

Análisis del comportamiento térmico en la basílica de la Soledad ubicada en la ciudad de Oaxaca

Analysis of thermal behavior in the Basilica de la Soledad located in the city of Oaxaca

GARCÍA-VÁSQUEZ, Jaquelina^{1*†}, GÓMEZ-BARRANCO, Heidy¹, RUÍZ-TORRES, Raúl² y LÓPEZ-CALVO, Herwing¹

¹Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Facultad de Arquitectura "5 de Mayo". Cuerpo Académico en Consolidación "Tecnología y Sustentabilidad", 5 de Mayo No. 111, Centro Histórico, Oaxaca, Oax. México. 68000.

²Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Arquitectura. Cuerpo Académico "Condicionantes y condicionantes en la Vivienda", Boulevard Belisario Domínguez Km 1081, sin número, Terán. C.P.29050

ID 1^{er} Autor: Jaquelina, García-Vásquez

ID 1^{er} Coautor: Heidy, Gómez-Barranco / ORC ID: 0000-0001-7221-1438

ID 2^{do} Coautor: Raúl, Ruíz-Torres / ORC ID: 0000-0001-5707-0411, CVU CONACYT ID: 174295

ID 3^{er} Coautor: Herwing, López-Calvo / ORC ID: 0000-0001-6058-0981, Researcher ID Thomson: X-2136-2018, CVU CONACYT ID: 59541

Recibido 21 de Marzo, 2018; Aceptado 15 de Mayo, 2018

Resumen

El presente trabajo de investigación consiste en un análisis del comportamiento térmico de uno de los templos construidos con sillares de piedra cantera y las técnicas constructivas del siglo XVII en la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca, catalogado como monumento histórico. El estudio se llevó a cabo con el objetivo de determinar la respuesta térmica de la basílica de la Soledad, con la finalidad de verificar si existen daños ocasionados por los factores del clima local y, su efectividad para brindar condiciones de confort. El análisis se realizó con la medición de la temperatura del aire, de la superficie de los muros y de la nave del templo, así como la humedad relativa del aire, se utilizó una cámara termografía para detectar puentes de calor y humedades que deterioren a la cantera. Este documento servirá en el área de restauración y conservación para tomar en cuenta la información en el mantenimiento o mejoras del confort térmico del edificio.

Comportamiento térmico, Temperatura del aire, Temperatura superficial, Piedra cantera, Patrimonio

Abstract

The present research work consists of an analysis of the thermal behavior of one of the temples built with quarry stone and the construction techniques of the seventeenth century in the city of Oaxaca de Juárez, Oaxaca, cataloged as a historical monument. The study was carried out with the objective of determining the thermal response of the Basilica de la Soledad, in order to verify if there are damages caused by local climate factors and its effectiveness to provide comfort conditions. The analysis was performed with the measurement of the air temperature, of the surface of the walls and the temple nave, as well as the relative humidity of the air, a thermography camera was used to detect heat bridges and humidity that deteriorate the quarry. This document will serve in the area of restoration and conservation to take into account the information in the maintenance or improvements of the thermal comfort of the building.

Thermal behavior, Air temperature, Surface temperature, Quarry Stone, Heritage

Citación: GARCÍA-VÁSQUEZ, Jaquelina, GÓMEZ-BARRANCO, Heidy, RUÍZ-TORRES, Raúl y LÓPEZ-CALVO, Herwing. Análisis del comportamiento térmico en la basílica de la Soledad ubicada en la ciudad de Oaxaca. Revista de Arquitectura y Diseño. 2018, 2-4: 1-9

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jaquelina.garcia.0104@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El confort térmico sucede cuando existe un equilibrio entre la temperatura corporal del ser humano y la temperatura del aire que percibe en un espacio en donde tenga que realizar actividades que le sean necesarias.

Fanger como lo citó M. Castilla en (Castilla, 2010) “según la mayoría de los estándares internacionales ISO7730, 1994; ASHRAE55, 1992, el confort térmico se puede definir como: Aquella condición de la mente que proporciona satisfacción con el ambiente térmico”.

La evaluación térmica es una tarea compleja debido a que conlleva una buena parte de información subjetiva en cuanto a las sensaciones y percepción del individuo con el medio ambiente; para lo cual influyen las siguientes variables: la temperatura del aire, la temperatura de las paredes y objetos que nos rodean, la humedad del aire, la actividad física, la clase de vestido y la velocidad del aire.

Existen dos enfoques desde los cuales ha sido estudiado el confort térmico, que son el cualitativo y el cuantitativo.

El enfoque cuantitativo se ha desarrollado en su mayor parte con trabajo experimental realizado en una cámara climática. Estas cámaras son laboratorios donde se pueden ajustar las condiciones ambientales de temperatura del aire y de radiación, la humedad y la velocidad del aire. (Ruíz, 2017, pág. 7)

Tipo de adaptación	Descripción	Estado
Física	Todas las acciones operadas por el individuo de forma consciente para regular su condición de confort térmico: aumentar o reducir el arropamiento, cambiar de posición o cambiar el propio metabolismo.	Voluntario y reactivo
Fisiológica	Se considera los mecanismos de aclimatación generados por el cuerpo y que se diferencian según las reacciones fisiológicas en: instantáneas, estacionales o genéticas.	No consciente o involuntario
Psicológica	El espacio confortable se define como aquel en el que las personas se sienten en condición de bienestar térmico. Los factores que influyen en la sensación de bienestar dependen de la percepción del espacio y de los fenómenos que se producen en él.	Perceptivo o no consciente

Tabla 1 Tipo de adaptación térmica de las personas en su entorno.

Fuente: Pérez, 2015

Al ser realizado en laboratorios, los datos que se obtienen son establecidos de forma general, por lo que se considera que las personas van a elegir una misma temperatura en cualquier lugar del mundo sin importar las variaciones del clima de cada lugar por la zona geográfica en la que se encuentra, y las temperaturas a las que las personas están acostumbradas dependiendo del sitio.

En este enfoque se experimenta con modelos de predicción, que como su nombre lo indica sugieren hechos precisos y objetivos resultado del laboratorio. Se busca el equilibrio térmico entre las personas y el ambiente, en donde no exista pérdida ni ganancia de calor por parte del cuerpo humano, como lo indica el proceso físico al que constantemente estamos expuestos.

El enfoque cualitativo del confort térmico no parte de considerar el intercambio de calor entre el cuerpo y el entorno, sino de observar que existen una serie de acciones que el ser humano puede realizar para alcanzar el confort térmico. Nicol y Humphreys, como lo cita Raúl Pavel Ruíz Torres (Ruíz, 2007, pág. 12)

Los seres humanos tenemos la capacidad de adaptarnos a los cambios en nuestro entorno, algunos podemos asimilarlo de mejor manera que otros, o podemos realizar acciones que nos permitan alcanzar el confort térmico. En este enfoque se considera que la temperatura que perciba el cerebro puede controlar el equilibrio del organismo y el entorno, por lo que se centra en las sensaciones que tenemos cada ser humano, tomando en cuenta que cada temperatura corporal es determinada por factores biológicos y las actividades que cada uno esté realizando.

Se trata de un proceso de aclimatación por el cual una persona tendrá que pasar de forma distinta que otra, o con ciertas similitudes con alguien más. Por lo que se necesita actuar según los requerimientos personales para alcanzar el confort térmico. Se pueden clasificar tres tipos de adaptación térmica con los que reaccionan las personas adaptarse al entorno. (Ver tabla 1).

Es importante tomar en cuenta análisis de este tipo; en los proyectos de restauración y conservación, se requieren para el mantenimiento del edificio y mejorar el ambiente térmico para los usuarios de ser necesario.

El empleo de técnicas como la termografía infrarroja y HOBOS, son las más comunes para la evaluación de confort térmico y eficiencia energética, pues ninguna de las dos ocasiona daños en el edificio, el tiempo de monitoreo es de acuerdo con el trabajo que se quiera realizar y no implican un proceso difícil de colocación.

El escenario a evaluar se localiza en Oaxaca, ciudad que se encuentra al sur de México (17.05 latitud norte y 96.7167 longitud oeste), zona de ubicación geográfica que presenta un clima cálido seco, de acuerdo al resumen mensual y anual de la Comisión Nacional del Agua, presenta temperatura máxima promedio anual de 30.8° C, temperatura media promedio anual de 24.4°C, temperatura mínima promedio anual de 18°C. (CONAGUA, 2017). Según los datos obtenidos de la página weather underground para el año 2017: humedad relativa máxima promedio anual de 90%, vientos con velocidad promedio máxima de 230 km/h y mínimo de 6 km/h. (underground W. , 2017).

Planteamiento del problema

Las instituciones públicas y gubernamentales encargadas de proteger al patrimonio edificado con valor histórico, por la falta de información, no han llevado a cabo estudios de confort térmico necesarios para la conservación de los edificios.

Justificación

Es importante incluir análisis térmicos en los proyectos de conservación de edificios históricos para alcanzar el confort en el ambiente de los usuarios. Para realizarlos, el equipo que se utiliza permite hacer una evaluación sin producir daños en su estructura.

La basílica de la Soledad cuenta con dos fachadas, orientada hacia el este se encuentra la portada y acceso principal; hacia el sur, el acceso secundario (Ver figura 1).

Se consideró realizar el monitoreo en la fachada sur por ser una de las que recibe mayor incidencia solar, como lo demuestra la gráfica solar calculada para el mes de diciembre, la trayectoria del sol es de Este a Oeste con inclinación hacia el sur. (Ver figura 2). Y en la nave, que por su posición con respecto al sol es la zona en dónde los rayos inciden directamente.



Figura 1 Perspectiva de la basílica de la Soledad
Fuente: Los autores

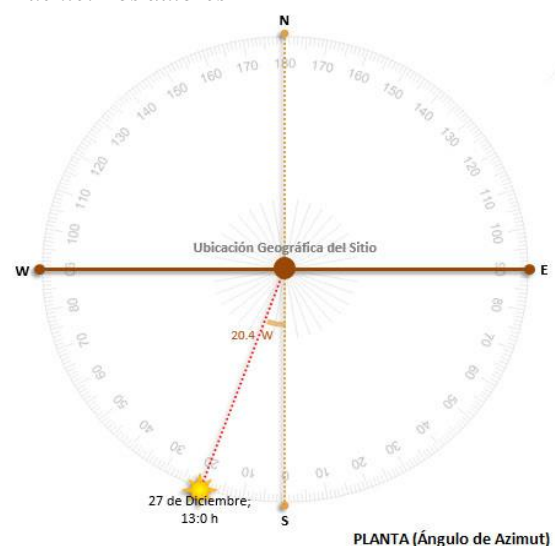


Figura 2 Planta del ángulo azimut, demuestra la inclinación de la trayectoria solar, indicando que la fachada sur es la que recibe más incidencia solar entre las 12:00 pm. Y las 6:00 pm
Fuente: Los autores

Hipótesis

La Basílica de la Soledad cuenta con un ambiente térmico confortable, adecuado para los usuarios; que se genera gracias a la piedra cantera que fue utilizado en los muros, que por la porosidad y espesor que presentan, no permiten que la temperatura proveniente de la radiación del sol ingrese al interior del inmueble; así como los materiales utilizados en la construcción de la nave, su forma de bóvedas y la altura del edificio.

Objetivos

Objetivo general

Analizar las condiciones térmicas del edificio, monitoreando las variaciones de temperatura superficial de la piedra cantera de los muros, así como del tabique rojo de la nave, dispuesto en plano con dos hojas conjuntas y un grueso intermedio de mortero, específicamente en una de las bóvedas y la cúpula gallonada, mediante el uso de HOBOS; y análisis con termografía infrarroja para obtener mapas térmicos del templo, con la finalidad de conocer si existe confort térmico en la Basílica y detectar daños que se estén generando en los muros de piedra cantera; de manera que la información sirva en proyectos de conservación.

Objetivos particulares

- Registrar los datos de temperatura y humedad relativa del aire, temperatura superficial de los muros y de la nave; monitoreando con HOBOS durante una semana, para conocer los parámetros de la piedra expuesta y el tabique rojo con recubrimientos a diferentes horas del día.
- Llevar a cabo un estudio termográfico, en la fachada sur, para conocer la temperatura de los muros en el interior, en el exterior y detectar puentes de humedad.
- Analizar los resultados y generar conclusiones de la muestra realizada, mediante la interpretación de los datos de la cámara termográfica y los HOBOS, para comprobar si los materiales, dimensiones y diseño del edificio, le permiten contar con confort térmico.

Materiales y métodos

La investigación se centra en un método adaptativo, en el que se consideran las relaciones que existen entre el medio ambiente térmico y las sensaciones fisiológicas y psicológicas que experimentan las personas ante las condiciones del ambiente.

Este método forma parte del enfoque cualitativo para el estudio del confort térmico.

Afirman (Gómez, 2007, pág. 50) “los modelos de adaptación son también conocidos como de neutralidad térmica, y se diferencian de los modelos de aproximación racional fundamentalmente por el hecho de que no tienen una base termofisiológica sustentada en resultados experimentales de laboratorio.” Se interpreta como un modelo subjetivo basado en la observación de las sensaciones del ser humano en un espacio, a diferencia del cuantitativo que pudiera reconocerse como un modelo de datos objetivos.

El equipo para obtener los datos y realizar el análisis, consiste en HOBOS, dispositivos de almacenamiento de temperatura y humedad relativa. Se utilizó una cámara termográfica como herramienta de diagnóstico y detección de problemas en el objeto de estudio.

Monitoreo de temperatura

Primero se realizó el monitoreo con los HOBOS para los muros, que se llevó a cabo en un periodo del 23 al 29 de diciembre de 2017, en la fachada lateral orientada hacia el sur; la configuración de los dispositivos para la medición se realizó en lapsos de 5 minutos para tener mayor precisión, que después se promedió para graficar a cada hora. (Ver figura 3).

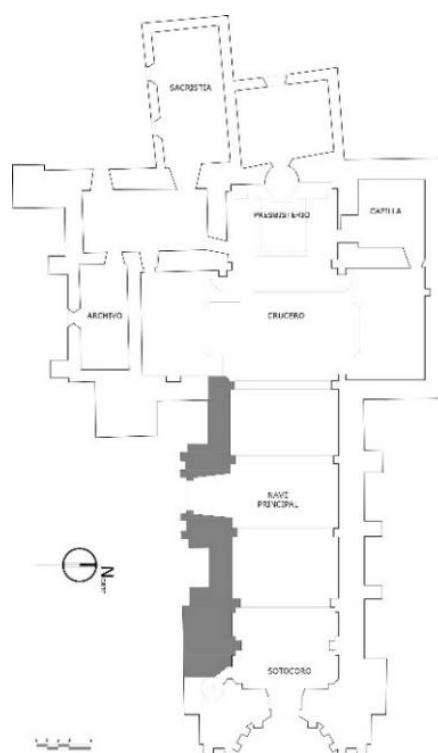


Figura 3 Planta arquitectónica de la basílica de la Soledad, en el muro sombreado se realizó el monitoreo
Fuente: Los autores

Uno de ellos se colocó en el interior del templo y el otro en el exterior, con la finalidad de obtener la temperatura del aire y la temperatura superficial de la piedra cantera, así como la humedad relativa en ambas posiciones. La altura a la que colocaron fue de aproximadamente tres metros en un muro de 1.00 m de ancho. En el exterior del muro se colocó sobre piedra cantera sin ningún recubrimiento, en el interior sobre un aplanado de cal.

Se utilizó una porción de pasta térmica para facilitar la conductividad entre la piedra y el metal conductor, después se protegió con cinta de aislar y unicel para evitar que se captara la temperatura del ambiente, por otro lado, el sensor del dispositivo estará captando directamente la temperatura del aire.

Tiempo después, se repitió éste procedimiento durante el mes de junio de 2018 para conocer el comportamiento térmico de la nave, empleando los HOBOS en secciones estratégicas, un dispositivo se colocó en la cúpula gallonada que se encuentra en el crucero y el otro en la bóveda próxima al coro y sotocoro, en un periodo del 02 de junio al 06 de junio. Se colocaron así para tener resultados en condiciones de distintas alturas, la que corresponde a la cúpula es de 25.20 m y en el caso de la bóveda a 15.70 m, medidos de piso al lecho bajo de la cubierta. (Ver figura 4).

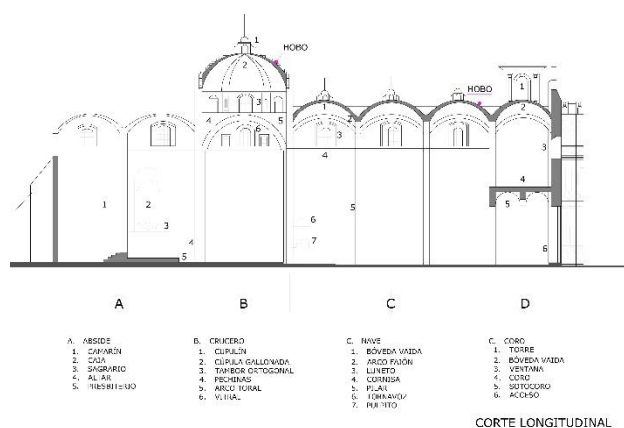


Figura 4 Corte longitudinal de la basílica de la Soledad, se indican la ubicación de los HOBOS

Fuente: los autores, adaptación del apunte de Eutiquio Pérez

Cámara termográfica

Con la cámara termográfica se tomaron imágenes de la fachada lateral el día 18 de abril del año 2018, entre las 4:00 y las 5:00 pm.

Se ajustó un valor de emisividad de 0.95, al no contar con un valor propiamente para la piedra cantera, se buscó una emisividad de materiales similares. Se consideró realizar la evaluación con termografía por infrarrojos durante el mes de abril, siendo uno de los más calurosos.

Resultados y discusión

Los resultados que se obtuvieron del programa HOBOWare se exportaron a Excel para elaborar las tablas de temperatura del aire y su reproducción en gráficas, una que contiene los valores del aire en el exterior (Ver gráfico 1) y otra del aire en el interior. (Ver gráfico 2).

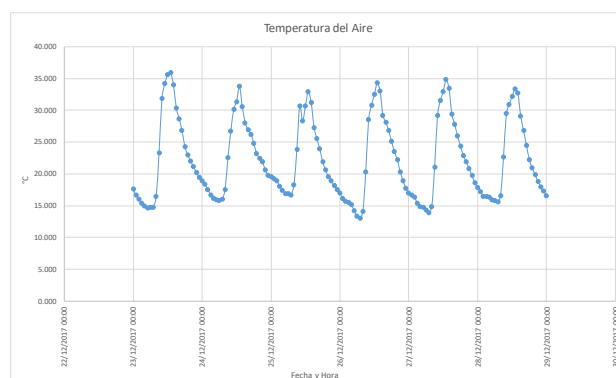


Gráfico 1 Temperatura del aire exterior, del 23 al 29 de diciembre de 2017

Fuente: Los autores

De las cifras que resultaron de los días del monitoreo, se realizó la selección de un día típico siendo el 27 de diciembre, a partir de las gráficas de temperatura del aire, que se caracteriza por tener las temperaturas más estables, es decir, que no hayan disminuido o incrementado bruscamente.

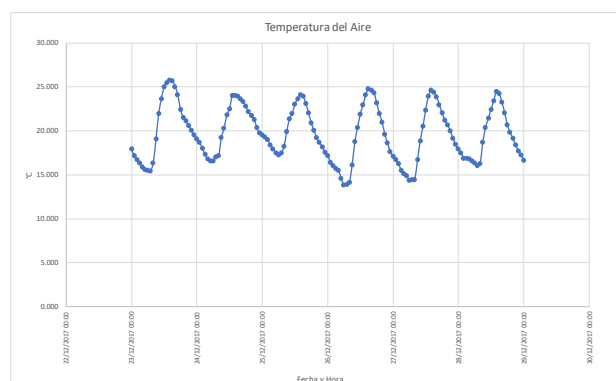


Gráfico 2 Temperatura del aire interior, del 23 al 29 de diciembre de 2017

Fuente: los autores

Por lo que se grafica la temperatura del aire (Ver gráfico 3) y la temperatura superficial del muro (Ver gráfico 4), del interior y el exterior para el día típico.

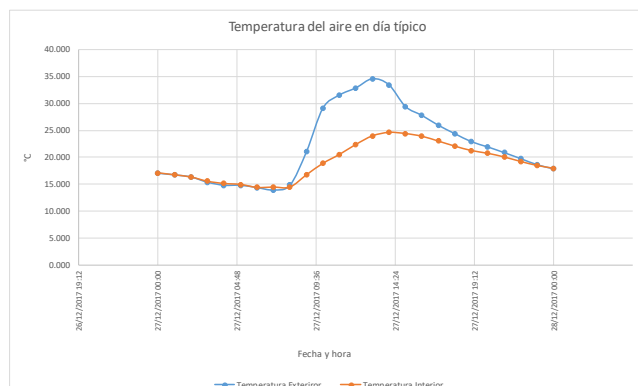


Gráfico 3 Temperatura del aire interior y exterior en un día típico, 27 de diciembre

Fuente: Los autores

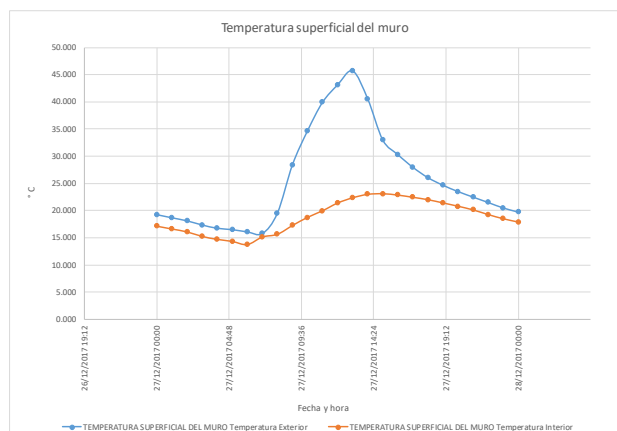


Gráfico 4 Temperatura superficial interior y exterior en un día típico, 27 de diciembre

Fuente: Los autores

A partir de la temperatura del aire, se aplica la fórmula del método adaptativo de Nicol y Roaf (1996). Chávez del Valle afirma, como lo citó Raúl Pavel Ruíz Torres (Ruíz R., 2007, pág. 15) “Con estudios en Pakistán, Nicol y Roaf (1996) encontraron $T_n = 17.0 + 0.38 * T_m$ ”. En donde T_n es igual a la Temperatura Neutral de Confort y T_m es igual a la Temperatura Media Anual.

Tomando en cuenta que la Temperatura Media Anual para el año 2017 fue de 21°C, de acuerdo al resumen del clima. (underground w., 2017) Al desarrollar la fórmula: $T_n = 17.0 + 0.38 * T_m$, el valor de la Temperatura Neutral de Confort resultó de 24.98°C.

$$T_n = 17.0 + 0.38 * 21 = 24.98^\circ\text{C} \quad (1)$$

A este valor se suman 2.5 y se restan 2.5 para encontrar el límite superior y límite inferior respectivamente. (Ver tabla 2).

Temperatura Neutral de confort	Temp. Media anual	Límite superior	Límite inferior
24.89	21.00	27.48	22.48

Tabla 2 Valor de temperatura neutral de confort y sus límites superior e inferior

Fuente: Los autores

A continuación, se muestra la temperatura interior y temperatura exterior del aire en un día típico, en donde se representa la franja que indica el límite superior e inferior de la temperatura neutral de confort, que comprende desde los 22.48°C hasta los 27.48°C. Se puede apreciar que la temperatura interior cuando alcanza los niveles más altos durante un día típico en el mes de diciembre, entre las 10:00 am y las 7:00 pm, se confirma que existe un confort térmico dentro del edificio.

En el resto del día, durante la mañana y la noche desciende hasta los 15° °C, siendo un ambiente frío. (Ver gráfico 5).

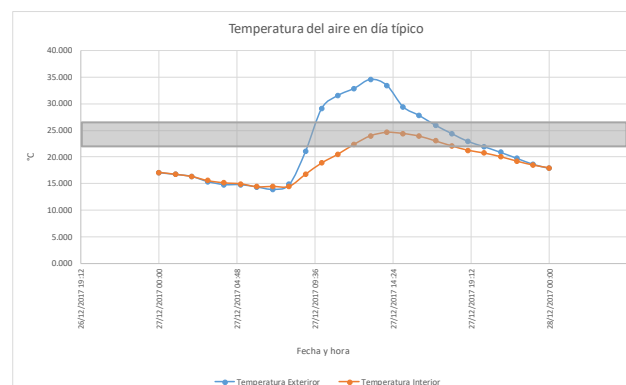


Gráfico 5 Temperatura de confort con sus límites inferior y superior en un día típico, en base a la gráfica de temperatura del aire

Fuente: Los autores

La humedad relativa es uno más de los parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico. Además, que puede ser un factor ambiental que produce malestar en la salud de las personas cuando no se presenta de forma equilibrada. Como lo indica (Rodríguez L., Alonzo J., 2004, pág. 2) “Niveles de humedad relativa extremadamente bajas pueden causar resequeidad en los ojos, nariz y garganta, esto produce irritación, dolor e incremento a ser susceptibles a infecciones. Una humedad relativa alta promueve en el aire el crecimiento de hongos.”

GARCÍA-VÁSQUEZ, Jaquelina, GÓMEZ-BARRANCO, Heidy, RUÍZ-TORRES, Raúl y LÓPEZ-CALVO, Herwing. Análisis del comportamiento térmico en la basílica de la Soledad ubicada en la ciudad de Oaxaca. Revista de Arquitectura y Diseño. 2018

Por lo tanto, es uno de los causantes de la aparición de colonizaciones biológicas en el edificio. Se observa el comportamiento de la humedad relativa captada en el exterior y el interior de la basílica. (Ver gráfico 6).

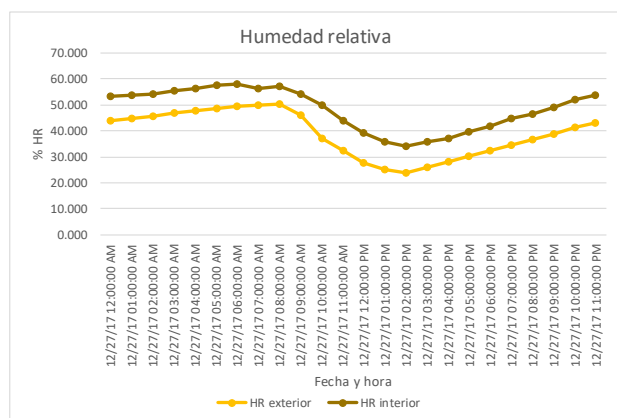


Gráfico 6 Humedad relativa en el interior y exterior de la basílica

Fuente: Los autores

Las condiciones externas oscilan entre el 23 y 50 % de humedad relativa, en tanto que al interior se mantiene variando entre 34 y 58%. En ambas mediciones los valores se establecen entre intervalos amplios en un solo día. Es notable que entre la 1:00 y las 3:00 pm el porcentaje de la humedad relativa desciende en respuesta al incremento de la temperatura, lo cual origina que el vapor de agua se encuentre en menor cantidad.

La norma ANSI/ASHRAE 62-2001, ventilación para calidad aceptable del aire en los recintos cerrados, especifica que (ASHRAE, 2001) “la humedad relativa en los espacios habitables deberá ser mantenida preferentemente entre 30% y 60% para cerrar el crecimiento de agentes alérgenos u organismos patógenos”

De acuerdo con los valores dispuestos por la ASHRAE se reconoce que la humedad relativa al interior del edificio se mantiene en los porcentajes propicios.

Al monitorear las temperaturas de la cúpula del crucero (ver gráfico 7) y la bóveda de la nave principal (ver gráfico 8), tomadas desde el exterior de la cubierta; se registraron los valores más altos regularmente a la 1:00 pm en los días que se consideraron, presentando más de los 50° C, mostrando los valores más bajos entre las 6:00 am y las 7:00 am con una cantidad de 18° C.

Se observa que es en la cubierta donde se registran las temperaturas más altas de los materiales que la conforman, a diferencia de las obtenidas en el caso de los muros, que están por arriba de los 45°C pero no sobrepasan de los 50° C.

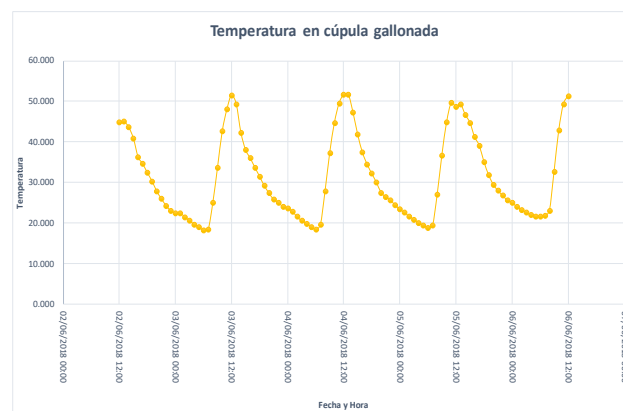


Gráfico 7 Temperatura superficial en la cúpula del crucero de la Basílica de la Soledad

Fuente: Los autores

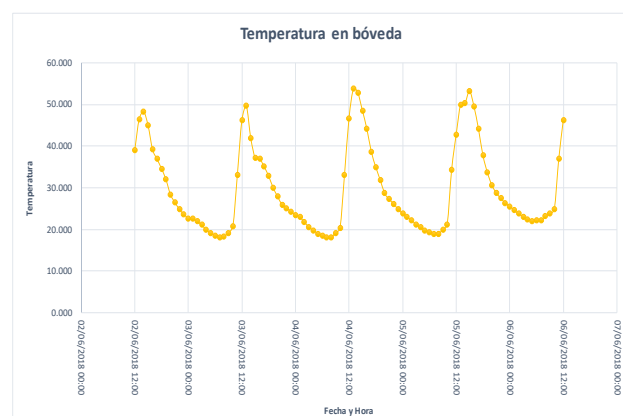


Gráfico 8 Temperatura superficial en la bóveda de la nave principal de la Basílica de la Soledad

Fuente: Los autores

Las temperaturas que se visualizaron a través del software SmartView se analizaron con relación a las temperaturas registradas por una unidad climatológica. De acuerdo con datos obtenidos de la página del clima (underground w. , 2018), la temperatura en este día fue de 32°C la más alta, la más baja de 15°C y la promedio de 23.4°C. Humedad relativa promedio de 41% y velocidad del viento promedio de 4 km/h, sin precipitación pluvial.

En el exterior del muro se detectaron temperaturas de entre 37.3°C a 30.5 °C (Ver figura 4), mientras que en el interior de 26.0°C a 27.6 °C (Ver figura 5).

Comparando con los rangos establecidos de temperatura ambiente, las temperaturas obtenidas de los muros indican que la piedra cantera es un material que impide el exceso de absorción de los rayos solares, además que por el ancho del muro no es posible el paso de la temperatura que se recibe en el exterior al interior.



Figura 5 Imagen térmica del exterior del muro evaluado
Fuente: Los autores

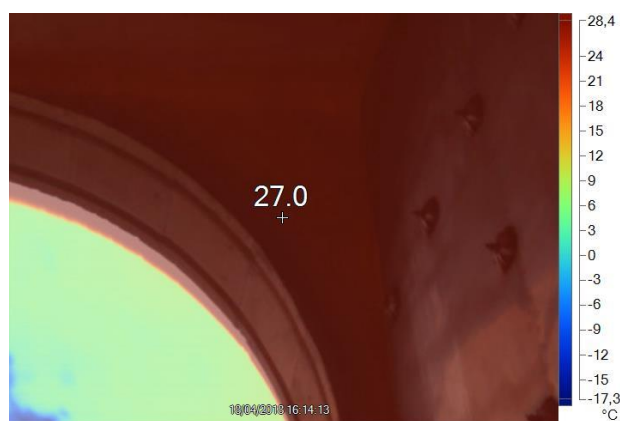


Figura 6 Imagen térmica del interior del muro evaluado
Fuente: Los autores

Conclusiones

El monitoreo con HOBOS se realizó en uno de los meses invernales, diciembre de 2017, mientras que la prueba de termografía infrarroja se llevó a cabo durante la estación de primavera, abril de 2018. Se comprueba que, en ambos casos la piedra cantera utilizada en la construcción de la basílica de la Soledad permite que el edificio sea un ambiente con temperaturas estables en el interior.

Las gráficas resultado de los HOBOS demostraron que la temperatura del aire en el exterior y el interior tienen diferencias importantes entre las 9:00 am. y las 7:00 pm. A la 1:00 pm.

La temperatura del aire exterior alcanza su valor más alto de 34.6 °C, mientras que en el interior del edificio se encuentra con 23.9 °C. Los límites de la temperatura neutral de confort indican que en el interior de la basílica se alcanza un confort térmico entre las 11:00 am. y las 6:00 pm., sin embargo, en el resto del día pueden descender hasta 15°C, convirtiéndose en un ambiente frío para la mayoría de los usuarios, se comprueba que el confort se alcanza en el horario de las celebraciones en el templo.

Los porcentajes de humedad relativa se observan con valores permitidos por la norma ASHRAE 2001, por lo que se puede considerar un factor que influye para que la temperatura superficial del muro sea estable.

Con las imágenes térmicas se comprobó que el muro no absorbe gran cantidad de calor y, por lo tanto, la temperatura transmitida al interior permite la existencia de ese confort térmico.

La humedad relativa en el aire del interior del edificio se encuentra entre los valores que corresponden a la norma, pero por la imagen termográfica se puede apreciar que existe humedad en la fachada exterior, a consecuencia de lluvias y el vapor de agua encontrado en el aire; pudiendo ser el agente causante de la decoloración, eflorescencias y aparición de agentes biológicos en la piedra.

En ambos meses de la evaluación la temperatura del muro manifiesta resultados homogéneos, que indican que los muros, que son construidos de piedra cantera y por su espesor, son propicios para crear un ambiente que se perciba frío en el interior del templo, por lo que se decidió analizar también la cubierta, en donde se tomó para el monitoreo la cúpula del crucero, que es el punto más alto y una de las bóvedas de la nave principal, de altura menor.

Los resultados arrojaron que las temperaturas son altas, de más de 50° C; por lo que se puede inferir que el confort térmico observado gracias a la temperatura del aire, surge del equilibrio existente entre las alturas con los que fue diseñado el templo y su ventilación cruzada, orientada de norte a sur.

Pues, si al incidir el sol directamente sobre la nave y la cúpula, la cantidad de calor va disminuyendo conforme a la altura, es por eso que al ingresar al templo se percibe una temperatura agradable.

Además, la cúpula gallonada se complementa con elementos como el cupulín, el tambor ortogonal y las nervaduras sobre las que se coloca la cúpula, está cubierta hacia los lados por escaleras y decoración que la protegen de la incidencia del sol. Dejando al descubierto solamente algunas secciones de su forma esférica, siendo una de estas secciones en dónde se midió la temperatura.

La hipótesis se comprueba, ya que el resultado del análisis indica que existe confort térmico en el edificio, sin embargo, se encontró también que la temperatura puede descender hasta 15°C. Lo importante es que el confort térmico se presenta entre las 10:00 am. y las 7:00 pm., en los horarios más frecuentes de celebración de misas.

Cuando las personas necesiten ocupar este espacio en las horas en que la temperatura desciende, se pueden adaptar mediante soluciones físicas que generen un equilibrio en la temperatura corporal, como es el uso de abrigo. Se obtiene que existe un equilibrio en la temperatura interior del templo gracias a su diseño, tomando en cuenta los materiales que fueron usados, las formas de la cubierta y las alturas, que además de cumplir con una función estructural bien planeada, permiten que sea un edificio comfortable.

La humedad relativa en el interior del inmueble es aceptable según la norma ASHRAE, pero la humedad existente en la piedra que constituye los muros, se reconoce como la causante de los daños que pudieran generarse en dicho material.

Agradecimiento

A la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO) y a la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH).

Referencias

ASHRAE, S. 6. (2001). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. TRANE.

Castilla, Á. B. (2010). Técnicas de Control del Confort en Edificios. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 5.

CONAGUA. (2017). *Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia*. Obtenido de <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>

Gómez, G. B. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa, Revista de Investigación Científica en Arquitectura*, 45-52.

Rodríguez L., Alonzo J. (2004). Efecto de los factores ambientales, laborales y psicosociales, en el síndrome del edificio enfermo. *Ingeniería Revista Académica*, 2.

Ruíz, P. (2007). *Estándar local de confort térmico para la ciudad de Colima*. Colima, México: Tesis de maestría.

underground, w. (2017). *Pronóstico para San Agustín Yatareni*. Obtenido de https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=ISANAGUS14&cm_ven=localwx_pwsdash

underground, w. (2018). https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=ISANAGUS14&cm_ven=localwx_pwsdash#history/s20180418/e20180418/mdaily.

underground, w. (2018). *Pronóstico para San Agustín Yatareni*. Obtenido de https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=ISANAGUS14&cm_ven=localwx_pwsdash

underground,w. (2017). Obtenido de https://www.wunderground.com/history/airport/MMOX/2017/1/1/CustomHistory.html?dayend=31&monthend=12&yearend=2017&req_city=&req_state=&req_statename=&reqdb.zip=&reqdb.magic=&reqdb.wmo=