	77	77	76	72	67	61	54	47	42	38	37	37	39	41	44	47	51	55	59	63	57
72	75	78	80	82	82	81	77	72	65	59	52	47	43	42	42	44	46	49	52	56	60	64	68	62
69	72	75	77	78	78	77	74	69	62	56	49	44	41	40	40	41	43	46	49	53	57	61	65	59
73	76	79	81	82	83	82	78	73	66	60	53	48	44	43	44	45	47	50	53	57	61	65	69	63
73	77	80	83	84	84	83	79	73	66	58	51	45	41	40	40	41	44	47	51	55	60	64	69	62
70	74	77	80	81	82	80	76	70	63	55	48	42	38	36	37	38	41	44	48	52	57	61	66	59
63	67	70	72	74	74	73	69	63	57	49	43	37	33	32	32	34	36	39	43	47	51	55	59	53
67	70	73	75	76	77	76	72	67	60	53	46	40	37	35	36	37	39	42	46	50	54	58	63	56



12

MES	HRM	HRm
Enero	92	39
Febrero	84	18
Marzo	90	23
Abril	73	30
Mayo	79	22
Junio	95	40
Julio	89	33
Agosto	94	44
Septiembre	99	50
Octubre	98	36
Noviembre	93	33
Diciembre	84	32
ANUAL	90	33

HUMEDAD RELATIVA																								PRO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PRO
78	83	87	89	91	92	90	86	79	70	61	52	45	40	39	39	41	44	47	52	57	62	68	73	65
68	73	78	81	83	84	82	76	68	57	46	35	26	20	19	19	21	25	29	35	41	48	55	61	51
73	79	84	87	89	90	88	82	73	62	51	40	31	25	23	24	26	29	34	40	46	53	60	67	56
63	66	69	72	73	73	72	68	63	55	48	41	35	31	30	32	34	37	41	45	49	54	58	64	52
64	69	73	76	78	79	77	72	64	55	45	36	29	24	22	23	25	27	31	36	42	47	53	59	50
81	85	89	92	94	95	93	88	81	72	62	53	46	41	40	40	42	45	49	53	58	64	70	75	67
75	80	84	87	89	89	88	83	75	66	56	47	39	35	33	33	35	38	42	47	52	58	64	70	61
81	85	89	92	93	94	92	88	81	73	64	56	49	45	44	44	46	48	52	56	61	66	71	76	69
86	90	94	96	98	99	97	93	86	78	70	62	56	51	50	50	52	55	58	62	67	72	77	82	74
83	88	92	95	98	98	96	91	83	72	61	51	43	37	36	36	38	41	46	51	57	64	70	77	67
78	83	87	90	92	93	91	86	78	68	58	48	40	35	33	34	35	39	43	48	54	60	66	72	63
80	85	90	93	95	96	94	88	80	70	59	48	40	34	32	33	35	38	43	48	54	61	67	74	64
76	81	85	88	89	90	88	83	76	67	57	47	40	35	33	34	36	39	43	47	53	59	65	70	62



13

Con relación a los valores horarios de humedad (Aeropuerto, Querétaro), el 54,29% está en confort higrométrico, mientras que la zona de bajo contenido de humedad es de 6,6% (los valores presentan mayor sequedad en la humedad relativa con respecto a la estación DGE, Querétaro) y las humedades con un rango mayor al 70% tienen un porcentaje del 39,2%.

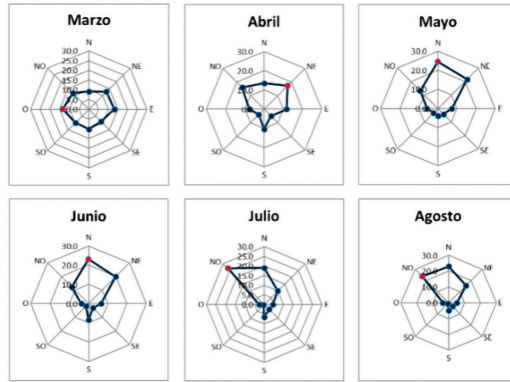
Se considera la humedad de aeropuerto para la definición de estrategias bioclimáticas para la climatización, por ser la condición de mayor sequedad la que presenta un reto mayor, en la búsqueda de estrategias y conceptos de diseño para el confort higrométrico.

El efecto microclimático, de isla de calor, está presente en Querétaro con un incremento de temperatura y una disminución de humedad (Godínez y López, 2018).

Con respecto a la precipitación se observa que, en los meses de noviembre a abril, se mantiene por debajo de los 20 mm y con valores inferiores a 40 mm en los meses de mayo y octubre. Junio, agosto y setiembre se encuentran en el período de lluvias con un valor inferior a los 85 mm y menos de 140 mm para el mes de julio, el cual presenta la mayor descarga pluvial. La precipitación total anual de 525 mm es un indicador de la condición seca de la localidad, con un requerimiento de humidificación durante la tarde, cuando se presenta la humedad relativa mínima, en el mes de abril.

Inercia térmica y Masividad

En Querétaro, el diferencial de temperatura entre el día y la noche tiene una gran amplitud, por ello, la estrategia principal en la localidad de Santiago es la inercia térmica y masividad, con el objetivo de reducir la



14

oscilación de las temperaturas al interior de los locales.

Los materiales seleccionados deben almacenar la energía térmica durante el día y liberarla hacia los espacios habitables durante el período nocturno, en el funcionamiento mensual de las edificaciones.

En los períodos estacionales la estrategia de la masividad debe responder al calentamiento en invierno y al enfriamiento en verano, como se puede observar en los datos horarios y mensuales de temperatura.

Ventilación

Al concluir que la principal estrategia de climatización para la localidad es la inercia térmica y la masividad, la ventilación en el eje noroeste, norte y noreste corresponde a las orientaciones dominantes de los meses calurosos, por lo que debe aplicarse en el período comprendido por los meses de marzo a julio (valor alto de calmas) y agosto, en las horas de sobrecalentamiento (14 a 17 hs). La renovación del aire es un requerimiento para la sanidad de los espacios interiores.

Figura 12

Datos horarios de Humedad Relativa en Querétaro, Estación Meteorológica: EDG.

Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

Figura 13

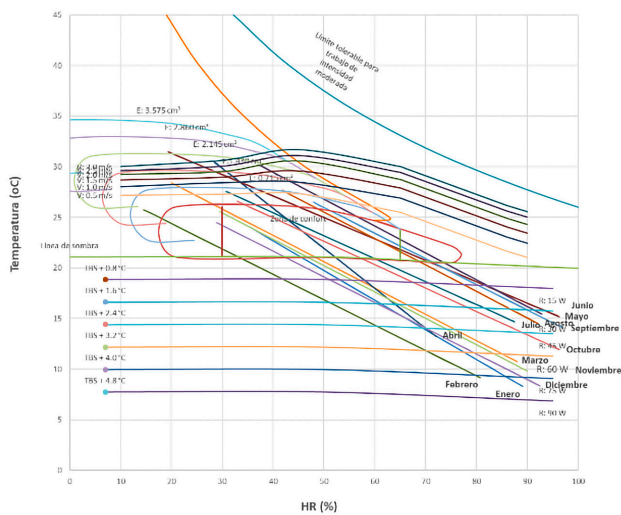
Datos horarios de Humedad Relativa en Querétaro, Estación Meteorológica: Aeropuerto.

Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).

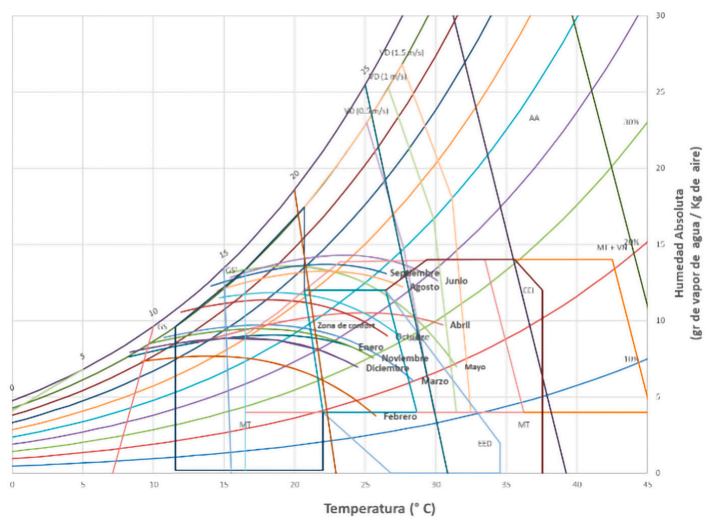
Figura 14

Rosas de viento en los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto en Querétaro.

Fuente: reelaborado por la autora en base a los datos de BAT (Bioclimatic Analysis Tool) de Fuentes Freixanet (2014).



15



16

La carta bioclimática indica un requerimiento de calentamiento durante las primeras horas del día con un valor máximo de 75 W en el mes de enero y un mínimo de 20 W en el mes de mayo. La demanda a las 14 horas es de enfriamiento a través de humidificación, con un requerimiento máximo en mayo de E: 1,45 m³; y en abril hay una necesidad de 3 m/s de ventilación; de mayo a octubre requiere una ventilación en el rango de 0,5 a 1,0 m/s, velocidad permisible al interior de los locales.

El diagrama psicrométrico indica el requerimiento de calentamiento con ganancia solar (ligera a media del 25 al 50% de eficiencia) a partir de la salida del sol, y

enfriamiento durante la tarde, dentro de las estrategias de masa térmica, enfriamiento evaporativo y ventilación diurna, con un valor máximo de 1m/s.

El resumen del clima indica dos condiciones climáticas en Querétaro. El primero corresponde a un clima cálido en los meses de abril a septiembre (50% valor anual), la segunda temporada corresponde a un templado subhúmedo para los meses de enero, febrero, marzo, setiembre, octubre, noviembre y diciembre (el restante 50%). Es por ello, que puede haber dualidades en la definición de las estrategias de diseño bioclimático.

La estrategia básica de climatización en Santiago de Querétaro es el calentamiento

Figura 15

Diagrama de Carta Bioclimática por Olgay para Querétaro. Fuente: basado en el trabajo de Gómez Azpeitia (2016).

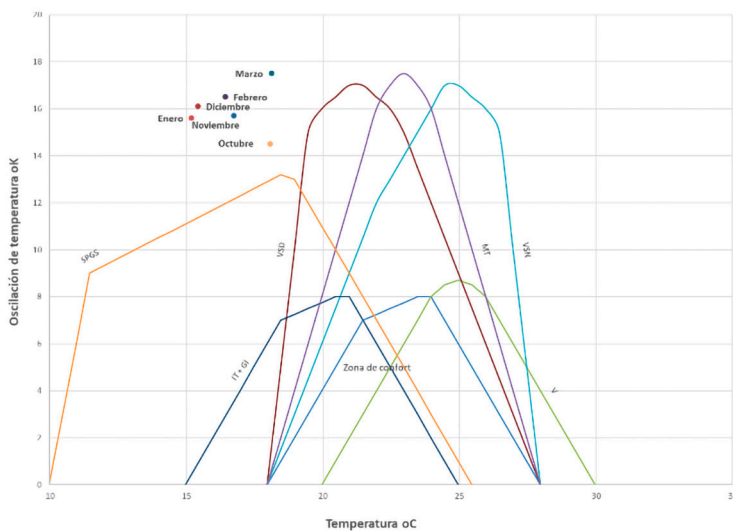
Figura 16

Diagrama Psicrométrico por Szokolay para Querétaro Fuente: basado en el trabajo de Marsh (2021).

Tabla 4. Análisis del Clima en Querétaro

PARÁMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura media	15,2	16,4	18,1	20,5	22,1	21,6	20,1	20,0	19,3	18,1	16,7	15,4
Radiación s/p horizontal	5.814	6.668	7.590	8.349	8.681	8.752	8.702	8.473	7.886	6.986	6.057	5.608
Precipitación total	16,0	16,6	4,1	13,3	38,7	80,2	134,9	86,6	83,3	34,7	8,2	9,1
Índice ombrotérmico	-0,5	-0,5	-0,9	-0,7	-0,1	0,9	2,4	1,2	1,2	0,0	-0,8	-0,7
Humedad relativa media	65,6	51,7	59,6	53,7	63,9	69,5	63,6	71,9	76,5	69,8	63,4	64,6
Humedad absoluta media	8,4	6,7	8,7	9,6	11,9	13,5	11,1	12,6	13,0	10,6	8,8	8,2
Índice termohigróico	11,79	11,55	13,43	15,06	17,00	17,55	15,60	16,32	16,16	14,36	12,76	11,81
CLASIFICACIÓN												
Temperatura	T	T	T	C	C	C	C	C	T	T	T	T
Radiación	M	M	I	I	I	I	I	I	I	M	M	M
Índice ombrotérmico	D	D	D	D	D	LL	LL	LL	LL	D	D	D
Humedad	SH	SH	SH	SH	SH	SH	SH	H	H	SH	SH	SH
Contenido de vapor	M-	M-	M-	M-	M+	M+	M+	M+	M+	M+	M-	M-
Índice termohigróico	B	B	M	M	A	A	A	A	A	M	B	B
Clima estacional	B	B	B	A	A	A	A	A	A	B	B	B

Fuente: basado en el trabajo de Gómez-Azpeitia (2016).



17

(59%) solar directo, durante las mañanas a partir de la salida del sol hasta las 11 horas y calentamiento solar indirecto que permita a través de la masa térmica el almacenamiento de energía térmica para transmitirla al interior de los espacios arquitectónicos en las horas frías de la noche, de las 22 hasta las 11 horas. Enfriamiento (15%) de marzo a agosto de las 14 a 17 horas en promedio, utilizando la estrategia de ventilación o humidificación (6,6%) en los meses de febrero, marzo, abril y mayo. La reducción de las oscilaciones térmicas a través de la masa térmica reduce los requerimientos de calentamiento y enfriamiento, estabilizando el comportamiento térmico al interior. Configuración ligeramente alargada de la planta en un eje largo oriente (ganancia directa), poniente (ganancia indirecta). Ventana del 20 al 30% de la superficie de la fachada, con dispositivos de control solar en las horas de sobrecalentamiento y con un sistema de aislamiento para evitar pérdidas por convección durante la noche. Elementos masivos en pisos, muros y cubiertas, con un retardo térmico (materiales de muros hacia el poniente) mínimo de 8 horas, que aporte estabilidad térmica al interior de los espacios habitables.

Tecnologías para la sustentabilidad

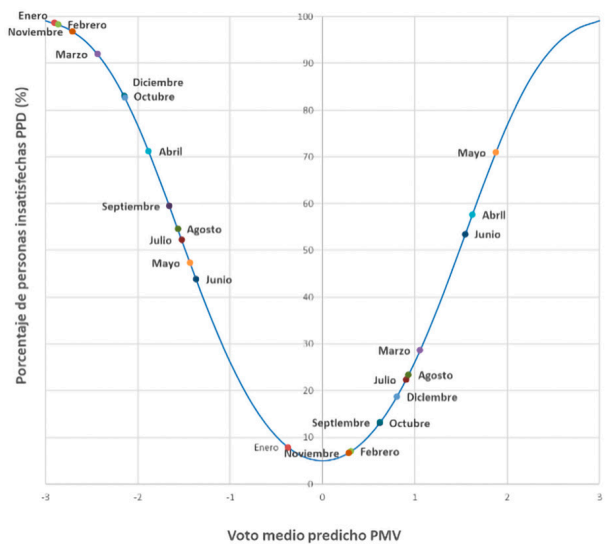
Toda edificación anterior al siglo XIX obligadamente respondía a una eficiencia energética en la iluminación, climatización, ventilación y funcionamiento de los sistemas de refrigeración.

En el ex Convento de San Francisco se utilizó la energía del sol, del viento para la climatización de los edificios arquitectónicos,

con tecnologías como las ventanas de tres capas. Una transparente y otra de madera, forman el sistema para controlar las pérdidas de energía durante las horas nocturnas. Además de climatizar los espacios, también se controlaba la iluminación y la ventilación del interior de los espacios habitables. Es probable que haya existido una cava y una cámara fría sin embargo no se encontró documentado el sistema y el patio de las cocinas es el área destinada a la seguridad y vigilancia del hoy Museo Regional de Querétaro, razón por la cual claustro de las cocinas tiene el acceso prohibido al público. En un clima seco como el de Querétaro el agua es escasa y lo fue en la época del Virreinato, por ello la construcción del acueducto para dotar a todos los conventos y a las fuentes de las principales localidades de agua proveniente de las cañadas. El conjunto cuenta con un sistema para la captación, almacenamiento y utilización del agua de lluvia, como sistema de abastecimiento.

Climatización pasiva

En un clima seco como el que se presenta en Santiago, con una amplitud en las oscilaciones térmicas, la estrategia básica de diseño es la masividad con aportes indirectos en las horas de la tarde y el calentamiento solar pasivo con aportes directos durante la mañana. Las puertas-ventanas están seccionadas en partes proporcionales, para controlar la cantidad de radiación (térmica y lumínica) permitida hacia el interior. Los patios aportan viento, sol y agua para la operación de la arquitectura, con cuatro formas y proporciones distintas.



18

Figura 17

Gráfico de los Triángulos de Confort, de Evans.

Fuente: basado en el trabajo de Gómez-Azpeitia (2016).

Figura 18

Predicción del Voto Medio (PVM) y personas satisfechas e insatisfechas (PPD). Fanger en Querétaro

Fuente: basado en el trabajo de Gómez-Azpeitia (2016).



PATIO

FORMA

PROPORCIÓN

Patio principal



1:1 NE y NO con protección solar
SE y SO circulaciones con protección

Patio de los naranjos



1:1,1 SE circulación
con protección solar

Patio del noviciado



1:2,5 SO habitable con protección solar
SE, NE y NO muro sin protección

Patio de servicio



1:2 NE y NO habitable
sin protección

Figura 19

Imagen de los patios y edificios contiguos, forma orientación y proporción.
Fuente: elaborado por la autora.
Fotografía © Google Earth.

El claustro principal se compone de un patio con forma cuadrada rodeado perimetralmente por un corredor en la planta baja. El mismo esquema se repite en la planta alta. Una fuente al centro del patio enmarca el espacio, el cual es humidificado en forma natural. Los espacios habitables se ubican hacia el SE y SO; donde solo incide el sol en verano a través del patio, sin embargo, el corredor perimetral funciona como sistema de control solar en ambas plantas.

El Claustro de los Naranjos se desarrolla con un patio casi cuadrado que tiene tres muros masivos que, a través del patio, tienen una orientación NE, SE y SO, con una superficie de vanos inferior al 10% de la superficie de fachada, lo que permite almacenar a través de los muros las ganancias indirectas para utilizar la energía calorífica al interior de los locales.

La cuarta fachada recibe el sol proveniente del noreste, con una circulación exterior en la planta alta que permite a los usuarios recibir el sol de la mañana; la dimensión de piso a techo en la planta alta permite, a su vez, la incidencia indirecta sobre el muro.

El Claustro de los Novicios y de servicio tiene patios con forma rectangular, pero con diferente orientación. El Patio de los Novicios se desarrolla en orientación NE-SW en su eje largo y recibe el sol de la mañana en los muros ciegos, mientras que el sol de la tarde no accede a los espacios habitables gracias a un corredor con arcos que protege los muros. La sección corta



Fotografía 6

Patio de los naranjos del Museo Regional de Querétaro.
Fuente: © Mediateca INAH.



Fotografía 7

Patio principal del Museo Regional de Querétaro.
Fuente: © Mediateca INAH.

del patio recibe unas horas de sol antes y después del cenit porque son los propios edificios los que generan el sombreado, limitando entre sí los aportes térmicos por radiación. El patio de servicio es el de menor dimensión de los cuatro patios. Se realizaron mediciones por medio de un termómetro infrarrojo para registrar las temperaturas de superficie, sin contacto (por ser un inmueble de valor histórico).

Tabla 5. Temperatura radiante (primavera) en la Iglesia de San Francisco de Asís

IGLESIA		
ABAJO DEL CORO	13:50	23,0
Muro norte		23,0
Muro sur		24,1
Techo		25,3
Altar		25,5
NAVE PRINCIPAL	14:00	
Muro		24,0
Techo		25,0
Muro norte		24,6
CRUCERO	14:10	24,0
Muro sur		24,5
Bóveda		26,6
Altar		24,6



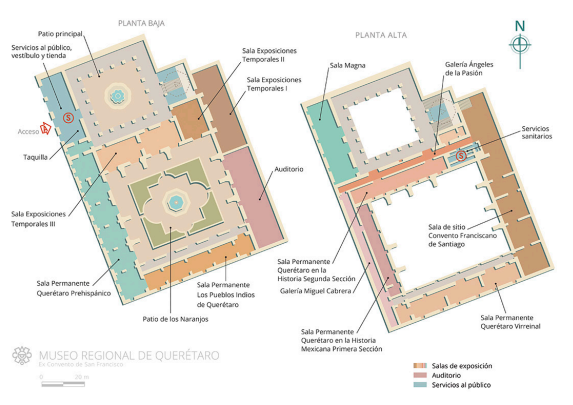
Fuente: elaborado por la autora. Fotografía de © Google Earth.

Se siguieron las recomendaciones de los manuales, considerando las interferencias ambientales que pueden afectar las lecturas como son entre el polvo en la superficie, la humedad ambiente, polen y humos; se consideró el tiempo de estabilización del equipo, así como la distancia mínima entre el objeto y el termómetro.

En la iglesia, la diferencia de temperatura de superficie entre los muros norte y sur varía en 1,5 °C y con respecto al techo de mayor magnitud presentan una diferencia de 1,2 °C. La cubierta del crucero es una bóveda que, por su forma esférica, debería tener una menor ganancia térmica que la cubierta de cañón corrido de la nave principal,

Tabla 6. Temperaturas radiantes al interior del Museo Regional de Querétaro.


TEMPERATURAS A TRAVÉS DE UN TERMÓMETRO DE INFRARROJO		
INSTRUMENTO		
Fecha: 19 de mayo de 2018		
SITIO		
CONVENTO FRANCISCANO		
Claustro principal	Tiempo	Temperatura (°C)
Pórtico	12:32	24,7
Sala exposiciones temporales II	12:55	25,1
Sala permanente Querétaro Prehispánico		
Vestíbulo	12:40	27,0
Fondo	12:45	25,6
Centro	12:49	25,6
Patio de los naranjos		
Exterior	12:50	27,8
Contrafuerte	12:52	26,6
Muro bajo de contrafuerte	12:54	25,6
Muro al sol		32,6
Muro interior ala permanente Querétaro Prehispánico		24,2
Corredor entre patio principal y patio de los novicios	12:55	24,4
Sala de exposiciones temporales	12:58	23,8
Patio principal		
Columna de cantera frontal a la escalera		
A la sombra 1		23,6
Al sol 1	13:08	30,8
Al sol 2		41,2
A la sombra 2		30,2
		25,2
		25,4
		28,2
		26,0



MES	TM	Tm	Tmed	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PROM.
Mayo	30,9	14,7	22,8	18,8	17,4	16,2	15,4	14,9	14,7	15,2	16,6	18,7	21,4	24,2	28,8	29,0	30,4	30,9	30,7	30,2	29,4	28,2	26,9	25,3	23,6	22,0	20,3	22,8

Fuente: elaborado por la autora. Croquis del Museo Regional de Querétaro © Mediateca INAH.

Tabla 7. Temperatura radiante en pisos

LUGAR-MATERIAL	HORA	TEMPERATURA °C	FECHA
Piso al exterior	14:20		19 mayo 2018
Placa de metal		42,0	
Adoquín		69,5	
Piedra		65,0	

Banqueta exterior a la Iglesia y acceso al Museo Regional de Querétaro.

Fuente: elaborado por la autora.

sin embargo, tiene un acabado rojo oscuro, lo que incrementa en 1,5 °C la temperatura, con respecto a las otras cubiertas.

En el exterior de la iglesia se tomaron lecturas de temperatura de superficie de tres materiales distintos en el pavimento. La primera lectura es de una placa de metal con un valor de 42 °C, la segunda corresponde al adoquín con una temperatura de 69,5 °C y la tercera, en un piso de cantera, cuenta con un valor de 65 °C.

De estos materiales, la piedra es utilizada en el conjunto religioso, se encuentra expuesta en los patios y circulaciones exteriores. Los valores de temperatura del aire, provenientes de los datos climatológicos normalizados, registran en el mes de mayo una temperatura máxima a las 14 horas de 27,7 °C, en correspondencia a la toma de temperatura radiante de superficie.

Los registros que se realizaron a partir de las 12 hs inician con temperaturas elevadas que indican un sobrecalentamiento en la localidad. La zona de confort térmico horario es de 21,3 a 26,3 °C.

El análisis muestra que la temperatura radiante de los materiales al exterior está en el rango de la temperatura ambiente en sobrecalentamiento. Por lo tanto, son los materiales que aportan un intercambio por radiación hacia los espacios exteriores, principalmente de los pavimentos en plazas

y andadores alcanzando a las 14:20 hs una temperatura de 65 °C al sol.

Iluminación natural

El aprovechamiento e incremento de la luz natural al interior de los espacios a través del abocardado del paño interior de los muros, con la intención de incrementar la sección de luz a través de su reflexión. Los aplanados bruñidos y con agregados, como la clara de huevo, dan a las superficies de los muros encalados en colores claros (pintura a la cal) un acabado brillante de pantalla de luz.

La cercanía de las ventanas a la luminancia de la bóveda celeste es para aprovechar los óptimos niveles de iluminación para la lectura; como se muestra en la Fotografía 8, esto se lograba ensanchando la sección de la ventana al doble de la sección del vano para incrementar en un 100% la luminancia. El espacio abocardado es aprovechado en el diseño de mobiliario hecho en obra, permanente y duradero para tomar asiento y guardar bajo el asiento los libros.

El refectorio, en donde los franciscanos tomaban sus alimentos, ha sido transformado en un auditorio para las actividades del museo. Las puertas-ventanas funcionan como sistema de acceso desde el patio de los naranjos. La iluminación se implementa utilizando los sistemas antes descritos que se utilizaban para ampliar la sección



Fotografía 8

Ventanas y pechinas en bóveda, sistema de iluminación natural en el Refectorio.

Fuente: © Mediateca INAH, Hemeroteca Museo Regional de Querétaro.

de los muros, aunado al tratamiento de las bóvedas, con la formación de pechinas que funcionan como pantallas para reflejar la luz del exterior, con el fin de conducirla a una tercera parte del claro de la bóveda.

El espacio de las cocinas, que colinda con el refectorio, aún conserva un bracero como recordatorio de la preparación de las comidas en cocinas de leña. Para la preservación de los alimentos había cocinas de humo, por lo que se pueden imaginar los humos y los olores que estos espacios generaban.

El proceso de combustión con leña, tiene a su favor el retorno del CO₂ que tomaron las especies vegetales del lugar, reincorporándose al ciclo natural; mientras que actualmente el gas se toma de los minerales, sin que se reincorpore nuevamente a ellos.

Podemos resumir afirmando que el conjunto franciscano es un edificio que cubre los ejes de la sustentabilidad, pues es eficiente energéticamente y cuenta con climatización pasiva, iluminación natural, ventilación, renovación del aire al interior de los locales y aromatización natural, así como humidificación con cuerpos de agua y vegetación. Igualmente recolecta y hace uso del agua pluvial, la cual pasa por un proceso de tratamiento y reincorporación al suelo a través de la huerta; ahí mismo, se generaba la producción de alimentos, la preservación mediante los sistemas de conserva y el ahumado, así como la medición del tiempo a través del reloj de sol y el uso de materiales naturales de sencilla incorporación al medio.

la eficiencia en el uso de la luz natural y el aislamiento acústico, la ventilación natural de los espacios y la eficiencia en el uso de los recursos naturales nos lleva a reflexionar sobre la necesidad de replicar estos principios de diseño bioclimático y sustentable en las edificaciones contemporáneas; y porque no, revitalizar el hábitat construido con valor histórico, retomando como principio el diseño original de gran valía ambiental. Las instituciones de educación superior a través de sus profesores investigadores han diseñado y construido Centros de Investigación y Laboratorios especializados para la evaluación bioclimática y energética de la arquitectura y su entorno urbano, incluyendo la arquitectura patrimonial en su revitalización por su valor ambiental ■

Conclusiones generales

La principal aportación de conocimiento de esta investigación es la revalorización de los conceptos y estrategias de diseño bioclimático, así como la identificación de las tecnologías ambientales utilizados en el diseño y operación del antiguo Convento de San Francisco en Santiago de Querétaro, bajo la premisa de los indicadores de la adaptación de la edificación al clima, los principios de la sustentabilidad y las necesidades de bienestar y salud de los usuarios.

La autonomía energética para la climatización pasiva como respuesta arquitectónica,

> REFERENCIAS

- CONAGUA. (2021). Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS). [En línea]. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- De Ciudad Real, A. (1993). *Tratado curioso y docto de las grandezas de la Nueva España*. México DF: Universidad Autónoma de México.
- Fuentes, V. y Figueroa, A. (1990). *Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura*. México DF: Instituto Mexicano del Seguro Social.
- Fuentes-Freixanet, V. A. (2014). *Bioclimatical Architectural Tools*. México DF: UAM.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. México DF: Instituto de geografía/Universidad Nacional Autónoma de México.
- Godines, A. y López, M. (2018). *Dinámica de Isla de Calor Urbana y su efecto en la distribución espacio-temporal de lluvia en las ciudades de Querétaro y San Juan del Río*. México DF: Facultad de Geografía/Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gómez Azpeitia, G. (2016). *Bioclimarq*. México DF: Universidad de Colima.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México-EMM. (s.f.). Querétaro. [En línea]. México DF: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Recuperado de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM22queretaro/historia.html>
- Marsh, A. (2021). Psychrometry. [En línea]. <https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html>