

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Facultad de Arquitectura, División de Estudios de Posgrado

Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos.



"Propuesta de metodología para rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales. Caso de estudio: Archivo Histórico en Culiacán, Sinaloa."

Tesis para obtener el grado de:

Maestro en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos

Presenta:

Catalina Borbolla Gaxiola

Director de tesis:

Dr. Héctor Javier González Licón

Morelia, Michoacán, Octubre de 2017

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Facultad de Arquitectura, División de Estudios de Posgrado

Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos.



"Propuesta de metodología para rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales. Caso de estudio: Archivo Histórico en Culiacán, Sinaloa."

Tesis para obtener el grado de:

Maestro en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos

Presenta:

Catalina Borbolla Gaxiola

Mesa sinodal:

Director de tesis:

Dr. Héctor Javier González Licón

Cotutor:

Dr. Luis Alberto Torres Garibay

Sinodales:

Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán

Dra. Katia Carolina Simancas Yovane

Dr. Habid Becerra Santacruz

Morelia, Michoacán, Octubre de 2017

Agradecimientos

Con la finalización de esta etapa, quiero agradecer a todas las personas que de alguna manera me ayudaron a cursar y concluir esta etapa. A los profesores que ayudaron a formarme en mis estudios de maestría, pues cada uno de ellos representó una pieza importante.

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por darme la oportunidad de formarme en esta etapa.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por darme el apoyo necesario para realizar mis estudios de maestría

Al Dr. Héctor Javier González Licón, por guiarme en el proceso con gran dedicación y compartirme sus conocimientos

A mi papá Jaime Eleazar y mi mamá Soila Maribel por ser siempre los padres amorosos y darme siempre la fuerza que necesitaba, a mi hermano Jaime Eleazar por estar siempre que lo necesitaba.

A mi esposo Rodrigo, por compartir conmigo esta etapa, darme tu apoyo incondicional y la fuerza que necesitaba a cada momento.

Le dedico este trabajo a mis papás, Soila y Jaime,
a mi hermano Jaime Eleazar,
a Rodrigo y a mi coco.

Resumen

Considerando la situación mundial actual, y más a fondo el contexto mexicano, referente al consumo energético desmesurado y el agotamiento de las energías renovables que se presenta como un problema cada vez mayor, en este trabajo de investigación se expone la importancia que tiene realizar rehabilitaciones energéticas en las edificaciones existentes, específicamente en las edificaciones con valor patrimonial. Se aborda esta investigación desde tres puntos de vista principales: el punto de vista ambiental, el confort y la conservación patrimonial.

En la actualidad, México se encuentra rezagado con respecto a otros países del mundo, en lo referente a las intervenciones en inmuebles patrimoniales enfocadas a la rehabilitación energética, puesto que este tipo de intervenciones suponen un grado de dificultad mayor en las restauraciones cuando se incluye una variable más a la ecuación. Encontrar el equilibrio entre ahorro energético, confort del usuario y respeto al valor patrimonial, ha significado un tema de debate y cada vez se hace más evidente la necesidad del estudio de esta área.

En esta investigación se propone una metodología de rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales para el contexto mexicano, la cual se presenta como una aportación a las metodologías de restauración patrimonial, teniendo como punto de partida el análisis ambiental. Con esta metodología se busca abordar el diagnóstico del inmueble con un enfoque holístico que permita llegar a proponer las soluciones que mejor se adaptan y que logren mejorar el consumo energético, el confort de los usuarios y respetar los valores patrimoniales.

Palabras clave: Rehabilitación energética; Patrimonio; Confort; Arquitectura bioclimática; Eficiencia energética.

Abstrac

Considering the current global situation, and deeper the Mexican context, concerning the excessive consumption of energy and the depletion of renewable energies which presents itself as an increasing problem, in this investigation it is exposed the importance that has to perform energetic rehabilitations in the existing buildings, more specifically, in the constructions with patrimonial value. This research is approached from three main points of view: the environmental point of view, the comfort and the patrimonial conservation.

Currently, Mexico lags behind other countries of the world, in relation to interventions in buildings with patrimonial value focused on energy rehabilitation, since these types of interventions represent a higher grade of difficulty in restorations when one more variable is included in equation. Finding the balance between energy saving, user comfort and respect to the patrimonial value, has meant a topic of debate and the necessity of the study of this area is becoming more evident.

This research proposes a methodology for energy rehabilitation in buildings with patrimonial value in the Mexican context, which is presented as a contribution to the patrimonial restoration methodologies, taking as starting point previous investigations about environmental analysis of buildings with patrimonial values. This methodology seeks to address the diagnosis of the property with a holistic approach, that allows us to propose the solutions that are best adapted and that manage to improve energy consumption, comfort of users and respect of property values.

Key words: Energy Rehabilitation; Heritage; Comfort; Bioclimatic architecture; Energy efficiency.

Índice

Portada	i
Contraportada	iii
Agradecimientos	v
Dedicatoria	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
Introducción	Pág. 01
Capítulo 1. La Rehabilitación Energética en la Restauración de Inmuebles Patrimoniales.	Pág. 18
1.1. ¿Qué es la rehabilitación energética?	Pág. 19
1.1.1. Aspectos que considera	Pág. 25
1.2. Vinculación de la rehabilitación energética a la práctica de la restauración patrimonial	Pág. 32
1.2.1. Aportación a la conservación de inmuebles patrimoniales	Pág. 34
1.3. Dos visiones en contra peso en México (Eficiencia energética y patrimonio)	Pág. 44
1.4. Casos análogos de rehabilitación energética en inmuebles patrimoniales	Pág. 49
1.5. Conclusiones primer capítulo	Pág. 61
Capítulo 2. Metodología de rehabilitación energética para inmuebles patrimoniales.	Pág. 65
2.1. Análisis de la metodologías de rehabilitación energética de edificios históricos	Pág. 66
2.2. Incorporando la rehabilitación energética en la restauración patrimonial	Pág. 70
2.3. Propuesta de metodología para rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales	Pág. 75
2.3.1. Evaluación y diagnóstico del inmueble	Pág. 78
2.3.1.1. Clima y confort	Pág. 78
2.3.1.2. Edificio	Pág. 91
2.3.1.3. Energía	Pág. 92
2.3.2. toma de decisiones	Pág. 98
2.3.3. Aplicación de las estrategias de mejora	Pág.106
2.4. Conclusiones segundo capítulo	Pág.108

Capítulo 3. Aplicación de metodología propuesta. Caso de estudio: Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa. **Pág.111**

3.1.	Caso de estudio: Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa	Pág.112
3.2.	Evaluación y diagnóstico del inmueble	Pág.113
3.2.1.	Clima y confort	Pág.113
3.2.1.1.	Macro localización	Pág.113
3.2.1.1.1.	Relieve	Pág.114
3.2.1.1.2.	Hidrología	Pág.114
3.2.1.1.3.	Clima	Pág.115
3.2.1.1.4.	Vientos	Pág.117
3.2.1.1.5.	Asoleamiento	Pág.118
3.2.1.2.	Micro localización	Pág.119
3.2.1.3.	Interior: Análisis del confort higrotérmico	Pág.124
3.2.1.3.1.	Temporada cálida	Pág.128
3.2.1.3.2.	Temporada fría	Pág.137
3.2.2.	El edificio	Pág.145
3.2.2.1.	Características generales del edificio	Pág.146
3.2.3.	Energía	Pág.151
3.2.3.1.	Cálculo de consumo operacional del inmueble	Pág.152
3.2.4.	Diagnóstico del inmueble	Pág.154
3.3.	Toma de decisiones	Pág.156
3.4.	Aplicación y simulación en programa computacional	Pág.160
3.4.1.	Sistema aislante exterior de poliuretano expandido	Pág.162
3.4.2.	Aislante térmico en azotea "Barro Kappa"	Pág.168
3.4.3.	Implementación de ventilación cruzada	Pág.171
3.4.4.	Resultados	Pág.173
3.5.	Conclusiones tercer capítulo	Pág.174

Conclusiones **Pág.176**

Bibliografía **Pág.182**

Anexos **Pág.189**

Índice de Figuras

Capítulo 1

La Rehabilitación Energética en la Restauración de Inmuebles Patrimoniales

Figura 01.	Diagrama de conceptos principales que intervienen en la Rehabilitación energética de monumentos históricos.	Pág. 24
Figura 02.	Compresores de aire acondicionado en azotea del edificio del Ayuntamiento de Culiacán.	Pág. 42
Figura 03.	Compresores de aire acondicionado en azotea del edificio del Ayuntamiento de Culiacán.	Pág. 42
Figura 04.	Compresores de aire acondicionado en azotea del edificio del antiguo Edificio Central de la UAS.	Pág. 42
Figura 05.	Compresores adosados a muro exterior del antiguo Edificio Central de la UAS.	Pág. 42
Figura 06.	Compresor de aire acondicionado en balcón de fachada principal.	Pág. 43
Figura 07.	Altura de cubierta de falso plafón bloqueando puerta.	Pág. 43
Figura 08.	Perforación de muros interiores en el Archivo Histórico General del estado de Sinaloa.	Pág. 43
Figura 09.	Falso plafón en el Archivo Histórico General del estado de Sinaloa.	Pág. 43
Figura 10.	Compresores de aire acondicionado en pasillos del Archivo Histórico General del estado de Sinaloa.	Pág. 44
Figura 11.	Criterios seguidos para determinar el seguimiento de los aspectos principales de la rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales.	Pág. 60

Capítulo 2

Metodología de rehabilitación energética para inmuebles patrimoniales

- Figura 01.** Esquema de metodología de rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales propuesta **Pág. 77**
- Figura 02.** Gráfica donde se explica el modelo de Roríz **Pág. 89**
- Figura 03.** Fórmula para convertir watts a kilowatts **Pág. 97**
- Figura 04.** Esquema de riesgo-beneficio presentado en Estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building. **Pág. 100**
- Figura 05.** Escala de cinco niveles empleada en el Estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building. **Pág. 100**
- Figura 06.** Gráfica de ejemplo de comportamiento de las temperaturas de los sistemas constructivos, juntos con la temperatura del ambiente exterior y la zona de confort **Pág. 108**
- Figura 07.** Gráfica de ejemplo de análisis del factor de decremento. **Pág.108**

Capítulo 3

Aplicación de metodología propuesta. Caso de estudio: Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa.

- Figura 01.** Fachada principal del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa. **Pág. 112**
- Figura 02.** Mapa de México, señalando en rojo al estado de Sinaloa **Pág. 113**
- Figura 03.** Mapa del estado de Sinaloa, señalando el municipio de Culiacán **Pág. 113**
- Figura 04.** Mapa de las zonas topográficas del estado de Sinaloa **Pág. 114**
- Figura 05.** Imagen satelital de la unión de los ríos en Culiacán. **Pág. 115**
- Figura 06.** Clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta **Pág. 116**

Figura 07.	Temperaturas medias mensuales durante el año en Culiacán	Pág. 116
Figura 08.	Gráficas de vientos de cada mes del año	Pág. 117
Figura 09.	Gráfica solar de Culiacán	Pág. 118
Figura 10.	Ubicación del edificio del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa con respecto al polígono del Plan Parcial Culiacán Zona Centro.	Pág. 119
Figura 11.	Planta arquitectónica baja del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa	Pág. 120
Figura 12.	Planta arquitectónica alta del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa	Pág. 120
Figura 13.	Gráfica solar de mejor orientación en Culiacán	Pág. 121
Figura 14.	Análisis solar durante solsticios y equinoccios	Pág. 122
Figura 15.	Gráficas de vientos dominantes durante las cuatro estaciones del año en Culiacán	Pág. 123
Figura 16.	Data loggers (HOBOS) para interiores utilizados	Pág. 125
Figura 17.	Data loggers (HOBOS Pro v2) para exteriores utilizados	Pág. 125
Figura 18.	Data logger (HOBOS) dentro del dispositivo de protección	Pág. 125
Figura 19.	Dispositivo de protección colocado en azotea	Pág. 125
Figura 20.	Localización de los Data loggers en las plantas arquitectónicas; planta alta, planta baja y azotea, durante temporada cálida.	Pág. 126
Figura 21.	Colocación de herramientas de medición (Data loggers)	Pág. 127
Figura 22.	Proceso de ordenamiento de Data loggers para su validación	Pág. 128
Figura 23.	Comparación de temperaturas interiores y exteriores de acuerdo al rango de confort adaptativo	Pág. 129
Figura 24.	Gráfica de análisis de temperaturas exteriores e interiores en un mes con respecto a la zona de confort adaptativo	Pág. 131
Figura 25.	Análisis de oscilación de temperatura durante la temporada cálida	Pág. 132
Figura 26.	Análisis de la humedad relativa en la temporada cálida, de acuerdo a los porcentajes de HR	Pág. 135

Figura 27.	Análisis de la humedad relativa en la temporada cálida, de acuerdo al parámetro de confort de Humedad relativa	Pág. 136
Figura 28.	Localización de los Data loggers en las plantas arquitectónicas; planta alta, planta baja y azotea en temporada fría.	Pág. 138
Figura 29.	Análisis de temperaturas interiores y exteriores durante temporada fría, de acuerdo a la zona de confort.	Pág. 139
Figura 30.	Gráfica del comportamiento de las temperaturas analizadas con respecto al rango de confort adaptativo durante la temporada fría	Pág. 140
Figura 31.	Análisis de oscilación de temperatura durante la temporada fría.	Pág. 142
Figura 32.	Análisis Humedad Relativa durante el periodo frío	Pág. 144
Figura 33.	Gráfica del comportamiento de la humedad relativa con respecto al parámetro confortable de porcentaje de humedad relativa	Pág. 145
Figura 34.	Corte longitudinal del AHGES, mostrando en rojo el espacio perdido por el uso del falso plafón en ambas plantas	Pág. 147
Figura 35.	Fotografía de viguería con tapa de ladrillo en losa de entrepiso	Pág. 148
Figura 36.	Fotografía de vigueta y bovedilla en capa interior de la losa de azotea	Pág. 149
Figura 37.	Fotografía de muro exterior del AHGES, donde se puede ver la mampostería de ladrillo rojo de barro cocido y el aplanado de mortero cal arena	Pág. 150
Figura 38.	Morfología espacial del inmueble, planta baja y planta alta	Pág. 150
Figura 39.	Registro y ubicación de sistemas de acondicionamiento artificial en el inmueble, planta alta y planta baja	Pág. 152
Figura 40.	Cálculo de consumo aproximado de energía eléctrica en kWh durante un año por el uso de sistemas de acondicionamiento artificial en el inmueble	Pág. 153
Figura 41.	Cálculo de consumo aproximado de energía eléctrica en kWh durante un año por el uso de sistemas de acondicionamiento artificial en el inmueble	Pág. 153
Figura 42.	Horas al día dentro del horario operacional durante la temporada cálida y la fría	Pág. 154
Figura 43.	Lista de posibles estrategias a incorporar, de acuerdo al diagnóstico del inmueble	Pág. 157
Figura 44.	Tabla para evaluación de estrategias (categorías y criterios)	Pág. 158

Figura 45.	Criterio de evaluación	Pág. 159
Figura 46.	Gráfica de carga total de los tres sistemas constructivos en Temixco, en habitaciones con aire acondicionado, durante el mes de mayo.	Pág. 162
Figura 47.	Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort. Comparación de sistema constructivo actual (s.c.1) y sistema constructivo propuesto (s.c.2)	Pág. 163
Figura 48.	Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort.	Pág. 164
Figura 49.	Gráfica de factor de decremento	Pág. 164
Figura 50.	Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort sistemas constructivos de 0.15 metros de espesor.	Pág. 165
Figura 51.	Gráfica de factor de decremento para sistemas constructivos de 0.15 metros de espesor	Pág. 165
Figura 52.	Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort	Pág. 166
Figura 53.	Gráfica de factor de decremento	Pág. 166
Figura 54.	Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort	Pág. 167
Figura 55.	Gráfica de factor de decremento	Pág. 167
Figura 56.	Gráfica del comportamiento de temperaturas interiores obtenidas de los monitoreos	Pág. 168
Figura 57.	Perfil de un "Barro Kappa" con las dimensiones propuestas	Pág. 169
Figura 58.	Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort	Pág. 170
Figura 59.	Gráfica de factor de decremento	Pág. 170
Figura 60.	Representación del recorrido del viento en el inmueble (planta baja, planta alta y corte transversal)	Pág. 173

Índice de Tablas

Capítulo 1

La Rehabilitación Energética en la Restauración de Inmuebles Patrimoniales

Tabla 01.	Análisis de los aspectos principales analizados en los casos análogos.	Pág. 59
Tabla 02.	Criterios y principios empleados en casos análogos	Pág. 61

Capítulo 2

Propuesta metodológica de rehabilitación energética para inmuebles patrimoniales

Tabla 01.	Aspectos que comprenden las metodologías de rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales	Pág. 67
Tabla 02.	Análisis retomado de Josué Jacob Tello Rodríguez (2015), modificado por Catalina Borbolla Gaxiola.	Pág. 73
Tabla 03.	Gráficas y tablas recomendadas para realizar el análisis higrotérmico	Pág. 90
Tabla 04.	Modelo de tabla de consumos.	Pág. 97
Tabla 05.	Aspectos para evaluar la selección de estrategias de mejora.	Pág. 98
Tabla 06.	Adaptación a esquema de beneficio-riesgo	Pág. 102
Tabla 07.	criterios de evaluación de la categoría cumplimiento de la ley*	Pág. 103

Capítulo 3

Aplicación de metodología propuesta. Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa.

Tabla 01.	Evaluación de estrategias de acuerdo a categorías y criterios expuestos en figura 27 y 28	Pág. 159
------------------	---	-----------------

INTRODUCCIÓN

Durante el año 2015 en México, la energía eléctrica ocupó el segundo lugar como energético de mayor consumo "destinada a procesos y actividades económicas, así como a satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad".¹ El consumo energético se da por sectores, los cuales se dividen en cuatro; el sector del transporte, el industrial, el residencial, comercial y público, y por último el agropecuario. Si bien la industria de la construcción se ubica en el sector industrial, el consumo de las edificaciones ya existentes se ubica en el sector residencial, comercial y público. En este sector el consumo de la energía eléctrica ocupa el segundo lugar con 33.6%, únicamente 0.1% por debajo del gas licuado, con 33.7%.

Como respuesta a esta problemática, el gobierno de la república mexicana ha realizado diversas acciones como la implementación de leyes, normas y programas tendientes al ahorro energético y el consumo eficiente de la energía en este sector, siguiendo formas de actuación como la instalación equipos ahorradores o de bajo consumo energético. No obstante, las edificaciones históricas o patrimoniales no son incluidas en las medidas propuestas en estas acciones a consecuencia de su estado legal, así como también por las características especiales que la condición de inmueble patrimonial les otorga.

Por otra parte, actualmente en México la mayoría de las intervenciones realizadas en los inmuebles patrimoniales no toman en cuenta los parámetros de confort que requieren los usuarios dependiendo del uso y las actividades que en ellos se realizan, así como tampoco es un requisito regulado la implementación de sistemas o estrategias de mejora para la

¹ Secretaría de Energía, *Balance Nacional de Energía*, Ciudad de México, 2015.

eficiencia energética, más allá de la instalación de sistemas ahorradores o el uso de energías renovables como la solar. Lo que se puede observar actualmente, es que estas edificaciones están siendo modificadas para satisfacer las necesidades de confort de los usuarios con base a sistemas de acondicionamiento artificial y a energías no renovables, aunado a esto el no tomar a consideración las leyes de protección patrimonial existentes. En regiones del país donde se registran temperaturas elevadas durante la temporada cálida, las edificaciones están siendo tratadas como edificaciones contemporáneas al instalarle sistemas de enfriamiento sin considerar la reglamentación y lineamientos establecidos por la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas.²

De igual manera, cuando se realizan restauraciones de inmuebles patrimoniales en México, la tendencia es no considerar más allá de un breve análisis ambiental en el cual se estudian las orientaciones, asoleamientos, vientos, y en algunos casos, el comportamiento higrotérmico de estos, sin embargo, no se proponen medidas de solución referentes a la mejora del comportamiento energético satisfaciendo al mismo tiempo las necesidades de los usuarios. En cambio, se observa un rezago referente a las rehabilitaciones energéticas en inmuebles patrimoniales en México con respecto a otros lugares del mundo. Por otro lado, en las intervenciones de restauración no se le da prioridad al consumo energético o a las estrategias de mejora tanto para el confort higrotérmico de los usuarios, así como para el ahorro energético.

No obstante, una rehabilitación energética podría no únicamente mejorar el consumo energético y los niveles de confort obtenidos en los espacios interiores de los inmuebles patrimoniales, sino que podría llegar a ser una

² Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, Diario Oficial de la Federación, el 6 de mayo de 1972.

herramienta de ayuda para mejorar la conservación de estos inmuebles en algunas regiones del país, en donde a causa del tipo de clima, resulta necesario recurrir a la instalación de sistemas de acondicionamiento, sin tomar a consideración las medidas necesarias para causar el menor deterioro posible en las edificaciones.

Con el fin de solucionar estos problemas de consumo energético / confort en edificaciones patrimoniales / respeto a los valores patrimoniales, se han realizado intervenciones alrededor del mundo las cuales los investigadores han denominado rehabilitaciones energéticas, de las cuales su principal finalidad es lograr una disminución en el consumo energético del edificio, mientras se cumplen con los requerimientos de confort del usuario. En las investigaciones recientes sobre esta área de estudio, se ha podido determinar que las intervenciones de rehabilitación energética en edificaciones históricas se encuentran determinadas por cuatro problemáticas principales.

La primera problemática es referente a que la conciliación entre el ahorro energético/ optimización de la comodidad y los valores del patrimonio es vista como una tarea muy difícil o inclusive imposible, la segunda, es que aún existe un desconocimiento importante sobre la aplicación de nuevas tecnologías ya que estas podrían posiblemente generar mayor daño que beneficio, la tercera problemática es referente a la falta investigación sobre el comportamiento y la reacción de las nuevas tecnologías al paso del tiempo, y por último, la cuarta problemática es que la idea más popular en la conservación patrimonial, es que el estado original del inmueble debe ser restaurado por materiales y métodos de construcción tradicionales en la medida que sea posible.³

³ Michael De Bouw, et al., *Second International Conference on Energy Efficiency and comfort of historic buildings*, Bruselas, Flanders Heritage Agency, 2016, p.ii

Considerando lo anterior mencionado, con esta investigación se busca proponer una metodología que combine las necesidades de un inmueble patrimonial y las necesidades de confort higrotérmico del usuario, mientras se busca el ahorro energético, apegándose a las normas mexicanas existentes. Por lo tanto, esta metodología debe permitir una relación equilibrada entre tres variables principales: Ahorro energético, confort de los usuarios, y respeto de los valores patrimoniales, con la finalidad de diagnosticar energéticamente a los inmuebles patrimoniales para poder realizar la propuesta de soluciones que permitan la mejora de la eficiencia energética en su funcionamiento cotidiano, buscando al mismo tiempo satisfacer las necesidades de confort higrotérmico de los usuarios y aumentar la vida útil del inmueble promoviendo su conservación.

Además, se buscará que la metodología propuesta sea desarrollada de tal manera que logre integrarse a las metodologías de restauración patrimonial, lo cual generaría que sea más factible el incorporar acciones de rehabilitación energética en la restauración patrimonial.

Se toma como caso de estudio un inmueble con valor patrimonial ubicado en Culiacán, Sinaloa, México, una zona del país que presenta clima cálido-semiseco, donde las temperaturas que se registran en la temporada cálida pueden sobrepasar los 40°C, ocasionando que sea necesario el uso de sistemas de acondicionamiento artificial para enfriar los espacios interiores. Destacando que, estos sistemas son instalados en inmuebles patrimoniales sin tomar a consideración los criterios y la reglamentación establecidas en las leyes correspondientes. Además, el uso desmedido de estos sistemas, ocasiona que el consumo eléctrico sea elevado, y que a su vez se produzcan emisiones de gases de efecto invernadero por su uso, los cuales son dañinos para la salud.

Asimismo, es importante mencionar que, la metodología producto de esta investigación tendrá un alcance enfocado al confort higrotérmico, puesto que, los sistemas de acondicionamiento artificial como aires acondicionados, son los que consumen la mayor cantidad de energía eléctrica en las zonas cálida, de igual manera, esto permitirá un acercamiento más a fondo de la problemática específica.

En este sentido, el objeto de estudio será la Rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales por medio de metodología de diagnóstico del estado actual de las edificaciones, tomando como variables de análisis principales el clima y confort, el edificio y la energía, con el fin principal de mejorar la conservación patrimonial, siempre considerando dos aspectos, el consumo energético actual y el desempeño higrotérmico, para lograr proponer los sistemas o estrategias más adecuadas para la mejora de la eficiencia energética de inmuebles patrimoniales en cada caso específico.

Para lo cual, se han planteado las siguientes preguntas de investigación:

Pregunta principal

1.- ¿Es posible establecer una metodología para la rehabilitación energética de un inmueble patrimonial, por medio de la cual se logre una relación equilibrada entre eficiencia energética, confort de los usuarios y conservación patrimonial?

Preguntas secundarias

2.- ¿Qué aspectos debe contemplar una metodología de rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales?

3.- ¿Qué criterios y principios se deben emplear en la rehabilitación energética de un inmueble patrimonial para la mejora de la eficiencia

energética y del desempeño higrotérmico, respetando los valores patrimoniales?

Y como hipótesis a estas preguntas de investigación, se plantea que:

1.- Por medio de una metodología que contemple el análisis de las variables necesarias, es posible lograr proponer una rehabilitación energética en un inmueble patrimonial, en la cual se disminuya su consumo energético, se brinden condiciones de confort higrotérmico, y al mismo tiempo se respeten los valores patrimoniales.

2.- Una metodología de rehabilitación energética debe contemplar aspectos del clima y confort, aspectos del edificio como materiales y sistemas constructivos para identificar los sistemas pasivos con los que cuenta, aspectos energéticos de consumo operacional, y la selección de estrategias de mejora con base al respeto a los valores patrimoniales.

3.- Es posible realizar una rehabilitación energética en inmuebles patrimoniales, siguiendo criterios de intervención que respeten las leyes de protección patrimonial y las cartas internacionales de conservación patrimonial, y que al mismo tiempo se logre mejorar la eficiencia energética y el confort.

Justificación del tema

El estudiar la rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales y la búsqueda de métodos que ayuden a diagnosticar el estado actual de estos, para así poder dar soluciones que permitan disminuir el consumo energético, es sumamente importante para el futuro del patrimonio edificado de nuestro país, puesto que puede contribuir a la conservación de estos, al servir como una herramienta para intervenirlos de la manera más adecuada de acuerdo a sus condiciones reales. Es necesario tomar en cuenta que un inmueble se mantiene con vida durante un periodo más

amplio de tiempo cuando resulta útil para la sociedad, considerando los aspectos sociales, funcionales y económicos del uso.

Con la revisión del estado del arte sobre esta área de estudio fue posible determinar que las investigaciones referentes a la rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales necesitan tener más opciones metodológicas de análisis, para poder atacar la gran diversidad de edificaciones históricas que existen en el contexto mexicano. Al igual que en la restauración, cada caso de estudio cuenta con características únicas, para lo cual se han tenido que desarrollar diversas técnicas y metodologías que permitan cubrir todos los aspectos requeridos.

Por otro lado, los estándares de eficiencia energética están siendo aplicados en mayor medida en las nuevas edificaciones, sin embargo, al aplicar estos estándares a monumentos históricos se podría promover y facilitar su conservación, al disminuir el consumo energético se podrían destinar esos recursos para su mantenimiento al necesitar menos recursos económicos para su funcionamiento. Como se menciona en el documento *Rehabilitación Energética de Edificios*, "La rehabilitación energética de la edificación existente puede suponer reducciones significativas del consumo energético y de las emisiones de CO₂, posibilitando a un tiempo un mejor uso de los recursos energéticos y materiales".⁴ es decir, si por medio de la metodología propuesta se logra reducir el consumo de energía, de igual manera se disminuirían las emisiones de CO₂.

Es bien sabido que para que en un lugar exista cierto nivel de confort, es necesario que existan combinaciones adecuadas y niveles adecuados distintos parámetros como iluminación, ventilación, sonido, olor, colores,

⁴ Helena Granados Menéndez, *Rehabilitación Energética de Edificios*, Madrid, Tornapunta, 2014, p. 42

temperatura, etc., sin embargo, posiblemente hay parámetros que juegan un papel más importante que otros, como menciona Víctor Olgyay, la sensación de equilibrio térmico en un espacio arquitectónico es la más importante, ya que sin este "sería imposible cualquier definición de confort".⁵

Además, si no se respetan los valores patrimoniales, se llegaría al mismo error que se tiene actualmente con la instalación de sistemas de enfriamiento, las cuales son instaladas indiscriminadamente, sin tomar consideraciones especiales a los monumentos históricos.

Por lo anterior mencionado, se tienen como objetivos:

- 1.- Demostrar, por medio de la aplicación de una propuesta metodológica de rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales, que es posible lograr un equilibrio entre la eficiencia energética, las condiciones de confort y el respeto a los valores patrimoniales.
- 2.- Determinar, por medio del análisis de métodos seguidos para la rehabilitación energética de inmuebles históricos, que aspectos resultan fundamentales para establecer una metodología de rehabilitación energética en la cual se equilibren los consumos energéticos, el confort higrotérmico y la conservación de los valores patrimoniales.
- 3.- Determinar aquellos criterios empleados con mayor frecuencia y establecer los criterios y principios a utilizar en esta investigación.

Estado del arte

Cuando se hacen rehabilitaciones energéticas, ya sea en inmuebles patrimoniales o inmuebles contemporáneos, se busca solucionar dos

⁵ Victor Olgyay, *Arquitectura y Clima*, Barcelona, Gustavo Gili, 1998.

problemas principales, el consumo energético o el confort de los usuarios, sin embargo en ocasiones este último es considerado como segunda prioridad. Por otro lado, cuando se hacen rehabilitaciones energéticas de inmuebles patrimoniales, entra en el procedimiento un factor adicional, la protección a los valores patrimoniales o a la importancia cultural que supone dicho edificio.

Para lograr conjugar estos tres aspectos, ya sea equilibradamente o no, se han desarrollado una serie de metodologías, las cuales si bien en ocasiones varían en algunas de sus fases o procedimientos, muestran una tendencia en algunos aspectos que consideran. A continuación, se realiza un análisis sintético de algunas de las metodologías empleadas en los últimos años en esta área de estudio. Cabe señalar, que con esta revisión no se pretende determinar si estas son correctas o incorrectas, solo se busca detectar el mejor orden metodológico y los aspectos indispensables a seguir en este tipo de estudios.

La primera metodología de que se hará mención, es la expuesta en el artículo Exemplary energetical refurbishment of the German Academy in Rome "Villa Massimo".⁶ Se explica que la meta que se tiene con la aplicación de esta metodología es lograr evaluar todos los aspectos del inmueble, para posteriormente identificar el potencial que este tiene.

Se conforma por varias fases, la primera parte de la metodología consiste en la evaluación del edificio en términos de consumo, realizando un análisis entre las instalaciones y sistemas de acondicionamiento presentes, con los perfiles de las diferentes áreas. Para el cálculo del consumo fue necesario clasificarlo por los tipos de consumos que se dan en el inmueble.

⁶ Endres, E. y Santucci, D., "Exemplary energetical refurbishment of the German Academy in Rome "villa Massimo", en Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica, septiembre 2014, pp. 160-168.

Después se propone realizar simulaciones térmicas, con las cuales será posible identificar las condiciones de confort. Además, por medio de estas es posible verificar las medidas de optimización asumidas y comprobar su efectividad.

La segunda metodología que se mencionará, es la expuesta en el artículo titulado "La eficiencia energética en edificios con valores patrimoniales".⁷ Esta metodología consta de tres fases, la primera fase es la obtención de los datos necesarios para realizar la simulación energética, la segunda fase consiste en la realización de las simulaciones energéticas y volcado de resultados en fichas de resumen de cada uno de los edificios, y la última fase corresponde a la revisión de los resultados obtenidos con la realidad mediante encuestas y facturas eléctricas.

Los datos obtenidos se introducen a un simulador, en este caso el simulador CERMA, para comparar los datos obtenidos al aplicar sistemas tradicionales de acondicionamiento que permite el simulador. Se finaliza con la comparación de estos resultados, en los cuales se muestra un rango de ahorro energético de acuerdo a las posibles mejoras.

La siguiente metodología, fue presentada en el artículo Energy environmental monitoring in historical buildings; a simplified methodology for modeling realistic retrofitting scenarios. The case study of Schoonselhof Kasteel in Antwerp (Belgium).⁸ Este artículo presenta una metodología de evaluación para edificios históricos que considera aspectos ambientales, energéticos y arquitectónicos. La metodología llevada a cabo para el

⁷ Ignacio Puig Tarín, *et. al.*, " La eficiencia energética en edificios con valores patrimoniales" en Jornada de Investigación Emergente en Conservación y Restauración de Patrimonio, 2014, pp. 01-07.

⁸ Giovanni Litti, *et. al.*, "Energy environmental monitoring in historical buildings; a simplified methodology for modeling realistic retrofitting scenarios. The case study of Schoonselhof Kasteel in Antwerp (Belgium)", en *Build Heritage 2013 Monitoring Conservation Management*, 2013, pp. 1075-1083.

monitoreo in situ, está dirigida a evaluar los consumos del edificio, el comportamiento térmico, el confort interior y las peculiaridades de construcción explotables para escenarios de retroceso. Para lograr llevar a cabo esta metodología, fueron elegidos espacios clave en cada planta, y se instalaron 26 data loggers en el edificio que median la humedad relativa y la temperatura del aire, además, se midió la intensidad de la luz y las concentraciones de CO2 en las oficinas.

En lo referente a la medición de los consumos del edificio, se consideraron únicamente los consumos relacionados con la calefacción del edificio. En cuanto a la calidad del aire interior, no tiene un impacto en la energía consumida, sin embargo tiene un efecto en la productividad de las personas, por lo tanto resulta importante considerarlo.

La cuarta metodología que se expondrá, es la presentada por la organización Maine Preservation situada en Maine, Estados Unidos, titulada *Guidelines for improving the energy performance of historic building*.⁹ Esta metodología además de presentar pasos a seguir para una rehabilitación energética de inmuebles históricos, presenta lineamientos y principios a seguir en estas intervenciones. Se compone de las siguientes fases:

1. Identificación y evaluación de las características históricas del inmueble
2. Evaluar el desempeño del inmueble
3. Procurar conservar las características históricas que fueron diseñadas para ahorrar energía y elevar los niveles de confort. Pensar en restaurar sistemas originales, en lugar de introducir nuevos.
4. Determinar las estrategias más efectivas de acuerdo al costo

⁹ Maine Preservation, *Guidelines for improving the energy performance of historic building*. Maine, 2012.

5. Desarrollar un plan de eficiencia energética a largo plazo, y se establezcan objetivos a corto, mediano y largo plazo
6. Utiliza materiales durables con un rango de vida útil de 30 años
7. Hacer cambios que sean reversibles
8. Mantener un control de la humedad.

La quinta metodología presentada es la expuesta en el borrador del estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building¹⁰, en la cual el proceso consiste en seis fases principales:

1. Iniciar el proceso de reacondicionamiento energético
2. Evaluación del inmueble y encuestas
3. Identificación de los objetivos del reacondicionamiento
4. Decidir si un reacondicionamiento energético es necesario
5. Evaluación y selección de medidas para el reacondicionamiento energético, en la cual se evalúan las posibles medidas a utilizar de acuerdo con su compatibilidad tecnológica, su importancia patrimonial, viabilidad económica, la energía, con el ambiente interior y con el ambiente exterior, y con los aspectos del uso del inmueble.
6. Toma de decisiones

Otra metodología es la presentada en el artículo Integrating conservation aspects into energy performance assessments for 20th century buildings: Canongate housing.¹¹ , en la cual se menciona que la metodología es similar a la presentada en el documento borrador del estándar Europeo

¹⁰ BSI Group, *borrador del estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building*, Londres, 2015.

¹¹ R. Atkins, R. Emmanuel y C. Hermann, "Integrating conservation aspects into energy performance assessments for 20th century buildings: Canongate housing" en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Octubre 2016, pp. 75-82.

anteriormente mencionado Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building. Se compone de cinco fases:

1. Inspección del edificio y compromiso de los ocupantes
2. Evaluación de la importancia cultural
3. Lista de posibles medidas de reacondicionamiento
4. Reducir lista de medidas por medio de la comparación con las recomendaciones de los documentos de conservación
5. Evaluación energética y de costos de las medidas de reacondicionamiento.

Haciendo un análisis de las metodologías antes mencionadas, se puede decir que una constante son cuatro aspectos o fases, estas son:

1. Evaluación de las características históricas o importancia patrimonial
2. Evaluación del consumo energético
3. Evaluación del desempeño higrotérmico del inmueble
4. Evaluación de estrategias de rehabilitación para la mejora del ahorro energético con base al valor patrimonial del inmueble

Se puede observar que la mayoría de las metodologías analizadas se enfocan principalmente en el desempeño energético del inmueble, puesto que todas ellas incluyen algún tipo de evaluación del consumo energético del inmueble, de igual manera, haciendo énfasis en la conservación de los valores patrimoniales, dejando como segunda prioridad el bienestar de los usuarios. Se intuye que con las mejoras realizadas al inmueble, un efecto indirecto podría ser la mejora del confort. Por otro lado, se considera a la rehabilitación energética como una

intervención por sí sola, que puede ser realizada de manera aislada sin formar parte de una restauración de un inmueble patrimonial.

Es necesario integrar estas metodologías con un enfoque sistémico u holístico a la restauración patrimonial. Se propone, por medio del análisis de las metodologías, hacer una propuesta de una metodología que pueda complementar a una restauración de un inmueble patrimonial y viceversa. Es decir, que se contemplen todos los puntos y aspectos más relevantes para realizar una rehabilitación energética, pero que pueda ser integrada a una metodología de restauración. Se realizó un breve análisis de algunas metodologías para la restauración de inmuebles patrimoniales:

Autor	Título	Fases
Antoni González & Moreno Navarro ¹²	Por una metodología de la intervención en el patrimonio arquitectónico como documento y como objeto arquitectónico.	Esquema metodológico básico: 1. Lectura previa 2. Exploración física 3. Acumulación de información para diagnosis y definición de objetivos 4. Diseño y definición de intervenciones 5. La obra 6. Participación de los usuarios 7. Difusión y comunicación
Azevedo Salomao et al. ¹³	Estación de Ferrocarril de San Lázaro, Investigación, Análisis y Proyecto de Restauración	1. Análisis arquitectónico 1.1. Análisis funcional 2. Análisis Ambiental Iluminación Orientación Ventilación Asoleamiento Protección Sonora 3. Análisis expresivo 4. Análisis estructural 5. Análisis constructivo
Jaime Font Fransi & Manuel Torres Hurtado ¹⁴	Proyecto de conservación y restauración para un sitio y un monumento en la ciudad de Querétaro.	1. Antecedentes históricos 2. Análisis funcional 3. Análisis formal 4. Análisis ambiental Orientación Ventilación Iluminación Temperaturas

¹² Antoni González y Moreno-Navarro, *Por una metodología de la intervención del patrimonio arquitectónico como documento y como objeto arquitectónico*, pp. 72 - 79

¹³ Eugenia María Azevedo Salomao, et al., *Estación de ferrocarril San Lázaro, Investigación, Análisis y Proyecto de Restauración*, Ciudad de México, ENCRM, 1981.

¹⁴ Jaime Font Fransi y Manuel Torres Hurtado, *Proyecto de conservación y restauración para un sitio y un monumento en la ciudad de Querétaro*, Guanajuato, Universidad de Guanajuato, 1993.

		5. Análisis estructural 6. Análisis de la infraestructura 7. Análisis de la supraestructura 8. Sistemas constructivos 9. Materiales e instalaciones 10. Análisis de deterioros 11. Diagnóstico general del edificio
Mario Alberto Ubico Calderón ¹⁵	Antiguo templo de N. S. de los Remedios de la Antigua Guatemala: Restauración y Habilitación de su atrio.	1. Análisis del entorno inmediato 2. Análisis histórico 3. Sistemas constructivos 4. Estudio arquitectónico y expresivo 5. Análisis de proporciones 6. Análisis de materiales 7. Análisis de diagnóstico, pronóstico y prioridades

Tabla 01. Análisis de metodologías de restauración de inmuebles patrimoniales.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Considerando los aspectos básicos que debe tener una metodología para una rehabilitación energética, las metodologías de restauración de inmuebles patrimoniales no cuentan con las fases indispensables para realizar este tipo de intervenciones. Para la evaluación del desempeño higrotérmico del inmueble, lo más cercano es el análisis ambiental, sin embargo en la mayoría de los casos no se realiza con la profundidad necesaria, por otra parte, para la evaluación del consumo energético no existe ningún análisis en las metodologías, ni para la evaluación de las estrategias de mejora para el ahorro energético con base al valor patrimonial del inmueble.

Por lo tanto, se podría partir de un análisis ambiental, el cual integrara los procedimientos necesarios para una evaluación del desempeño higrotérmico, y fuera complementado y adecuado con las fases necesarias de evaluación y diagnóstico para realizar una rehabilitación energética en un inmueble patrimonial.

¹⁵ Mario Alberto Ubico Calderón, *Antiguo templo de N. S. de los Remedios de la Antigua Guatemala: Restauración y Habilitación de su atrio*, Tesis de Maestría en Restauración, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2008.

Estrategia metodológica

Para lograr cumplir con los objetivos propuestos para esta investigación, se ha establecido una estrategia metodológica la cual se compone de diversos análisis cuantitativos y cualitativos. Siendo la principal aportación una propuesta metodológica para la rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales, que logre una relación equilibrada entre el consumo energético, el confort de los usuarios y el respeto a los valores patrimoniales, se ha planteado el realizar una revisión de casos análogos donde se realizaron intervenciones de rehabilitación energética en inmuebles patrimoniales, para identificar los criterios que son empleados con mayor frecuencia en este tipo de intervenciones.

Asimismo, al buscar integrar la propuesta metodológica de rehabilitación energética a la restauración patrimonial, se parte de la investigación realizada por Josué Jacob Tello Rodríguez¹⁶, sobre análisis ambiental, para, por medio de la revisión de diversas metodologías de rehabilitación energética para inmuebles patrimoniales, se buscarán aportar las siguientes etapas necesarias para lograr una rehabilitación energética.

Una vez definida la propuesta metodológica de rehabilitación energética para inmuebles patrimoniales, se seleccionará una unidad de análisis que servirá como caso de estudio para poner a prueba la metodología propuesta. La metodología se compondrá de fases en las cuales será necesario realizar análisis cualitativos y cuantitativos, donde además se hará uso de herramientas de medición. Todo esto para servir para dar un veredicto sobre la efectividad de la metodología propuesta en lo referente a los objetivos planteados.

¹⁶ Josué Jacob Tello Rodríguez, *Propuesta metodológica para análisis ambiental de edificios patrimoniales. Tres casos de estudio en el Centro Histórico de Morelia, Michoacán, México*, Tesis de Maestría en Arquitectura, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Arquitectura, 2015.

Capítulo 1.

La rehabilitación energética en la restauración de inmuebles patrimoniales

Considerando que, el objetivo principal de esta investigación es desarrollar una propuesta metodológica para rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales, que pueda ser integrada a las metodologías de restauración, este capítulo tiene como objetivo responder a tres interrogantes principales: ¿Qué es la rehabilitación energética?, ¿cómo se vincula la rehabilitación energética con la restauración?, y por último, ¿cómo se han estado trabajando las rehabilitaciones energéticas en inmuebles patrimoniales alrededor del mundo?.

Para lo cual, se partirá de la definición del concepto principal, el cual es rehabilitación energética, incluyendo asimismo, los principales aspectos que considera. Se continuará con exponer la importancia de vincular la rehabilitación energética a la práctica de la restauración patrimonial, para lo cual será necesario definir lo que se entenderá como inmuebles patrimoniales durante esta investigación, y las posibles aportaciones que podrían tener este tipo de intervenciones a la conservación de inmuebles patrimoniales.

Asimismo, se realiza una breve comparación entre la visión que se tiene sobre eficiencia energética y ahorro energético en México, y la visión de conservación patrimonial, por medio de una revisión de las principales leyes y normas que atienden cada una de las dos visiones.

Se finalizará con un análisis de casos análogos en donde se hayan realizado intervenciones de rehabilitación energética en edificaciones históricas, lo cual permitirá identificar las principales limitantes y problemáticas a las que se enfrentan al realizar este tipo de intervenciones, así como también, los principales criterios y principios que rigen a estas intervenciones.

1.1. ¿Qué es la rehabilitación energética?

El concepto que se expone como base para esta investigación es lo que se considera como rehabilitación energética, el cual a su vez se encuentra conformado por otros conceptos importantes. Estos conceptos son: Eficiencia energética y confort ambiental. Para comprender mejor la definición del concepto Rehabilitación Energética, es necesario comenzar por ver lo que se entiende por rehabilitación.

El término rehabilitación, es una palabra que puede ser empleada en diversas áreas de estudio, entendiéndose como algo diferente en cada

una. Por ejemplo, en medicina, la rehabilitación se entiende como "conjunto de métodos que tiene por finalidad la recuperación de una actividad o función perdida o disminuida por traumatismo o enfermedad".¹ En cambio, cuando sobre lo que se habla es la rehabilitación de un inmueble, según la Carta de Lisboa sobre rehabilitación urbana integrada, la rehabilitación de un edificio se puede definir como:

Las acciones que tienen como fin la conservación y consolidación de un edificio, así como también la preservación o sustitución de la totalidad o parte de su diseño original o correspondientes a los momentos más importantes de su historia.²

Como se puede observar, en ambos casos, el fin de la rehabilitación se enfoca en mejorar el estado actual del sujeto en cuestión. Cuando se rehabilita un edificio, las actividades realizadas suelen estar asociadas a "una necesidad puntual por algún problema: reparación de goteras y humedades, un lavado de cara de la fachada del edificio, sustitución de las ventanas, cambio de tuberías de agua caliente, etc.".³ Estos daños como goteras y humedades, pueden ser vistas como el traumatismo o enfermedad que es mencionado en la definición de rehabilitación en medicina, las cuales buscan ser reparadas con la finalidad de mejorar la conservación y elevar el periodo de vida útil.

Por lo tanto, una rehabilitación energética se puede entender como "el conjunto de actuaciones para la adecuación del parque edificatorio existente que tienen como finalidad mejorar su comportamiento

¹ Real Academia Española, Diccionario de la Real Academia Española, Madrid, Espasa Libros, S. L. U., 2014.

² Carta de Lisboa sobre Rehabilitación Urbana Integrada, Primer Encuentro Luso-Brasileño de Rehabilitación Urbana, Lisboa, Octubre de 1995.

³ Fundación de la energía de la comunidad de Madrid, *Guía de rehabilitación energética de edificios de vivienda*, 2008, p. 08.

energético".⁴ ya sea al trabajar con la mejora de su envolvente, al utilizar sistemas que funcionen a base de energías renovables o empleando sistemas ahorradores.

Además, este tipo de actuaciones, requiere "considerar la respuesta global del mismo frente a las condiciones globales exteriores, considerándolo como un sistema único, y la actuación en cada uno de los subsistemas que lo componen: elementos de cerramiento de las edificaciones, sistemas de acondicionamiento térmico y sistemas de acondicionamiento lumínico".⁵, es decir, es necesario tener una visión holística del funcionamiento del inmueble.

Cuando se realiza una intervención de rehabilitación energética ya sea en un inmueble contemporáneo o una edificación histórica, el objetivo principal de esta intervención es mejorar la eficiencia energética del inmueble al disminuir el consumo energético, mientras sean cubiertas las necesidades de confort de los usuarios. En la Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de Vivienda,⁶ se menciona que además del factor usuario, los principales factores que pueden influir en el consumo final de energía con base a las necesidades energéticas presentadas, son:

- La zona climática y orientación del edificio.
- Forma y volumen del edificio.
- Sección constructiva de fachadas y cubiertas.
- Tipo de instalaciones y equipos.
- Fuentes energéticas disponibles.

⁴ Helena Granados Menéndez, *Rehabilitación Energética de Edificios*, Madrid, Tornapunta, 2014, p. 4

⁵ *ibidem*.

⁶ Fundación de la energía de la comunidad de Madrid, *Guía de Rehabilitación Energética de edificios de viviendas*, Madrid, 2008.

De igual manera, Andrew Richards menciona que para mejorar el rendimiento energético de un edificio histórico, es necesario observarlo como un conjunto de factores para tomar en cuenta "su ubicación, la construcción, sus condiciones, la eficiencia de los servicios que se prestan en él, el valor patrimonial, su significación y el comportamiento de sus habitantes".⁷ El análisis sistémico de esta clase de inmuebles llevará a un entendimiento más completo y permitirá realizar la rehabilitación de manera efectiva.

Por lo tanto, cada uno de estos factores deberá ser abordado mediante diferentes tipos de actuaciones. Cuando se busca disminuir la demanda energética de un edificio se debe trabajar con la mejora de la envolvente térmica de este. Por otro lado, cuando lo que se busca es la mejora de la eficiencia energética implantada, se debe trabajar con la instalación de equipos ahorradores que produzcan mejores rendimientos con menos consumo.

De acuerdo al Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Existentes,⁸ existen cuatro tipologías de actuaciones en la rehabilitación energética:

1. Mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica
2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación
3. Sustitución de energía convencional por biomasa en las instalaciones térmicas

⁷ Andrew Richards, "Cómo mejorar la eficiencia energética de los sitios y construcciones históricas conservando su carácter, valores e integridad histórica" en Revista PH, 88, octubre 2015, pp. 272-275.

⁸ IDAE, Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Existentes, consultado en <http://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/programa-de-ayudas-para-la-rehabilitacion-energetica-de-edificios-existentes>

4. Sustitución de energía convencional por energía geotérmica en las instalaciones térmicas.

Por su parte, en el Manual de Buenas Prácticas en la Rehabilitación Energética Integral de los Edificios,⁹ se mencionan cuatro estrategias fundamentales en las actuaciones de rehabilitación energética, las cuales son las siguientes: Estrategias relacionadas con la envolvente, estrategias activas de producción energética mediante energías renovables, el aprovechamiento sostenible de los recursos y materias primas, y por último, el rol social y la participación ciudadana.

Por lo tanto, existen diversas maneras de realizar una rehabilitación energética dependiendo de la o las estrategias que sean empleadas, las cuales para ser decididas, es necesario conocer el estado actual del inmueble, los requerimientos de los usuarios, así como también las condiciones medioambientales existentes en el lugar donde se ubica el inmueble.

Así mismo, de acuerdo a la Guía de Rehabilitación Energética de edificios de viviendas, "las características del edificio en el momento de plantearse una rehabilitación energética son las que determinarán las necesidades de cada edificio...",¹⁰ por lo tanto, resulta indispensable diagnosticar al inmueble por medio del conocimiento del estado actual con un análisis detallado de los principales aspectos que figuran en una rehabilitación energética.

Además, siendo el principal objetivo de este tipo de intervenciones el disminuir el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero, procurando satisfacer las necesidades de confort de los

⁹ Programa Eraikal, *Manual de Buenas Prácticas en la Rehabilitación Energética Integral de los Edificios*, País Vasco, 2015.

¹⁰ Fundación de la energía de la comunidad de Madrid, *op. cit.*, p. 23

usuarios, resulta necesario conocer el consumo de energía actual, así como también las condiciones higrotérmicas. Sin embargo, cuando son inmuebles históricos con valor patrimonial a los que se les va a realizar una rehabilitación energética, resulta indispensable incluir una variable más, la conservación de inmuebles históricos y patrimoniales, por medio del respeto a los valores patrimoniales (figura 01).

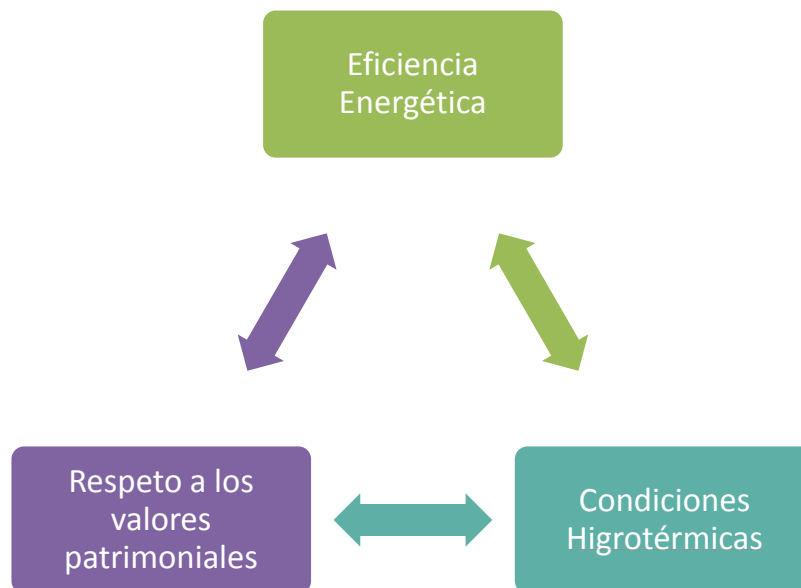


Figura 01. Diagrama de conceptos principales que intervienen en la Rehabilitación energética de monumentos históricos

Fuente: Elaboración propia. Catalina Borbolla Gaxiola

Por lo tanto, se entiende que una rehabilitación energética de un inmueble está enfocada en mejorar el estado actual del inmueble, referente a los consumos energéticos operacionales que posee, así como también al confort térmico, lumínico o sonoro. Siendo así, una rehabilitación energética en inmuebles patrimoniales debe ser fundamentada considerando tres puntos principales: ahorro energético, confort de los usuarios y respeto a los valores patrimoniales.

1.1.1. Aspectos que considera

Como se mencionó anteriormente, una rehabilitación energética contempla dos aspectos principales: El ahorro energético y el confort de los usuarios, mientras que se intenta lograr un equilibrio entre ambos.

Actualmente los humanos dependemos de las tecnologías para vivir con el grado de comodidad necesaria para satisfacer los requerimientos de nuestro nivel de vida, por lo cual la energía eléctrica juega un papel sumamente importante en la sociedad global, ya que la mayoría de sistemas o aparatos usados en nuestra vida cotidiana dependen de la energía generada por los hidrocarburos. Esto ha ocasionado que el consumo de energía vaya en aumento en todo el mundo, convirtiéndose en un problema global que pone en riesgo el bienestar del medio ambiente.

Haciendo énfasis en el área de la construcción, el consumo energético excesivo se ha intentado solucionar con el uso eficiente de la energía y el ahorro energético, lo cual puede ser logrado con mediante un gran número de maneras, como por ejemplo, con el uso de aparatos tendientes a consumir menos energía que los aparatos convencionales, así como también con la aplicación de sistemas para la mejora del confort térmico que funcionen con energías renovables, siempre buscando el ahorro energético.

Como respuesta a esto, ha surgido un término conocido como eficiencia energética, sobre el cual el Consejo Mundial de Energía dice que:

Energy efficiency improvements refer to a reduction in the energy used for a given energy service (heating, lighting, etc.) or level of activity. This reduction in the energy consumption is not necessarily associated with technological changes, since it can also result from better organisation and management

or improved economic efficiency in the sector (e.g. overall gains of productivity).¹¹

Es decir, la eficiencia energética se refiere a que menor cantidad de energía es consumida para lograr el mismo nivel de confort deseado, pero no siempre se encuentra asociado a cambios tecnológicos. Por otro lado, la Agencia Internacional de Energía menciona que la eficiencia energética es "una manera de gestionar y restringir el crecimiento del consumo energético. Algo es más eficiente energéticamente si genera una mayor cantidad de servicios por la misma cantidad de energía, o la misma cantidad de servicios por menos cantidad de energía".¹²

Mientras que la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía dice que el aprovechamiento sustentable de la energía es "el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo, incluyendo la eficiencia energética".¹³ Ahora, para el consumo eficiente de la energía menciona que la eficiencia energética abarca

Todas las acciones que conlleven a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía. Queda incluida dentro de esta definición, la sustitución de fuentes no renovables de energía por fuentes renovables de energía.¹⁴

El Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica, define eficiencia energética como

¹¹ World Energy Council, *Energy Efficiency: A worldwide review. Indicators, Policies, Evaluation*, Londres, World Energy Council and French Environment and Energy Management Agency, 2004, p. 03.

¹² International Energy Agency, consultado el 12 de enero de 2017, en <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/>

¹³ Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Diario Oficial de la Federación 28 de noviembre de 2008, México.

¹⁴ *ibidem*.

...aquella actividad cuyo fin es promover e inducir, con acciones y resultados, el uso eficiente de energía eléctrica, a través, de proyectos que permitan la vinculación entre la innovación tecnológica y el consumo de energía eléctrica, mediante la aplicación de tecnologías eficientes.¹⁵

En la Guía de Buenas Prácticas para el Ahorro de Energía en la Empresa, se menciona que eficiencia energética es la "relación entre la producción de energía útil u otro producto físico útil que se obtiene por medio de un sistema, un proceso de conversión o una actividad de transmisión o almacenamiento y la cantidad de energía consumida (medida en kWh/kWh, toneladas/kWh o en cualquier otra medida física del producto útil, como la tonelada/km transportada, etc.)".¹⁶

Para fines de esta investigación se entenderá como eficiencia energética al uso de la energía para satisfacer las necesidades de confort de las personas, apoyándose de las tecnologías para disminuir la cantidad de energía empleada y que al mismo tiempo se logren los niveles de comodidad necesarios, en pocas palabras, lograr un uso racional de la energía. En este caso en particular, se busca la mejora del confort térmico en un inmueble patrimonial, para lo cual resulta necesario entender que es el confort, seguido de lo que es el confort térmico.

Las sensaciones físicas que percibe nuestro cuerpo, son traducidas por nuestro cerebro como placenteras o no placenteras, confortables o no confortables. Todas estas sensaciones son determinadas por una serie de factores tales como el estado de salud en que se encuentre nuestro cuerpo, las actividades que realicemos o por nuestro humor. Cuando predominan las sensaciones placenteras, se considera que el individuo se encuentra en confort.

¹⁵ Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, diciembre de 2016, consultado en http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=219

¹⁶ OPTIMAGRID, *Buenas Prácticas para el ahorro de energía en la empresa*, Universidad de San Jorge, 2011, p. 10

El confort según Witold Rybczynski¹⁷ es sencillamente sentirse bien. Este autor menciona que la idea de lo que es comfortable ha cambiado, y aunque nuestro cuerpo no haya cambiado, la idea de lo que es comfortable difiere de la de hace cien años. Empero, si bien la idea de confort ha evolucionado, continua conservando casi el mismo significado, se busca comodidad, eficiencia, calma, placer, intimidad. Al ser el confort una sensación, puede pensarse que es subjetivo y que no puede ser medible, sin embargo, en cualquier época histórica se puede determinar un consenso sobre lo que es comfortable y lo que no.

Desde el enfoque arquitectónico, se considera que la tarea básica de un arquitecto es crear espacios que sean habitables, que en su totalidad generen condiciones de confort desde todos sus aspectos. Rafael Serra (1995) menciona que el confort de un ambiente dependerá de dos particularidades; de los parámetros ambientales de confort y de los factores de confort del usuario. Los parámetros ambientales son todas aquellas características físicas y ambientales de un espacio, las cuales son clasificadas en específicas y generales. Por otro lado están los factores de confort del usuario, son aquellos en los que intervienen las condiciones del usuario como sus condiciones biológicas-fisiológicas (herencia, sexo, edad, etc.), condiciones sociológicas (tipo de actividad, educación, ambiente familiar, moda, tipo de alimentación), y por última las condiciones psicológicas.

Para fines de esta investigación, se hará énfasis en uno de los parámetros ambientales de confort específicos, los cuales pueden ser térmicos, acústicos o visuales, generando el confort acústico, confort visual y confort climático, el cual se divide en calidad del aire y en confort térmico. La

¹⁷ Witold Rybczynski, *La casa. Historia de una idea*, Buenos Aires, EMECÉ, 1991

característica principal de estos parámetros es que cuentan con unidades físicas medibles (grados centígrados, decibelios, lux, etc.). El estudio se centra en el confort higrotérmico.

Si bien como se mencionó en la introducción de esta investigación, una de las motivaciones que llevaron a enfocarse al confort higrotérmico, fue que el buscar crear ambientes térmicos confortables por medio de sistemas de acondicionamiento artificial genera un consumo elevado de energía eléctrica, no obstante, otra de las motivaciones fue, que este parámetro de confort ambiental se convierte en un factor de gran importancia que interviene en la comodidad de las personas, y el motivo de esto tiene una explicación sencilla. Juhani Pallasmaa¹⁸ menciona la importancia del sentido háptico o sentido del tacto en la percepción de un espacio, puesto que la piel es nuestro órgano más extenso, más antiguo y más sensible, y por medio de este son captadas las características de los espacios, "la piel lee la textura, el peso, la densidad y la temperatura de la materia",¹⁹ se convierte en una herramienta que nos permite de cierta manera materializar lo que no podemos ver, "nuestra piel localiza la temperatura de los espacios con una precisión certera".²⁰, por lo tanto, el confort higrotérmico sería fundamental buscar lograr un espacio confortable.

Si bien las investigaciones sobre el confort higrotérmico pueden tener opiniones encontradas al ser considerado como algo subjetivo que no puede ser generalizado, es posible medir ciertos parámetros que intervienen en la percepción del confort térmico, lo cual permite un acercamiento cuantitativo del rango de confort.

¹⁸ Juhani Pallasmaa, *Los ojos de la piel. La arquitectura y los sentidos*. Barcelona, España: Gustavo Gili, Barcelona, Gustavo Gili, 2014.

¹⁹ *ibidem.*, p. 68

²⁰ *ibidem.*

Muchos autores han trabajado y definido el confort térmico, coincidiendo en la mayoría de variables climáticas que influyen en el confort térmico. Víctor Olgyay²¹ puede ser considerado uno de los precursores en el estudio a fondo del confort térmico y de la zona de confort. Para él, la sensación de equilibrio térmico en un espacio arquitectónico es la más importante, ya que sin este podría ser imposible cualquier definición de confort. Los principales elementos que afectan el confort humano son; temperatura del aire, radiación solar, movimiento del aire y humedad.

Para comprender mejor cómo funciona el confort térmico, es necesario entender cómo trabaja nuestro organismo y qué papel desempeña dentro de ese sistema de pérdida y ganancia de calor. Norbert Lechner²² explica que el cuerpo humano necesita controlar la temperatura interior para funcionar adecuadamente, apoyándose en la delgada capa de piel y en el cabello trata de regular el flujo de calor, pero muchas veces resulta insuficiente por lo cual ha acudido a otras barreras de protección como la ropa para crear una capa extra de protección, y los edificios, con los cuales se pueden crear ambientes agradables.

Cuando el cuerpo humano se encuentra con calor extra del necesario, comienza a perder calor por medio de cuatro mecanismos distintos; por conducción, convección, radiación y por evaporación. El cuerpo debe mantenerse a una temperatura promedio de 37°C (36.7°C según algunos autores), y cuando la temperatura del ambiente en que se encuentra aumenta, la pérdida de calor disminuye.

Lechner²³ menciona que para crear confort térmico, se requiere de dos grupos de variables; los mecanismos de pérdida de calor (conducción,

²¹ Victor Olgyay, *Arquitectura y Clima*, Barcelona, Gustavo Gili, 1998.

²² Norbert Lechner, *Heating, cooling, lighting: Designing methods for architects*, Estados Unidos, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

²³ *ibidem*.

convección, radiación y evaporación), y las condiciones medio ambientales, que se componen de la temperatura del aire, humedad, velocidad del aire y la temperatura radiante media. La temperatura del aire determina el índice o la tasa en que el calor se pierde en el aire, por medio de la convección. La humedad relativa es la causante de que se genere sudor, lo cual puede causar discomfort. La velocidad del aire afecta el índice de pérdida de calor por medio de la convección y de la evaporación. Y por último la temperatura radiante media, de la cual se debe cuidar que sus valores se mantengan cerca de la temperatura del aire.

Para Lechner el confort térmico ocurre "cuando las temperaturas internas del cuerpo se mantienen en rangos estrechos, la humedad de la piel es baja, y el esfuerzo del cuerpo para regularse es mínimo".²⁴ Es decir, cuando se obtienen ciertas combinaciones de la temperatura del aire, humedad relativa, movimiento del aire y la temperatura media radiante, se llega al confort térmico. Estas combinaciones que logran ese confort, son mostradas en la tabla sicométrica como la zona de confort.

González Licón define al confort térmico como "...las condiciones de bienestar del individuo, pero desde el punto de vista de su relación de equilibrio con las condiciones de temperatura y humedad de un sitio determinado".²⁵ y para que esto se cumpla, se es necesario que "la combinación actual de temperatura de la piel y la temperatura del centro del cuerpo proporcione una sensación de neutralidad térmica".²⁶ Así como también, que "el calor producido por el metabolismo debe ser igual a la

²⁴ *ibidem*.

²⁵ Héctor Javier González Licón, *Vivienda tradicional de la región Purhépecha. Adecuación al medio ambiente, espacios y configuración formal*, Tesis de Doctorado en Arquitectura, Colima, Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura, 2006.

²⁶ *ibidem*., p. 153

cantidad de calor perdida por el cuerpo".²⁷, es decir, para que una persona se perciba una sensación de confort térmico es necesario de un equilibrio de factores.

Por otro lado, existen diversas técnicas o modelos para evaluar un ambiente térmico y definir una zona de confort donde se establecen rangos de temperatura para lugares específicos. Algunos de los que pueden ser mencionados por la importancia de sus aportaciones son Humphreys, Auliciems, Griffiths y Nicol. Los cuales, por medio de cálculos que se basan en datos de temperatura como la temperatura media exterior o la temperatura global. No obstante, es importante mencionar que en algunos de los modelos trabajan con rangos fijos de temperaturas, sin tomar en cuenta las posibles variaciones de temperatura que pueden existir durante el lapso de un día.

Concluyendo, si bien el confort puede ser subjetivo, por medio de la medición del confort térmico es posible estudiar la relación que presenta el cuerpo humano con las condiciones de un espacio, y con base a eso buscar lograr un equilibrio entre ambos para crear espacios más agradables. De igual manera, es importante considerar las distintas técnicas existentes para determinar el rango de confort, teniendo en cuenta las variables y características de cada uno, con base a las características particulares de la zona de estudio que se vaya a analizar.

1.2. Vinculación de la rehabilitación energética a la práctica de la restauración patrimonial

Los inmuebles patrimoniales tienen arraigados una serie de valores, los cuales de acuerdo a Aloïs Riegl²⁸ son: el valor de la antigüedad, el valor

²⁷ *ibidem*.

²⁸ Aloïs Riegl, *El culto moderno a los monumentos*, Madrid, Visor, 1987.

histórico, el valor rememorativo intencionado, el valor instrumental y el valor artístico. Estos valores son distintos a los que tiene una construcción contemporánea, ya que los inmuebles patrimoniales forman parte de la historia de una sociedad y llevan consigo hechos históricos de importancia para un grupo social determinado, dependiendo de la magnitud de estos hechos, pueden ser importantes para todo un país. Además, la arquitectura patrimonial puede definir la identidad de una sociedad.

Es por estos motivos, que para intervenir a un inmueble con estas características, deberá de existir un conocimiento especializado para lograr la delación de los valores de mayor importancia. La práctica de la restauración de bienes inmuebles se fundamenta en alargar el periodo de vida útil de los inmuebles por medio de la conservación. La Carta de Venecia se refiere a la restauración como la actividad que "Tiene como fin conservar y revelar los valores estéticos e históricos del monumento y se fundamenta en el respeto a la esencia antigua y a los documentos auténticos". Por su parte, Carlos Chanfón Olmos menciona que la restauración "es la protección sistémica de las fuentes tangibles, que sin límite previsible da pie a la paulatina disminución del carácter conjetural de la interpretación subjetiva, que obliga a cada época a replantear sus visiones del pasado, con responsabilidad de planear el futuro".²⁹

En este sentido, la restauración se fundamente en el respeto por el pasado, que se encuentra intrínseco en el inmueble, ya sea en forma de objetos, de hechos históricos, de la memoria de una sociedad o de documentos históricos. No obstante, el respeto a estas características del pasado resulta importante conservarla para la sociedad actual.

²⁹ Carlos Chanfón Olmos, *Fundamentos teóricos de la restauración*, Universidad Nacional Autónoma de México, 1996, p. 112

Por su parte, la conservación se puede definir como "todas aquellas medidas o acciones que tengan como objetivo la salvaguarda del patrimonio cultural tangible, asegurando su accesibilidad a generaciones presentes y futuras".³⁰

Sin embargo, no es posible lograr una conservación total del inmueble si no se contemplan todos los aspectos que forman parte del funcionamiento de este. Es aquí donde se propone integrar la rehabilitación energética a la restauración de los inmuebles patrimoniales, ya que esto permitirá que no únicamente se conozca el comportamiento ambiental de estos, sino que se conozca el gasto eléctrico que conlleva mantener en uso a un determinado inmueble, para poder proponer aquellas estrategias que logren disminuir el consumo eléctrico al mismo tiempo que se generan niveles de confort adecuados para los usuarios y las actividades que se realizan en él, y que esta rehabilitación ayude con la conservación del inmueble y de sus valores patrimoniales.

Se debe relacionar la rehabilitación energética con la restauración de inmuebles patrimoniales, desde las dos aportaciones principales que puede tener: La aportación que representa para la conservación del inmueble, y la aportación al cuidado medioambiental.

1.2.1. Aportación a la conservación de inmuebles patrimoniales

En este apartado, se abordarán las dos aportaciones más importantes que tendrían las intervenciones de rehabilitación energética en inmuebles patrimoniales, para lo cual, resulta indispensable definir primero qué se entiende por arquitectura patrimonial, puesto que, el significado de los valores que pueden llegar a poseer los inmuebles patrimoniales, pueden no significar lo mismo para una persona y para otra.

³⁰ ICOM, *Terminología para definir la conservación del patrimonio cultural tangible*, Nueva Delhi, 2008.

Es necesario comprender que, como menciona Josep Ballart³¹, al patrimonio histórico se le pueden atribuir tres valores distintos, los cuales abarcan aspectos variados:

- El valor de uso refiriéndose a la utilidad que este tiene para las personas, si es posible hacer con él alguna cosa, o si satisface una necesidad de la sociedad.
- El valor formal refiriéndose a la estética del inmueble, si son apreciados por su apariencia y forma.
- El Valor simbólico significativo refiriéndose a las características que poseen los objetivos del pasado que generan un vínculo con el presente, convirtiéndose en testimonios de hechos, de ideas o de personas.

Partiendo del valor simbólico significativo, la cultura una sociedad se va formando de acuerdo al contexto y el paso del tiempo, por lo cual el bagaje cultural de una sociedad, se encuentra íntimamente ligado con el valor que se le da a su patrimonio y el aprecio que se tiene hacia este. La cultura desde la antropología, esta es "el conjunto de símbolos, valores, actitudes, habilidades, conocimientos, significados, formas de comunicación y organización sociales, y bienes materiales, que hacen posible la vida de un sociedad determinada y le permiten transformarse y reproducirse como tal, de una generación a las siguientes".³² Si se observa desde esa perspectiva, se podrá aceptar la diversidad de patrimonio que hay en México, por lo tanto, no es posible definir el patrimonio edificado de México generalizando, sino que resulta necesario observar las características específicas de cada grupo social.

³¹ Josep Ballart, *El patrimonio histórico y arqueológico: valor y uso*, Barcelona, Ariel, 2002, pp. 65-66

³² Guillermo Bonfil Batalla, "Nuestro patrimonio cultural: Un laberinto de significados", en *Patrimonio Cultural y Turismo. Cuadernos*. 3, 2003, p. 46

En este sentido, Bonfil Batalla menciona que, "El conjunto de objetos culturales que los grupos dominantes han legitimado como patrimonio común de los mexicanos no abarca la totalidad de los objetos culturales que integran los diversos patrimonios que realmente existen, ni tiene el mismo significado para quienes participan de grupos culturalmente diferenciados dentro de la sociedad mexicana".³³ Un ejemplo de esto sería el valor formal, en el sentido de que un objeto puede tener un valor distinto porque el valor se le es atribuido con criterios diferentes, por ejemplo una obra de arte, una pintura o una escultura.

Cuando es un inmueble histórico el que se considera como patrimonio para una sociedad, se considera así porque existe un censo generalizado referente al valor de ese inmueble para una sociedad, ya sea porque ocurrió un hecho importante, porque complementa el paisaje urbano al haber estado ahí antes desde antes de haber nacido las personas que conforman esa sociedad, etc.

Por medio de la arquitectura histórica podemos conocer y entender a una sociedad, "un edificio ya construido tiene una vida, una segunda historia, que comprenderá todos aquellos acontecimientos que se desarrollan en su interior o en torno a él, todas aquellas modificaciones que sufre a través del tiempo para adecuarse a las necesidades de los usuarios o a los cambios de la sociedad".³⁴ por lo tanto, "el edificio histórico o monumento arquitectónico forma parte del patrimonio cultural de un pueblo y, por lo tanto, deberá preservarse".³⁵

Por otro lado, no es necesario que la arquitectura histórica sea monumental o que cuente con gran valor arquitectónico para convertirse

³³ *Ibidem.*, p. 63

³⁴ Pablo Chico Ponce de León, "Función y significado de la historia de la arquitectura", en *Cuadernos*, 4, otoño de 1991, p. 44

³⁵ *ibidem.*

en un bien cultural, formar parte del patrimonio y ser conservado, sino que merece ser conservado por ser parte de la historia de una comunidad, por lo tanto, "un objeto cultural forma parte de nuestro patrimonio porque lo consideramos nuestro y porque tiene un significado semejante para todos nosotros".³⁶

En el pasado, los inmuebles tendientes a ser conservados eran aquellos considerados como monumentos intencionados, los cuales pueden ser entendidos como una "obra realizada por la mano humana y creada con el fin específico de mantener hazañas o destinos individuales (o un conjunto de estos) siempre vivos y presentes en la conciencia de las generaciones venideras".³⁷ No obstante, esta noción se ha ampliado, convirtiéndose en patrimonio de una sociedad todo aquello a lo que se le fue otorgado un valor.

En este sentido, se pueden considerar como arquitectura patrimonial que merece ser conservada, a un gran número de edificaciones localizadas por todo el país, de las cuales algunas de ellas no cuentan con declaración como monumentos históricos y no tienen la protección suficiente, ocasionando pérdidas de esta o deterioros. Por lo cual, es importante considerar la arquitectura patrimonial de cada sociedad como importante, quizás para un grupo en específico, pero relevante de igual manera.

Ahora, abordando las aportaciones que podría tener la rehabilitación energética en esta arquitectura, la primera aportación que se mencionará es el cuidado medioambiental que supone realizar una rehabilitación energética. La realidad actual es que la idea de lo que es confortable se ha modificado desde los últimos 100 años, y los cambios de usos que

³⁶ *ibidem.*, p. 53

³⁷ Alois Riegl, *El culto moderno a los monumentos*, Madrid, Visor, 1987, p. 23

tienen los inmuebles patrimoniales han ocasionado alteraciones tanto en su distribución espacial como en su desempeño higrotérmico. Esto ha ocasionado un deslinde entre las personas y los espacios arquitectónicos, necesitando de sistemas de acondicionamiento ambiental para crear ambientes artificiales, los cuales pueden no resultar adecuados para su salud, para el inmueble y para el medioambiente, ya que el uso desmedido de la energía ha generado que se incremente la contaminación por CO₂, un gas de efecto invernadero.

Aunado a esto, las condiciones que se generan en los espacios cerrados enfriados artificialmente, provocan lo que se denomina el Síndrome del Edificio Enfermo (SEE), el cual fue reconocido como una patología por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 1982. Este, puede ser entendido como el "conjunto de síntomas diversos que presentan, predominantemente, los individuos en estos edificios y que no van en general acompañados de ninguna lesión orgánica o signo físico, diagnosticándose, a menudo, por exclusión".³⁸

De igual manera, si bien no existe una sintomatología estricta presentada en los usuarios, de acuerdo a la NTP 289 podrían existir una serie de síntomas que resultan más recurrentes: Irritación de ojos, nariz y garganta, sequedad de mucosas y piel, respiración dificultosa, ronquera, erupciones cutáneas, comezón, hipersensibilidades inespecíficas, náuseas, mareos y vértigos, dolor de cabeza, fatiga mental, elevada incidencia de infecciones respiratorias y resfriados.³⁹

Los inmuebles históricos con valores patrimoniales, no se encuentran exentos de otorgarles usos en los cuales se requiera de la instalación de sistemas de acondicionamiento artificial para crear ambientes térmicos

³⁸ NTP 289, Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo, Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España, 1991, p. 01

³⁹ *ibidem.*, p. 02

agradables por largos periodos de tiempo, periodos en los cuales los trabajadores se encuentran sometidos a un ambiente con calidad de aire cuestionable. Por lo tanto, si se realizar rehabilitaciones energéticas en inmuebles patrimoniales para reducir el uso de sistemas artificiales de acondicionamiento, no se estaría únicamente trabajando en la mejora del cuidado medioambiental, sino también en la mejora de la calidad del aire para los usuarios.

Antón capitel menciona que es importante "mantener una mentalidad rigurosamente ecológica en las obras de restauración, ya que restaurar es, en definitiva, un acto ecológico".⁴⁰ Relacionando esto con lo que se considera como edificio verde, se puede destacar el reducir el gasto de energía. Sostiene que el "comportamiento ecológico es muy coherente con la naturaleza arquitectónica de los edificios antiguos y con la memoria de la vida que cobijaron".⁴¹

La segunda aportación que se mencionará, es la conservación del inmueble. Este estudio se evoca a una localidad con un tipo de clima cálido seco durante la mayor parte del año, donde los usuarios buscan satisfacer sus necesidades de confort térmico por medio de la instalación de sistemas de enfriamiento, los cuales generan de manera artificial las condiciones consideradas idóneas para ellos. Por lo tanto, las problemáticas generadas ahí, en los inmuebles patrimoniales, pueden resultar puntuales para lugares que cuenten con condiciones similares. No se busca generalizar, sino exponer una problemática real que está afectando la conservación de los inmuebles patrimoniales.

⁴⁰ Antón González Capitel, "Técnicas viejas y técnicas nuevas. El edificio como buen agente ecológico y otras experiencias especiales en la restauración de edificios históricos", en *Patrimonio, restauración y nuevas tecnologías*, Valladolid, Instituto Español de Arquitectura, 1999 , p. 138

⁴¹ *ibidem.*, p. 139

La problemática que se presenta a continuación, se puede direccionar directamente con una idea cultural de confort que se tiene en la región, sin embargo, no puede pasar desapercibida. Al realizar una breve revisión de la arquitectura pública de mayor importancia en la ciudad, es posible observar un problema recurrente. La instalación de sistemas de enfriamiento, lo cual genera la destrucción de elementos de constructivos del inmueble, los somete a cargas adicionales, y puede de igual manera tener efectos secundarios como la presencia de humedades causadas por estos sistemas. Así mismo, generan un impacto visual negativo inaceptable, puesto que podría ser evitado, si se tuvieran alternativas, además, como se menciona en la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas,⁴² en su artículo 45, el funcionamiento de las instalaciones y servicios no deberá alterar los valores del monumentos.

Sin embargo, nos enfrentamos al problema que, para eliminar el agente que causa este deterioro, resulta indispensable ofrecer a los usuarios alternativas que logren satisfacer sus necesidades de confort, mientras que al mismo tiempo estas no sean perjudiciales para el inmueble en sí.

La acción humana tiene un papel sumamente importante en la conservación de los bienes culturales, ya que de ella depende el nivel de conservación que pueden llegar a tener estos bienes. Un deterioro se puede entender como "todas aquellas características que presentan los materiales constructivos que son ajenas a su naturaleza y son consecuencia de la acción de determinados agentes sobre ellos",⁴³ en los cuales se presenta la relación efecto-causa-agente. El agente de deterioro que interesa por la problemática antes mencionada, es antrópico, los

⁴² Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, Diario Oficial de la Federación, el 6 de mayo de 1972.

⁴³ Juan Alberto Bedolla Arroyo y Elia Mercedes Alonso Guzmán, *Procedimiento, método y técnicas de conservación. Técnicas y materiales de restauración*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2010, p. 03

cuales se dan a causa de "actividades humanas, ya sean culturales o ideológicas".⁴⁴

Justo en esta problemática recae la importancia de la rehabilitación energética, ya que por medio de esta no se busca únicamente mejorar el ahorro energético de los edificios, si no que se busca lograr condiciones de confort para los usuarios. Si bien hay muchas maneras de lograrlo, es posible buscar soluciones que no afecten al inmueble a nivel estructural, a nivel estético y a nivel químico (materiales).

Aquí no se trata únicamente de la potencialidad de uso del inmueble, ni de la realización incorrecta de actividades en los espacios. Se trata de una necesidad latente, que requiere de alternativas de solución, por medio de las cuales se busque respetar al inmueble, respetar al usuario y respetar al medio ambiente.

A continuación, como casos que servirían de ejemplo a la problemática antes mencionada, se presentan una serie de inmuebles del siglo XIX en Culiacán, de los que resultan más representativos para la ciudad, en los cuales se observa la problemática relacionada con la instalación de sistemas de acondicionamiento artificial. No obstante, es importante mencionar que aunque solo se muestren estos inmuebles en Culiacán, Sinaloa, esta problemática se puede encontrar en la mayoría de los inmuebles patrimoniales de Culiacán, asimismo, podría encontrarse en otros lugares del país con condiciones medioambientales similares.

⁴⁴ *ibidem*.

Ayuntamiento de Culiacán



Figura 02. Compresores de aire acondicionado en azotea del edificio del Ayuntamiento de Culiacán.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola



Figura 03. Compresores de aire acondicionado en azotea del edificio del Ayuntamiento de Culiacán.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Edificio central de la Universidad Autónoma de Sinaloa



Figura 04. Compresores de aire acondicionado en azotea del edificio del antiguo Edificio Central de la UAS.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola



Figura 05. Compresores adosados a muro exterior del antiguo Edificio Central de la UAS.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Museo de Arte de Sinaloa



Figura 06. Compresor de aire acondicionado en balcón de fachada principal.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola



Figura 07. Altura de cubierta de falso plafón bloqueando puerta.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa



Figura 08. Perforación de muros interiores en el Archivo Histórico General del estado de Sinaloa.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola



Figura 09. Falso plafón en el Archivo Histórico General del estado de Sinaloa.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola



Figura 10. Compresores de aire acondicionado en pasillos del Archivo Histórico General del estado de Sinaloa.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Al realizar una rehabilitación energética en un inmueble patrimonial, considerando una visión holística en su restauración, se podría contribuir a mejorar la conservación de este a largo y corto plazo. Se considerarían otros factores como el coste económico de mantenimiento, la disminución de gases de efecto invernadero y la disminución de deterioros antrópicos anteriormente mencionados. Se estaría atacando una problemática real que mejoraría la apariencia estética y la percepción que se tiene sobre este. Además se crearían espacios más saludables para los usuarios, al mejorar la ventilación se disminuiría el riesgo de contagio de enfermedades.

1.3. Dos visiones en contra peso en México (Rehabilitación Energética y patrimonio)

Un problema al que nos enfrentamos en México, es la exclusión de los inmuebles patrimoniales de las políticas de ahorro energético y eficiencia energética, este tipo de inmuebles no están obligados a cumplir con los requerimientos mínimos, y como resultado se cuenta con dos visiones muy distintas encontradas en contrapeso: El ahorro energético y la protección

patrimonial. El objetivo de este apartado es hacer una revisión de las políticas mexicanas en el área de ahorro energético y eficiencia energética, observar que se espera de estas, cuáles son sus objetivos y que se ha hecho, para de igual manera compararlas con la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas⁴⁵, ley que se encarga de la protección de los bienes muebles culturales en México.

La situación del consumo energético en México actualmente se encuentra en un momento poco favorable, según el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018⁴⁶, el consumo de energía se ha mantenido en aumento en los últimos años, y la producción de energía primaria se ha visto en declive desde el año 2004, lo cual se ha visto reflejado en las altas tarifas eléctricas y podría tener un efecto irreparable en los niveles de hidrocarburos de los que depende México, siendo estos la principal fuente para la producción energética.

Con este panorama, el gobierno mexicano ha hecho esfuerzos para establecer acciones, programas, leyes y normas que ayuden a lograr un consumo eficiente de la energía eléctrica. En el año 2008 fue publicada la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, cuyo principal objetivo es "propiciar un aprovechamiento sustentable de la energía mediante el uso óptimo de la misma en todos sus procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo".⁴⁷, para lo cual la SENER integra el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE), el cual servirá como "instrumento mediante el cual el Ejecutivo Federal establecerá estrategias, objetivos, líneas de acciones y metas que

⁴⁵ Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, Diario Oficial de la Federación 6 de mayo de 1972.

⁴⁶ Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018, Diario Oficial de la Federación 28 de abril de 2004.

⁴⁷ Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Diario Oficial de la Federación 28 de noviembre de 2008, México.

permitan alcanzar el objetivo de esta ley".⁴⁸ y menciona que las acciones de mayor impacto en eficiencia energética son: el uso de equipos ahorradores o con mayores niveles de eficiencia energética, y mejores prácticas y hábitos de uso de energía.

La Ley General de Cambio climático fue publicada el 6 de junio del año 2012, y tiene como objetivo "Garantizar el derecho a un medio ambiente sano",⁴⁹ estableciendo, elaborando y aplicando políticas públicas que ayuden a la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. De igual manera busca regular la emisión de gases de efecto invernadero, y promueve "Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transparencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático".⁵⁰

Otra ley, es la Ley de Transición Energética, publicada el 24 de diciembre del año 2015. En ella se expone como objetivo principal "regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica...".⁵¹

Además, resulta importante para esta investigación, destacar las acciones de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), ya que participa en la coordinación de la elaboración de normas oficiales mexicanas enfocadas a la eficiencia energética en las edificaciones, haciendo énfasis en las normas de envolvente térmico, de aislamiento

⁴⁸ Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018, Diario Oficial de la Federación 28 de abril de 2004.

⁴⁹ Ley General de Cambio Climático, Diario Oficial de la Federación, 01 de junio de 2016.

⁵⁰ *ibidem*.

⁵¹ Ley de Transición Energética, Diario Oficial de la Federación 24 de diciembre de 2015.

térmico y eficiencia energética en sistemas de acondicionamiento de aire y electrodomésticos, ya sea para uso habitacional o no.

Una de estas normas es la NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales, expone que en México los mayores consumos de energía en las edificaciones se da por "concepto de acondicionamiento de aire, durante las épocas de mayor calor, principalmente en las zonas norte y costera país". y además "la ganancia por radiación solar es la fuente más importante a controlar, lo cual se logra con un diseño adecuado de la envolvente".⁵²

En lo referente a organismos, en México se cuenta con la Comisión Federal de Electricidad, encargada de proveer la energía eléctrica pública en nuestro país. Tienen como misión "Prestar el servicio público de energía eléctrica con criterios de suficiencia, competitividad y sustentabilidad, comprometidos con la satisfacción de los clientes, con el desarrollo del país y con la preservación del medio ambiente".⁵³ Además, cuenta con una visión establecida hacia el año 2030 en la cual se menciona que busca ser " reconocida por su atención al cliente, competitividad, transparencia, calidad en el servicio, capacidad de su personal, vanguardia tecnológica y aplicación de criterios de desarrollo sustentable".⁵⁴

Por otro lado, se encuentra el Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica, el cual tiene como misión "impulsar acciones de ahorro, uso eficiente, aprovechamiento sustentable de la energía eléctrica así como el fomento de nuevas tecnologías energéticas y la difusión de la cultura

⁵² Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, *Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales*, Diario Oficial de la Federación 25 de abril de 2001.

⁵³ Comisión Federal de Electricidad, consultado en http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Paginas/Misionyvision.aspx

⁵⁴ *ibidem*.

energética sustentable. Su visión apunta a incrementar una cultura integral de generación, ahorro y uso eficiente de energía en la sociedad mexicana, que genere beneficios económicos, sociales y ambientales, en correspondencia con las mejores prácticas internacionales en la materia".⁵⁵

En la norma NOM-007-ENER-1995, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales, se puede encontrar que se menciona que se encuentran fuera del alcance de esta norma "edificaciones nuevas que se localicen en zonas de patrimonio artístico y cultural, de acuerdo a la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas o aquellas catalogadas y clasificadas como patrimonio histórico según el INAH y el INBA".⁵⁶ Lo mismo ocurre con los Lineamientos de Eficiencia Energética para la Administración Pública Federal, donde se menciona que para el Aislamiento Térmico en la Envolvente de los Inmuebles, quedan excluidos los edificios que se localicen en zonas de patrimonio artístico y cultural de acuerdo con la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, artísticas e históricas o edificios catalogados como patrimonio histórico según el INAH o el INBA.

Como se puede determinar con el análisis de estas leyes y normas, todas ellas tienen como uno de sus objetivos principales el disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por los distintos sectores energéticos, sin embargo, en la aplicación de estas se excluyen a los inmuebles patrimoniales. La mayor parte de las normas elaboradas por la CONUEE, mencionan como campo de aplicación todos los edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes, donde los edificios patrimoniales no aplican.

⁵⁵ Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, diciembre de 2016, consultado en http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=219

⁵⁶ Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-1995, *Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales*, Diario Oficial de la Federación 07 de enero de 1995.

Por su parte, analizando la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, se menciona en el artículo 42 que, toda obra en "zona de monumentos, inclusive la colocación de anuncios, avisos, carteles, templete, instalaciones diversas o cualesquiera otras..."⁵⁷ solo podrá realizarse con el permiso de instituto correspondiente, sin embargo, no se especifica qué tipo de instalaciones.

Esta ley, deja muchos cabos sueltos en lo referente a lo que se puede hacer o no en este tipo de inmuebles, ya que el que lo decidirá será el instituto correspondiente, es decir, el Instituto Nacional de Antropología e Historia. Cabe señalar que no se hace mención sobre lo referente al cumplimiento de las leyes de eficiencia energética ni sobre las normas, dando como resultado que en México el ahorro energético y la protección patrimonial están desligados.

1.4. Casos análogos de rehabilitación energética en inmuebles patrimoniales

El objetivo de este apartado, es mostrar una breve revisión sobre cómo se están realizando las rehabilitaciones energéticas en inmuebles históricos en los últimos años alrededor del mundo. Asimismo, este tipo de intervenciones conocidas como rehabilitaciones energéticas, pueden ser traducidas como "refurbishment" o "retrofitting", en español reacondicionar, sin embargo, en la mayor parte de estos casos no se intenta únicamente mejorar el confort de los usuarios, sino obtener una mejora en la eficiencia energética en el funcionamiento de estos inmuebles.

Se analizarán estos casos desde el enfoque con el que llevaron a cabo las intervenciones, exponiendo si el enfoque se centró en la eficiencia energética del inmueble o en el confort térmico de los usuarios, y si se

⁵⁷ Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, Diario Oficial de la Federación 6 de mayo de 1972.

consideró que se trataba de inmuebles históricos, para poder observar que valores patrimoniales fueron considerados de mayor importancia para ser conservados o causar la menor cantidad de deterioros o alteraciones posibles.

El primer caso sobre el cual se hablará, es la investigación realizada por R. Curtis titulado *Energy efficiency in traditional and historic buildings: keeping it simple*.⁵⁸, llevada a cabo en Escocia, en la cual se sostiene un enfoque de reacondicionamiento de inmuebles históricos denominado HES, en el cual se propone trabajar con los materiales tradicionales y la estructura existente. Se presenta como una mentalidad con un enfoque modesto y sin la aplicación de nuevas tecnologías, sino mejorando lo que ya se tiene. Se habla de realizar intervenciones proporcionadas de acuerdo a las posibilidades del inmueble, las cuales deben ser simples en diseño y modestas. Algunas de las intervenciones que se realizaron fueron las siguientes:

- Los pisos, regularmente suelen ser de madera y estar suspendidos en el nivel del suelo, para el reacondicionamiento se aplicó una fibra de madera en las vigas del piso y la superficie de este pudo ser reinstalado fácilmente. Cuando había piso de concreto sólido, se sustituyó por suelo de concreto de cal aislante.
- En lo referente a las ventanas, persianas enrollables, restauración de persianas tradicionales, acristalamiento secundario y doble acristalamiento con perfil delgado en la madera de las ventanas.
- En las cubiertas, el reacondicionamiento consistió en aplicar material aislante como fibra de madera en las pendientes de los techos.

⁵⁸ R. Curtis, *"Energy efficiency in traditional and historic buildings: keeping it simple"*, en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016, pp. 174-180.

- En las paredes, el enfoque HES propone que las paredes sea lo último que se trabaje, y que no se debe obligar a remover el recubrimiento histórico. Se enfocaron en mejorar el desempeño del recubrimiento, y considerando las características de espesor de los muros en Escocia (600 mm.) se consideró que no era necesario realizar mucho. Se optó por inyectar material aislante detrás de los recubrimientos. Entre los materiales elegidos se encuentran perlas de poliestireno, celulosa y espuma a base de agua.

Como conclusión de esta investigación, se sostiene que por medio de adecuaciones simples enfocadas a los sistemas constructivos de los inmuebles históricos, es posible obtener buenos niveles de desempeño térmico. Consistió básicamente en realizar adecuaciones a la capacidad aislante de lo considerado como piel del edificio o disminuyendo los puentes térmicos, por medio de intervenciones prácticamente imperceptibles.

Los siguientes casos que se expondrán, son considerados como intervenciones menos conservadoras, ya que se emplean tecnologías innovadoras, así como también se realizan reacondicionamiento que son visibles.

Dentro de estos casos, primero se hará mención del mencionado en el artículo *Comfort and energy efficiency in historic buildings - The 3ENCULT experience*.⁵⁹, donde se presentan dos casos. El primero es el de la Escuela histórica en Austria (1929-1931). Se realizó reacondicionamiento no únicamente por el alto coste energético a causa del uso de calefacción,

⁵⁹ A. Troi, "Comfort and energy efficiency in historic buildings - The 3ENCULT experience" en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016, pp. 10-16.

sino también por el sobrecalentamiento de áreas acristaladas sin protección. Se buscó mejorar la calidad del aire y el confort térmico. Se solicitó por parte de las autoridades de conservación, que se instalara un sistema de ventilación que requiriera la menor cantidad de impacto posible en la estructura original del inmueble.

El otro caso que manejan, es el confort térmico en las "strickbau" (construcciones parecidas a cabañas de madera) en los Alpes Suizos. Se buscó reacondicionarlas para mejorar su confort, manteniendo su encanto histórico y su valor patrimonial. Las intervenciones se basaron en el aislamiento de muros, sótanos y cubiertas, y el mejoramiento de las ventanas aplicando una capa adicional. Con estas actuaciones se logró mejorar el confort térmico al obtener temperaturas de las superficies más elevadas.

Como conclusiones sobre este artículo, se menciona que en ocasiones la decisión de reacondicionar no es únicamente debido a la mejora energética, sino que las razones de mejora del confort tienen un papel importante. Con estos reacondicionamientos se logra disminuir el consumo energético al necesitar en menor cantidad los sistemas de calefacción. Se considera el reacondicionamiento como un seguro para tener una vida más confortable, además, con el incremento en las demandas de confort de nuestra sociedad, la revitalización de los lugares históricos y su impacto socioeconómico, se pueden ver positivamente afectados con la eficiencia energética en estos edificios.

El siguiente artículo titulado *Eight years of energy efficiency in historic buildings*.⁶⁰ habla sobre el programa suizo sobre investigación para la

⁶⁰ M. Claesson y T. Brostöm, "Eight years of energy efficiency in historic buildings" en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016, pp. 02-09.

eficiencia energética en edificios históricos, que fue iniciado en el año 2006. Se menciona que para lograr observar el potencial para la mejora de la eficiencia energética en edificios históricos, resulta necesario balancear cuidadosamente los objetivos tecno económicos con los objetivos de conservar el patrimonio cultural.

Otro de los casos sobre el cual se hará mención se presenta con el título de *Energy efficiency and urban renewal of a UNESCO- listed historical center: The case of Porto*⁶¹, el cual es el trabajo realizado por Porto Vivo, SRU, una empresa pública creada en el año 2004 que tiene como misión promover la rehabilitación urbana del centro histórico de la ciudad de Porto, Portugal. Creó la "guía de términos de referencia para el rendimiento energético-ambiental: Rehabilitación de edificios del centro histórico de Porto".⁶² Se encontró que se encontraban con dos retos principales: obtener estándares modernos de confort mientras se preservaba la identidad histórica y cultural. El objetivo principal de esta guía es establecer modelos de acción en techos y fachadas para mejorar el aislamiento térmico en altas temperaturas o bajas temperaturas.

Proponen "la aplicación de paneles de aislamiento térmico bajo las tejas, afuera de las fachadas bajo el recubrimiento, en ocasiones adentro cuando las condiciones del exterior no lo permiten".⁶³ Además de implementar doble acristalamiento manteniendo el diseño y forma tradicional, y la instalación de paneles solares cuidando que se integren y niveles con las tejas, esto para no crear visuales no deseadas cuando puedan ser vistos desde inmuebles de mayor altura.

⁶¹ A. Santos, P. Valenca y J. sequeira, "Energy efficiency and urban renewal of a UNESCO- listed historical center: The case of Porto", en Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica, Madrid, septiembre 2014, pp. 38-43.

⁶² *ibidem*.

⁶³ *ibidem*.

Asimismo, se expone el caso presentado en el artículo *Soluciones de aislamiento térmico para edificios protegidos de especial interés arquitectónico o histórico. Ejemplo de actuación*.⁶⁴ En este caso de estudio se aborda la necesidad de adecuación de los edificios históricos tomando en cuenta la importancia de la estética del inmueble producto de las intervenciones realizadas, por lo cual proponen el uso de sistemas de aislamiento térmico exterior que cuenten con acabados adaptados a la estética original. Se aborda como caso de estudio el "Teatro del Príncipe", un edificio catalogado en el Plan Especial de Protección del Patrimonio , al cual se le ha colocado un aislamiento térmico exterior procurando mantener el carácter y la estética arquitectónica del edificio.

Como conclusión de este caso de estudio, en la aplicación del sistema de aislamiento térmico exterior se buscó respetar la estética, el color y los acabos originales del edificio, por lo tanto los valores que considerados de mayor importancia son los arquitectónicos y estéticos.

Por otro lado, está el caso del Castillo de Skokloster ubicado en Suecia, un inmueble construido entre 1654 y 1676 que actualmente funciona como museo, presentado en el artículo titulado *An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle*. (M. Wessberg, G. Leijonhufvud & T. Bostrom).⁶⁵ Es otro ejemplo interesante de investigación de la eficiencia energética en inmuebles históricos ya que formó parte de un estudio con duración de tres años el cual consistió en evaluar y comparar tres métodos de acondicionamiento para interiores

⁶⁴ Marta Epelde Merino, "Soluciones de aislamiento térmico para edificios protegidos de especial interés arquitectónico o histórico. Ejemplo de actuación" en Sexta Conferencia Europea sobre eficiencia energética y sustentabilidad en arquitectura y planeación, Donostia - San Sebastián, 2015, pp. 41-47

⁶⁵ M. Wessberg, G. Leijonhufvud y T. Brostöm, "An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle" en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016, pp. 144-150.

con la finalidad de observar la eficiencia energética de estos. Estos métodos fueron: Calefacción de conservación, deshumificación y ventilación adaptativa. De igual manera se buscaba conocer las condiciones del aire y la presencia de bio deterioro a causa de la humedad en los interiores.

En este estudio se encontró que los tres métodos empleados presentan un consumo energético bajo, sin embargo uno de ellos es más eficiente en términos de reducción de la aparición de moho en los espacios interiores.

La siguiente investigación, se titula *Comparison of different systems for internal wall insulation with reversible application for historic buildings*.⁶⁶, la cual fue realizada por el Centro para la conservación y desempeño energético de inmuebles históricos de Fraunhofer el cual se enfoca en el mejoramiento del consumo energético y diferentes aspectos de la conservación patrimonial. En ella se analizan distintos tipos de aislamiento interno para los muros, con el fin de reacondicionar los edificios históricos, mediante las cuales se consideran de igual manera los aspectos de conservación del inmueble histórico. El inmueble empleado se ubica en Benediktbeuern, Alemania, que data de la segunda mitad del siglo XVIII.

Se enfocan en un sistema de aislamiento interno para las paredes, siguiendo el principio de reversibilidad en la instalación del sistema de aislamiento, procurando que sea sencillo de instalar y que cause el mínimo daño posible en los materiales y superficies del edificio.

Por su parte, el artículo que lleva por nombre *Architectural integration of photovoltaic system in historic districts. The case of study of Santiago de*

⁶⁶ M. Krus, R. Kilian y B. Pfundstein, "*Comparison of different systems for internal wall insulation with reversible application for historic buildings*", en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016, pp. 181-190.

Copostela.⁶⁷, presenta el caso en el cual se trabaja con la integración de sistemas que funcionan a base de energía renovable en edificaciones históricas. La principal problemática a la que se enfrentaron fue que la apariencia del contexto de Santiago de Compostela no es compatible con la apariencia de los paneles solares, en términos de estética, color, forma, dimensiones y diseño de las superficies.

Se necesitó mantener y mejorar las características y apariencia histórica, por medio de la selección de tecnologías que fueran compatibles y reversibles, y que al mismo tiempo se elevara el valor económico y no se produjeran daños.

Como parte de la metodología, se llevaron a cabo las siguientes fases:

- Análisis histórico del desarrollo arquitectónico y urbano del centro de la ciudad.
- Identificación de restricciones para la integración de fuentes de energía renovables, en las políticas urbanas.
- Evaluación de los valores arquitectónicos, históricos y estéticos de la zona.
- Análisis del potencial de la energía solar
- Cálculo de la producción de los paneles fotovoltaicos
- Criterios de integración de los paneles fotovoltaicos.

Entre los criterios de integración destacan el respeto a las líneas de los techos, es decir, considerar la orientación y la inclinación de los techos. Cuidar que los paneles tengan una forma uniforme, agrupar los paneles para reducir el área total de los paneles, evitar la instalación de estos fuera

⁶⁷ E. Lucchi, G. Garegnani, L. Maturi y D. Moser, "Architectural integration of photovoltaic system in historic districts. The case of study of Santiago de Copostela", en Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica, Madrid, septiembre 2014, pp. 118-134

de los bordes del techo, integrar los paneles de tal forma que se mejore la apariencia total del inmueble. Como conclusión, se determinó que la integración de este tipo de tecnologías en inmuebles históricos es posible, ya que va a garantizar la conservación y mantenimiento de los valores patrimoniales y las características estéticas de estos, esto se logrará por medio de un proyecto que asegure la compatibilidad, la reversibilidad y la integración de la intervención.

Por último, se expone el caso presentado en el artículo titulado *La monitorización y simulación higrotérmica como herramienta para la mejora del confort, preservación y ahorro energético de espacios patrimoniales. El caso de la iglesia de San Francisco de Asís, Morón de la Frontera*.⁶⁸ En este caso de estudio, se tiene como objetivo principal diseñar y evaluar un sistema de climatización que mejore las condiciones de confort térmico y la preservación del patrimonio (bienes muebles) de estos edificios con el mínimo consumo energético posible. El inmueble que fue analizado es la iglesia San Francisco de Asís, localizada en Morón de la Frontera, data de mediados del siglo XVI y cuenta con estilo protobarroco.

Se propusieron cuatro estrategias de climatización con sistemas HVAC, las cuales fueron puestas a prueba por medio de la simulación con un software, las estrategias fueron: Sistema autónomo (aire-aire), climatizadora UTA (agua-aire), climatizadora UTA + suelo radiante (aire-agua), sistema UTA + radiadores(aire-agua).

Como conclusiones se obtuvieron que, todas las estrategias brindaban los rangos de confort térmico acordes con el uso actual, sin embargo para el control de la humedad relativa para la preservación de los bienes

⁶⁸ C. Muñoz, A. León y J. Navarro, "La monitorización y simulación higrotérmica como herramienta para la mejora del confort, preservación y ahorro energético de espacios patrimoniales. El caso de la iglesia de San Francisco de Asís, Morón de la Frontera", en Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica, Madrid, septiembre 2014, pp. 210-225

eclesiásticos no fueron tan efectivos ya que se determinó que únicamente durante el 75% del tiempo se obtenían valores adecuados. En lo referente al consumo energético, se obtuvo menor consumo cuando el funcionamiento de las instalaciones se colocaba en régimen mixto, sin embargo, debido a la constante actualización y desarrollo de esta área, se deja abierto para futuras investigaciones para las instalaciones.

De la revisión anterior de casos análogos de rehabilitación energética en inmuebles históricos o inmuebles patrimoniales, se obtiene la siguiente tabla:

Título de la investigación	Ahorro energético	Confort de los usuarios	Conservación patrimonial
Energy efficiency in traditional and historic buildings: keeping it simple	No	Si	Si
Comfort and energy efficiency in historic buildings - The 3ENCULT experience.	No	Si	Si
Eight years of energy efficiency in historic buildings	Si	No	Si
Energy efficiency and urban renewal of a UNESCO- listed historical center: The case of Porto	Si	No	Si
Soluciones de aislamiento térmico para edificios protegidos de especial interés arquitectónico o histórico. Ejemplo de actuación	Si	Si	Si
An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle.	Si	No	No
Architectural integration of photovoltaic system in historic districts. The case of study of Santiago de Copostela	Si	No	Si
	No	Si	No

La monitorización y simulación higrotérmica como herramienta para la mejora del confort, preservación y ahorro energético de espacios patrimoniales. El caso de la iglesia de San Fransisco de Asis, Morón de la Frontera.			
" Comparison of different systems for internal wall insulation with reversible application for historic buildings	Si	No	Si

Tabla 01. Puntos principales que se consideran en la rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales.
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Considerando que para realizar una rehabilitación energética de un inmueble patrimonial se deben considerar tres puntos principales que son el ahorro energético, el confort de los usuarios y la conservación patrimonial, se realizó el siguiente análisis. De la tabla (tabla 01) se puede concluir lo siguiente: En la mayor parte de los casos analizados, es una constante el punto de la conservación patrimonial, siendo considerado el punto de mayor importancia cuando se realizan rehabilitaciones energéticas en inmuebles históricos o patrimoniales. El punto que se encuentra en segundo nivel de importancia de acuerdo a esta tabla, es el ahorro energético, es decir, con estas intervenciones se busca mejorar el desempeño energético de los inmuebles, y por último, se considera el confort térmico de los usuarios, dejándolo en tercer lugar de importancia.

La forma en que se determinó si cada caso análogo cumplía con cada uno de los puntos anteriormente mencionados, es con una tabla que explica cómo se consideró si cumplía con ahorro energético, confort de los usuarios y conservación patrimonial (Figura 02). Sin embargo, esto no quiere decir que en todos los casos analizados no se cumplió con los tres puntos principales, sino que no fue el objetivo primordial, y en ocasiones se llegó a cumplir con alguno de los puntos como un efecto indirecto de las intervenciones, sin desarrollar el máximo potencial en esa área.

Ahorro energético →	Es objetivo principal de la rehabilitación energética realizada, mejorar el consumo energético por medio de la o las estrategias propuestas.
Confort de los usuarios →	El confort térmico de los usuarios es prioridad y se logran llegar a los niveles requeridos.
Conservación patrimonial →	Se especifican los criterios de instalación e intervención seguidos para la aplicación de las tecnologías, enfocados a la preservación de valores patrimoniales.

Figura 11. Criterios seguidos para determinar el seguimiento de los aspectos principales de la rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Otro análisis de importancia que se pudo realizar por medio de esta revisión de los casos análogos, fue la identificación de los criterios y principios empleados en cada uno de los casos de intervención. Esto con la finalidad de intentar respetar los valores patrimoniales de cada inmueble intervenido.

Título de la investigación	Criterios y principios utilizados
Energy efficiency in traditional and historic buildings: keeping it simple	- Enfoque modesto sin el uso de nuevas tecnologías -Trabajar con materiales tradicionales
Comfort and energy efficiency in historic buildings - The 3ENCULT experience.	-Menor impacto posible en la estructura del inmueble.
Eight years of energy efficiency in historic buildings	x
Energy efficiency and urban renewal of a UNESCO- listed historical center: The case of Porto	-Respeto a la estética y visuales del inmueble -Instalación siguiendo las líneas del inmueble
Soluciones de aislamiento térmico para edificios protegidos de especial interés arquitectónico o histórico. Ejemplo de actuación	-Adaptación del revestimiento a la estética original del edificio (estética de los materiales)
Architectural integration of photovoltaic system in historic districts. The case of study of Santiago de Copostela	-Respeto a la estética y visuales del inmuebles -Instalación siguiendo las líneas, dimensiones y formas del inmueble
Comparison of different systems for internal wall insulation with reversible application for	- Principio de reversibilidad -Instalación sencilla, causando daño

historic buildings	mínimo a los materiales y superficies
--------------------	---------------------------------------

Tabla 02. Criterios y principios empleados en casos análogos de rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Se pudieron determinar cinco criterios y principios distintos aplicados en los casos de estudio analizados, repitiéndose en algunos de los casos. A continuación, se enlistan:

- Respeto a la estética de los materiales
- Principio de reversibilidad de la instalación
- Compatibilidad del sistema con la estructura del edificio
- Adaptación del sistema de acuerdo a las características del edificio
- Respeto a la forma del inmueble

Es importante señalar que los criterios y los principios seguidos para una rehabilitación energética en un inmueble patrimonial, dependerán del estado del inmueble y de las leyes de protección patrimonial que existan en cada lugar, sin embargo, es posible observar la tendencia de criterios y principios utilizados en diferentes partes del mundo.

Considerando que actualmente en las investigaciones sobre rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales, ya está demostrado que es una necesidad latente en diversos campos como el cuidado medio ambiental, la conservación patrimonial y el bienestar de los usuarios, resulta de interés primordial el estudiar cómo realizar este tipo de intervenciones, que lineamientos seguir, que metodologías y cómo realizar la selección e instalación de las estrategias tendientes a mejorar el consumo energético y el confort de los usuarios, mientras que se logre un equilibrio lógico con la conservación de los valores patrimoniales de cada inmueble intervenido.

1.5. Conclusiones primer capítulo

Concluyendo, la rehabilitación energética en inmuebles patrimoniales es sumamente necesaria para asegurar la delación de los valores patrimoniales y lograr que el inmueble tenga un funcionamiento holístico, puesto que con el paso del tiempo y el desarrollo tecnológico, los estilos de vida y las necesidades de la sociedad van evolucionando, por lo que resulta necesario que los inmuebles patrimoniales, para que continúen siendo útiles para la sociedad vayan evolucionando de igual manera, sin que en el proceso se dañe su esencia.

En lo referente a los deterioros de inmuebles patrimoniales por la instalación de sistemas de acondicionamiento artificial, si bien es probable que esta problemática presentada no sean observadas en todo el país, es una problemática puntual que está afectando al patrimonio edificado de determinada zona del país y que podría ser corregida.

Por otro lado, resulta indispensable recurrir a la innovación tecnológica al realizar una rehabilitación energética para realizar los análisis correspondientes, puesto que la tecnología y el patrimonio no tienen que ser polos opuestos, sino que pueden complementarse mutuamente.

Analizando las investigaciones referentes a la rehabilitación energética de inmuebles históricos, se puede observar que existe una diversidad de enfoques. Podría asumirse que el objetivo principal al realizar estas rehabilitaciones en inmuebles históricos es el de conservar en la medida que sea posible, las características que hacen a estos inmuebles diferentes, sin embargo muchas veces la motivación principal puede ser el ahorro energético o el confort de los usuarios. Asimismo, se puede observar una desvinculación entre la restauración patrimonial y la rehabilitación energética.

La postura presentada en esta investigación se inclina por realizar rehabilitaciones energéticas en inmuebles patrimoniales enfocadas en la conservación de estos, es decir, que la conservación sea la principal motivación, pero al mismo tiempo dándole la importancia que merecen los otros dos puntos, logrando equilibrar el ahorro energético y los niveles de confort higrotérmico requeridos, para que el resultado final genere una armonía entre los diversos aspectos.

Sin embargo, al tratarse de inmuebles patrimoniales que son monumentos históricos y que cuentan con valores significativos, es necesario tomar a consideración los criterios y principios que exponen las convenciones, cartas y acuerdos internacionales tendientes a la protección patrimonial. A continuación, se mencionan aquellas cartas y acuerdos considerados de mayor importancia para esta investigación.

En lo referente a la protección patrimonial, la ley encargada de esto en México no debería permitir la instalación de los sistemas de acondicionamiento en la mayoría de los casos, ya que deterioran de una forma u otra al inmueble. Además, analizando lo que se dice en la carta de Venecia, sobre la conservación de monumentos históricos menciona que estos deben ser útiles para la sociedad, sin embargo, para concebir y autorizar acondicionamientos exigidos por la evolución de los usos y costumbres, siempre y cuando no alteren la ordenación o decoración de los edificios. Así mismo, sobre la restauración menciona que los añadidos no deben ser tolerados en tanto que no respeten todas las partes interesantes del edificio, su trazado tradicional, el equilibrio de su composición y sus relaciones con el medio ambiente. Por lo tanto, los añadidos y acondicionamientos realizados alteran tanto la ordenación como la decoración de los edificios y la relación con el medio ambiente.

Capítulo 2.

Metodología de rehabilitación energética para inmuebles patrimoniales

Considerando que el debate actual respecto a la eficiencia energética de inmuebles patrimoniales se enfoca en el cómo garantizar dicha eficiencia realizando intervenciones en esta clase de inmuebles, con el objetivo de alcanzar ahorros energéticos significativos, respetando al mismo tiempo las características que los hacen importantes para una sociedad, este capítulo tiene como objetivo responder a esta interrogante para lograr proponer una metodología de rehabilitación energética que contemple una relación equilibrada entre ahorro energético, confort y respeto a los valores patrimoniales.

Para lograr el objetivo de este capítulo de proponer una metodología de rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales, se analizarán una

serie de metodologías de rehabilitación energética de edificios históricos, desarrolladas y aplicadas en Europa, las cuales se han enfocado en el tipo de edificaciones de ese contexto, y de las normas y leyes tanto energéticas como de protección patrimonial. Con esto, se espera identificar las partes o etapas esenciales para lograr una rehabilitación energética sistémica, en la cual se contemplen todo los aspectos esenciales para el funcionamiento adecuado del inmueble, de acuerdo a las características únicas de cada posible caso.

Se finalizará este capítulo con la exposición del planteamiento de la metodología con sus respectivas etapas, así como también una descripción de cada una de las fases en las cuales se divide esta metodología. Es importante señalar que, las descripciones son concisas, puesto que la aplicación de esta metodología se desarrolla en el capítulo siguiente, donde se explica el cómo se aplica en el inmueble caso de estudio.

2.1. Análisis de metodologías de rehabilitación energética de edificios históricos

En la introducción de esta investigación, fueron mencionadas una serie de metodologías que se han formulado alrededor del mundo, las cuales se han enfocado en la mejora de la eficiencia energética de los edificios históricos. Como se ha determinado anteriormente, no todas las intervenciones para una rehabilitación energética están pensadas para cumplir con los tres enfoques principales, los cuales son la conservación de los inmuebles, la mejora de la eficiencia energética y la mejora de las condiciones de confort de los usuarios. Cada intervención es realizada con un objetivo particular, por ejemplo, se puede buscar la mejora de la eficiencia energética, no poniendo suficiente atención al respeto de los valores patrimoniales o al confort de los usuarios.

En el caso de la metodología propuesta en esta investigación, se quiere lograr enfocar la rehabilitación energética hacia una actuación que ayude en la conservación del inmueble, mientras que se obtengan las condiciones de confort más satisfactorias posibles para los usuarios y al mismo tiempo buscar mejorar los consumos operacionales de energías no renovables de los edificios.

Por medio del análisis de las metodologías anteriormente revisadas, fue posible identificar 6 aspectos fundamentales que son considerados en las metodologías de rehabilitación energética de edificios históricos.

1. Evaluación de consumos de energía del inmueble
2. Análisis de las condiciones de confort higrotérmico
3. Identificación y evaluación de las características históricas
4. Selección y evaluación de estrategias de mejora
5. Aplicación de medidas de mejora y comprobación de efectividad
6. Simulación térmica

Sin embargo, es importante mencionar que no todas las metodologías incluyen todos estos pasos, por lo que para llegar a esta recopilación se identificaron en cada método los aspectos únicos e indispensables que aportan a la rehabilitación energética de edificios históricos, así como también aquellos que son considerados en mayor medida. (tabla 01).

Metodología	Evaluación de consumos de energía del inmueble (condiciones actuales)	Simulaciones térmicas	Aplicación de medidas de mejora y comprobación de efectividad	Análisis de las condiciones de confort	Identificación y evaluación de características históricas	Evaluación de las estrategias de acuerdo a distintos aspectos
1	X	X	X			
2		X	X			
3	X			X		
4	X				X	X
5	X				X	X
6					X	X

1. Exemplary energetical refurbishment of the german academy in rome "villa massimo".¹
2. La eficiencia energética en edificios con valores patrimoniales.²
3. Energy environmental monitoring in historical buildings; a simplified methodology for modeling realistic retrofitting scenarios. The case study of Schoonselhof Kasteel in Antwerp (Belgium)³
4. Guidelines for improving the energy performance of historic building.⁴
5. Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building⁵
6. Integrating conservation aspects into energy performance assessments for 20th century buildings: Canongate housing.⁶

Tabla 01. Aspectos que comprenden las metodologías de rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Los aspectos que se puede decir son considerados en mayor medida en la rehabilitación energética, siendo estos los que se presentan en la mayor cantidad de metodologías son, en primer lugar, la evaluación de los consumos de energía actuales del inmueble, seguido de la Identificación y evaluación de características históricas del inmueble (importancia cultural) y la evaluación de las estrategias de mejora a utilizar, de acuerdo a distintos aspectos como los costos de instalación, de consumo y el consumo energético. Por otro lado, el aspecto que es tomado en menor medida es el análisis de las condiciones de confort de los espacios interiores del inmueble.

¹ Endres, E. y Santucci, D., "Exemplary energetical refurbishment of the german academy in rome "villa massimo", en Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica, septiembre 2014, pp. 160-168.

² Ignacio Puig Tarín, *et. al.*, " La eficiencia energética en edificios con valores patrimoniales" en Jornada de Investigación Emergente en Conservación y Restauración de Patrimonio, 2014, pp. 01-07.

³ Giovanni Litti, *et. al.*, "Energy environmental monitoring in historical buildings; a simplified methodology for modeling realistic retrofitting scenarios. The case study of Schoonselhof Kasteel in Antwerp (Belgium)", en *Build Heritage 2013 Monitoring Conservation Management*, 2013, pp. 1075-1083.

⁴ Maine Preservation, *Guidelines for improving the energy performance of historic building*. Maine, 2012

⁵ BSI Group, *borrador del estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building*, Londres, 2015.

⁶ R. Atkins, R. Emmanuel y C. Hermann, " Integrating conservation aspects into energy performance assessments for 20th century buildings: Canongate housing" en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Octubre 2016, pp. 75-82.

Posiblemente uno de los aspectos de mayor importancia a considerar en este tipo de intervenciones es la evaluación de las estrategias de mejora que podrían ser aplicadas en una rehabilitación energética, ya que esto determinará si son aptas para ser empleadas de acuerdo a las características particulares de cada inmueble patrimonial.

No obstante, podrían considerarse los puntos cinco y seis como similares, ya que la simulación térmica se realiza por medio de un software computacional, y este sirve para aplicar las medidas de mejora seleccionadas y comprobar su efectividad sin la necesidad de aplicarlas de forma real en el inmueble cuando no se tiene oportunidad de hacerlo, cuando se desconocen efectos adversos que la aplicación de las estrategias pudieran generar en el inmueble, y también permite evaluar las opciones de estrategias antes de aplicarlas en una edificación.

Recapitulando, por medio del análisis de diversas metodologías de rehabilitación energética para edificios históricos se obtiene que los aspectos considerados como esenciales se resumen en: aspectos históricos y operaciones del inmueble, consumos energéticos del inmueble, identificación de características patrimoniales del inmueble, análisis de las condiciones de confort, evaluación de estrategias de mejora, y el uso de simulaciones por medio de programas computacionales para evaluar el desempeño de las estrategias seleccionadas.

Sin embargo, podrían ser agregados otros dos aspectos de gran importancia para realizar una rehabilitación energética en inmuebles patrimoniales en México. El primero sería la evaluación de las estrategias de acuerdo a lo señalado en la Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos, y el segundo sería agregar la elaboración de un Manual o Guía de acción, en el cual se especifiquen las acciones o métodos que los usuarios del inmueble deberán realizar para

asegurar obtener las condiciones de confort, puesto que el usuario tiene un papel importante en el consumo final energético.

Al mismo tiempo, se puede retomar la eficiencia energética o la sustentabilidad como una idea cultural, algo que se encuentra arraigado a la forma de pensar de las personas. Por lo tanto, resulta indispensable mostrar o enseñar que se tiene que hacer para obtener métodos operacionales más eficientes energéticamente hablando.

Asimismo, sería factible agregar una etapa de diagnóstico del inmueble, en la que por medio del análisis de los consumos energéticos y la evaluación de las condiciones higrotérmicas, se pueda diagnosticar al inmueble para decidir que se necesita hacer y establecer objetivos.

2.2. Incorporando la rehabilitación energética en la restauración patrimonial

Anteriormente se ha expuesto la importancia de realizar rehabilitaciones energéticas en edificaciones patrimoniales, lo siguiente es analizar la viabilidad de incorporar este tipo de intervenciones a la restauración patrimonial. Como se menciona en el borrador del estándar europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building, un principio para la conservación patrimonial dice:

Cualquier intervención en un edificio histórico o patrimonial deberá respetar la configuración espacial existente, la apariencia del inmueble y los materiales que cuenten con importancia patrimonial. Cualquier medida que cause daño a los valores patrimoniales del inmueble deberá evitarse.⁷

⁷ BSI Group, *borrador del estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building*, Londres, 2015, p. 16.

De acuerdo a lo mencionado en el primer capítulo, una problemática actual es la instalación de sistemas de acondicionamiento en los inmuebles históricos, puesto que generan deterioros físicos y visuales. Luis Alberto Mendoza Pérez menciona que "los sistemas que buscan el confort son a partir de equipos, los cuales son ajenos al sistema constructivo, que por ser muebles sufren depreciación, requieren mantenimiento y que además consumen energía, que elevan los costos de conservación de un inmueble".⁸ Es por esto que se propone una intervención de rehabilitación energética como un paso necesario para asegurar la delación de los valores patrimoniales, puesto que el objetivo no es únicamente mejorar la eficiencia energética del inmueble, sino asegurar su conservación a largo plazo.

Asimismo, cabe recordar que, de acuerdo a Carlos Chanfón Olmos, la restauración de inmuebles patrimoniales es la práctica que "obliga a cada época a replantear sus visiones del pasado, con responsabilidad de planear el futuro".⁹ Siendo así, se entiende que cada generación tiene una responsabilidad hacia los inmuebles patrimoniales, la cual, además de ser la conservación de estos y promover la delación de sus características únicas del pasado, se encuentra íntimamente ligada a la realidad de cada generación, considerando las problemáticas a las que se enfrentan y las necesidades que se buscan satisfacer.

La generación actual tiene una preocupación y una responsabilidad hacia el medio ambiente, la cual se ve reflejada en los constantes intentos por crear tecnologías ahorradoras de energía, buscando alternativas a las energías no renovables o llevando estilos de vida más sustentables puesto

⁸ Luis Alberto Mendoza Pérez, *El valor de utilizar un dispositivo de ahorro energético en la valuación de un bien inmueble*, Tesis de Maestría en Ciencias, Colima, Universidad de Colima, Facultad de Economía, 1999.

⁹ Carlos Chanfón Olmos, *Fundamentos teóricos de la restauración*, Universidad Nacional Autónoma de México, 1996, p. 112.

que "durante largo tiempo los humanos avanzamos en el uso de los recursos naturales sin vincular nuestro hacer con los efectos del deterioro del entorno".¹⁰ , y esto ha tenido sus efectos negativos en el medio ambiente.

Es por esto que, resulta importante vincular la restauración patrimonial con la rehabilitación energética, mediante la implementación de una metodología sistémica que aborde todos los aspectos necesarios para lograr conservar el inmueble y disminuir el consumo energético. Se requiere de un pensamiento sistémico el cual "implica cambiar nuestra percepción de las partes al todo. Un edificio debe entenderse como una parte de un todo, que es el lugar en el que está...".¹¹ Para esto, resulta necesario observar la viabilidad de esta adecuación metodológica.

Anteriormente en esta investigación, se realizó un análisis de diversas metodologías de restauración, donde se pudo obtener que Antoni González Moreno Navarro propone un esquema metodológico básico, el cual se compone de los siguientes pasos.

1. Lectura previa
2. Exploración física
3. Acumulación de información para diagnosis y definición de objetivos
4. Diseño y definición de intervenciones
5. La obra
6. Participación de los usuarios

¹⁰ Marina Robles, "El vínculo, la conservación y el desarrollo: consideraciones ecológicas para la sostenibilidad" en Carolyn Aguilar Dubose, *Diseño y construcción sostenibles: realidad ineludible*, Ciudad de México, Universidad Iberoamericana, 2011, pp. 27-29

¹¹ Jorge Calvillo, "Principios de pensamiento sistémico y holístico. Respeto por el proceso" en Carolyn Aguilar Dubose, *Diseño y construcción sostenibles: realidad ineludible*, Ciudad de México, Universidad Iberoamericana, 2011, pp. 30-36.

7. Difusión y comunicación

Asimismo, en el contexto académico se han realizado otros trabajos en los cuales se busca aportar a las metodologías existentes de restauración de inmuebles patrimoniales, en aquellas líneas que han sido menos abordadas. Un caso referente a esto es la tesis de Josué Jacob Tello Rodríguez¹², quien propone una metodología para el análisis ambiental de inmuebles patrimoniales, partiendo de la idea de que se requiere un metodología de análisis ambiental para este tipo de inmuebles. Por medio del análisis de la profundidad de los análisis ambientales que se exponen en diversas metodologías de restauración (tabla 02), decidió aportar pasos que ayudarían a obtener un análisis más profundo y certero desde el punto de vista ambiental de inmuebles patrimoniales.

AUTORES	¿Se realiza análisis ambiental?	Como se realizó el análisis ambiental
Jaime Font Fransi & Manuel Torres Hurtado(1993)	Si	Orientación, iluminación, ventilación, temperaturas.
Mario Alberto Ubico Calderón	Si	Análisis de las características del entorno. (fauna, flora, tipo de clima, precipitaciones)
Eugenia María Azevedo Salomao <i>et al.</i>	Si	iluminación, orientación, ventilación, asoleamiento, protección sonora.
Ruggerio Zepeda Maldonado	Si	iluminación, orientación, ventilación, asoleamiento, protección sonora, análisis

¹² Josué Jacob Tello Rodríguez, *Propuesta metodológica para análisis ambiental de edificios patrimoniales. Tres casos de estudio en el Centro Histórico de Morelia, Michoacán, México*, Tesis de Maestría en Arquitectura, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Arquitectura, 2015.

		higrotérmico.
José Villagrán García (1999)	Si	Orientación, iluminación, ventilación, temperaturas.
Blanca Alejandra Fernández Barriga (2006)	Si	Vientos dominantes, precipitación pluvial, orientación y asoleamiento.

Tabla 02. Análisis retomado de Josué Jacob Tello Rodríguez (2015), modificado por Catalina Borbolla Gaxiola.

Desde este punto de vista, y si se consideran los aspectos o pasos fundamentales para realizar una rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales identificados en el apartado anterior, es posible vincular dos de ellos a la restauración patrimonial desde el análisis ambiental: el análisis de las condiciones medioambientales y el análisis de confort higrotérmico.

Por lo tanto, la metodología que se propondrá en esta investigación, sobre rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales, se vinculará a las metodologías de restauración patrimonial desde el apartado del análisis ambiental, teniendo como punto de partida la metodología propuesta por Josué Tello¹³ donde se realiza el análisis higrotérmico de los inmuebles patrimoniales, para realizar una aportación a la siguiente etapa, que sería el cómo mejorar las condiciones diagnosticadas por medio de ese análisis, desde el punto de vista energético y del respeto a los valores patrimoniales.

Por otro lado, partiendo de las etapas de una metodología de restauración referente a los tipos de análisis que se deben realizar, se obtiene que los análisis que se realizan en la mayoría de los casos, son: análisis funcional, análisis formal, análisis estructural, análisis de materiales,

¹³ *Ibidem*.

análisis de sistemas constructivos, análisis ambiental, análisis de deterioros y una reconstrucción histórica.

Lo que se obtiene es que cada una de las etapas esenciales para realizar una rehabilitación energética de un inmueble histórico o patrimonial, se relaciona con por lo menos dos tipos de análisis que se llevan a cabo en una restauración patrimonial. En algunas de las etapas se relaciona hasta con cinco tipos de análisis, además, ningún tipo de análisis queda sin relacionarse. Esto muestra que si bien una metodología de rehabilitación energética para inmuebles patrimoniales tiene etapas adicionales a una metodología de restauración patrimonial, estas etapas requieren de análisis similares para recopilar la información necesaria y diagnosticar al inmuebles para satisfacer las necesidades de este.

2.3. Propuesta de metodología para rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales

Este apartado tiene como objetivo principal exponer la metodología propuesta para realizar una rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales en el contexto mexicano, ya que dentro de ella se consideran los lineamientos expuestos en la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas,¹⁴ la cual es la ley encargada de proteger a los inmuebles patrimoniales del país.

Para mostrar de forma explícita cuales son las etapas necesarias para lograr realizar una rehabilitación energética de un inmueble patrimonial en México, es necesario precisar que es lo que se busca y cuáles son los objetivos que se pretenden cumplir por medio de dicha metodología. Dicho esto, como primer objetivo se busca diagnosticar al inmueble para

¹⁴ Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, Diario Oficial de la Federación, el 6 de mayo de 1972.

identificar las necesidades puntuales del inmueble, referentes a confort higrotérmico, por medio de una visión holística de este, posteriormente, se espera satisfacer estas necesidades por medio de soluciones o alternativas que resulten más eficientes energéticamente, y que al mismo tiempo sean respetados los valores patrimoniales del inmueble.

Por medio de los análisis realizados anteriormente, es posible establecer tres fases esenciales en una rehabilitación energética de edificaciones patrimoniales, que tenga como objetivos fundamentales mejorar la eficiencia energética, satisfacer el confort de los usuarios y respetar los valores patrimoniales del inmueble: La evaluación y diagnóstico del inmueble, la toma de decisiones, y por último, la aplicación de las estrategias de mejora, fase que para esta investigación tendrá un alcance a nivel simulación, haciendo uso de programas computacionales.

En la fase número uno, denominada evaluación y diagnóstico del inmueble, se propone hacer uso de tres variables esenciales para lograr un diagnóstico preciso, la variable de clima y confort, la variable de edificio y la de energía. La segunda fase es la que se denomina cómo toma de decisiones, en la cual, por medio de los resultados obtenidos en la primera fase, se determinen las necesidades tanto de los usuarios como del inmueble en términos de conservación y protección patrimonial, y de las posibles mejoras que pudieran ser aplicadas. Es en esta fase donde se realiza la evaluación de las estrategias de mejora, por medio de diversos criterios de evaluación.

Y por último, la tercera fase es la aplicación de las estrategias de mejora para evaluar los consumos en cuanto a rendimientos energéticos y confort de los usuarios, sin embargo, ya que en esta investigación no podrán ser aplicados de manera real, se optó por recurrir a la utilización de un programa computacional de simulación, el cual permitirá tener un

acercamiento a los posibles comportamientos de las estrategias que sean propuestas en la fase anterior.

A continuación, se muestra un esquema sintetizado (figura 01) de las fases de la metodología propuesta, donde se expone el orden y como se compone cada una de las fases.

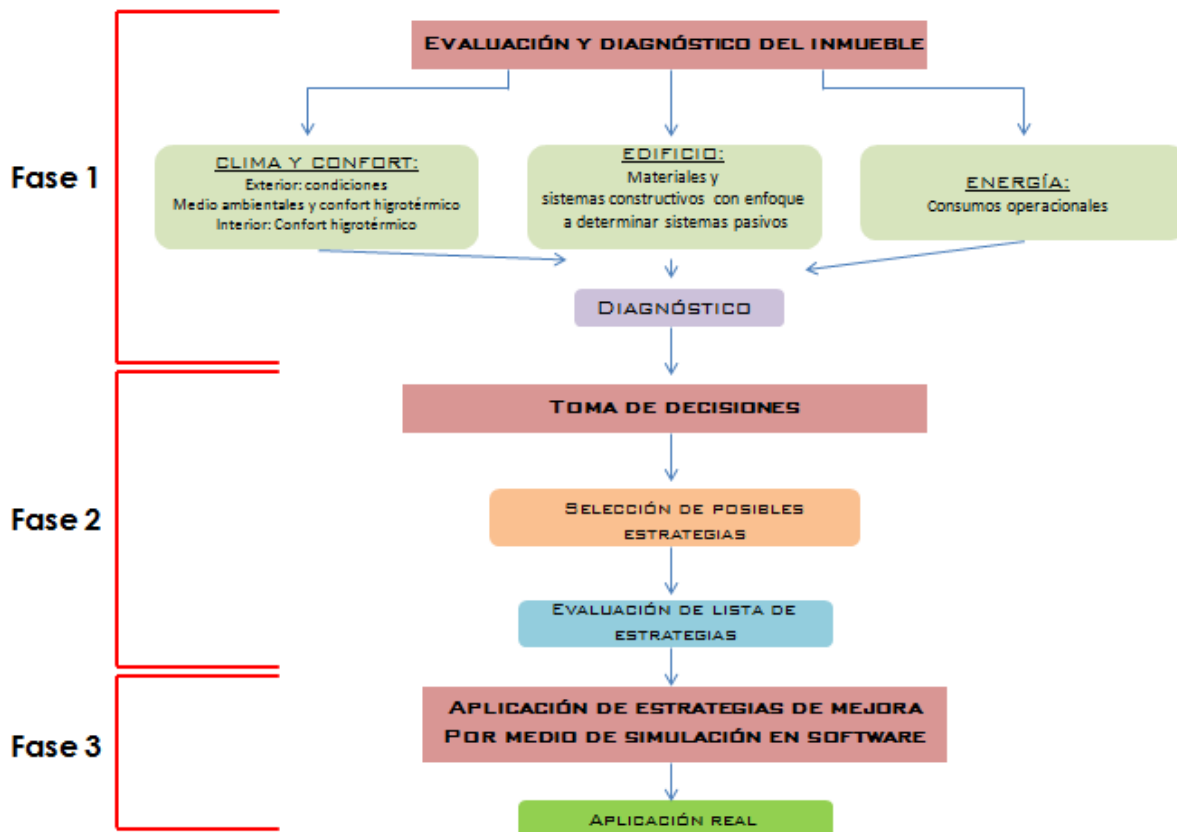


Figura 01. Esquema de metodología de rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales propuesta
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

A partir de esta esquema, se explican de manera puntual cada una de las etapas de cada fase de la metodología propuesta. Así mismo, se realiza una breve síntesis de los tipos de análisis que son requeridos en cada fase (ver Anexo 1).

2.3.1. Evaluación y diagnóstico del inmueble

Esta fase resulta esencial para conocer las características específicas del inmueble y su condición actual para poder diagnosticarlo de manera más completa. Mediante este diagnóstico se logrará identificar las necesidades particulares que presenta, y así poder dar alternativas que solucionen las problemáticas presentes. Además, esta fase contempla la recopilación de información referente a la historia del inmueble, los materiales y sistemas constructivos.

Para lograr este diagnóstico es necesario evaluar tres variables principales; Clima y confort, el edificio y la energía, que sería el consumo energético operacional, es decir, la energía empleada para que el inmueble tenga el funcionamiento adecuado para realizar las actividades específicas, y una evaluación bioclimática del inmueble.

2.3.1.1. Clima y confort

En este apartado se expondrá el método seguido para realizar el diagnóstico del inmueble referente a su interacción con el medioambiente, así como también el diagnóstico del confort higrotérmico, la cual incluye el análisis de las condiciones medioambientales generales y el análisis higrotérmico del inmueble. Para esto, será necesario hacer una división de información de macro localización y micro localización, de lo general a lo particular.

Dentro de la macro localización, se especificaran aspectos generales de la zona de localización del caso de estudio, dentro de los cuales se considerarán localización, relieve, hidrología, vientos y clima de manera general. La micro localización servirá para observar esas variables con respecto al caso de estudio a nivel inmueble, donde se considerarán clima, asoleamiento y vientos.

Para la realización de este apartado se requiere del uso de herramientas de medición y herramientas de recopilación de datos. Cabe mencionar que esta etapa es de importancia fundamental, ya que de esta dependerá la obtención de resultados certeros para diagnosticar eficientemente al inmueble y de la realización de las siguientes fases.

Como ha sido mencionado anteriormente, uno de los objetivos que se buscan lograr con la metodología propuesta de rehabilitación energética, es proponer estrategias de mejora para los inmuebles, las cuales ayuden a a mejorar las condiciones de confort mientras se reducen los gastos de consumo energético. Esto nos lleva a la denominada arquitectura bioclimática, la cual es "aquella que busca el bienestar y confort de los usuarios, un uso eficiente de la energía y la integración armónica al medio ambiente".¹⁵ Por su parte, Luis Alberto Mendoza Pérez menciona que "el fundamento del diseño bioclimático es considerar las cualidades naturales de los materiales y el sistema constructivo y prever condiciones óptimas para su confort, dependiendo de los requerimientos a partir de la determinación del termopreferendum".¹⁶

Siendo así, se hace evidente que, para proponer las estrategias que logren este equilibrio entre bienestar y la integración del inmueble con el medio ambiente, resulta indispensable conocer a fondo las características que presenta el inmueble de acuerdo a su ubicación, considerando como es afectado por el movimiento del sol durante el año, como influyen los vientos con su orientación, de qué manera los sistemas constructivos que tiene el inmueble se comportan con el asoleamiento, la temperatura del aire, la humedad relativa o con el tipo de clima.

¹⁵ Victor Armando Fuentes Freixanet, *Arquitectura Bioclimática*, Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco, (s.f.), p. 09

¹⁶ Luis Alberto Mendoza Pérez, *op. cit.*, p. 14

Por otro lado, se sabe que los objetivos fundamentales de la arquitectura son:

1. Crear espacios habitables que cumplan con una finalidad funcional y expresiva que sean física y psicológicamente saludables y confortables para propiciar el óptimo desarrollo del hombre y de sus actividades.
2. Hacer un uso eficiente de la energía y los recursos, tendiendo hacia la autosuficiencia de las edificaciones
3. Preservar y mejorar el medio ambiente, integrando al hombre a un ecosistema equilibrado a través de los espacios.¹⁷

Teniendo esto claro, se recurre al análisis de metodologías de diseño bioclimático. Fuentes Freixanet realizó un análisis de metodologías de diseño bioclimático, en el cual se tienen a dos muy importantes, la de los hermanos Olgyay, y la de Givoni. Así mismo, finaliza con una propuesta de diseño bioclimático propia.

Abordando la metodología de los Hermanos Olgyay, se fundamenta en que el procedimiento deseable será trabajar con y no contra las fuerzas naturales y hacer uso de sus potencialidades para crear mejores condiciones de vida. Asimismo, el procedimiento para construir una casa climáticamente balanceada se divide en cuatro pasos:

1. ANÁLISIS CLIMATICO: análisis de los elementos climáticos de una localidad dada. Datos anuales de temperatura, humedad, radiación y efectos del viento.

¹⁷ Victor Armando Fuentes Freixanet, *op. cit.*, p. 09.

2. EVALUACIÓN BIOLÓGICA: Basarse en las sensaciones humanas. Graficación de los datos climáticos en la carta bioclimática mostrará un diagnóstico de la región
3. SOLUCIONES TECNOLÓGICAS: Después de determinar los requerimientos, se buscan las soluciones:
 - selección del sitio
 - orientación
 - determinación de sombras
 - forma de la casa
 - movimientos del aire
 - balance de temperatura interior
4. EXPRESIÓN ARQUITECTÓNICA: con base a los tres puntos anteriores, se deberán desarrollar los conceptos de diseño.

En cuanto a la metodología de Givoni, se tienen de igual manera cuatro pasos:

1. ESTUDIOS PRELIMINARES: estudio de las condiciones climatológicas y la definición de los esquemas espaciales. Definición de una propuesta energética
2. ANTEPROYECTO: Tiene por objetivo la generación de ideas y la formulación y prueba de hipótesis de diseño. Producto propuesta de diseño
3. PROYECTO: se detallan las decisiones de diseño. elaboración de planos, detalles y especificaciones
4. EVALUACION FINAL: realización de análisis térmicos, de ventilación, lumínicos y estimación del uso de energía. concluir con propuestas espacial y energética definitivas

Así mismo, se explica a grandes rasgos la metodología de diseño bioclimático propuesta por la Universidad Autónoma Metropolitana.

Metodología propuesta para la UAM

1. Objetivos: definición clara del problema planteado, además de alcances y limitaciones
2. Análisis del sitio y del entorno: conocer y evaluar variables ambientales, naturales y artificiales para lograr la integración de la obra arquitectónica

2.1.- Medio natural

el sitio: condicionantes geomorfológicas, geológicas, edáficas, hidrológicas, vegetación, fauna, etc. ecosistemas naturales y urbanos

2.2.- medio artificial

antecedentes arquitectónicos: conocimiento de las características arquitectónicas de cada región. Detectando tipologías

infraestructura y equipamiento: conocer y evaluar la infraestructura y equipamiento del sitio de análisis

estudio de tecnología local y apropiada: sistemas constructivos, materiales constructivos regionales, estudio de materiales reciclados y reciclables

2.3.- medio social-cultural

evaluar las condicionantes económicas, políticas, sociales y culturales de la localidad (incluye aspectos legales, normativos, reglamentarios.)

3.- el usuario

3.1.- bienestar y confort

confort higrotérmico

confort lumínico

confort acústico

confort olfativo

bienestar electromagnético

3.2 necesidades y requerimientos

analizar y evaluar los requerimientos de confort en relación con los requerimientos funcionales y espaciales del proyecto arquitectónico

4.- definición de estrategias de diseño

4.1.- de climatización: calentamiento o enfriamiento, humidificación o deshumificación, de inercia o masividad, de ventilación.

4.2.- de iluminación: natural y artificial

4.3.- de acústica: acústica, control de ruidos.

4.4.- control de contaminantes: del aire, suelo, agua, electromagnética

5.- definición de conceptos de diseño bioclimático

5.1.- sistemas pasivos

5.2.- sistemas activos e híbridos

6.- anteproyecto

7.- evaluación

7.1.- arquitectónica

7.2.- de confort

7.3.- energética

7.4.- ambiental

7.5.- normativo

7.6.- económico

8.- anteproyecto

Como conclusión, todas las metodologías antes mencionadas se centran en los mismos aspectos principales, sin embargo la primera propuesta de los hermanos Olgyay se enfoca únicamente en los aspectos ambientales del sitio y constructivos, mientras que en la propuesta presentada por la UAM se consideran otros aspectos como el medio social-cultural o la normatividad.

Cabe mencionar, que en esta investigación se está trabajando con inmuebles existentes, por lo que no se requiere realizar un diseño ni un proyecto, no obstante, muchas de las etapas o pasos propuestos son necesarios llevarlos a cabo, como por ejemplo, definir la problemática, analizar el sitio y el entorno donde se consideraría el medio natural, el medio artificial y el medio socio-cultural, evaluar el bienestar y el confort higrotérmico, identificar necesidades y requerimientos y definir las estrategias de acondicionamiento que se van a emplear, ya sean sistemas pasivos o sistemas activos e híbridos.

Como metodología a utilizar, se propone iniciar con un análisis climático del sitio, con macro localización y micro localización, en el cual se consideren los siguientes aspectos: Ubicación, colindancias, vegetación, tipo de clima, periodo más caliente (3 meses) y periodo más frío (3 meses) durante el año, temperaturas medias mensuales, gráfica de vientos y gráfica solar.

En lo referente a la macro localización:

- Localización: Se debe especificar latitud, longitud y altitud. Complementar con figuras de localización dentro del país y estado, de lo general a particular.
- Relieve: Se recomienda especificar la topografía de la zona donde se realiza el análisis, y características adicionales de las zonas colindantes.
- Hidrología: Especificar los principales cuerpos de agua que se localizan en la región, así como también aquellos más cercanos a la zona de estudio.
- Viento: Se recomienda realizar un análisis de los vientos dominantes obteniendo la gráfica de vientos durante las cuatro estaciones del año, así como también una gráfica anual. Esto servirá para

identificar la dirección principal de los vientos dominantes y entender su comportamiento.

Asimismo, en lo referente al viento es importante resaltar su relevancia, puesto que es un factor del medio ambiente que tiene una importancia primordial con relación a la arquitectura, puesto que "las condiciones de ventilación dentro de un edificio tienen una importancia fundamental para la salud y para el confort humano; afectan directamente al usuario a través del efecto fisiológico de la calidad y movimiento del aire, e indirectamente a través de su influencia en las temperaturas y humedad del aire y superficies interiores circundantes".¹⁸

Además de afectar en el diseño de los edificios y en el bienestar de las personas, su importancia radica en ser una fuente de energía, García Chávez y Fuentes Freixanet mencionan que "El viento es un tipo de energía solar. La acción del sol y el movimiento de rotación terrestre dan lugar a la presencia del viento en la tierra".¹⁹ Es básicamente aire en movimiento, el cual es generado por las diferencias de presión y de temperaturas atmosféricas.

- Clima: Se recomienda identificar el tipo de clima de la región, consultando el Atlas Nacional de México (1990-1992), en el cual se basan en el sistema de clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García. Se deberá obtener el tipo de clima con su nomenclatura, su clasificación por su temperatura, como es la temperatura media anual, tipo de clima por su humedad, y por último, el régimen pluvial.

¹⁸ José Roberto García Chávez y Víctor Fuentes Freixanet, *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*, Ciudad de México, Trillas, 2005, p. 12

¹⁹ *ibidem.*, p. 15

Para la micro localización, se deberá interpretar los datos obtenidos por medio de la información recopilada, con respecto al inmueble. Observar con la ubicación del inmueble cual es la orientación de su fachada principal, de qué manera esta orientación es afectada por el movimiento solar durante todos los meses del año, no obstante, más específicamente durante el periodo más cálido y más frío. De igual manera, comparar la orientación del inmueble con los vientos dominantes.

Seguido de esto, es importante realizar un análisis de los antecedentes arquitectónicos, es decir, conocimiento de las características de la arquitectura patrimonial particulares de cada región, por medio del cual se identifiquen tipologías, sistemas constructivos y materiales. Realizar este mismo análisis a nivel de inmueble que se está estudiando.

Al tratarse de inmuebles patrimoniales, es importante realizar un acopio de información referente a las leyes de protección patrimonial a nivel federal y a nivel local. Así como también detectar las características de las unidades de análisis que le dan su valor patrimonial.

Seguido de esto, se deberá realizar un análisis in situ, el cual consiste en la recopilación de datos por medio de una monitorización de las unidades de análisis. Esta fase tiene como objetivo la recopilación de datos por medio de herramientas especiales de medición de la temperatura del aire y de la humedad relativa. Con esta información recopilada se podrá estudiar el desempeño higrotérmico de los materiales y sistemas constructivos, con la finalidad de conocer como es el confort higrotérmico de las unidades de análisis. Además, se realizará la monitorización de las temperaturas y humedad relativa del microclima, del exterior de la ubicación de las unidades de análisis. Por otro lado, es importante obtener los datos de una estación meteorológica local, del mismo periodo que el monitoreado en el edificio, para realizar comparación de datos.

En lo referente a la monitorización del inmueble, evaluarlos por medio de este método de análisis (monitorización con data loggers), tiene tres objetivos fundamentales; "verificar el comportamiento, mejorar el diseño y la adquisición de proyectos futuros, y mejorar el rendimiento".²⁰ En el caso de esta investigación, los tres objetivos resultan acordes a los objetivos generales planteados en la tesis.

Los instrumentos que se utilizarán en esta fase son; Data loggers, tanto para exteriores, como para espacios interiores, también se utilizará un dispositivo que se colocará en la azotea del inmueble, para obtener datos del exterior.

El periodo de análisis de las monitorizaciones dependerá tanto de el clima, como de la disponibilidad de tiempo y la facilidad para colocar los equipos en los espacios. En este caso, se propone un periodo de monitorizaciones considerado *long-term*²¹, ya que se busca evaluar el desempeño de los edificios en un determinado periodo de tiempo.

Se recomienda realizar las monitorizaciones en dos temporadas, la cálida y la fría, para obtener datos de ambas. Asimismo se propone realizar el monitoreo durante un mes en cada temporada, para lo cual se colocan los Data loggers durante un mes capturando datos en un intervalo de 1 hora, durante las 24 horas del día.

Una vez recopilados los datos por medio del método anterior, Se continúa con el diagnóstico del confort higrotérmico, para lo cual se propone

²⁰ Olivia Guerra-Santin y Christopher Tweed, "In-use monitoring of buildings: An overview and classification of evaluation methods", en ENERGY & BUILDINGS, 86, enero 2015.

²¹ *ibidem*.

recurrir a establecer un rango de confort variable por medio del modelo de Mauricio Roríz.²²

Como se ha mencionado en el primer capítulo, "El confort térmico se refiere básicamente a las condiciones de bienestar del individuo, pero desde el punto de vista de su relación de equilibrio con las condiciones de temperatura y humedad de un sitio determinado".²³ Esta relación de bienestar ha sido estudiada por numerosos autores en diferentes partes del mundo, los cuales han definido diversos modelos expresados por medio de ecuaciones, para tratar de definir las condiciones ambientales de confort de los individuos en diversas regiones.

Como menciona González Licón²⁴, entre los diversos estudios en esta área se ha llegado a pensar que por ser las personas biológicamente idénticas tendrían las mismas preferencias térmicas, planteando límites confortables generalizados universalmente, siendo uno de los principales exponentes de esta corriente Fanger. Por otro lado se tiene a Humphreys, quien en sus investigaciones encontró que las personas mostraban preferencias de temperaturas en el interior relacionadas con el promedio mensual de las temperaturas externas, con variaciones durante el día.

Por lo tanto, partiendo del modelo de Humphreys expuesto en 1976, Mauricio Roríz se fundamenta en que las personas acostumbradas a "zonas más calientes, por ejemplo serían más intolerantes al frío y aceptarían temperaturas más altas, ocurriendo lo contrario en aquellos habituados a

²² Mauricio Roríz, *Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: Uma hipótese de modelo adaptativo*, en Memórias de ECAC COTEDI, Curitiba, Universidade Federal de São Carlos, noviembre 2003.

²³ Héctor Javier González Licón, *Vivienda tradicional de la región Purhépecha. Adecuación al medio ambiente, espacios y configuración formal*, Tesis de Doctorado en Arquitectura, Colima, Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura, 2006.

²⁴ *Ibidem*.

vivir en regiones más frías".²⁵ Asimismo, en el hecho de que en cualquier ambiente interior o exterior, se presenta una variabilidad temporal, es decir, no se tiene una temperatura fija durante todo el día.

Por lo tanto, el modelo de Mauricio Roríz que se propone utilizar en rehabilitaciones energéticas e inmuebles patrimoniales, parte del modelo de Humphreys, el cual se expresa con la siguiente ecuación:

$$T_n = 11.9 + 0.534 TME$$

A partir de lo cual, "con una franja de tolerancia de $\pm 2.5^\circ\text{C}$ y suponiendo que la variación de la línea de confort corresponda al 40% de la amplitud de la variación externa, se determina una zona de confort variable de una amplitud de 5°C ".²⁶ (figura 02)

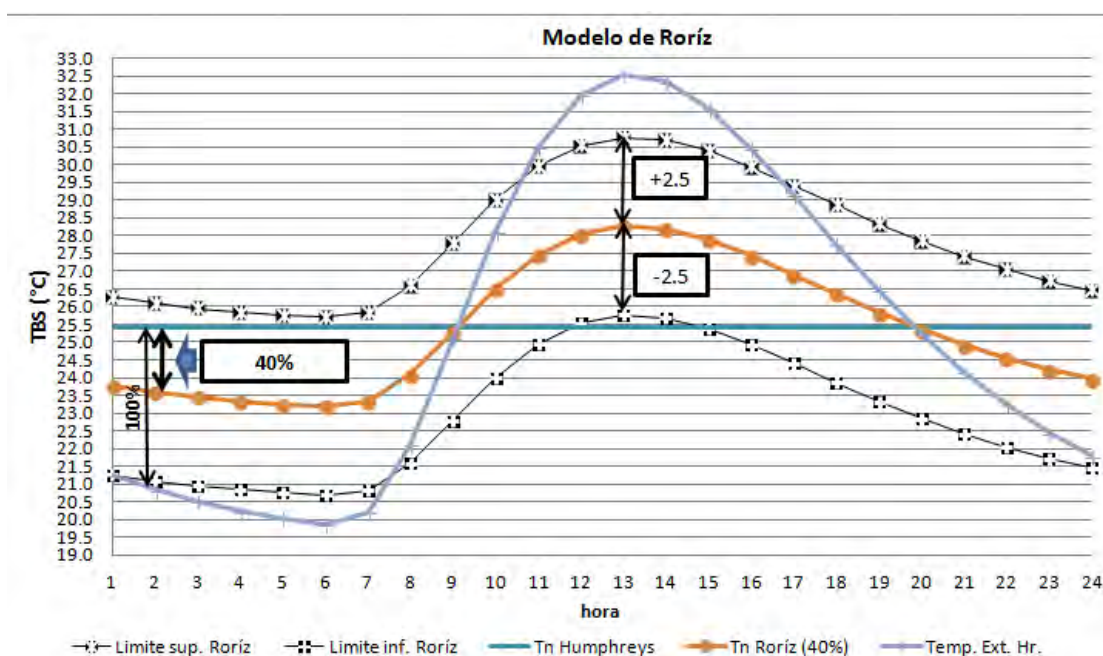


Figura 02. Gráfica donde se explica el modelo de Roríz
Fuente: Héctor Javier González Licón

²⁵ Ibidem., p. 420.

²⁶ Josué Jacob Tello Rodríguez, *op. cit.*, p. 148.

Si bien autores como González Licón²⁷, expone la existencia de diferentes modelos para establecer un rango de confort para determinado lugar, no obstante, es posible observar que algunos de los modelos como los de funcionan de manera efectiva en climas distintos al que se tiene como caso de estudio en esta investigación. Por otro lado, es importante señalar que gran cantidad de modelos manejan un rango de confort constante, mientras Mauricio Roríz manejan un rango de confort adaptativo.

Una vez determinado el rango de confort adaptativo para el lugar que se está analizando, se propone recurrir a la elaboración de tablas y gráficas para la síntesis de la información obtenida mediante los monitoreos con data loggers, así como para también para realizar el análisis del confort higrotérmico. Las tablas y gráficas que se proponen utilizar, son (tabla 03):

Tablas	Contenido	Función
Tabla promedio - hora de temperatura del aire (°C).	Promedio por hora durante el periodo de monitoreos, en ella se exponen en columnas la temperatura de cada data logger, así como también una columna de con datos de la estación meteorológica. Así mismo, se marcan en rojo las temperaturas con superávit de temperatura, y en azul aquellas con déficit.	Esta tabla ayuda a tener de manera clara y ordenada el promedio de temperatura por hora, y el porcentaje de horas al día que presentan un déficit o un superávit.
Tabla promedio - hora de humedad relativa (%).	Promedio por hora durante periodo de monitoreos del porcentaje de humedad relativa. Se expone en columnas de cada uno de los data loggers. Se diferencian con colores donde hay porcentajes más húmedos, en confort y secos.	Esta tabla ayuda a tener de manera clara y ordenada el promedio de porcentaje de HR por hora, y el porcentaje de horas al día que presentan humedad, confort o seco.
Gráficas	Contenido	Función
Gráfica promedio - hora de temperatura del aire.	Muestra la información de la tabla promedio - hora combinada con el rango de confort adaptativo.	Ayuda a observar el comportamiento de las temperaturas, y muestra de manera clara en qué momento del día se encuentran fuera del rango de confort.

²⁷ Héctor Javier González Licón, *op. cit.*

Gráfica de amortiguamiento y retraso térmico	Muestra las temperaturas máximas y mínimas de cada data logger, así como también la oscilación de temperatura y la diferencia en horas entre cada una.	Determinar el amortiguamiento térmico y el retraso térmico del inmueble y su sistema constructivo.
Gráfica promedio - hora de Humedad relativa.	Muestra la información de la tabla promedio - hora de HR combinada con el rango de confort de porcentaje de HR.	Ayuda a observar el comportamiento de la HR y muestra de manera clara en qué momento del día se encuentran fuera del rango de confort.

Tabla 03. Gráficas y tablas recomendadas para realizar el análisis higrotérmico.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

2.3.1.2. Edificio

En este apartado se expondrá el método establecido para realizar el análisis de la variable edificio. Como se mencionó en el apartado anterior, el entendimiento holístico del inmueble con respecto a su interacción con su medioambiente requiere de un conocimiento preciso de sus materiales y sus sistemas constructivos. Así mismo, esto permite conocer si el inmueble cuenta actualmente con sistemas pasivos de acondicionamiento y si estos aun funcionan adecuadamente.

Por lo tanto, serán explicados los sistemas constructivos y materiales con que cuenta el inmueble actualmente, y este análisis tendrá dos objetivos principales, detectar los posibles sistemas pasivos de acondicionamiento con los que cuenta el inmueble, e identificar los materiales de cada partida (pisos, muros, techos y entrepisos), para con esto identificar las características térmicas (densidad, calor específico y conductividad) de los materiales que serán empleados posteriormente en la simulación.

Para comenzar, es necesario recopilar información de inmueble. Para la definición de los materiales y sistemas constructivos se recurre a análisis de

campo, consulta bibliográfica y la consulta de algunos planos arquitectónicos, si es que existen.

Una vez recopilada la información, se debe tener registro de los materiales y sistemas constructivos con los que cuenta el inmueble, si es posible detectar muros históricos y muros contemporáneos e identificar alteraciones de los sistemas constructivos, así como también dimensiones generales. Ya que se tenga registro de los sistemas constructivos detectados, es necesario hacer un desglose de los materiales que intervienen en ellos, para poder realizar la ficha técnica de estos, la cual debe incluir: espesor, conductividad, densidad y calor específico. Estos datos serán útiles para la última fase de la metodología propuesta, la aplicación de estrategias de mejora con programa computacional de simulación.

2.3.1.3. Energía

En esta sección se describe la metodología para obtener el consumo energético del inmueble. Cabe mencionar que con este cálculo del consumo energético no se busca evaluar la eficiencia energética de este, en cambio, se busca únicamente conocer la cantidad de energía consumida, para lograr compararla con la cantidad de energía consumida del inmueble una vez simuladas las mejoras propuestas, y así lograr determinar si hubo o no una disminución en el consumo energético.

El objetivo principal de esta investigación no es lograr tener edificios más sustentables u obtener certificaciones energéticas, únicamente se busca lograr mejorar la conservación de los inmuebles por medio del cambio hacia métodos bioclimáticos de acondicionamiento.

Para lograr obtener las variables necesarias para realizar un cálculo aproximado del consumo energético del inmueble, fue necesario analizar

distintas metodologías de evaluación de sustentabilidad de edificios, dentro de las cuales es necesario conocer el consumo energético de estos. Se analizaron 3 metodologías: Sisevive-Ecocasa²⁸, Energy Star y LEED.²⁹

Las premisas que presenta el programa Sisevive-Ecocasa son el confort térmico y el consumo racional de agua, tiene como objetivo principal el elevar la calidad de vida, así como también la reducción de los costos energéticos y protección del medio ambiente, ya que permite conocer el nivel de eficiencia con el que cuenta la vivienda con base a su consumo proyectado de energía y agua.

Método de cálculo empleado consiste en la comparación de la vivienda proyectada respecto a una vivienda diseñada y equipada de forma convencional, la cual es denominada línea base. Los factores tomados en cuenta son: el diseño arquitectónico, sistemas constructivos, materiales y tecnologías incorporadas a la vivienda.

El documento Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en la Construcción y Administración de Edificios en México³⁰, tiene como objetivo desarrollar una metodología para evaluar la sustentabilidad de los edificios en México, para lo cual se analizaron múltiples sistemas de certificación de la sustentabilidad de edificios. En esta metodología se emplea el sistema de evaluación *Energy Star*, ya que cuenta con las siguientes características: De todos los sistemas evaluados, es el que requiere una descripción más sencilla del inmueble ya que únicamente se requieren datos como los datos del área, de ocupación, de demanda y consumos energéticos.

²⁸ Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde (Sisevive-Ecocasa), 2014.

²⁹ Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Consultado en <https://new.usgbc.org/leed>

³⁰ Odón de Buen Rodríguez, *Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en la Construcción y Administración de Edificios en México*, Instituto Nacional de Ecología, 2010.

Como característica importante, la evaluación de esta metodología se llevó a cabo en edificaciones que tienen usos de oficinas ocupados por dependencias de gobierno. Además, se sugiere incluir la evaluación de la sustentabilidad de edificaciones con usos escolares, hospitales, hoteles, tiendas departamentales, tiendas de autoservicio y restaurantes.

Energy Star evalúa el desempeño de edificios, comparando el consumo de energía y de su fuente de generación y transmisión.

Tipos de edificios que evalúa:

- Bancos o instituciones financieras
- Juzgados
- Centros de datos
- Hospitales
- Hoteles
- Iglesias
- Escuelas
- Consultorios médicos
- Oficinas
- Casa habitación
- Tiendas
- Supermercados
- Almacenes
- Plantas de tratamiento de agua

Al final, las variables que se decidieron utilizar para este estudio son: el consumo de electricidad facturado en kWh facturado, Metros cuadrados de superficie construida, el número de días con una temperatura mayor a los 18°C en una localidad durante un año multiplicado por el porcentaje

de enfriamiento utilizado en el edificio, y por último, las horas de operación semanalmente.

Datos de facturación eléctrica : consumo de electricidad anual facturado (kWh)

Datos operativos: superficie total construida en m², horas de operación semanal del edificio, grados días de refrigeración.

El sistema de Clasificación de Edificios Sostenibles LEED tiene como propósito que se promuevan las prácticas saludables, duraderas, económicas y sólidas medioambientalmente en el diseño y la construcción de edificios. Además, tiene como finalidad evaluar la eficiencia medioambiental en función del ciclo de vida de los edificios. Se basan en principios energéticos y medioambientales, y cuenta con sistemas de clasificación de acuerdo el uso o tipo de inmuebles, se organiza en cinco categorías:

- Parcelas sostenibles
- Eficiencia en agua
- Energía y atmosfera
- Materiales y recursos
- Calidad medioambiental interior

Las actuaciones del programa LEED se clasifican en tipologías, sectores y alcances: LEED para núcleo y envoltorio, LEED para nueva construcción, LEED para colegios, LEED para desarrollos urbanísticos, LEED para centros comerciales, LEED para edificios hospitalarios, LEED para viviendas y LEED para interiores comerciales.

Según este programa, para que un edificio sea seleccionado para certificación, debe cumplir con ciertos requisitos establecidos.

- Durante la construcción o remodelación del edificio, este deberá cumplir con todas las leyes medioambientales existentes, tanto nacionales, como regionales y locales.
- Debe ser un edificio
- Se deben utilizar unos límites de la parcela razonable
- Debe cumplir los requisitos mínimos de ETC (Equivalencia a Tiempo Completo) y superficie de suelo
- Debe cumplir los Índices Mínimos de Ocupación
- La actividad de registro debe cumplir una tablas de tiempo y unas fechas de finalización del sistema razonables
- Debe permitir el acceso del USGBC a los datos del consumo de energía y agua de todo el edificio
- Debe cumplir una relación mínima entre la superficie del edificio y la superficie de la parcela.

Es importante mencionar que este sistema LEED emplea los criterios de confort de la norma ASHRAE55-2004. Para lo cual se debe evaluar la temperatura del aire, la temperatura radiante, la velocidad y la humedad relativa del aire de forma integrada.

Tomando a consideración las metodologías previamente mencionadas, se pueden identificar los pasos y variables necesarios para realizar un cálculo aproximado del consumo energético en una edificación. No obstante, es importante señalar que, para fines de esta investigación, se deberá aislar el gasto de consumo de energía eléctrica únicamente generado por el uso de los aires acondicionados, puesto que la rehabilitación energética estará enfocada en reducir los daños causados por la aplicación de sistemas de acondicionamiento artificial, mejorar la condición higrotérmica de los espacios interiores y disminuir el consumo energético referente al acondicionamiento ambiental del inmueble.

Para llevar a cabo el cálculo de consumo energético de los sistemas de acondicionamiento, se propone contar con el consumo de electricidad facturado en kWh durante un año, el dato de número de sistemas de enfriamiento existentes, el total de horas que se labora a la semana y la potencia (kW) de consumo del sistema de acondicionamiento. Por medio de estos datos se podrá conocer el total de kWh consumidos únicamente por los sistemas de acondicionamiento, y hacer una gráfica del porcentaje de energía consumido por estos sistemas con respecto al edificio.

Los consumos de los aparatos eléctricos se exponen en la etiqueta del producto en Watts (W), para convertir el dato a Kilowatts (kW), se "divide dicha potencia (W) entre 1000." (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía [Osinerg], s.f.). Un ejemplo de esto sería lo siguiente (figura 02):

Si se tiene un aire acondicionado dividido (minisplit) de 1 tonelada con una potencia de 1160 W, el equivalente en kW se obtiene

$$1160 / 1000 = 1.16 \text{ kW}$$

Figura 03. Fórmula para convertir watts a kilowatts.
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola.

Para obtener los consumos de los sistemas de enfriamiento, se propone elaborar una tabla de consumos (tabla 02).

Aires Acondicionados	Potencia eléctrica		Cantidad	Horas de consumo al día	Días de consumo en un mes	Consumo mensual en kWh
Consumo anual en kWh						

Tabla 04. Modelo de tabla de consumos.
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola.

Por medio de esta tabla se obtendrá el consumo anual total de los sistemas de enfriamiento en kWh. Posteriormente, al realizar la simulación térmica se volverá a calcular el consumo anual de estos sistemas para compara si disminuyó o no.

2.3.2. Toma de decisiones

Esta segunda fase, requiere de una evaluación y un diagnóstico certero del inmueble, ya que por medio de los datos que se obtengan, será posible proponer estrategias que generen los mejores resultados posibles.

y de las posibles mejorar que pudieran ser aplicadas, es aquí donde se realiza la evaluación de estas considerando diversos aspectos.

Para esto, una estrategia que ha sido propuesta basada en las metodologías estudiadas. Se recurrirá a la evaluación de las estrategias de mejora por medio del uso de una metodología que califique con base a diversos aspectos. Estos aspectos fueron retomados del análisis de diversos casos en los cuales se realizó una evaluación de las estrategias (tabla 03), y de acuerdo a ese análisis se obtienen los siguientes aspectos:

Metodologías	Evaluación del impacto en el respeto a los valores patrimoniales	Evaluación de la compatibilidad	Evaluación de reducción de emisiones de CO2 y uso energético	Aspectos técnicos	Evaluación de costos operativos y de instalación	Evaluación de mejora de condiciones de confort	Consideración de mantenimiento a futuro
Integrating conservation aspects into energy performance assessments for 20th century buildings: Canongate housing.	x		x	x	x		
Estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage -	x	x	x		x	x	

Guidelines for improving the energy performance of historic building							
Integral desing method Energy Efficient Restoration	x		x		x	x	x

Tabla 05. Aspectos para evaluar la selección de estrategias de mejora.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Como se puede observar, los aspectos que son considerados en todas los casos analizados son la evaluación del impacto en el respeto a los valores patrimoniales, la evaluación de reducción de emisiones de CO2 y uso energético y la evaluación de costos operativos y de instalación.

La metodología presentada por el Estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building³¹ referente a la evaluación de las estrategias, es considerada en esta investigación como la más completa, ya que aborda la mayor cantidad de aspectos. Sobre esta se menciona que es "una evaluación sistemática no sólo de los aspectos técnicos y económicos, sino también de la manera en que las medidas afectan al tejido del edificio y al significado del patrimonio".³² y además "se basa en un esquema de riesgo-beneficio tabular para identificar las mejores medidas y eliminar las inadecuadas".³³, la tabla se divide en siete categorías (figura 04), las cuales a su vez son evaluadas por una escala de seis niveles (figura 05)

³¹ BSI Group, *borrador del estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building*, Londres, 2015.

³² *ibidem.*, p. 22

³³ *ibidem.*

Table 1 — Assessment categories and criteria of possible measures

Assessment category	Assessment criteria
Technical compatibility	hygrothermal risks
	structural risks
	corrosion risks
	salt reaction risks
	biological risks
	reversibility
Heritage significance	material impact
	visual impact
	spatial impact
Economic viability	capital costs
	operating costs, including maintenance costs
	economic return
	economic savings
Energy	energy performance and operational energy demand: — primary energy rating (total) — primary energy rating (non-renewable) — primary energy rating (renewable)
	energy saving
	embodied energy, life cycle energy demand
Indoor environment	Indoor environmental conditions suitable for building content preservation
	Indoor environmental conditions suitable for building fabric preservation
	Indoor environmental conditions suitable for achieving good occupant comfort levels
	emission of other harmful substances
Outdoor environment	greenhouse gas emissions from measures implemented and operation,
	emission of other harmful substances
	water consumption
	natural resources
Aspects of use	Influence on the use of the building

Figura 04. Esquema de riesgo-beneficio presentado en Estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building.

Fuente: Estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building.

Table 2 — An assessment scale

Assessment scale				
High risk	Low risk	Neutral	Low Benefit	High Benefit

Figura 05. Escala de cinco niveles empleada en el Estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building.

Fuente: Estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building.

Los pasos a seguir los siguientes:

1. Lista larga: Elaborar una lista de las posibles estrategias aplicables de acuerdo a la zona climática y características del inmueble
2. Eliminar de esta lista aquellas que parezcan inapropiadas, por medio de la evaluación con la escala de seis niveles, para obtener así una lista corta de posibles estrategias.
3. Lista corta: Esta lista será evaluada de acuerdo a riesgos - beneficios. El resultado de esta evaluación serán las estrategias a aplicar en orden de prioridad.
4. Se elaboraran paquetes de estrategias que serán evaluadas como un todo.
5. Se evaluarán los paquetes de estrategias de acuerdo a los objetivos de la rehabilitación energética.

Es importante señalar que, como se mencionada en el estándar Europeo prEN 16883:2015, "este método no debe considerarse un herramienta mecánica que proporciona una respuesta; Sino que tiene por objeto permitir una evaluación transparente y diálogo interdisciplinario necesario para identificar las intervenciones que mejor cumplan los requisitos de la edificio en cuestión".³⁴

Con base a este análisis, se decidió seguir el método empleado puesto que por medio de este se puede realizar una evaluación precisa de las estrategias, no obstante, este será adaptado a una versión corta en la cual se retomen los aspectos considerados de mayor importancia considerando las características particulares de la arquitectura patrimonial en Culiacán.

Dicho esto, se decide por excluir la categoría referente al ambiente exterior, puesto que este aspecto no se está estudiando, así mismo, la

³⁴ *ibidem.*, p.24

categoría sobre energía, puesto que los alcances de esta investigación únicamente abordarán el consumo energético actual. De las categorías que se mantienen se encuentran la compatibilidad técnica, respeto al patrimonio, viabilidad económica, ambiente interior, y por último, aspectos de uso. Se realizarán modificaciones a la categoría de respeto al patrimonio, agregándole un apartado de cumplimiento con lo establecido en la Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos³⁵, puesto que en México los inmuebles construidos durante el siglo XVI al siglo XIX son protegidos por esta ley. Así mismo, en la categoría de aspectos de uso se anexaran dos criterios de evaluación, los cuales son requerimiento de manejo especializado y requerimiento de guía de manejo.

Lo cual da como resultado la siguiente tabla (tabla 06):

Categoría de evaluación	Criterios de evaluación
Compatibilidad técnica	Riesgo higrotermico
	Riesgo estructural
	Riesgo de corrosión
	Riesgo biológico
	reversibilidad
Respeto al patrimonio	Impacto a los materiales
	Impacto visual
	Impacto espacial
	Cumplimiento de la ley*
Viabilidad económica	Costos operacionales
	Costos de mantenimiento
	Ahorro económico
Ambiente interior	Condiciones adecuadas para la conservación del

³⁵ Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticos e Históricos, Diario Oficial de la Federación, el 6 de mayo de 1972.

	contenido del inmueble
	Condiciones adecuadas para la conservación de los materiales del inmueble
	Condiciones adecuadas para obtener niveles de confort buenos para los usuarios
	Emisión de sustancias dañinas
Aspectos de uso	Influencia en el uso del inmueble
	Requerimiento de manejo especializado
	Requerimiento de guía de manejo

* Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos

Tabla 06. Adaptación a esquema de beneficio-riesgo
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola.

Los criterios seguidos en la categoría de evaluación de respeto al patrimonio, para determinar el cumplimiento de la Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos, son retomados de lo establecido en el artículo 45 del Reglamento de la Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos (tabla 07).

Cumplimiento de la Ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticos e históricos	No afecta el estado de conservación de los elementos arquitectónicos
	El funcionamiento de las instalaciones y servicios no altera ni deforma los valores del monumento.

Tabla 07. criterios de evaluación de la categoría cumplimiento de la ley*
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola.

Siendo el respeto al patrimonio un aspecto de gran importancia a tomar en cuenta en la selección de las estrategias a utilizar, se opta por profundizar en esta categoría, explicando, de acuerdo a lo que se puede realizar en México, las características que describen cada uno de los

criterios de esta categoría; impacto a los materiales, impacto visual e impacto espacial.

Se debe comenzar exponiendo que, lo que se busca al aplicar las estrategias de mejora, es una armonía entre estas y el inmueble, puesto que no se busca contrastar, sino el máximo nivel de compatibilidad posible. Es posible encontrar cierta similitud entre este problema y la arquitectura de integración, y, con la finalidad de apoyar esta ideología, se retoma lo expuesto por Brent C. Brolin³⁶ quien menciona que la arquitectura de integración "trata de los estilos arquitectónicos y de las dificultades que implica la consecución de un parecido entre edificios próximos pertenecientes a distintos estilos y épocas"³⁷ teniendo como objeto "enseñar, dentro de nuestras posibilidades, a crear relaciones coherentes y visualmente afines entre los edificios".³⁸ Si bien la arquitectura de integración contempla la armonización a una escala mayor, al igual que en la aplicación de estrategias de mejora, la problemática se centra y se resume en la armonización de lo antiguo con lo nuevo. Así mismo, se debe considerar como un aspecto esencial la potencialidad del inmueble para que las estrategias seleccionadas funcionen de forma efectiva.

Atendiendo a esta problemática referente a la integración de lo antiguo con lo nuevo, enfocándolo a los inmuebles patrimoniales y las estrategias de mejora en cuanto a acondicionamiento o eficiencia energética, existen tres aspectos fundamentales que deberán ser atendidos en cualquier proyecto de rehabilitación energética; el impacto visual, impacto espacial y el impacto en los materiales. De igual manera, dentro de la categoría de respeto al patrimonio en la tabla de evaluación del estándar Europeo prEN 16883:2015, son tomados los tres aspectos antes

³⁶ Brent C. Brolin, *La arquitectura de integración. Armonización entre edificios antiguos y modernos*, Barcelona, CEAC, 1984.

³⁷ *ibidem.*, p. 09

³⁸ *ibidem.*, p. 10

mencionados, como criterios de evaluación. Es por esto que, se ha decidido profundizar un poco en cada uno de los criterios y que es lo que se debe buscar, basado en las ideas Cocom³⁹ y Brolin⁴⁰ en lo referente a la arquitectura de integración.

En lo referente al impacto espacial, se debe buscar respetar la morfología del inmueble (principalmente aspectos internos del inmueble). Asimismo, Se deben considerar dimensiones y ordenamiento de los espacios interiores y la relación de estas con el funcionamiento del inmueble. Este funcionamiento abarcará el desempeño higrotérmico, y las actividades cotidianas que se realizan en el). Como un aspecto indispensable a considerar, se expone el buscar no modificar el comportamiento ambiental del inmueble. Atendiendo a la idea de que el inmueble funciona como un sistema holístico, no pueden realizarse modificaciones sin considerar posibles efectos negativos.

En cuanto al impacto visual, se debe abogar por la solución formal exterior del inmueble, es decir, Enfocarse en la compatibilidad de las formas del inmueble por medio de una relación armoniosa, la cual se pudiera lograr por medio de aspectos estéticos como el color, la textura, los materiales, la armonía de las formas, la simetría, el ritmo, etc., manteniendo como principio esencial la relación visual entre el inmueble y las estrategias de mejora.

Por último, en lo referente al impacto en los materiales, serán considerados como un impacto negativo a los materiales aquellos que promuevan el deterioro. Para este caso, se podrá considerar como deterioro a la destrucción, perforación y pérdida de materiales. Además, si la aplicación

³⁹ José Luis Cocom Herrera, *Arquitectura de integración. La nueva arquitectura en el centro histórico de Mérida, enfoque crítico y propuesta metodológica*, Tesis de Maestría, Mérida, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Arquitectura, 1997.

⁴⁰ Brent C. Brolin, *La arquitectura de integración. Armonización entre edificios antiguos y modernos*, Barcelona, CEAC, 1984.

de las estrategias ocasionan efectos secundarios, es decir, que no sean ocasionados directamente al momento de instalar las estrategias y aparezcan a mediano o largo plazo, como humedades, eflorescencias, disgregaciones, etc. Manteniendo siempre el principio esencial de respeto a las características de los materiales y respetar el potencial de estos.

Por lo tanto, se recomienda seguir los lineamientos anteriormente mencionados, para realizar la evaluación de estrategias propuestas, por medio de la tabla de evaluación en la categoría de respeto al patrimonio. Con esto se espera que el respeto al patrimonio sea considerado como un aspecto de suma importancia al momento de realizar intervenciones de rehabilitación energética.

Por otro lado, para la elaboración de la lista de posibles estrategias aplicables, resulta indispensable conocer las características medioambientales del sitio, como el tipo de clima, la radiación solar y la dirección de los vientos dominantes. De igual manera, es importante conocer las características térmicas de los materiales con los que cuenta el inmueble y realizar un análisis del confort higrotérmico de los espacios interiores para conocer el nivel de confort con el que se cuenta y los grados de temperatura que son necesarios disminuir o aumentar según sea el caso.

2.3.3. Aplicación de las estrategias de mejora

En este apartado se expondrá el método propuesto para realizar la aplicación de las estrategias de mejora seleccionadas. Siendo una de las problemáticas en esta área de estudio la falta de conocimiento respecto a los efectos que podría tener la aplicación de estas mejoras en las edificaciones patrimoniales, la simulación por medio de un programa computacional resulta muy útil, ya que permite aplicar las medidas de

manera simulada, lo cual ayuda a conocer los posibles beneficios que esta podría traer consigo. No obstante, una limitante sería el no conocer los posibles efectos que estas mejoras podrían llegar a presentar en el inmueble, al ser aplicados realmente.

Para esta investigación, el programa computacional seleccionado es Ener-Habitat⁴¹, un programa desarrollado por un grupo de investigadores y docentes en el área de diseño bioclimático y energía en edificaciones, elaborado con el apoyo del fondo SENER-CONACYT durante la convocatoria 2009. Cabe mencionar que es una herramienta gratuita y puede ser utilizada con un previo registro.

Para lograr realizar la simulación por medio de este software, es necesario tener un conocimiento completo del inmueble, de sus materiales y sistemas constructivos, forma y dimensiones. La herramienta tiene a disposición una base de datos climáticos de las principales ciudades de México, con la que fácilmente puede ser seleccionado el sitio de interés, además, cuenta con una base de datos de distintos materiales en la cual se especifican características de ellos como su densidad, conductividad y calor específico, datos necesarios para correr la simulación. Así mismo, cuenta con un Manual de uso⁴² de fácil acceso.

Con esta herramienta de simulación se aplicarán las estrategias propuestas que trabajan con la envolvente del inmueble y se realizará la simulación del comportamiento de las temperaturas de los sistemas constructivos analizados. Cuando se realiza la simulación de distintos sistemas

⁴¹ Ener-Habitat, Evaluación térmica de la envolvente arquitectónica, consultado en <http://www.enerhabitat.unam.mx> el 10 de junio de 2017.

⁴² Guadalupe Huelsz, Guillermo Barrios y Jorge Rojas, *Ener-Habitat. Evaluación térmica de la envolvente arquitectónica*. Manual de Uso, Ciudad de México, CONACYT-SENER, 2014.

constructivos, la herramienta muestra los resultados por medio de gráficas (figura 06 y 07).

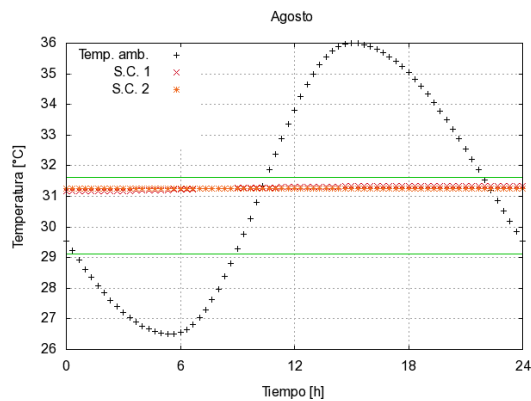


Figura 06. Gráfica de ejemplo de comportamiento de las temperaturas de los sistemas constructivos, junto con la temperatura del ambiente exterior y la zona de confort
Fuente: Ener-Habitat

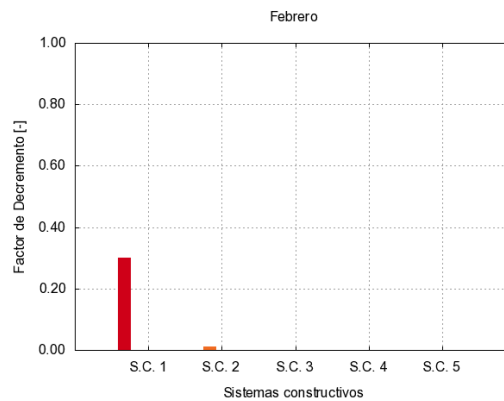


Figura 07. Gráfica de ejemplo de análisis del factor de decremento.
Fuente: Ener-Habitat

La figura 06 de la figura muestra el comportamiento de las temperaturas de los sistemas constructivos, junto con la temperatura del ambiente exterior y la zona de confort. Mientras que la figura 07 muestra el análisis del factor de decremento.

Se recomienda simular las estrategias de mejora que trabajan con la envolvente del inmueble, comparándolas con los sistemas constructivos actuales, para poder observar las diferencias en comportamientos y determinar si el sistema constructivo propuesto con las estrategias sería beneficioso o no para el inmueble.

2.4. Conclusiones segundo capítulo

Por medio del análisis de diversas metodologías empleadas para la rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales fue posible identificar las fases o etapas necesarias para realizar una intervención de este tipo.

No obstante, se propone realizar ciertas modificaciones a determinados aspectos para lograr adaptarla y aplicarla a inmuebles patrimoniales con características patrimoniales, referente a su protección, como con las que se cuentan en México.

Se concluye que las metodologías establecidas para llevar a cabo rehabilitaciones energéticas se componen de diversos aspectos que combinados logran realizar un diagnóstico, evaluación y mejora de las condiciones ambientales del inmueble. No obstante, estas metodologías se componen de muchos pasos, y en algunos casos se requiere de conocimientos especializados en algún área, para poder realizar las evaluaciones de acuerdo a como se especifica en ellas. Por lo cual se consideró como punto importante, adecuar estas metodologías de tal manera que contengan los puntos esenciales y que estos puedan llevarse a cabo por arquitectos restauradores.

Por otro lado, durante el análisis de las metodologías de rehabilitación energética existentes, se pudo observar que existe una inclinación hacia el diagnóstico del confort y hacia el cálculo de consumo de energético, sin embargo, en la mayoría de los casos se deja de lado el estudio de la adecuación del inmueble hacia su medio ambiente, es decir, no se realizan análisis sobre cómo afectan los factores medioambientales tales como el clima, asoleamiento y vientos, con la orientación del inmueble existente.

De igual manera, se encontró que una de las principales dificultades para la realización de este capítulo, es que no existe una metodología establecida que contemple todos los aspectos necesarios, por lo cual, fue posible identificar las etapas o fases, pero fue necesario establecer el método para llevar a cabo cada una de ellas.

Con esta metodología se podrá proponer una rehabilitación energética enfocada a la conservación del inmueble, el ahorro energético y al confort del usuario, sin embargo, esta investigación debería continuarse una vez aplicada la rehabilitación, para estudiar los efectos a corto y largo plazo en el inmueble, ya que existe desconocimiento al respecto.

En el próximo capítulo, se pondrá a prueba esta propuesta metodológica, y con eso se podrá comprobar su efectividad y viabilidad para poder ser aplicada en el futuro.

Capítulo 3.

Aplicación de metodología propuesta. Caso de estudio: Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa

Una vez definida en el capítulo anterior la metodología propuesta, explicando los aspectos, el procedimiento, los tipos de análisis y las herramientas necesarias para llevar a cabo una rehabilitación energética de un inmueble patrimonial en el contexto mexicano, este capítulo tiene como objetivo principal la puesta a prueba de esa metodología, por medio de la aplicación en un caso de estudio de un inmueble patrimonial ubicado en Culiacán, en el estado de Sinaloa. Por medio de esta aplicación se espera comprobar la factibilidad y eficiencia de la metodología propuesta, para dar resultados certeros sobre el diagnóstico y evaluación del inmueble, para finalizar con la propuesta de estrategias más adecuadas para realizar una rehabilitación energética.

3.1.- Caso de estudio

Edificio del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa



Figura 01 . Fachada principal del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Sobre su construcción.

Su construcción data del periodo colonial, no obstante, no se conoce fecha exacta. Fue construido originalmente de una sola planta con muros de adobe.

A finales del siglo XIX le fue construida la segunda planta, obra dirigida por el Ing. Luis F. Molina.

Actualmente funciona como el Archivo Histórico General del estado de Sinaloa. Se dispone en dos plantas y se compone por sistemas constructivos variados, tanto antiguos como actuales.

Usos durante la historia:

- Depósito de tabaco, alcohol y naipes (La Tercena).
- Casa habitación y bodega de productos.
- Sede del Colegio Rosales (1881-1895).
- Palacio de Gobierno (1895-1962).
- Procuraduría General de Justicia del Estado de Sinaloa (1962 a primeros años del siglo XXI).
- Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa (Primeros años del siglo XXI a la época actual).

3.2.- Evaluación y diagnóstico del inmueble

En este apartado se realizará un análisis de los principales parámetros medio ambientales que pueden inferir directamente en el desempeño higrotérmico del inmueble, es decir, el tipo de clima, temperaturas, periodo más cálido y más frío del año, el recorrido solar durante el año y los vientos dominantes. Comenzando por una macro localización, seguido de la micro localización, y finalizando con el análisis del confort higrotérmico.

3.2.1. Clima y confort

3.2.1.1. Macro localización

Culiacán Rosales es una ciudad que se encuentra ubicada en el estado de Sinaloa (figura 02), cuenta con una extensión territorial de 58,092 km² y colinda con los estados de Sonora al norte, Chihuahua al noreste, Durango al este y Nayarit al sur. La ciudad se localiza en la región centro del estado (figura 03), encontrándose en la latitud 24.8° latitud norte, y -107.4° longitud oeste, con una altitud de 60 m.s.n.m.



Figura 02. Mapa de México, señalando en rojo al estado de Sinaloa

Fuente: INEGI, modificado por el autor.



Figura 03. Mapa del estado de Sinaloa, señalando el municipio de Culiacán.

Fuente: INEGI, modificada por el autor

3.2.1.1.1. Relieve

La topografía del estado de Sinaloa se conforma por dos zonas principales (Figura 04): la sierra, conocida como Sierra Madre Occidental, al oriente conformando el 29.32% del territorio y va desde el norte hacia el sur; y una llanura o planicie costera que representa el 29.44% del territorio, conocida como Llanura Costera del Pacífico que se encuentra a todo lo largo del estado.



Figura 04. Mapa de las zonas topográficas del estado de Sinaloa
Fuente: INEGI

3.2.1.1.2. Hidrología

Las corrientes hidrológicas naturales son un elemento de gran importancia en la historia de Culiacán, ya que fueron determinantes para el emplazamiento de las primeras civilizaciones indígenas que existieron en la región. Dentro de la ciudad se encuentran tres ríos, estos son: El río Tamazula, el río Humaya y el río Culiacán (figura 05).



Figura 05. Imagen satelital de la unión de los ríos en Culiacán.

Fuente: Google earth, 27/06/2016

3.2.1.1.3. Clima

El concepto de clima puede ser definido como "conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan a una región".¹ Javier Neila González² hace mención de seis factores climáticos que son características inalterables del lugar, los cuales determinan el tipo de clima de un lugar determinado, estos factores son: la latitud del lugar, el factor de continentalidad, el factor orográfico, la temperatura de la superficie del mar, la altitud sobre el nivel del mar y la naturaleza de la superficie de la tierra.

Por su parte, en el libro *Introducción a la arquitectura bioclimática* se menciona que el clima es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta en el diseño de las edificaciones, puesto que "de las condiciones atmosféricas de un lugar depende que la arquitectura sea de muros pesados o ligeros, de cubiertas inclinadas o planas, de color oscuro o claro, con grandes vanos o pequeñas ventanas, etcétera".³

Para identificar el tipo de clima que existe en Culiacán, se recurrió a la consulta del Atlas Nacional de México (1990-1992), en el cual se basan en

¹ Real Academia Española, *Diccionario de la Real Academia Española*, Madrid, Espasa Libros, S. L. U., 2014.

² Francisco Javier Neila González, *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid, Munilla-Lería, 2004.

³ Manuel Rodríguez Viqueira, *Introducción a la arquitectura bioclimática*, Ciudad de México, Limusa, 2002, p.11

el sistema de clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García. El clima que se registra en Culiacán, Sinaloa, es de tipo BS1(h')w, lo cual quiere decir que por su temperatura se clasifica en el tipo de clima cálidos y muy cálidos, con temperatura media anual mayor a 18°C, y por su humedad se clasifica con clima semiárido, con un régimen pluvial de lluvias en verano (figura 06).

CLIMAS

SEGÚN EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN MODIFICADO POR ENRIQUETA GARCÍA

POR SU HUMEDAD POR SU TEMPERATURA	HÚMEDOS	SUBHÚMEDOS	SEMIÁRIDOS	ÁRIDOS	MUY ÁRIDOS	RÉGIMEN PLUVIAL			
CÁLIDOS Y MUY CÁLIDOS (Temp. media anual mayor de 18°C)		Am Am(w)	Aw ₂ Aw ₂ (w)	Aw ₁ Aw ₁ (w)	Aw ₀ Aw ₀ (w)	BS ₁ (h')w BS ₁ (h')h	BSh ₁ w BSh ₁ h	Verano	
	At At(f)	Am(f)	Aw ₂ (x')	Aw ₁ (x')	Aw ₀ (x')	BS ₁ (h')x'	BSh ₁ x'	Intermedio	
							BSh ₁ hs BS ₁ (h')hs	BWh ₁ hs BWh ₁ hs	Invierno
SEMICALDOS Del grupo A		A/C ₁ m A/C ₁ m(w)	A/C ₁ w ₂ A/C ₁ w ₂ (w)	A/C ₁ w ₁ A/C ₁ w ₁ (w)	A/C ₁ w ₀ A/C ₁ w ₀ (w)	BS ₁ h'hw	BS ₁ h'hw	BWh ₁ hw	Verano
Del grupo C		(A/C ₁ m A/C ₁ m(w)	(A/C ₁ w ₂ A/C ₁ w ₂ (w)	(A/C ₁ w ₁ A/C ₁ w ₁ (w)	(A/C ₁ w ₀ A/C ₁ w ₀ (w)	BS ₁ hw BS ₁ hw(w)	BS ₁ hw BS ₁ hw(w)	BWh ₁ w BWh ₁ w(w)	Intermedio
Del grupo A	A/C ₁ f A/C ₁ f(m)	A/C ₁ m(f)	A/C ₁ w ₂ x'	A/C ₁ w ₁ x'	A/C ₁ w ₀ x'	BS ₁ h'hx'	BS ₁ h'hx'	BWh ₁ hx'	Invierno
Del grupo C	(A/C ₁ f	(A/C ₁ m(f)	(A/C ₁ w ₂ x'	(A/C ₁ w ₁ x'	(A/C ₁ w ₀ x'	BS ₁ h(x')	BS ₁ h(x')	BWh ₁ x'	Invierno
(Temperatura media anual entre 18° y 22°C).						BS ₁ hs BS ₁ hs	BWh ₁ hs BWh ₁ hs	BWh ₁ hs BWh ₁ hs	Invierno
TEMPLADOS		C ₁ m C ₁ m(w)	C ₂ w ₂ C ₂ w ₂ (w)	C ₂ w ₁ C ₂ w ₁ (w)	C ₂ w ₀ C ₂ w ₀ (w)	BS ₁ kw BS ₁ kw(w)	BWh ₁ kw BWh ₁ kw(w)	BWh ₁ kw BWh ₁ kw(w)	Verano
(Temperatura media anual entre 12° y 18°C).	C ₁ f C ₁ f(m)	C ₁ m(f)	C ₂ w ₂ (x')	C ₂ w ₁ (x')	C ₂ w ₀ (x')	BS ₁ k(x')	BS ₁ k(x')	BWh ₁ k(x')	Intermedio
				C ₂			BS ₁ ks	BWh ₁ ks	Invierno
SEMIFRÍOS		C ₁ m'b' C ₁ m'(w)b'	C ₂ w ₂ b'	C ₂ w ₁ b'	C ₂ w ₀ b'	BS ₁ k'w	BS ₁ k'w	BWh ₁ k'w	Verano
(Temperatura media anual entre 5° y 12°C).	C ₁ f'b' C ₁ f'(m)b'	C ₁ m'(f)b'	C ₂ w ₂ (x')b'	C ₂ w ₁ (x')b'	C ₂ w ₀ (x')b'	BS ₁ k'(x')	BS ₁ k'(x')	BWh ₁ k'(x')	Intermedio
				C ₂ b'			BS ₁ k's	BWh ₁ k's	Invierno
FRÍOS (Temperatura media anual entre -2° y 5°C).						ETChw EThw			Verano
MUY FRÍOS (Temperatura media anual menor de -2°C).						EFhw			Verano

Para mayores detalles consultar: MODIFICACIONES AL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN, ENRIQUETA GARCÍA, 1988

Período de datos: 1921-80

Figura 06. Clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García. Recuperado de http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TII-IV-4-10.jpg

Por sus temperaturas medias mensuales, el periodo más cálido del año se registra de junio a agosto, y el periodo más frío de diciembre a febrero, con una temperatura media anual de 24.7 °C. (figura 07)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Diciembre
Temp. Media (°C)	19.2	20.3	22.2	24.9	27.4	29.8	28.6	28.1	27.9	26.3	22.5	19.9
HR %	58	58	62	66	68	65	70	73	70	63	63	61

Figura 07. Temperaturas medias mensuales durante el año en Culiacán
Fuente: Elaborado por Catalina Borbolla Gaxiola, con datos de Meteonorm

Considerando los periodos anteriormente mencionados, se seleccionó un mes de cada periodo para realizar las monitorizaciones de temperatura del aire y de humedad relativa en el inmueble, tomando de la temporada cálida el mes de agosto y de la temporada fría el mes de febrero.

3.2.1.1.4. Vientos

Por medio de las gráficas (figura 08) de los vientos obtenidas durante cada mes del año, se puede observar que los vientos dominantes tienen una dirección predominante hacia el oeste-suroeste la mayor parte del año, siendo en los meses más cálidos, junio, julio y agosto, esta dirección un flujo dominante. Durante los meses más fríos, diciembre, enero y febrero, la dirección de los vientos dominantes suele ocurrir hacia el cuadrante norte-noroeste.

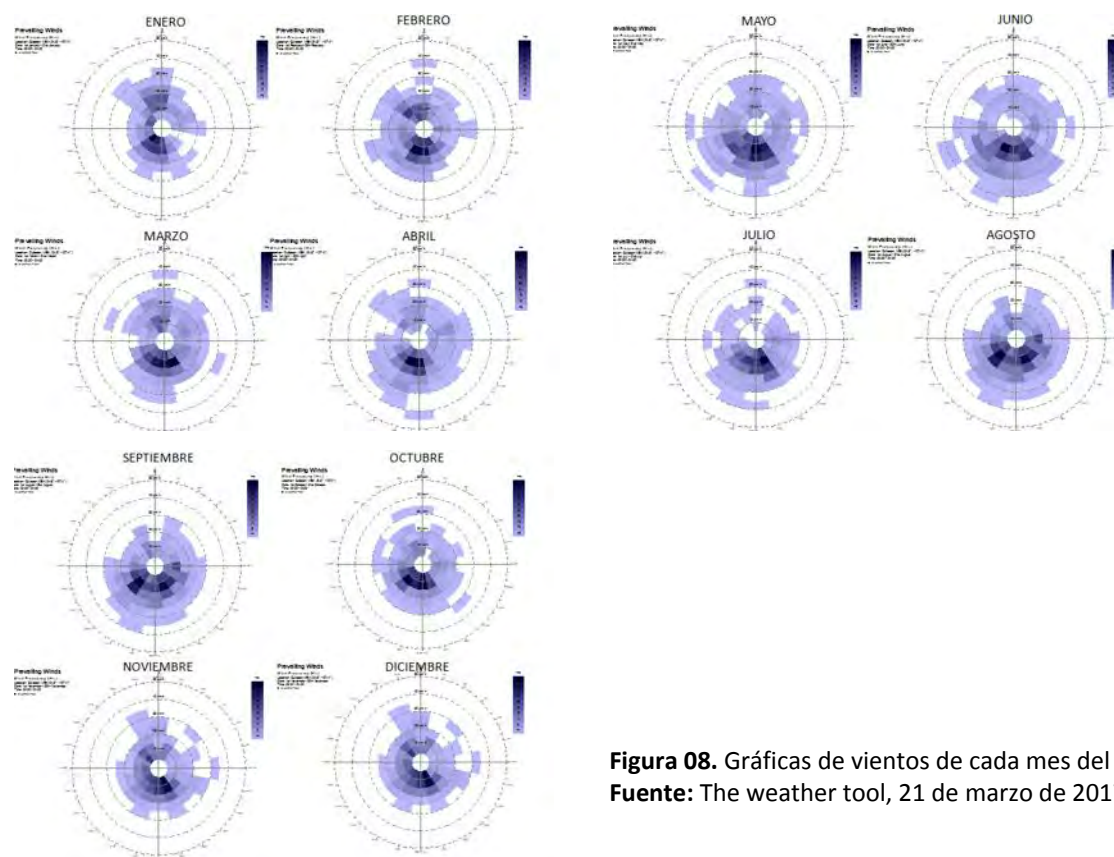


Figura 08. Gráficas de vientos de cada mes del año.
Fuente: The weather tool, 21 de marzo de 2017

En conclusión, los vientos dominantes en Culiacán durante todo el año tienen una dirección predominante hacia el oeste, más precisamente suroeste.

3.2.1.1.5. Asoleamiento

Para comprender mejor el asoleamiento al que se encuentra sujeto el inmueble, se obtuvo la gráfica solar (figura 09) de Culiacán, donde se puede observar el recorrido solar durante todo el año. Como se puede apreciar, el sol tiene un recorrido con inclinación hacia el sur.

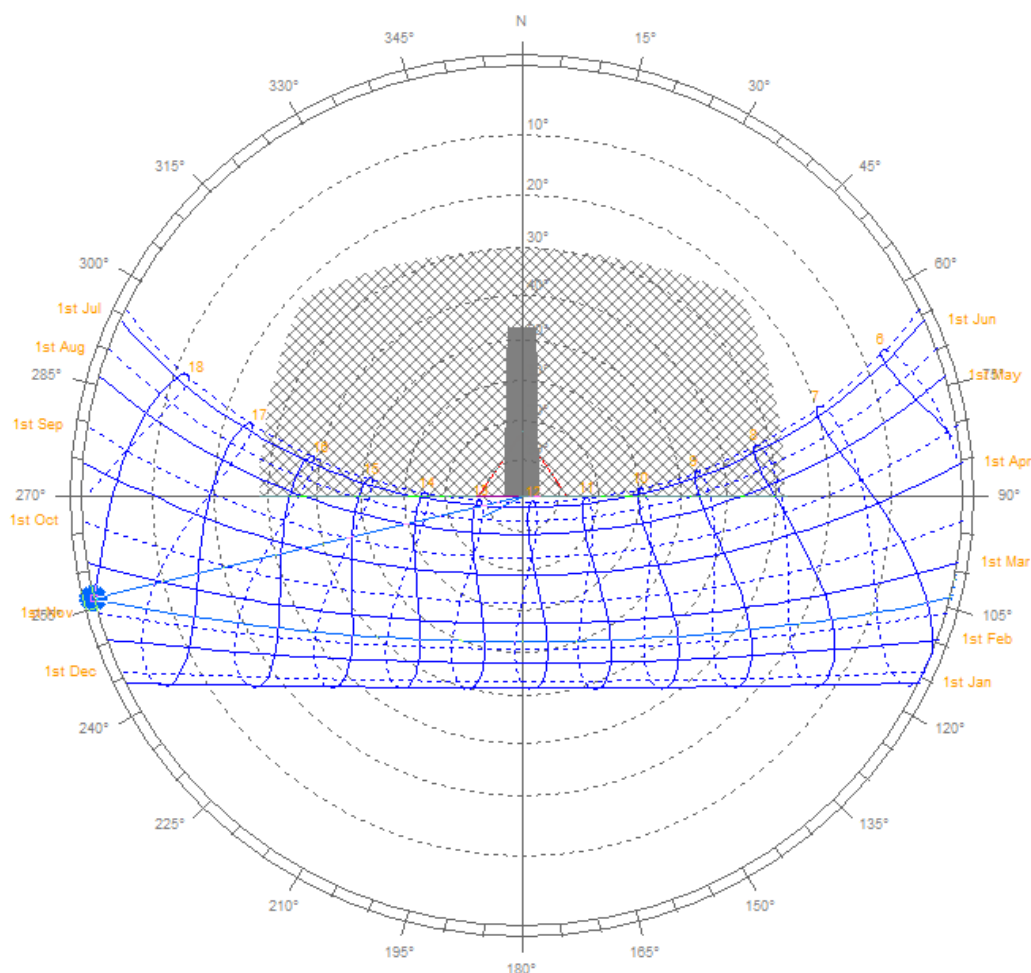
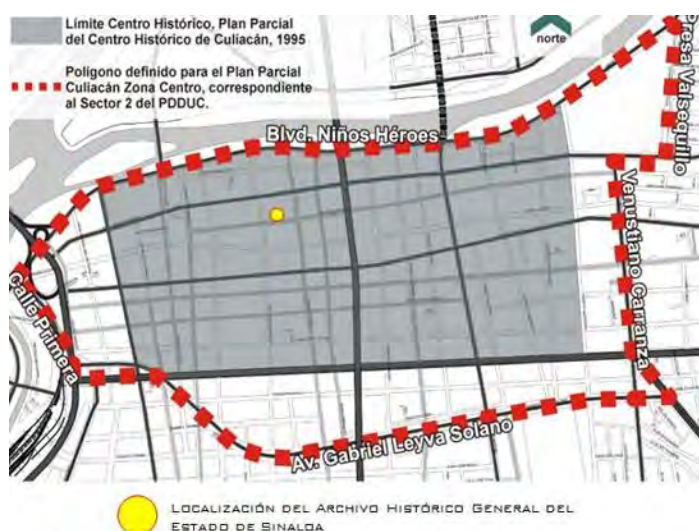


Figura 09. Gráfica solar de Culiacán
Fuente: The weather tool

3.2.1.2. Micro localización

Se localiza en la ciudad de Culiacán, ubicado dentro del perímetro que define el polígono del Plan Parcial Culiacán Zona Centro (figura 10), el cual comprende en su totalidad la colonia Centro. Es importante mencionar que este polígono fue justificado de acuerdo a la fundación de Culiacán, comprendiendo zonas e inmuebles de gran valor patrimonial para la sociedad culiacanense.



se encuentra ubicado sobre la calle General Antonio Rosales, con el número 256 poniente, en la colonia Centro de Culiacán, Sinaloa, con entrecalles José María Morelos y Pavón, y la avenida Domingo Rubí norte.

Figura 10. Ubicación del edificio del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa con respecto al polígono del Plan Parcial Culiacán Zona Centro.

Fuente: Plan Parcial Culiacán Zona Centro

El inmueble cuenta con una tipología de patio central, el cual no cuenta con protección contra la incidencia de los rayos solares, asimismo, tiene una orientación de su fachada principal hacia el sur (figura 11 y 12, Anexo 2), con colindancias de edificaciones hacia el este, oeste y norte. La vegetación que se localiza en el inmueble es prácticamente nula.

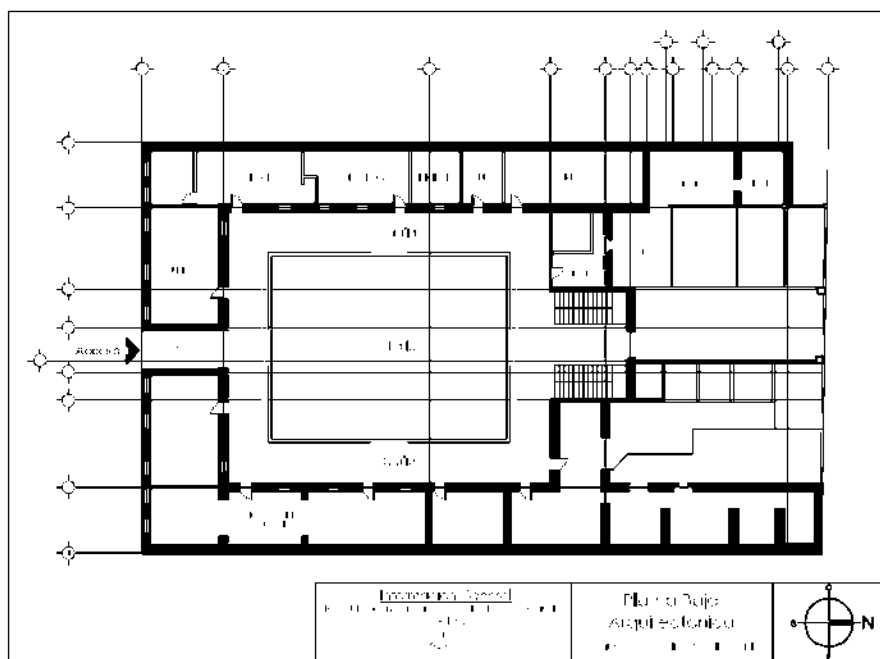


Figura 11. Planta arquitectónica baja del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa.
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola.

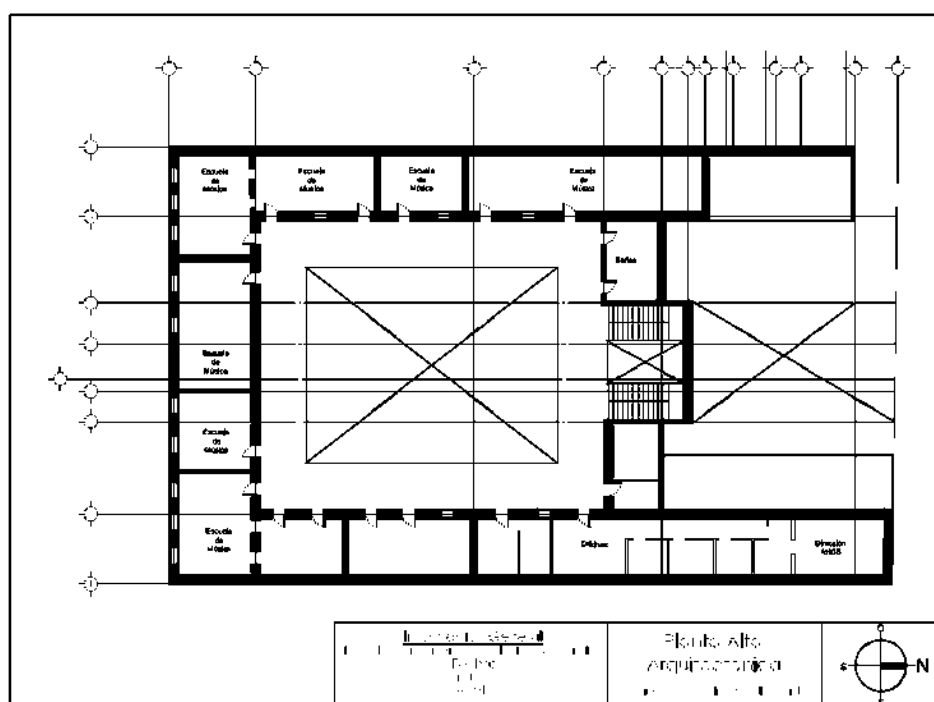


Figura 12. Planta arquitectónica alta del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa.
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola.

En lo referente a la orientación, como se mencionó este cuenta con una orientación hacia el sur, lo cual, de acuerdo a la información obtenida por medio del programa The weather tool (figura 13), la gráfica de mejor orientación por la radiación solar muestra que el sur sería la orientación óptima en Culiacán, lo cual significaría que la orientación del inmueble es la adecuada.

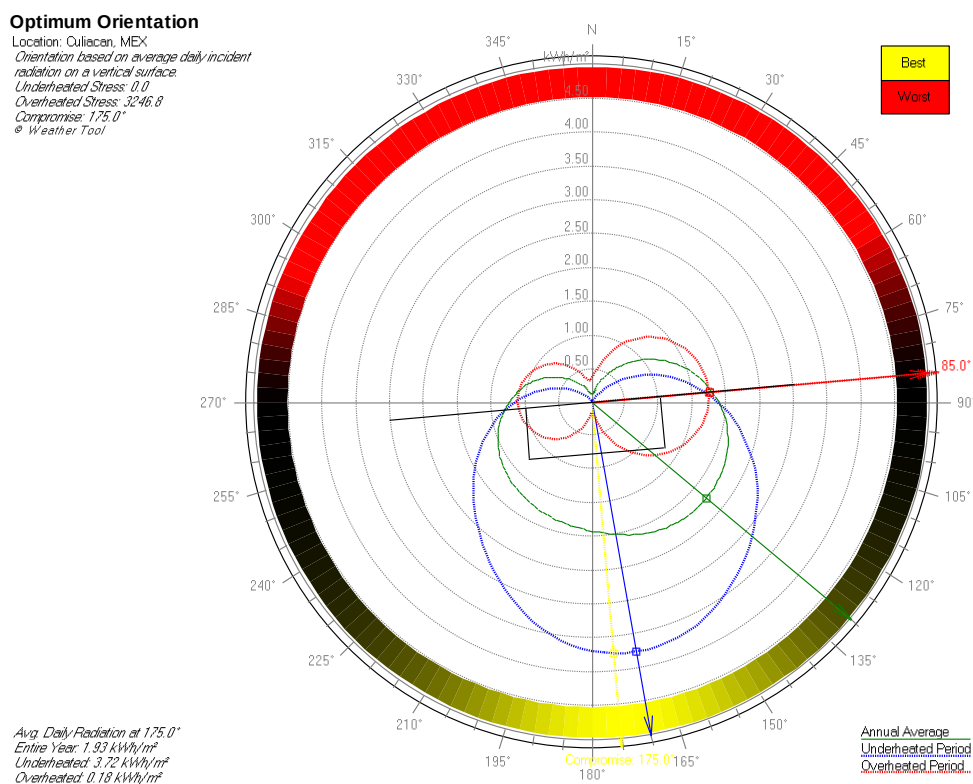


Figura 13. Gráfica solar de mejor orientación en Culiacán
 Fuente: The weather tool

Para analizar de manera más detallada el asoleamiento en el inmueble, se realizó un análisis durante cuatro puntos principales durante el año, los solsticios y equinoccios. El solsticio de verano ocurre el 21 de junio, el solsticio de invierno el 22 de diciembre, el equinoccio de primavera ocurre el 21-22 de marzo, y el equinoccio de otoño el 22-23 de septiembre. Asimismo, durante estos cuatro días, se tomó la posición solar a las 12:00 p.m., para realizar la comparación de estos. (Figura 14, Anexo 3).

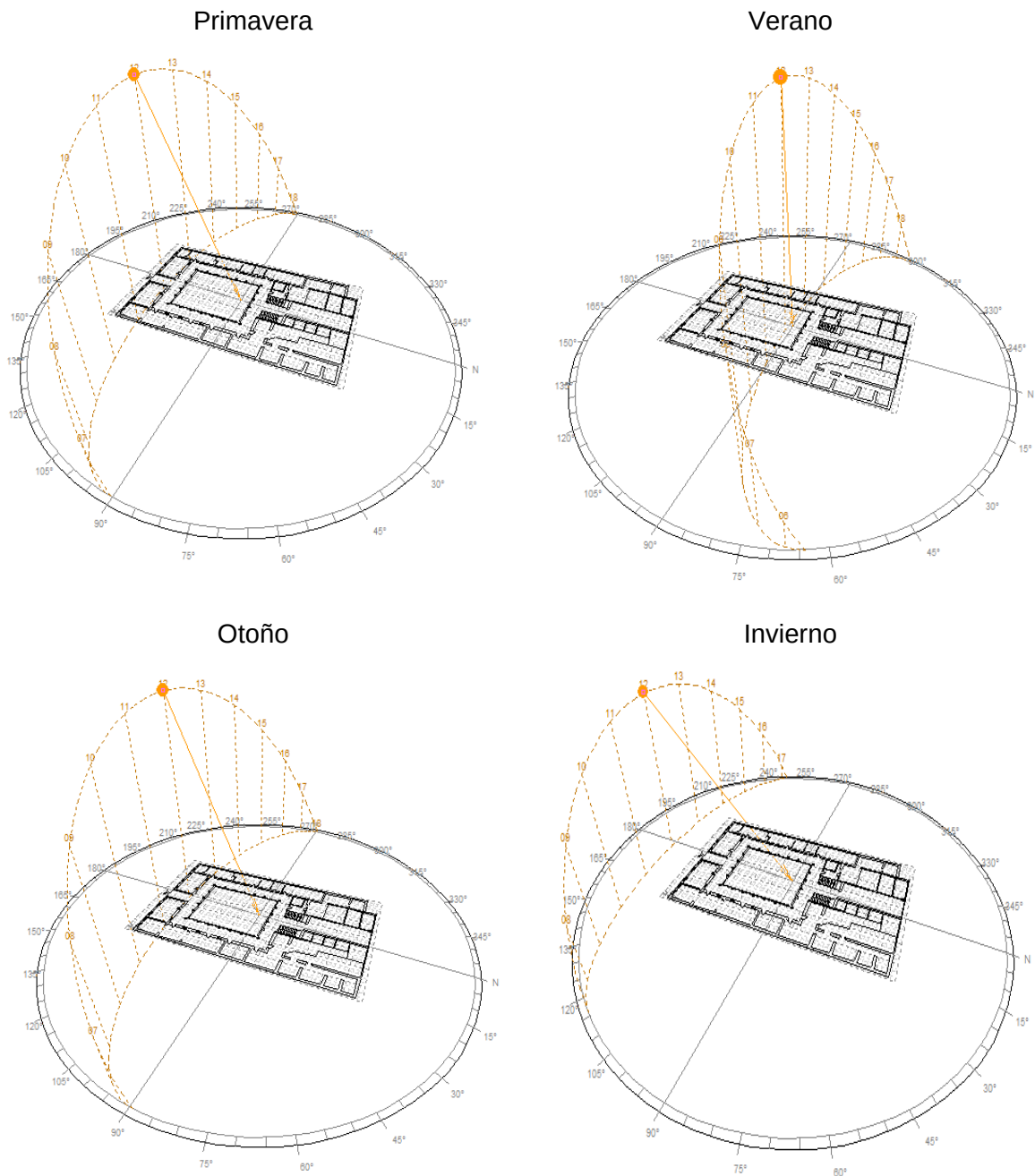
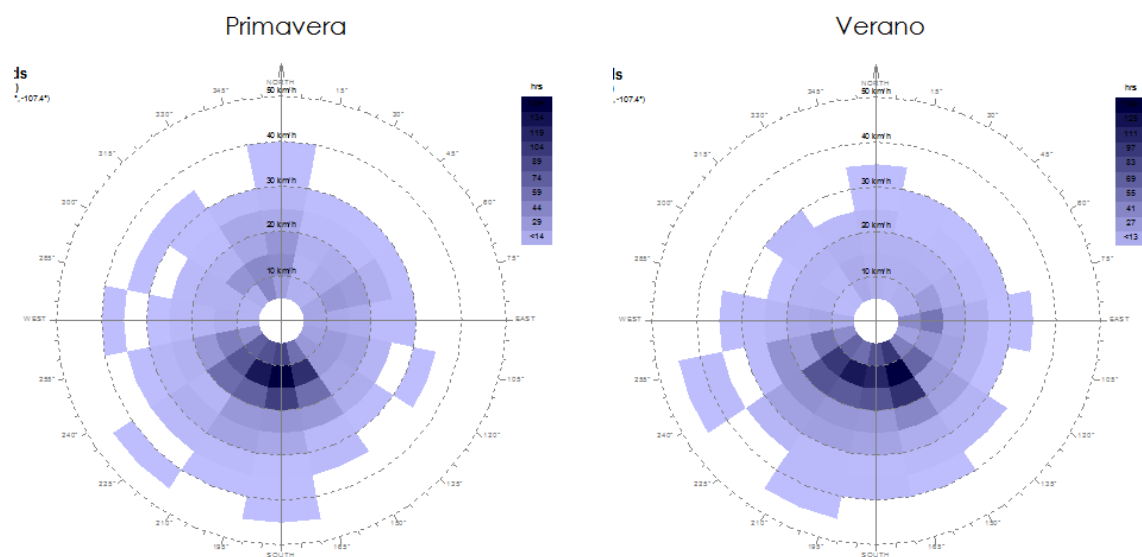


Figura 14. Análisis solar durante solsticios y equinoccios
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola, The weather tool

De este análisis de la posición solar, fue posible determinar que si bien gracias a la orientación hacia el sur el inmueble puede llegar a tener gran cantidad de iluminación natural durante gran parte del día, durante todo el año, esta orientación puede llegar a no ser tan buena, puesto que

durante las cuatro estaciones del año, a causa de la inclinación solar en distintos periodos del día, el inmueble llega a tener gran cantidad de incidencia de rayos solares. Esto podría afectar las temperaturas interiores del inmueble, causando un sobrecalentamiento de algunos espacios. Aunado a esto, es importante señalar que, actualmente el inmueble cuenta con colindancias hacia el este, oeste y norte, manteniéndose libre únicamente la fachada principal hacia el sur, siendo además la única fachada por donde puede recibir el asoleamiento. Asimismo, el inmueble recibe gran cantidad de radiación solar por medio del patio central durante todo el año, el cual no cuenta con algún tipo de protección contra los rayos solares.

En lo referente a los vientos dominantes, se realizó el análisis de las cuatro estaciones del año, primavera, verano, otoño e invierno, de lo cual se obtuvo que los vientos predominantes vienen principalmente del suroeste. La rosa de los vientos muestra en color azul oscuro la dirección de los vientos dominantes en cada una de las estaciones. (figura 15)



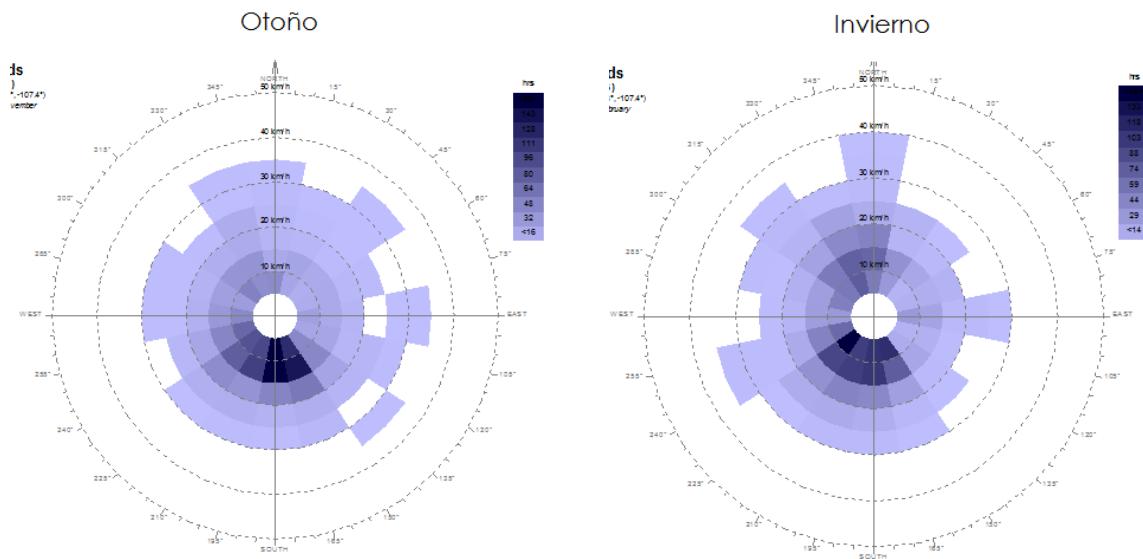


Figura 15. Gráficas de vientos dominantes durante las cuatro estaciones del año en Culiacán
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola, The weather tool

Asimismo, la dirección de los vientos dominantes en Culiacán, comparada con la orientación del inmueble caso de estudio, resulta favorable puesto que la fachada principal cuenta con gran cantidad de ventanas por medio de las cuales podría generarse ventilación natural, no obstante, por medio del análisis de campo, se pudo determinar que las ventanas no son utilizadas con esta función, ya que permanecen cerradas permanentemente, a causa del uso constante de los sistemas de acondicionamiento artificial.

3.2.1.3. Interior: Análisis del confort higrotérmico

En este apartado, se expondrán los resultados obtenidos por medio de la monitorización de la temperatura y la humedad relativa de determinados espacios interiores, durante un mes por dos temporadas distintas, agosto temporada cálida, y febrero temporada fría. Para esto, Se comenzó con la colocación de las herramientas de medición, las cuales fueron tres Data loggers (HOBOS) interiores (figura 16) y cuatro Data loggers (HOBOS Pro v2) para exteriores (figura 17).



Figura 16. Data loggers (HOBOS) para interiores utilizados

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola



Figura 17. Data loggers (HOBOS Pro v2) para exteriores utilizados

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Fue necesario seleccionar tres espacios interiores, los cuales no contarán con sistemas de acondicionamiento artificial. Además, se colocó un Data logger (HOBOS) en la azotea con la finalidad de obtener la temperatura exterior del lugar. Para esto fue necesario elaborar un dispositivo de protección contra lluvia, sol y viento para el Data logger, siguiendo las especificaciones establecidas por González Licón⁴ (figura 18 y 19).



Figura 18. Data logger (HOBOS) dentro del dispositivo de protección

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola



Figura 19. Dispositivo de protección colocado en azotea

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

⁴ Héctor Javier González Licón, *Vivienda tradicional de la región Purhépecha. Adecuación al medio ambiente, espacios y configuración formal*, Tesis de Doctorado en Arquitectura, Colima, Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura, 2006, p. 178

Al seleccionar los espacios interiores para colocar los Data loggers, se buscaron aquellos que se encontraran en funcionamiento, pero que no contaran con ningún tipo de sistema de acondicionamiento artificial. Asimismo, se trato de encontrar espacios con orientaciones distintas para observar la diferencia de resultados de temperatura y humedad relativa. Se seleccionaron tres espacios interiores, dos en planta baja y uno en planta alta, así como también la azotea (figura 20).

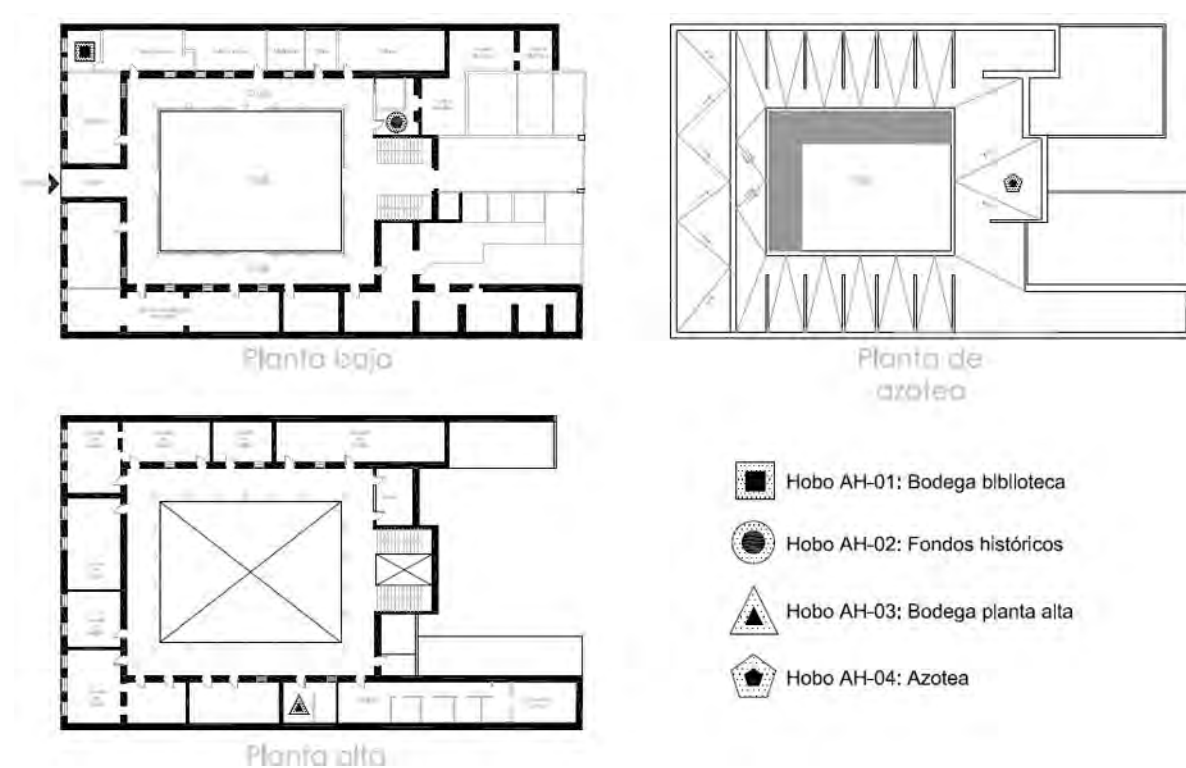


Figura 20. Localización de los Data loggers en las plantas arquitectónicas; planta alta, planta baja y azotea, durante temporada cálida.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

De igual manera, para la colocación de los Data loggers, se buscó que la ubicación de estos no fuera cerca de una corriente de aire, en un sitio donde recibiera rayos solares o cerca de aparatos electrónicos que

generen calor, puesto que esto podría afectar y alterar las mediciones de los Data loggers.

Por otro lado, se trató que la colocación de estos afectara lo menos posible los materiales del inmueble, así como también que no intervinieran en las actividades diarias de los usuarios y trabajadores del edificio. La altura de colocación de los Data loggers se encontró entre los 1.70 metros y los 1.90 metros, dependiendo de las posibilidades de cada espacio (figura 21).

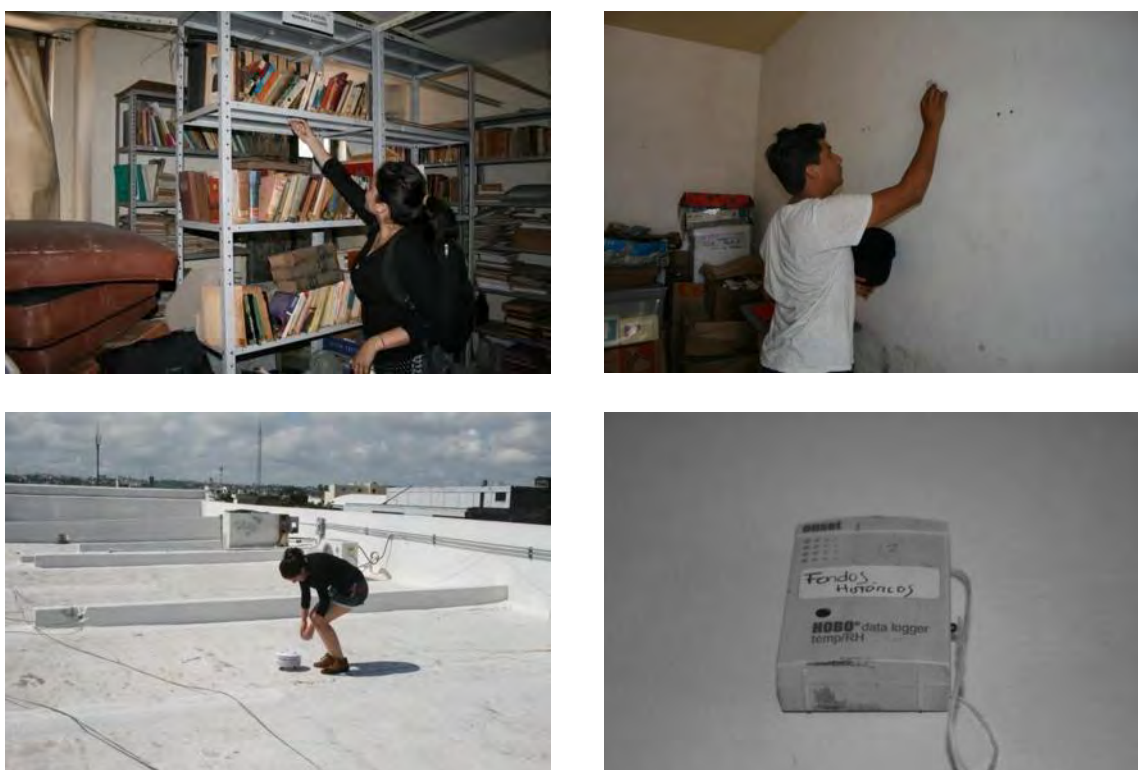


Figura 21. Colocación de herramientas de medición (Data loggers)
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Otro aspecto importante a señalar, es que antes de comenzar con los monitoreos, se realizó una sencilla validación de los Data loggers, la cual sirvió para comprobar que trabajaran de manera adecuada y que los datos recopilados fueran certeros. Para esto, se siguió el método expuesto

por Habid Becerra Santacruz⁵, en el cual se colocaron todos los Data loggers utilizados durante los monitoreos en una habitación cerrada, sobre una superficie plana a una altura de aproximadamente 1 metro, con una separación de 20 centímetros entre cada uno (figura 22).



Figura 22. Proceso de ordenamiento de Data loggers para su validación
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

De esta validación, los datos obtenidos nunca se tuvieron una diferencia, de un Data logger a otro, de más de 0.5 grados centígrados, lo cual se encuentra dentro del parámetro establecido. Con esto fue posible comprobar que las herramientas se encontraban con un funcionamiento adecuado para realizar los monitoreos.

3.2.1.3.1. Temporada cálida

En este apartado se realiza el análisis del desempeño higrotérmico durante la temporada cálida, para lo cual fue necesario sintetizar la información de temperatura del aire y humedad relativa recopilada por medio de las monitorizaciones. Se comenzó por obtener los promedios por hora durante

⁵ Habid Becerra Santacruz, *Low income housing in México: An evaluation of thermal confort and performance of industrialised housing construction system in warm temperate climate*, Tesis de Doctorado, Sheffield, Universidad de Sheffield, Escuela de Arquitectura, p. 195

el mes de agosto, para proseguir con la obtención del rango de confort adaptativo por hora por medio del modelo de Mauricio Roríz.⁶

Una vez obtenido el rango de confort adaptativo por hora, fue posible identificar las temperaturas que presentaban un superávit o un déficit de temperatura. En la figura 23 fueron señaladas en color rojo claro las temperaturas que presentan un superávit o sobrecalentamiento, tanto en los espacios interiores monitoreados, como en el exterior (azotea) y las temperaturas exteriores obtenidas de una estación meteorológica. Dentro del recuadro verde punteado, se señala el horario operacional del inmueble.

Temperatura en °C					
Hora	Hobo AH-01	Hobo AH-02	Hobo AH-03	Hobo AH-04	Estación
12:00:00 a. m.	31.23	30.65	30.92	27.85	26.5
01:00:00 a. m.	31.18	30.65	30.87	27.42	26.2
02:00:00 a. m.	31.12	30.64	30.94	26.98	25.8
03:00:00 a. m.	31.09	30.63	30.94	26.75	25.5
04:00:00 a. m.	31.05	30.63	30.95	26.52	25.5
05:00:00 a. m.	31	30.62	30.96	26.33	25.3
06:00:00 a. m.	30.98	30.62	30.94	26.23	25.3
07:00:00 a. m.	30.93	30.62	30.92	26.26	25.4
08:00:00 a. m.	30.9	30.62	30.81	27.22	26.8
09:00:00 a. m.	30.84	30.61	30.52	28.9	28.7
10:00:00 a. m.	30.84	30.62	30.33	31.16	30.4
11:00:00 a. m.	30.96	30.66	30.21	34.48	32.2
12:00:00 p. m.	31.2	30.67	30.11	35.82	33
01:00:00 p. m.	31.44	30.67	30.05	36.51	33.5
02:00:00 p. m.	31.64	30.67	30.01	37.65	33.9
03:00:00 p. m.	31.71	30.67	29.99	37.94	34
04:00:00 p. m.	31.85	30.64	30.15	36.29	32
05:00:00 p. m.	31.81	30.66	30.35	34.82	32.6
06:00:00 p. m.	31.77	30.64	30.52	33.2	30.8
07:00:00 p. m.	31.66	30.65	30.63	32.26	30.4
08:00:00 p. m.	31.53	30.64	30.72	31	29
09:00:00 p. m.	31.45	30.64	30.78	29.36	28.2
10:00:00 p. m.	31.36	30.64	30.83	28.67	27.3
11:00:00 p. m.	31.29	30.64	30.86	28.32	27

Figura 23. Comparación de temperaturas interiores y exteriores de acuerdo al rango de confort adaptativo
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

⁶ Mauricio Roríz, *Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: Uma hipótese de modelo adaptativo*, en Memórias de ECAC COTEDI, Curitiba, Universidade Federal de Sao Carlos, noviembre 2003.

Donde el Hobo AH-01, Hobo AH-02 y Hobo AH-03 fueron colocados en espacios interiores, y el Hobo AH-04 en el exterior. Como fue mencionado en el capítulo anterior, el modelo empleado para determinar el rango de confort adaptativo en Culiacán, fue el de Mauricio Roríz, quien se basa en el modelo de Humphreys.

Se puede observar, en los espacios interiores (Hobo AH-01, Hobo AH-02 y Hobo AH-03) se presenta un superávit de temperatura durante la mayor parte del día, mientras que en el exterior (Hobo AH-04) las temperaturas con superávit se presentan en una proporción menor y durante las horas del día contrarias a las temperaturas en los espacios interiores. De igual manera, las temperaturas exteriores presentan una marcada diferencia en la cantidad de temperaturas con superávit, con respecto a las temperaturas interiores, presentándose únicamente durante una pequeña porción del día.

Para realizar una comparación de las temperaturas con respecto al rango de confort adaptativo obtenido, se sintetizó la información en una gráfica (figura 24), en la cual se puede observar el comportamiento de las temperaturas durante el día.

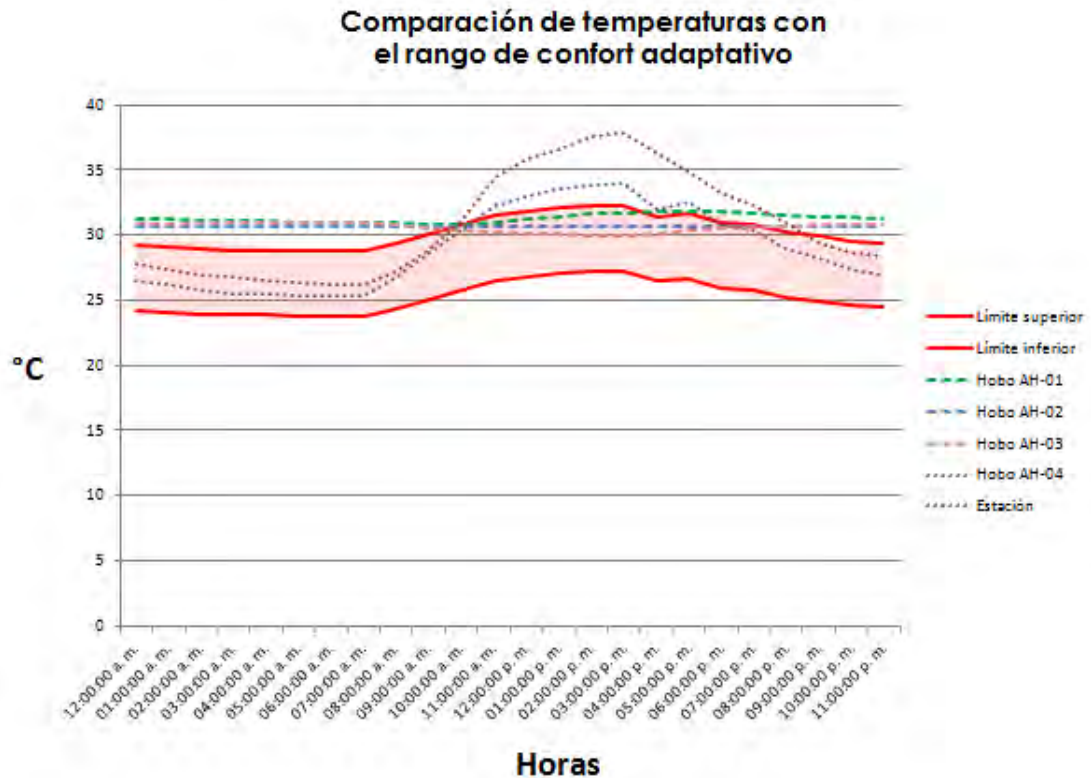


Figura 24. Gráfica de análisis de temperaturas exteriores e interiores en un mes con respecto a la zona de confort adaptativo.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Las temperaturas exteriores de la estación meteorológica y de la azotea (Hobo AH-04), presentan un comportamiento similar entre ellas, diferenciándose en que las temperaturas de la estación meteorológica presentan temperaturas más bajas. Por otro lado, las temperaturas interiores presentan un comportamiento constante, con variaciones mínimas de temperaturas, produciendo un recorrido prácticamente lineal en la gráfica.

Asimismo, el rango de confort adaptativo obtenido, responde al comportamiento de las temperaturas exteriores, puesto que durante las horas del día donde se presentan temperaturas más elevadas, el rango de confort adaptativo de igual manera eleva su rango, permitiendo obtener mayor cantidad de temperaturas dentro del rango en Culiacán.

Para el análisis de oscilación de temperatura, se realizó la siguiente gráfica:

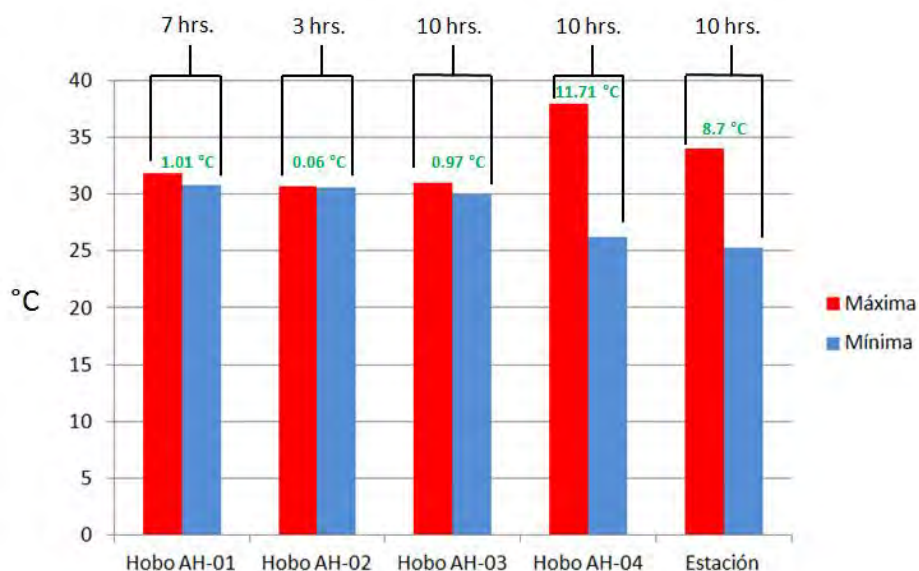


Figura 25. Análisis de oscilación de temperatura durante la temporada cálida.
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Obteniendo lo siguiente:

Hobo AH-01: La temperatura máxima en el interior es de 31.85°C a las 16:00 horas y la temperatura mínima es de 30.84°C a las 09:00 a.m., lo cual da como resultado una oscilación de 1.01 °C, con una diferencia de 7 horas.

Hobo AH-02: La temperatura máxima en el interior es de 30.67 °C de 12:00 p.m., y la temperatura mínima es de 30.61°C a las 09:00 a.m., lo cual da como resultado una oscilación de 0.06 °C, con una diferencia de 3 horas.

Hobo AH-03: La temperatura máxima en el interior es de 30.96 °C a las 05:00 a.m., y la temperatura mínima es de 29.99°C a las 15:00 horas, lo cual da como resultado una oscilación de 0.97 °C, con una diferencia de 10 horas.

Hobo AH-04: La temperatura máxima registrada en el microclima es de 37.94 °C a las 15:00 p.m. y la temperatura mínima es de 26.23°C a las 06:00

a.m., lo cual da como resultado una oscilación de 11.71 °C, con una diferencia de 9 horas.

Estación meteorológica: La temperatura máxima registrada en la estación meteorológica es de 34 °C a las 15:00 p.m. y la temperatura mínima es de 25.3 °C a las 05:00 a.m., lo cual da como resultado una oscilación de 8.7 °C, con una diferencia de 10 horas.

Como conclusión del análisis térmico durante la temporada cálida en Culiacán, se puede decir que se registraron mayor cantidad de temperaturas en superávit en el interior que en el exterior durante el día. Por otro lado, el comportamiento térmico en el interior parecería ser inverso al exterior, registrándose las temperaturas más bajas en el interior de 11:00 a.m. a 17:00 p.m., siendo este periodo de tiempo cuando en el exterior las temperaturas son más elevadas.

De igual manera cabe señalar que si bien en el interior las temperaturas presentan un comportamiento constante, el Hobo AH-01 presenta mayor variaciones de temperatura durante el día, las temperaturas más elevadas en los espacios interiores monitoreados y la mayor cantidad de temperaturas en superávit, lo cual podría relacionarse directamente con la orientación del espacio donde se instaló el hobo AH-01, contando con una ventana con orientación hacia el sur, lo cual ocasiona que se obtenga mayor cantidad de radiación solar.

Otro aspecto importante a señalar, es que durante la temporada cálida (agosto de 2016), no se registró ningún déficit de temperaturas durante ningún momento del día. Esto da como resultado que este inmueble, durante la temporada cálida solamente requiere disminuir su temperatura.

Por último, de acuerdo al rango de confort adaptativo obtenido, los espacios interiores presentan temperaturas confortables durante el periodo más cálido del día de 10:00 a.m. a 7:00 p.m.

Humedad relativa temporada cálida

Para el análisis de la humedad relativa, de igual manera se obtuvieron los promedios por hora durante un mes en la temporada cálida, para identificar las horas con porcentaje en confort de humedad relativa, así como también las horas más secas o más humedad (figura 26). El parámetro seguido es el de porcentaje de humedad relativa confortable de 30 a 70%, manejado en diversos estudios como el de González Licón⁷ y la norma NTP 501⁸ para espacios de trabajo donde se realicen actividades sedentarias como oficinas o similares.

⁷ Héctor Javier González Licón, *op. cit.*, p. 126

⁸ NTP 501, *Ambiente térmico: inconfort térmico local*, Ministerio d trabajo y asuntos sociales de España, 1998.

Hora	Humedad Relativa en %				
	Hobo AH-01	Hobo AH-02	Hobo AH-03	Hobo AH-04	Estación
12:00:00 a. m.	55.47	68.44	60.28	77.08	85.9
01:00:00 a. m.	55.72	68.44	60.28	79.6	83.6
02:00:00 a. m.	55.83	68.5	60.22	82.39	88.1
03:00:00 a. m.	55.97	68.53	60.22	84.36	88.4
04:00:00 a. m.	56.06	68.68	60.25	85.76	89.4
05:00:00 a. m.	56.19	68.85	60.28	86.91	89.8
06:00:00 a. m.	56.22	68.97	60.31	87.44	90
07:00:00 a. m.	56.31	69.1	60.35	88.2	89.5
08:00:00 a. m.	55.84	69.19	60.39	84.38	84
09:00:00 a. m.	54.67	69.03	60.71	74.71	76.6
10:00:00 a. m.	53.07	68.82	61.25	60.51	69.1
11:00:00 a. m.	51.86	68.55	61.35	49.28	62.1
12:00:00 p. m.	51.48	68.31	61.32	43.25	58.7
01:00:00 p. m.	51.05	67.82	61.25	41.47	57.2
02:00:00 p. m.	50.39	67.4	60.91	37.91	56.3
03:00:00 p. m.	50.02	66.99	60.31	36.59	55.3
04:00:00 p. m.	51.48	66.93	60.42	40.28	59.1
05:00:00 p. m.	52.02	67.04	60.21	46.05	60.5
06:00:00 p. m.	53.22	67.21	60.35	52.5	64.2
07:00:00 p. m.	53.57	67.55	60.24	55.63	67.4
08:00:00 p. m.	54.08	67.65	60.22	60.37	72.8
09:00:00 p. m.	54.49	67.96	60.17	68.19	76.7
10:00:00 p. m.	54.92	68.16	60.22	73.44	81.1
11:00:00 p. m.	55.16	68.39	60.29	75.94	84.2

Confort  30 a 70 %

Figura 26. Análisis de la humedad relativa en la temporada cálida, de acuerdo a los porcentajes de HR

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

De este análisis se obtuvo que:

El Hobo AH-01 registró porcentajes de humedad relativa confortables durante todo el periodo del día, representando un 100% de humedad relativa confortable.

El Hobo AH-02 registró porcentajes de humedad relativa húmedos durante todo el periodo del día, representando un 100% de humedad relativa húmeda.

El Hobo AH-03 registró porcentajes de humedad relativa húmedos durante todo el periodo del día, representando un 100% de humedad relativa húmeda.

El Hobo AH-04, el cual fue instalado en la azotea del inmueble para registrar los datos del exterior, registró humedad relativa húmeda y confortable. El 58.33% fue humedad relativa húmeda y el 41.66% fue humedad relativa confortable.

Mostrando la información anteriormente mencionada, se presenta la siguiente gráfica:

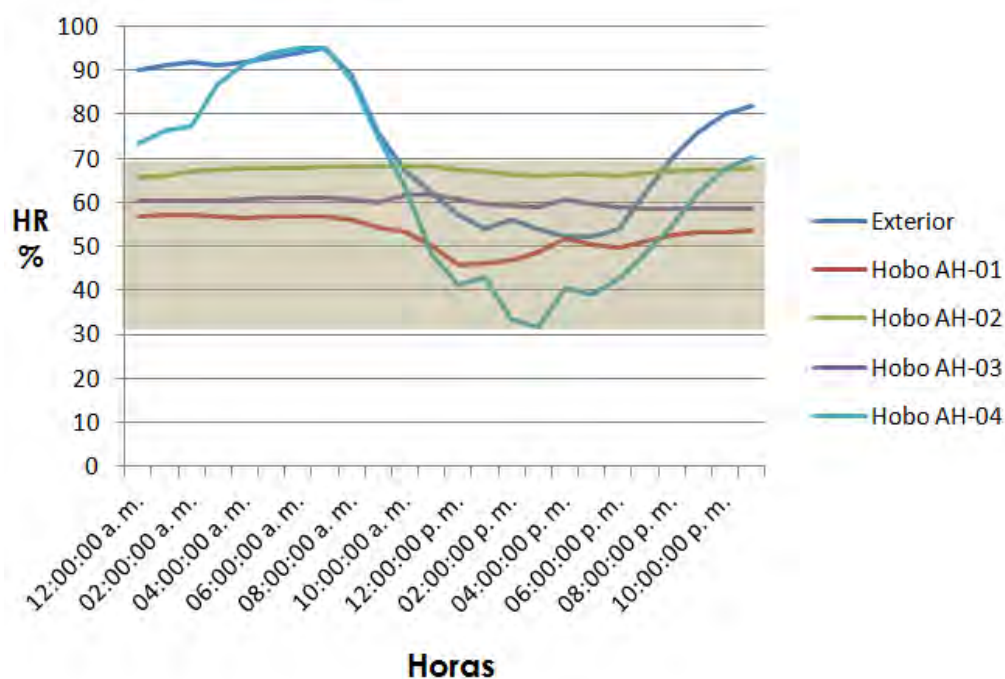


Figura 27. Análisis de la humedad relativa en la temporada cálida, de acuerdo al parámetro de confort de Humedad relativa

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Donde se muestra el comportamiento de la humedad relativa en los distintos espacios analizados, durante un día tipo, comparando la información con la zona de humedad relativa confortable (30% a 70%). Como se puede ver, los tres espacios interiores analizados presentan una

humedad relativa confortable durante todo el día, mientras que en el exterior se presenta humedad relativa húmeda y confortable. De igual manera, el comportamiento de la humedad relativa registrada en el exterior (Hobo AH-04) y en la estación meteorológica, presentan un comportamiento similar.

Los resultados obtenidos con este análisis pueden relacionarse con la morfología del inmueble, puesto que el espacio donde registró el hobo AH-01 cuenta con una ventana que permite la incidencia de los rayos solares, y fue el espacio que presentó humedad relativa más confortable durante todo el periodo del día. Mientras que el espacio con menor ventilación natural (AH-02) presentó humedad relativa más húmeda, pero siempre dentro del parámetro de confort.

Como dato importante, cabe señalar que el periodo más cálido del año en Culiacán se da en los meses de junio, julio, agosto, coincidiendo con la época de lluvias o periodo de mayor precipitación pluvial según el tipo de clima que hay en Culiacán con régimen de lluvias en verano. Lo cual puede ocasionar que la humedad relativa en el periodo cálido sea más húmeda que en periodo frío.

3.2.1.3.2. Temporada fría

En este apartado se realiza el análisis del desempeño higrotérmico durante la temporada fría, para lo cual fue necesario sintetizar la información de temperatura del aire y humedad relativa recopilada por medio de las monitorizaciones. Se comenzó por obtener los promedios por hora durante el mes de febrero, para proseguir con la obtención del rango de confort adaptativo, el cual se obtuvo de la misma manera que en la temporada cálida, con el modelo de Mauricio Roríz.⁹

⁹ Mauricio Roríz, *op. cit.*

Para colocación de los Data loggers durante esta temporada, se siguieron los mismos lineamientos que en la temporada cálida, variando únicamente en la ubicación de los espacios para la colocación de estos. Para los espacios interiores no hubo modificaciones, puesto que se colocaron en el mismo lugar, no obstante, ya no se colocó un Data loggers en la azotea, en cambio, se colocó en el patio central, con la finalidad de obtener datos de microclima (figura 28).

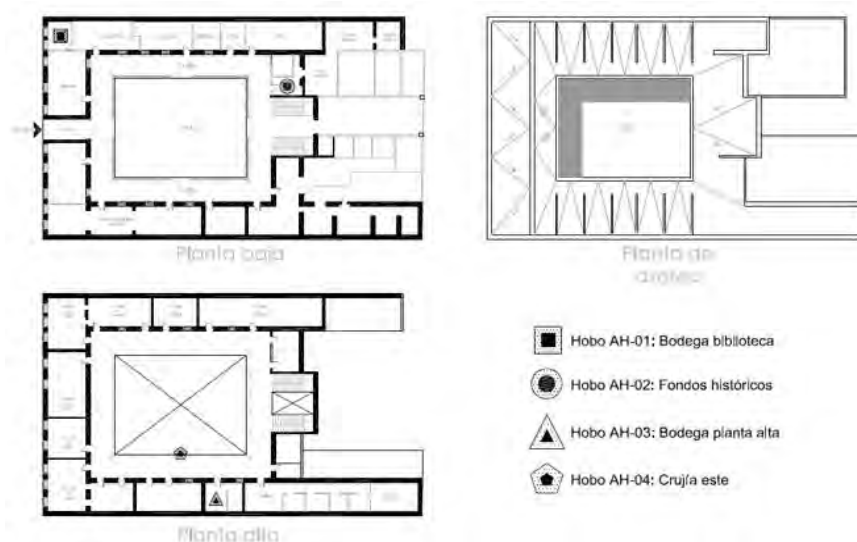


Figura 28 . Localización de los Data loggers en las plantas arquitectónicas; planta alta, planta baja y azotea en temporada fría.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Se procedió con los mismos análisis que en la primera temporada de análisis. Se comenzó por la elaboración de una tabla (figura 29) que muestra los promedios por hora durante un mes (febrero), con los cuales, una vez obtenido el rango de confort adaptativo, se marcaron con rojo aquellos que presentaron un superávit de temperatura. Del mismo modo, se marco con un recuadro verde punteado el horario operacional del inmueble.

Hora	Temperatura en °C				Estación
	Hobo AH-01	Hobo AH-02	Hobo AH-03	Hobo AH-04	
12:00:00 a. m.	24.24	23.32	23.29	22.52	13.6
01:00:00 a. m.	24.15	23.26	23.23	22.31	13.3
02:00:00 a. m.	24.05	23.18	23.15	22.09	13
03:00:00 a. m.	23.96	23.11	23.07	21.88	12.8
04:00:00 a. m.	23.86	23.03	23	21.69	12.7
05:00:00 a. m.	23.77	22.96	22.91	21.51	12.5
06:00:00 a. m.	23.65	22.85	22.78	21.3	12.4
07:00:00 a. m.	23.51	22.73	22.66	21.11	12.5
08:00:00 a. m.	23.47	22.72	22.64	21.33	15.5
09:00:00 a. m.	23.57	22.8	22.74	21.77	19.1
10:00:00 a. m.	23.76	22.93	22.9	22.32	21.9
11:00:00 a. m.	24.09	23.09	23.03	22.82	24.4
12:00:00 p. m.	24.49	23.36	23.31	23.44	26.3
01:00:00 p. m.	24.92	23.66	23.61	25.91	27.5
02:00:00 p. m.	25.03	23.68	23.62	26.56	28.1
03:00:00 p. m.	25.09	23.77	23.72	27.2	28.4
04:00:00 p. m.	25.09	23.79	23.74	27.24	27.7
05:00:00 p. m.	25.03	23.81	23.81	25.36	26
06:00:00 p. m.	24.82	23.7	23.68	24.51	22.4
07:00:00 p. m.	24.65	23.58	23.56	23.91	19
08:00:00 p. m.	24.48	23.51	23.49	23.51	17.3
09:00:00 p. m.	24.33	23.42	23.38	23.19	15.8
10:00:00 p. m.	24.18	23.31	23.26	22.91	14.9
11:00:00 p. m.	24.08	23.25	23.2	22.71	14

Figura 29. Análisis de temperaturas interiores y exteriores durante temporada fría, de acuerdo a la zona de confort.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Donde el Hobo AH-01, Hobo AH-02 y Hobo AH-03, corresponden a registros de datos en espacios interiores, mientras que el Hobo AH-04 corresponde a datos de microclima. Como se puede observar, el comportamiento de las temperaturas en la temporada fría presenta similitudes con el comportamiento en la temporada cálida, diferenciándose por presentar temperaturas más bajas y mayor cantidad de temperaturas confortables. Si bien en los espacios interiores (Hobo AH-01, Hobo AH-02 y Hobo AH-03) se presenta un superávit de temperatura durante la mayor parte del día, mayor cantidad de horas al día se encuentran en confort a diferencia de

la temporada cálida, mientras que en el microclima (Hobo AH-04) las temperaturas con superávit se presentan en proporción mayor, superando al número de temperaturas en confort únicamente por dos horas. Por otro lado, las temperaturas exteriores presentan una marcada diferencia en la cantidad de temperaturas con superávit, con respecto a las temperaturas interiores, presentándose únicamente durante una pequeña porción del día, de las 13:00 horas a las 16:00 horas. No obstante, es importante señalar que, dentro del horario operacional son mínimas la cantidad de horas al día que presenta superávit en el interior.

Para realizar una comparación de las temperaturas con respecto al rango de confort adaptativo obtenido, se sintetizó la información en una gráfica (figura 30), en la cual se puede observar el comportamiento de las temperaturas durante el día.

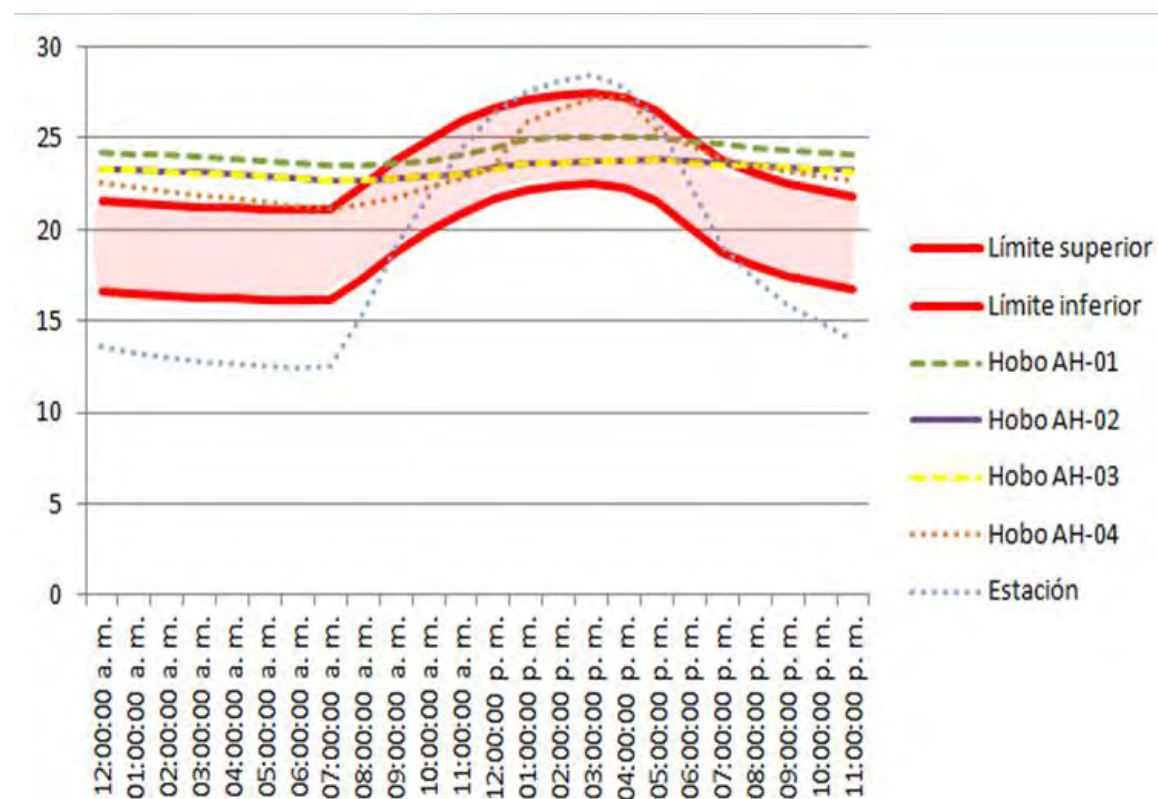


Figura 30. Gráfica del comportamiento de las temperaturas analizadas con respecto al rango de confort adaptativo durante la temporada fría.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Las temperaturas exteriores de la estación meteorológica y del microclima (Hobo AH-04), presentan un comportamiento similar entre ellas, con una curva marcada de 10:00 a.m. a 5:00 p.m., diferenciándose en que las temperaturas de la estación meteorológica presentan temperaturas más bajas. Por otro lado, si bien las temperaturas interiores presentan un comportamiento más constante, las variaciones de temperaturas que presenta son mayores en comparación de la temporada cálida, produciendo una curva un poco más pronunciada.

Asimismo, el rango de confort adaptativo obtenido, responde al comportamiento de las temperaturas exteriores, puesto que durante las horas del día donde se presentan temperaturas más elevadas, el rango de confort adaptativo de igual manera eleva su rango, permitiendo obtener mayor cantidad de temperaturas dentro del rango en Culiacán.

Para el análisis de oscilación de temperatura, se realizó la siguiente gráfica:

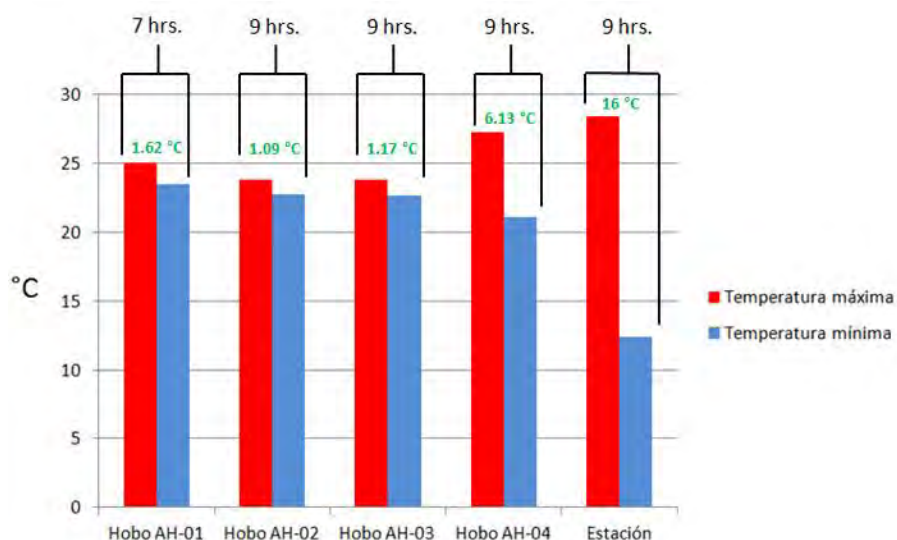


Figura 31. Análisis de oscilación de temperatura durante la temporada fría.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Hobo AH-01: La temperatura máxima en el interior es de 25.09 °C a las 15:00 horas y la temperatura mínima es de 23.47 °C a las 08:00 a.m., lo cual da como resultado una oscilación de 1.62 °C, con una diferencia de 7 horas.

Hobo AH-02: La temperatura máxima en el interior es de 23.81 °C a las 05:00 p.m., y la temperatura mínima es de 22.72 °C a las 08:00 a.m., lo cual da como resultado una oscilación de 1.09 °C, con una diferencia de 9 horas.

Hobo AH-03: La temperatura máxima en el interior es de 23.81 °C a las 05:00 p.m., y la temperatura mínima es de 22.64 °C a las 08:00 a.m., lo cual da como resultado una oscilación de 1.17 °C, con una diferencia de 9 horas.

Hobo AH-04: La temperatura máxima registrada en el microclima es de 27.24 °C a las 04:00 p.m. y la temperatura mínima es de 21.11°C a las 07:00 a.m., lo cual da como resultado una oscilación de 6.13 °C, con una diferencia de 9 horas.

Estación meteorológica: La temperatura máxima registrada es de 28.4 °C a las 03:00 p.m. y la temperatura mínima es de 12.4°C a las 06:00 a.m., lo cual da como resultado una oscilación de 16 °C, con una diferencia de 9 horas.

Por otro lado, por medio del análisis comparativos de las temperaturas interiores y exteriores, se pudo observar que dos de los espacios interiores presentaron un comportamiento constante y regular, sin presentar cambios sustanciales de temperatura, mientras que el espacio AH-01 presentó mayores variaciones, lo cual puede atribuirse a su orientación y la presencia de ventanas en el espacio.

Para el análisis de la humedad relativa, de igual manera se obtuvieron los promedios por hora durante un mes en la temporada fría, siguiendo el mismo parámetro que dice que del 30% a 70% de humedad relativa son valores confortables para lugares de trabajo con actividad sedentaria.

Como se ha mencionado anteriormente, el mes del año tomado como representativo para la temporada fría fue febrero, realizándose las monitorizaciones en enero del año 2017.

Hora	Humedad Relativa en %			
	Hobo AH-01	Hobo AH-02	Hobo AH-03	Hobo AH-04
12:00:00 a. m.	46.95	52.27	51.68	62.78
01:00:00 a. m.	47.28	52.3	51.79	63.05
02:00:00 a. m.	47.12	52.28	51.85	63.36
03:00:00 a. m.	47.11	52.21	51.85	63.59
04:00:00 a. m.	47.05	52.16	51.81	63.61
05:00:00 a. m.	47	52.07	51.75	63.52
06:00:00 a. m.	46.92	51.9	51.66	63.4
07:00:00 a. m.	46.83	51.77	51.58	63.3
08:00:00 a. m.	46.65	51.64	51.51	62.74
09:00:00 a. m.	46.97	51.94	51.71	62.28
10:00:00 a. m.	46.57	51.09	50.99	61.36
11:00:00 a. m.	46.45	51.05	51.01	60.89
12:00:00 p. m.	46.08	50.93	50.97	60.07
01:00:00 p. m.	45.07	50.17	50.16	55.78
02:00:00 p. m.	44.74	50.15	50.01	55.06
03:00:00 p. m.	44.72	50.23	50.04	54.27
04:00:00 p. m.	44.58	50.01	49.83	54.02
05:00:00 p. m.	44.58	50	49.82	56.35
06:00:00 p. m.	44.87	50	49.74	58.32
07:00:00 p. m.	45.19	50.24	49.94	59.5
08:00:00 p. m.	45.47	50.36	50.04	60.21
09:00:00 p. m.	45.78	50.59	50.22	60.83
10:00:00 p. m.	46.07	50.79	50.45	61.45
11:00:00 p. m.	46.39	51.03	50.7	61.86

Confort 30 a 70 %

Figura 32. Análisis Humedad Relativa durante el periodo frío
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

De este análisis se obtuvo que:

Todos los Data loggers en el interior (Hobo AH-01, Hobo AH-02 y Hobo AH-03) presentaron porcentajes de humedad relativa dentro del parámetro de

porcentajes confortables. De igual manera, la humedad relativa registrada en el microclima (Hobo AH-04).

Para comprender mejor la información de la figura 32, se expone en una gráfica con la cual es posible observar el comportamiento de los datos analizados. Aunada a esta información, se muestra en gris el parámetro de porcentaje de humedad relativa confortable (figura 33).

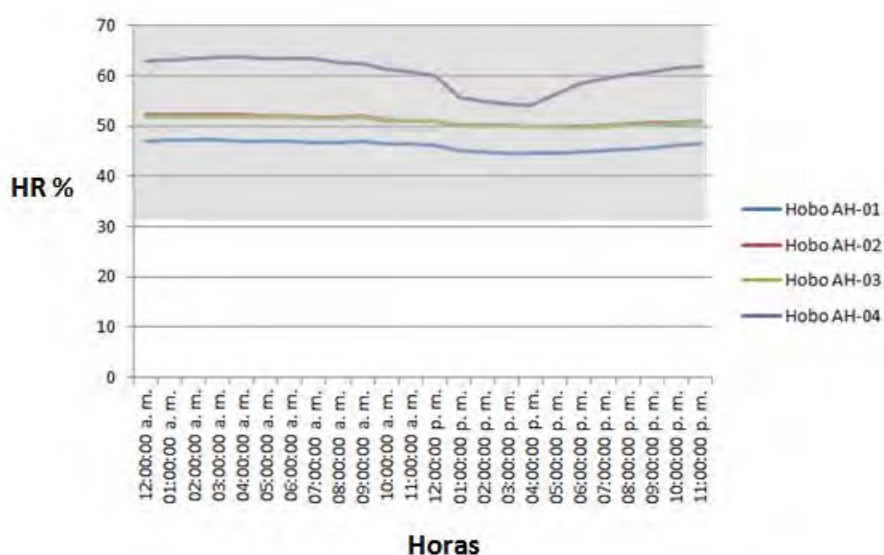


Figura 33. Gráfica del comportamiento de la humedad relativa con respecto al parámetro confortable de porcentaje de humedad relativa.
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Los resultados obtenidos con este análisis pueden relacionarse con la morfología del inmueble, puesto que el espacio donde registró el hobo AH-01 cuenta con una ventana que permite la incidencia de los rayos solares, y fue el espacio que presentó humedad relativa más seca durante todo el periodo del día, siempre manteniéndose dentro del rango confortable. El resto de espacios interiores presentaron humedad relativa confortable, por lo tanto, se puede resumir en que el inmueble no requiere humidificarse o deshumidificarse durante la temporada fría.

Conclusiones generales del análisis higrotérmico

Por medio del análisis de la información recopilada tanto de temperatura del aire como de la humedad relativa, se puede concluir que en ambas temporadas estudiadas, la temperatura en el interior es más elevada durante un periodo más amplio del día, presentándose únicamente temperaturas más elevadas en el exterior en el periodo del día de 11:00 a.m. a 05:00 p.m. en ambas temporadas.

Otro aspecto importante a señalar, es que en ambas temporadas en el interior las temperaturas presentan un comportamiento constante sin cambios significativos en las temperaturas registradas, llegando a variar en la mayoría de los casos con 1 °C, lo cual podría ser atribuido al sistema constructivo de los muros que presentan espesores de hasta 0.65 metros. Asimismo, se debe resaltar la importancia que presenta el contar con una ventana con orientación sur, puesto que en uno de los espacios estudiados (Hobo AH-01) se contaba con la presencia de esta, y fue el espacio que presentó variaciones de temperatura en mayor medida, con respecto a los otros espacios.

Por otro lado, los porcentajes de humedad relativa registrados demuestran que en los espacios interiores también presenta un comportamiento constante, con variaciones mínimas en los datos.

3.2.2. El edificio

Como se ha mencionado anteriormente, el inmueble caso de estudio es uno de los más antiguos de Culiacán, construido aproximadamente durante el siglo XVII o XVIII. No obstante, se constituía inicialmente de una sola planta con muros de adobe. Actualmente el inmueble es de dos plantas, y por lo que se ha podido precisar, los muros son de mampostería de ladrillo de barro con dimensiones de 7 x 25 x 40 cm. aproximadamente.

Cabe señalar que el análisis de los materiales y de sistemas constructivos no fue sencillo, puesto que el inmueble ha sido muy alterado, y en ocasiones ha sido complicado definir con precisión las características de este.

Otro aspecto importante a señalar, es que los planos más recientes que se pudieron consultar de las plantas arquitectónicas fueron elaborados el 23 de abril del año 2001, diferenciándose en gran medida de la planta actual del inmueble. Así mismo, no se contó con planos de detalles, cortes o fachadas.

3.2.2.1. Características generales del inmueble

El inmueble cuenta con dos plantas, planta baja con una altura de piso a entrepiso de 5.45 metros, y la segunda planta de piso a techo tiene una altura de 4.65 metros. No obstante, las alturas de ambas plantas no son utilizadas en su totalidad, ya que en determinado periodo fueron instalados entrepisos de falso plafón, sobre los cuales se colocaban las instalaciones de los aires integrales que eran utilizados, así como también instalaciones sanitarias e hidráulicas de los baños. Esto ocasionó espacio perdido, en planta baja se pierden 2.77 metros de altura, y en planta alta 1.96 metros. (figura 34)

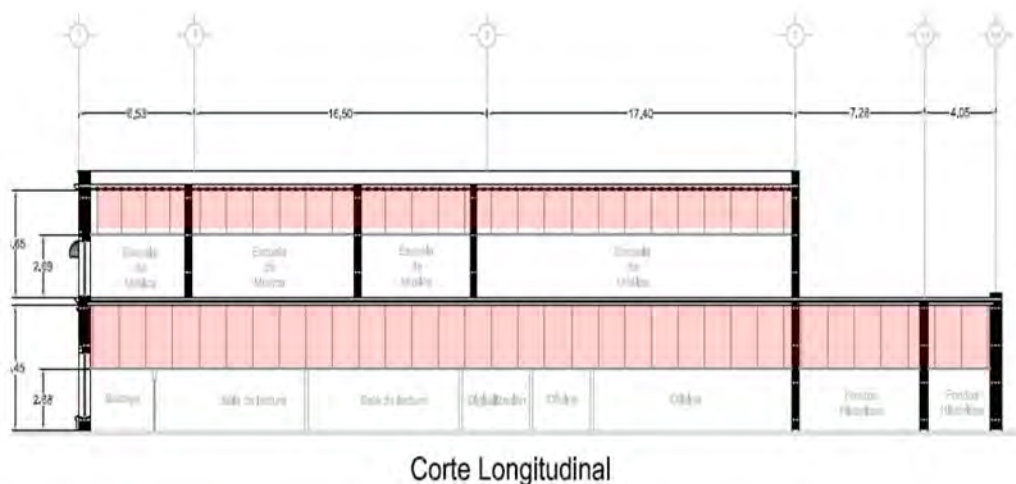


Figura 34. Corte longitudinal del AHGES, mostrando en rojo el espacio perdido por el uso del falso plafón en ambas plantas

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

En lo referente a los sistemas constructivos que se pueden detectar actualmente, el inmueble presenta una losa de entrepiso de la cual en la parte inferior se puede observar un sistema constructivo de viguería de madera con tapa de ladrillo (figura 35), no obstante, por medio de un segundo análisis de acuerdo a las dimensiones levantadas en el trabajo de campo, se pudo determinar que la losa de entrepiso tiene un espesor de 15 a 20 centímetros, lo cual no corresponde a un espesor común en este sistema constructivo. Se determinó que el sistema constructivo actualmente es una mezcla entre viguería con tapa de ladrillo y una losa de concreto posiblemente aligerada.



Figura 35. Fotografía de viguería con tapa de ladrillo en losa de entrepiso
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Así mismo, comparando lo observado en campo con lo expuesto en los planos arquitectónicos, fue posible corroborar que el sistema constructivo tanto de losa de azotea como de entrepiso fue modificado, contando actualmente con concreto y casetón, así como menor espesor.

Por otro lado, la losa de azotea presente un sistema constructivo de vigueta y bovedilla, lo cual puso ser corroborado por medio el análisis de de campo (Figura 36). Así, presumiblemente sobre el sistema de vigueta y bovedilla existe actualmente una losa de concreto de 10 centímetros.



Figura 36. Fotografía de vigueta y bovedilla en capa interior de losa de azotea
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

En lo referente a los muros del inmueble, estos son de mampostería de ladrillo de dimensiones 7 x 24 x 40., con aplanado de mortero de cal arena. Gran parte de los muros que conforman el inmueble, tienen un espesor que va de los 0.65 cm a los 0.45 cm., mientras que en el interior se pueden encontrar muros de tablaroca, utilizados para dividir espacios interiores. Así mismo, se pudo observar un aplanado de aproximadamente 2 centímetros de espesor, de mortero cal-arena. (Figura 37)



Figura 37. Fotografía de muro exterior del AHGES, donde se puede ver la mampostería de ladrillo rojo de barro cocido y el aplanado de mortero cal arena

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

En cuanto a la morfología espacial del inmueble, presenta una tipología de patio central, con crujías perimetrales a este con arcadas, por donde se da el mayor flujo de circulación, que conecta a los espacios emplazados en torno al patio central (figura 38).

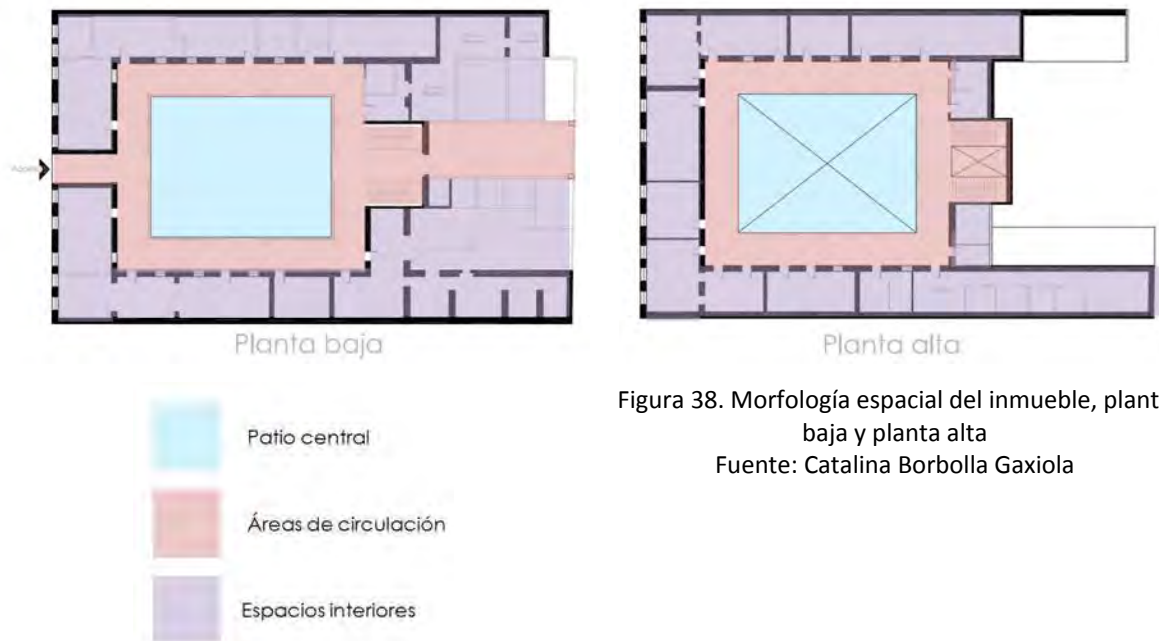


Figura 38. Morfología espacial del inmueble, planta baja y planta alta

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

De este análisis de los sistemas constructivos y los materiales actuales del inmueble, se pudieron identificar posibles sistemas pasivos e acondicionamiento, que, poniendo en buen funcionamiento, podrían

generar beneficios significativos para el desempeño higrotérmico del inmueble. Los sistemas pasivos que se identificaron fueron:

- Ventilación cruzada con ventanas operables que den a patio interior. Actualmente las ventanas permanecen cerradas durante todo el periodo operacional del inmueble, no obstante, si se pusieran en funcionamiento podrían ser un sistema pasivo de acondicionamiento efectivo.
- Muros de gran espesor considerados "masivos" en fachada principal con orientación hacia el sur. Por su espesor y las propiedades térmicas de los materiales, podrían ser beneficiosos en el desempeño térmico del inmueble.
- Alturas interiores considerables, de aproximadamente 5 metros, lo cual, si se habilitan para su funcionamiento, podrían ayudar a obtener espacios más frescos, puesto que el aire caliente tiende a subir.
- Patio central interior, el cual si contara con vegetación, y una fuente como se tiene en los registros históricos, podría llegar a generar un microclima con temperaturas más cercanas al rango de confort.
- Parasoles en ventanas de planta alta, en fachada principal con orientación al sur. Considerando que por la posición solar en Culiacán durante todo el año, por el sur se tiene mucha ganancia de radiación solar, los parasoles son una buena estrategia, sin embargo, es necesario implementarlos también en planta baja.

3.2.3. *Energía*

En este apartado se realizará un análisis del consumo energético del inmueble, no obstante, siendo uno de los objetivos de esta investigación la mejora de las condiciones de confort higrotérmico, será considerado únicamente el gasto energético de los sistemas de acondicionamiento

artificial. Para esto, fue necesario realizar un análisis de campo del inmueble, para observar el tipo de sistemas de acondicionamiento artificial que son empleados en el edificio y la cantidad de estos sistemas. Por otro lado, otro aspecto importante para este análisis son las horas operacionales del inmueble.

3.2.3.1. Cálculo de consumo operacional del inmueble

Horas operacionales Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa: 08:00 a.m. a 3:00 p.m.

Horas operacionales escuela de Música: 04:00 p.m. a 08:00 p.m.

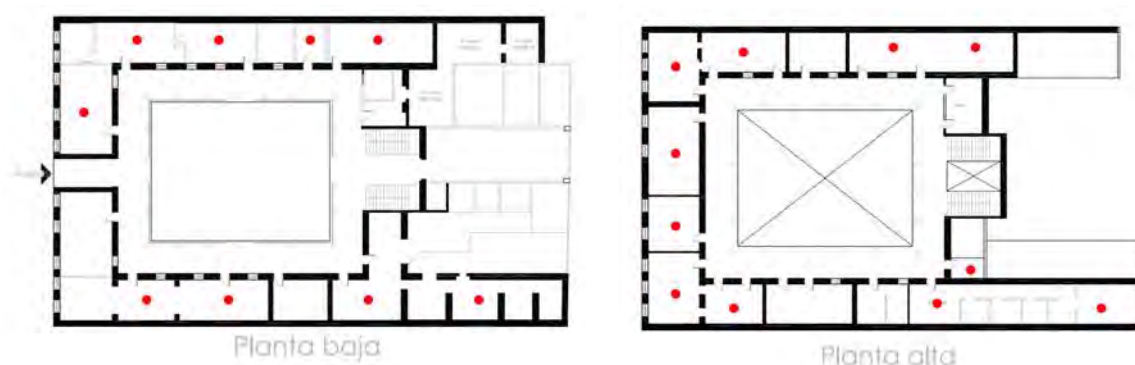


Figura 39. Registro y ubicación de sistemas de acondicionamiento artificial en el inmueble, planta alta y planta baja.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Durante el análisis de campo para el registro del número de sistemas de acondicionamiento artificial (figura 39), se pudieron detectar ciertas dificultades que al momento de contabilizar el número de sistemas podrían generar errores, por lo que se decidió realizar un registro de consumo eléctrico de sistemas de acondicionamiento aproximado. Dentro de estas dificultades se pueden exponer que al momento de los primeros análisis de campo el número de sistemas de acondicionamiento variaba con los últimos análisis, puesto que se habían instalado nuevos sistemas, así mismo, se encontraron espacios cerrados en los que no se realiza una actividad

constante, como la sala de exposiciones, que solo se encuentra en uso cuando hay alguna exposición. Otra dificultad fue que había aires acondicionados (mini splits) de diversas toneladas, y en algunos casos no fue posible acceder al dato de la tonelada.

Es por esto que se optó por emplear el dato de que todos los sistemas de aire acondicionado registrados fueron de 1.5 toneladas, aceptando que existirá un margen de error, por lo que será un análisis de consumo aproximado. (Figura 40 y 41)

Archivo Histórico general del estado de Sinaloa						
Aires Acondicionados	Potencia eléctrica		Cantidad	Horas de consumo al día	Tiempo de consumo en un mes	Consumo mensual en kWh
Mini split	1800	1.8	12	7 horas	154 horas	3,326.4 kW
Aire integral (en desuso)	watts	kW	0	0	0	0
Consumo anual en kWh						29,937.6

Figura 40. Cálculo de consumo aproximado de energía eléctrica en kWh durante un año por el uso de sistemas de acondicionamiento artificial en el inmueble

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Escuela de Música						
Aires Acondicionados	Potencia eléctrica		Cantidad	Horas de consumo al día	Tiempo de consumo en un mes	Consumo mensual en kWh
Mini split	1800	1.8	8	5 horas	110 horas	1,584 kW
Aire integral (en desuso)	watts	kW	0	0	0	0
Consumo anual en kWh						14, 256kWh

Figura 41. Cálculo de consumo aproximado de energía eléctrica en kWh durante un año por el uso de sistemas de acondicionamiento artificial en el inmueble

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

El cálculo del consumo energético aproximado por consumo eléctrico de los sistemas de acondicionamiento da como resultado 85,536 kWh al año, considerando que se utilicen estos sistemas 9 meses al año, excluyendo la temporada fría de diciembre a febrero. Este consumo energético

aproximado será comparado con el consumo energético aproximado que se calcule una vez propuestas las estrategias y realizada la simulación.

3.2.4. Diagnóstico del inmueble

En lo referente a la temperatura:

En el interior, hay necesidad de enfriamiento tanto en la temporada cálida como en la temporada fría. No obstante, se si toma a consideración el horario operacional del inmueble, se obtiene que son muy pocas horas del día en las que se presentan temperaturas con superávit fuera del rango de confort (figura 42).

Temporada Cálida						Temporada fría					
Temperatura en °C						Temperatura en °C					
Hora	Hobo AH-01	Hobo AH-02	Hobo AH-03	Hobo AH-04	Estación	Hora	Hobo AH-01	Hobo AH-02	Hobo AH-03	Hobo AH-04	Estación
12:00:00 a. m.	31.23	30.65	30.92	27.85	26.5	12:00:00 a. m.	24.24	23.32	23.29	22.52	13.6
01:00:00 a. m.	31.18	30.65	30.87	27.42	26.2	01:00:00 a. m.	24.15	23.26	23.23	22.31	13.3
02:00:00 a. m.	31.12	30.64	30.94	26.98	25.8	02:00:00 a. m.	24.05	23.18	23.15	22.09	13
03:00:00 a. m.	31.09	30.63	30.94	26.75	25.5	03:00:00 a. m.	23.96	23.11	23.07	21.88	12.8
04:00:00 a. m.	31.05	30.63	30.95	26.52	25.5	04:00:00 a. m.	23.86	23.03	23	21.69	12.7
05:00:00 a. m.	31	30.62	30.96	26.33	25.3	05:00:00 a. m.	23.77	22.96	22.91	21.51	12.5
06:00:00 a. m.	30.98	30.62	30.94	26.23	25.3	06:00:00 a. m.	23.65	22.85	22.78	21.3	12.4
07:00:00 a. m.	30.93	30.62	30.92	26.26	25.4	07:00:00 a. m.	23.51	22.73	22.66	21.11	12.5
08:00:00 a. m.	30.9	30.62	30.81	27.22	26.8	08:00:00 a. m.	23.47	22.72	22.64	21.33	15.5
09:00:00 a. m.	30.84	30.61	30.52	28.9	28.7	09:00:00 a. m.	23.57	22.8	22.74	21.77	19.1
10:00:00 a. m.	30.84	30.62	30.33	31.16	30.4	10:00:00 a. m.	23.76	22.93	22.9	22.32	21.9
11:00:00 a. m.	30.96	30.66	30.21	34.48	32.2	11:00:00 a. m.	24.09	23.09	23.03	22.82	24.4
12:00:00 p. m.	31.2	30.67	30.11	35.82	33	12:00:00 p. m.	24.49	23.36	23.31	23.44	26.3
01:00:00 p. m.	31.44	30.67	30.05	36.51	33.5	01:00:00 p. m.	24.92	23.66	23.61	25.91	27.5
02:00:00 p. m.	31.64	30.67	30.01	37.65	33.9	02:00:00 p. m.	25.03	23.68	23.62	26.56	28.1
03:00:00 p. m.	31.71	30.67	29.99	37.94	34	03:00:00 p. m.	25.09	23.77	23.72	27.2	28.4
04:00:00 p. m.	31.85	30.64	30.15	36.29	32	04:00:00 p. m.	25.09	23.79	23.74	27.24	27.7
05:00:00 p. m.	31.81	30.66	30.35	34.82	32.6	05:00:00 p. m.	25.03	23.81	23.81	25.36	26
06:00:00 p. m.	31.77	30.64	30.52	33.2	30.8	06:00:00 p. m.	24.82	23.7	23.68	24.51	22.4
07:00:00 p. m.	31.66	30.65	30.63	32.26	30.4	07:00:00 p. m.	24.65	23.58	23.56	23.91	19
08:00:00 p. m.	31.53	30.64	30.72	31	29	08:00:00 p. m.	24.48	23.51	23.49	23.51	17.3
09:00:00 p. m.	31.45	30.64	30.78	29.36	28.2	09:00:00 p. m.	24.33	23.42	23.38	23.19	15.8
10:00:00 p. m.	31.36	30.64	30.83	28.67	27.3	10:00:00 p. m.	24.18	23.31	23.26	22.91	14.9
11:00:00 p. m.	31.29	30.64	30.86	28.32	27	11:00:00 p. m.	24.08	23.25	23.2	22.71	14

Figura 42. Horas al día dentro del horario operacional durante la temporada cálida y la fría.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

El recuadro verde abarca el horario operacional del edificio, y como se puede observar, dentro de este periodo de tiempo se encuentran concentradas las temperaturas confortables en los espacios interiores. Se obtiene que en el periodo cálido en el espacio donde se instaló el Hobo AH-01, requiere enfriar durante 7 horas al día, de 9:00 a 10:00 a.m. y de 4:00

a 8:00 p.m., mientras que en los espacios de los Hobos AH-02 y AH-03 se requiere enfriar durante 2 horas al día, a las 9:00 a.m. y a las 8:00 p.m. En la temporada fría se requiere enfriar durante muy pocas horas al día, en el espacio donde se instaló el Hobo AH-01 se requiere enfriar de 7:00 a 8:00 p.m., mientras que en los espacios de los Hobos AH-02 y AH-03 se requiere enfriar a las 8:00 p.m.

Siendo así, esta información no coincide con el número de horas al día en que se utilizan los sistemas de acondicionamiento artificial. Si se considera esta información, el consumo energético por el uso de sistemas de enfriamiento en el edificio durante un año, se reduciría hasta un 70%.

Así mismo, es importante mencionar que las temperaturas en el interior se mantienen constantes en su mayoría, variando en algunos casos únicamente en los decimales, no obstante, el espacio interior que da hacia la fachada principal ubicado hacia el sur, como es la orientación del inmueble, es el que presenta mayor variación en sus temperaturas durante el día. Esto puede deberse a una mayor incidencia de los rayos solares, puesto que tiene una ventana.

Como dato adicional, se debe mencionar que en las horas donde se presenta un superávit dentro del horario operacional del inmueble, tanto en temporada cálida como fría, el mayor superávit es de 1.50 °C. Por lo tanto se buscará en primera instancia lograr el confort requerido por medio de estrategias pasivas.

Se requiere: enfriar, proteger contra la incidencia de los rayos solares.

En lo referente a la humedad:

Se determinó que tanto en la temporada cálida como en la fría, en los espacios interiores se presentan porcentajes de humedad relativa dentro

del parámetro de porcentaje confortable, por lo tanto, no se requiere de deshumidificar.

En general, se puede diagnosticar que hay un sobrecalentamiento, es decir, que las condiciones ambientales son consideradas calurosas. De acuerdo a Víctor Armando Fuentes Freixanet¹⁰, las estrategias básicas que pueden ser utilizadas son evitar la ganancia de calor y favorecer las pérdidas. Para evitar ganancias, Fuentes Freixanet¹¹ propone minimizar el flujo conductivo de calor, minimizar la infiltración y minimizar las ganancias solares. Por otro lado, para promover las pérdidas propone promover el enfriamiento conductivo, promover la ventilación, promover el enfriamiento radiante y promover el enfriamiento evaporativo.

3.3. Toma de decisiones

De acuerdo a lo obtenido en el diagnóstico del inmueble con los análisis anteriores, se decide enfocar la selección de estrategias en aquellas que minimicen el flujo conductivo de calor, minimicen las ganancias solares y favorezcan el flujo del viento, considerando que el problema principal que se tiene es el sobrecalentamiento y la falta de ventilación natural.

Para la selección de posibles estrategias, se propone una clasificación de estas de acuerdo a dos categorías, al tipo de clima y a las condiciones higrotérmicas. Para la selección de estrategias de acuerdo al tipo de clima se siguieron las recomendaciones de Delia King Binelli¹², quien propone estrategias de diseño bioclimático para diferentes ciudades del México. Da como resultado la siguiente tabla (figura 43).

¹⁰ Víctor Armando Fuentes Freixanet, *Arquitectura Bioclimática*, Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco, (s.f.), pp. 75-76.

¹¹ Ibidem.

¹² Delia King Binelli, *Acondicionamiento Bioclimático*, Ciudad de México, Universidad Autónoma Metropolitana, 1994, pp. 122-137

Por el tipo de clima
Dispositivos para protección y ganancia solar: • Implementación de aleros y parteluces en fachadas • Uso de vegetación en patios interiores para sombreado, combinado con espejos de agua y vegetación de hoja caduca para enfriamiento y humidificación. • Uso de tragaluces con control solar en verano • Uso de parteluces en fachada • Uso de vegetación de hoja caduca en todas las orientaciones, muy densa.
Ventilación: • Cruzada con ventanas operables que den a patios interiores • Chimeneas eólicas • Turbinas eólicas • Captadores eólicos
Materiales: • Cubiertas: Masivos, cara exterior con materiales aislantes térmicos • Muros exteriores: Masivos, porosos con cámaras de aire • Cara exterior con material aislante • Muros interiores y entrepisos: Masivos
Por las condiciones higrotérmicas interiores
• Implementación de aleros y parteluces en fachadas • Uso de tragaluces con control solar en verano
Sistemas híbridos de enfriamiento: • sistema de aislamiento térmico con poliuretano expandido • Instalación de aislamiento en cubierta (Barro Kappa)
• ventilación cruzada
• Colocación de deshumidificador • Colocación de plantas deshumidificadoras • Paneles solares de celdas fotovoltaicas

Figura 43. Lista de posibles estrategias a incorporar, de acuerdo al diagnóstico del inmueble
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Con base a este listado de estrategias propuestas, es necesario realizar la evaluación de estas de acuerdo a cinco categorías principales, la compatibilidad técnica, el respeto al patrimonio, la viabilidad económica, el ambiente interior y los aspectos de uso, mismas que fueron retomadas de las categorías de evaluación propuestas en el borrador del Estándar

Europeo prEN 16883:2015¹³. De igual manera, para evaluar con base a estas categorías, estas son divididas en diversos criterios (figura 44).

Evaluación de estrategias

Categoría de evaluación	Criterios de evaluación
Compatibilidad técnica	Riesgo higrotémico
	Riesgo estructural
	Riesgo de corrosión
	Riesgo biológico
	reversibilidad
Respeto al patrimonio	Impacto a los materiales
	Impacto visual
	Impacto espacial
	Cumplimiento de la ley*
Viabilidad económica	Costos de instalación
	Costos de mantenimiento
	Ahorro económico
Ambiente interior	Condiciones adecuadas para la conservación del contenido del inmueble
	Condiciones adecuadas para la conservación de los materiales del inmueble
	Condiciones adecuadas para obtener niveles de confort buenos para los usuarios
	Emisión de sustancias dañinas
Aspectos de uso	Influencia en el uso del inmueble
	Requerimiento de manejo especializado
	Requerimiento de guía de manejo

Figura 44. Tabla para evaluación de estrategias (categorías y criterios)

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Se realiza la evaluación de cada criterio por cada categoría con una sencilla escala de malo (rojo), neutro (amarillo) y bueno (verde), lo cual podría considerarse como algo subjetivo ya que se calificará con un criterio propio, es decir, el resultado puede variar de persona a persona. (Figura 45). Por lo tanto, para poder realizar una evaluación adecuada, se recomienda que la persona que realice la evaluación posea

¹³ BSI Group, *borrador del estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building*, Londres, 2015.

Malo	Neutro	Bueno

De la primera selección de estrategias, se realiza una síntesis de estas de acuerdo a lo que requiere en mayor medida el inmueble, lo más factible y lo que se considera puede tener mejor resultados de acuerdo al estado actual del inmueble.

[illegible]

Tabla 01. Evaluación de estrategias de acuerdo a categorías y criterios expuestos en figura 27 y 28

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola.

Se obtiene que las estrategias más adecuadas de acuerdo a la evaluación al obtener la menor cantidad de criterios negativos son la aplicación de aleros y parteluces en la fachada y el aislante térmico en techo Barro kappa. Después de estas estrategias, el sistema aislante SATE exterior resulta el más factible. Lo que resultó menos adecuado de acuerdo a la evaluación son los paneles solares de celdas fotovoltaicas.

3.4. Aplicación y simulación en programa computacional

En este apartado se desarrollará una evaluación más profunda por medio de la cual se realizará otra eliminación de posibles estrategias, para dar como resultado una selección de aquellas más factibles de acuerdo a la evaluación de criterios y a la evaluación del desempeño térmico, se llevará a cabo por medio de la simulación.

El programa computacional seleccionado para realizar la simulación se denomina Ener-Habitat, el cual fue desarrollado en conjunto por varias instituciones como lo son la Universidad Autónoma de México, Universidad de Sonora, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Universidad de Colima, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico y la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, a su vez siendo patrocinado por el Fondo de Sustentabilidad Energética CONACYT-SENER.

Esta herramienta de simulación realiza la denominada simulación numérica de transferencia de calor dependiente del tiempo, la cual permite "comparar el desempeño térmico de sistemas constructivos de techos y

muros de la envolvente de una edificación",¹⁴ no obstante, es importante señalar que por medio de esta simulación los resultados obtenidos son únicamente del sistema constructivo evaluado, y los resultados pueden variar en situaciones reales cuando existen otros factores a considerar.

Antes de comenzar a trabajar con la herramienta de simulación, resulta necesario comprobar su validez, para lo cual se optó por realizar una prueba de comparación de resultados, empleando los datos de un sistema constructivo expuesto en un artículo científico donde se utilizó esta herramienta. Los resultados obtenidos serán comparados con los obtenidos en el artículo científico.

En el artículo utilizado¹⁵ para validar la herramienta de simulación, realizan la evaluación de tres sistemas constructivos homogéneos para techos en habitaciones con aire acondicionado, en Temixco, Morelos, durante el mes de mayo. El primer sistema constructivo tiene una espesor de 0.10 metros y se conforma con una capa de concreto de alta densidad, el segundo sistema constructivo tiene 0.10 metros de espesor y se conforma con una capa de poliestireno expandido, y el tercer sistema constructivo es de igual manera de 0.10 metros de espesor pero se conforma de dos capas, la primera de 0.02 metros de espesor de poliestireno expandido y la segunda de 0.08 metros de espesor de concreto de alta densidad.

Al correr la simulación, da como resultado tres gráficas, siendo la tercera referente a la carga total. En el artículo se determinó que el mejor sistema constructivo para las condiciones específicas señaladas, es el sistema constructivo 2 (poliestireno expandido de 0.10 metros). Del mismo modo, al realizar la simulación en esta investigación para comprobar la validez del

¹⁴ Guadalupe Huelsz, Guillermo Barrios y Jorge Rojas, *Ener-Habitat. Evaluación térmica de la envolvente arquitectónica*. Manual de Uso, Ciudad de México, CONACYT-SENER, 2014, p.05

¹⁵ Guillermo Barrios, Guadalupe Huelsz y Jorge Rojas, "Ener-Habitat: A cloud computing numerical tool to evaluate the thermal performance of walls/roofs" en *Energy Procedia*, 57, 2014, pp. 2042-2051

programa de simulación, da como resultado que el mejor sistema constructivo es el número dos (figura 46). Por lo tanto, por medio de este sencillo procedimiento se puede decir que los resultados dados por el programa Ener-Habitat son confiables.

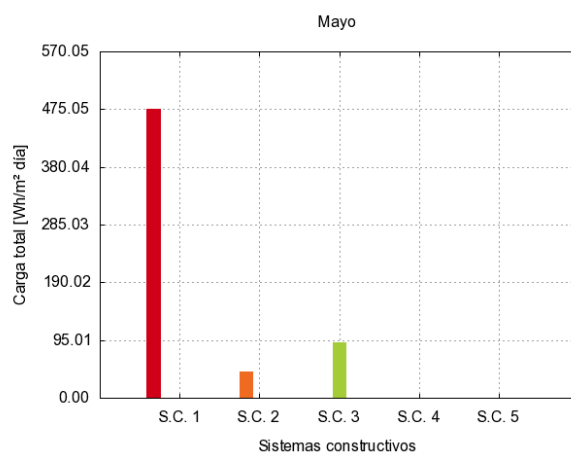


Figura 46. Gráfica de carga total de los tres sistemas constructivos en Temixco, en habitaciones con aire acondicionado, durante el mes de mayo.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Para fines de esta investigación, considerando las características particulares del caso de estudio, se decidió simular con el programa Ener-Habitat, la eficacia hipotética que podrían tener dos sistemas constructivos de acuerdo a las estrategias obtenidas en el apartado anterior: Sistema aislante exterior de poliuretano expandido y aislante térmico en techo "Barro Kappa".

3.4.1. Sistema aislante exterior de poliuretano expandido

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el diagnóstico de las condiciones del inmueble, se decidió realizar la simulación de la estrategia del sistema aislante exterior de poliuretano expandido durante el mes de agosto, siendo este periodo el que presenta mayor necesidad de

enfriamiento. Asimismo, como especificaciones generales se registraron como datos para llevar la simulación:

- Sistema con capas homogéneas
- Lugar: Culiacán, Sin.
- Periodo: agosto
- Condición: sin aire acondicionado
- Ubicación: muro
- Orientación: norte

Se comenzó con realizar la simulación del sistema constructivo actual y el sistema constructivo propuesto, con la finalidad de comparar los comportamientos de ambos. El sistema constructivo 1 fue el actual de muro de ladrillo de 0.60 metros de espesor, y el sistema constructivo 2 fue el propuesto de muro de ladrillo de 0.60 metros de espesor con poliuretano expandido de 0.10 metros de espesor. Se obtuvo la siguiente gráfica:

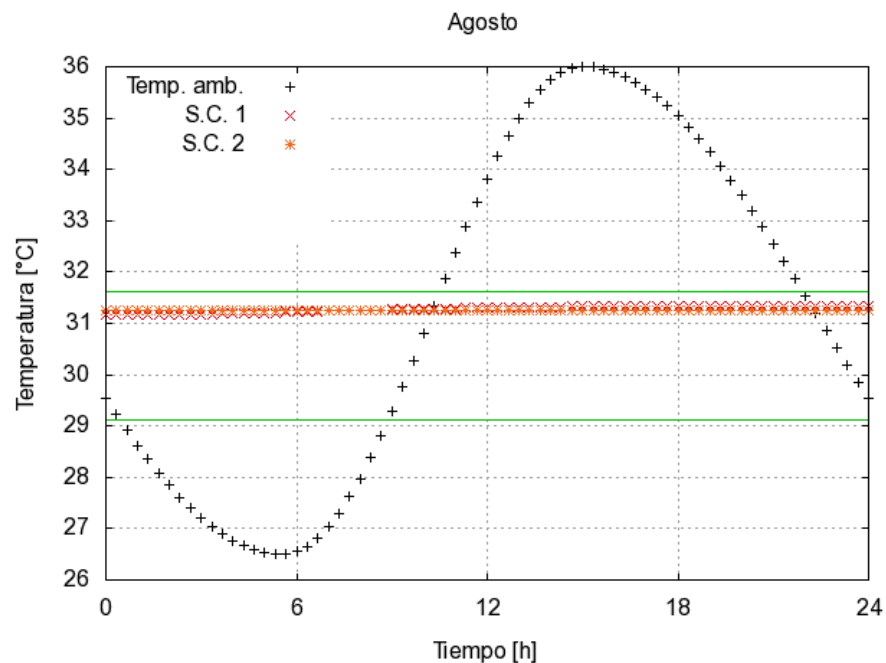


Figura 47. Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort.
Comparación de sistema constructivo actual (s.c.1) y sistema constructivo propuesto (s.c.2)
Fuente: Ener-Habitat

Como es posible observar, el efecto que tendría agregar el material aislante en el sistema constructivo actual es mínimo, provocando un comportamiento completamente lineal, pero sin mejoras en lo referente a la disminución de las temperaturas.

Al no observar un cambio importante en el comportamiento entre ambos sistemas constructivos, se decidió por hacer otra simulación con un sistema constructivo de muro de ladrillo con espesor de 0.65 metros (s.c.1), y otro de concreto de alta densidad con espesor de 0.60 metros (s.c.2), se obtuvieron dos gráficas, una del comportamiento de las temperaturas (figura 48), y otra del factor de decremento (figura 49), lo cual de acuerdo a Ener-Habitat, el sistema constructivo con menor factor de decremento es mejor.

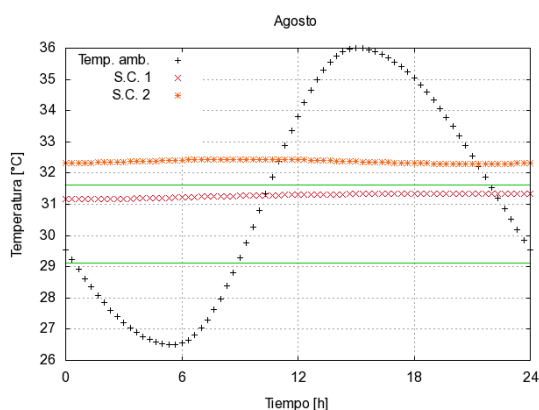


Figura 48. Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort.

Fuente: Ener-Habitat

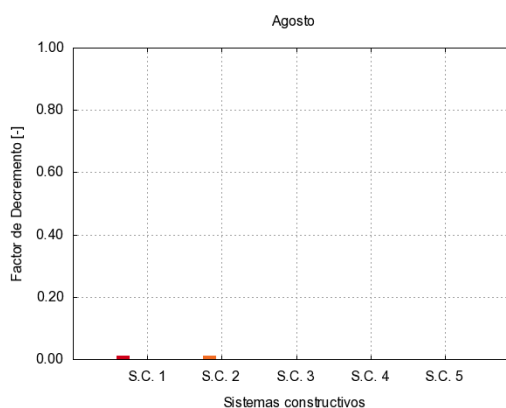


Figura 49. Gráfica de factor de decremento.

Fuente: Ener-Habitat

Como se puede observar, el comportamiento de ambos sistemas constructivos es muy similar, ambos con un comportamiento de temperaturas lineal, diferenciándose en que el sistema constructivo 1 se encuentra dentro de la zona de confort. Para comprender porque dos sistemas constructivos con materiales distintos tienen un comportamiento similar, se realizó otra simulación de sistemas constructivos similares a los

anteriores, diferenciándose únicamente en el espesor, puesto que ahora ambos muros son de 0.15 metros de espesor. Se obtuvieron las siguientes gráficas:

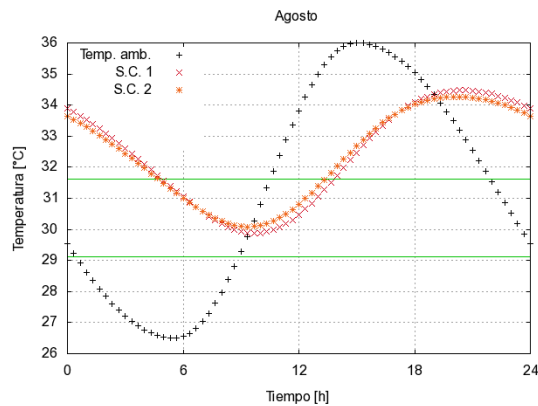


Figura 50. Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort sistemas constructivos de 0.15 metros de espesor.

Fuente: Ener-Habitat

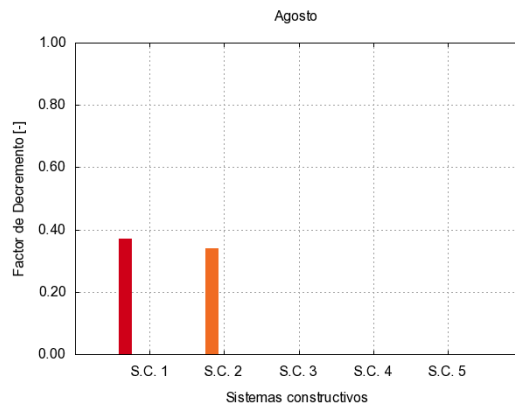


Figura 51. Gráfica de factor de decremento para sistemas constructivos de 0.15 metros de espesor.

Fuente: Ener-Habitat

Como se puede observar, nuevamente el comportamiento de ambos sistemas constructivos es muy similar, no obstante, se observa una pequeña diferencia en el factor de decremento, siendo menor el del sistema constructivo dos, muro de concreto de alta densidad de 0.15 metros de espesor.

Al no observar diferencias significativas entre ambos, se realizó otra simulación con dos sistemas constructivos con espesores distintos. Se compararon dos sistemas constructivos de una capa homogénea, de los cuales el sistema constructivo 1 (S.C. 1) es muro de concreto de alta densidad de 0.10 metros de espesor, y sistema constructivo 2 (S.C. 2) es muro de concreto de alta densidad de 0.60 metros de espesor. Se obtienen las siguientes gráficas:

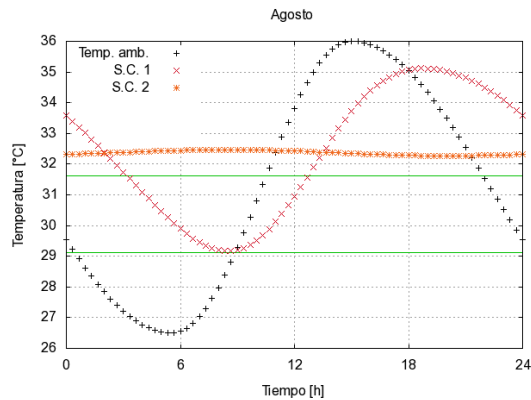


Figura 52. Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort
Fuente: Ener-Habitat

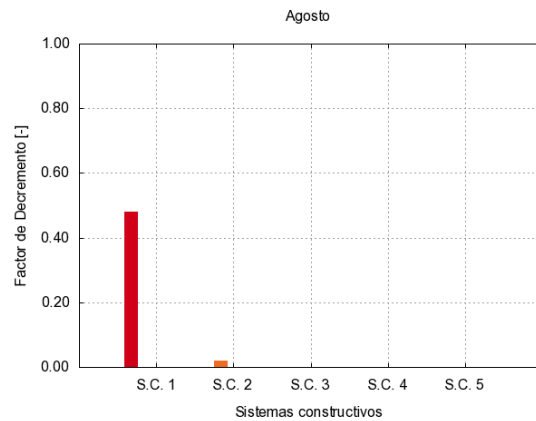


Figura 53. Gráfica de factor de decremento.
Fuente: Ener-Habitat

Como se puede observar, se obtienen diferencias notables en el comportamiento de ambos sistemas constructivos. Donde el sistema constructivo 1 al tener un espesor de 0.10 metros presenta un comportamiento de las temperaturas similar al de las temperaturas exteriores, mientras que el sistema constructivo 2 teniendo un espesor de 0.60 metros presenta un comportamiento lineal encontrándose siempre por fuera de la zona de confort. Se realizó otra simulación donde se compararon dos sistemas constructivos de una capa homogénea con diferentes espesores, de los cuales el sistema constructivo 1 (S.C. 1) es muro de ladrillo de 0.10 metros de espesor, y sistema constructivo 2 (S.C. 2) es muro de ladrillo de 0.60 metros de espesor. Se obtuvieron las siguientes gráficas:

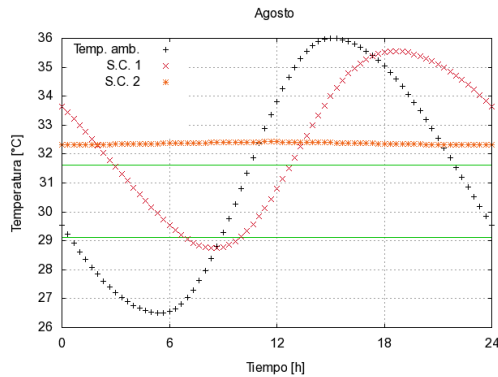


Figura 54. Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort
Fuente: Ener-Habitat

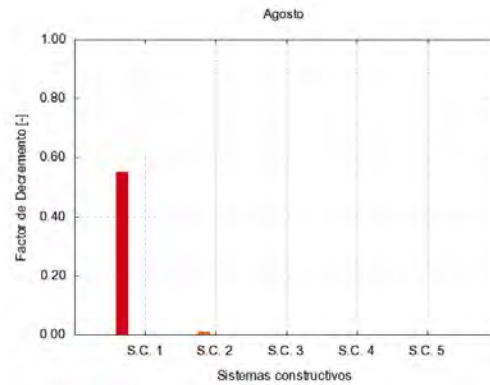


Figura 55. Gráfica de factor de decremento.
Fuente: Ener-Habitat

Con estas simulaciones se pudo corroborar que, al contar con muros de grandes espesores en el sistema constructivo actual, al agregarle un sistema aislante, ya sea en el interior o en el exterior, este no hace diferencia, puesto que lo que hace la diferencia es el espesor con el que ya cuentan los muros. Al agregarle un sistema aislante de 0.15 metros a 0.20 metros, no se podrá observar un cambio en el desempeño térmico del sistema constructivo. Podría llevar a necesitarse un sistema aislante con espesores mayores, sin embargo, esto no es recomendable ya que modificaría las dimensiones de los espacios, alterando la percepción visual y el espacio de trabajo.

Ahora bien, podría considerarse extraño el comportamiento lineal de los sistemas constructivos con espesor de 0.60 metros, pero si se compara este con el comportamiento real de los espacios interiores monitoreados con los data loggers, se puede observar lo siguiente:

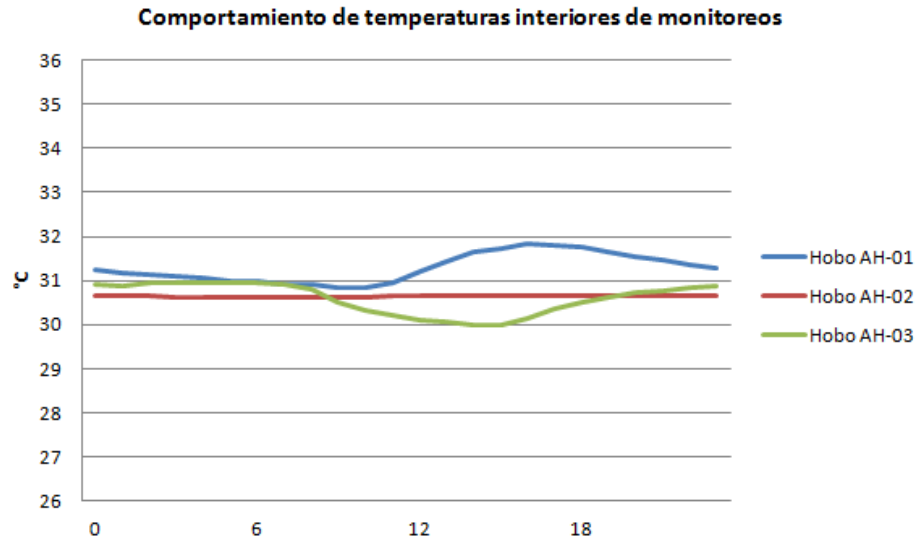


Figura 56. Gráfica del comportamiento de temperaturas interiores obtenidas de los monitoreos
Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Los hobos AH-01, AH-02 Y AH-03 presentan un comportamiento casi lineal, sobre todo el Hobo AH-02, con variaciones de máximo 1°C, sin cambios significativos en las temperaturas registradas, manteniéndose entre los 32 °C y 30°C. Por lo tanto, el comportamiento obtenido en la simulación del sistema constructivo de muros de ladrillo con espesor de 0.60 m podría considerarse muy cercano al comportamiento lineal.

Se concluye que la aplicación de un material aislante ya sea en el exterior o en el interior del inmueble, no es recomendado con las características constructivas que posee el inmueble, ya que actualmente tiene un desempeño térmico igual que el que tendría con un material aislante.

3.4.2. Aislante térmico en azotea "Barro Kappa"

Otra de las estrategias seleccionadas para ser evaluada por medio del programa computacional Ener-Habitat, es el material aislante térmico denominado Barro Kappa el cual "es un elementos de barro natural que se

sobrepone en su techo creando una capa térmica que le aísla del calor"¹⁶, así mismo, promete una disminución de 8°C en los espacios interiores con la utilización de este material. Aunado a esto, es importante mencionar que una característica de interés es que es de fácil mantenimiento, pues no requiere de este, así como tampoco requiere de un material adhesivo para su instalación, respondiendo al criterio de reversibilidad ampliamente usado en las rehabilitaciones energéticas de inmuebles históricos.

Al no contar con todas las dimensiones exactas del material, únicamente conocer el espesor total de 0.08 metros, fue necesario proponer las posibles dimensiones de cada capa (figura 57). Además, el no conocer las dimensiones hacía más complicado realizar una simulación de capas no homogéneas, por lo que se optó por realizar una simulación de capas homogéneas, agregando el aire como una de las capas.



Figura 57. Perfil de un "Barro Kappa" con las dimensiones propuestas

Fuente: Ladrillera Mecanizada modificado por Catalina Borbolla Gaxiola

De acuerdo a los análisis del inmueble realizados en los apartados anteriores y la consulta de planos de detalles y especificaciones facilitados por el personal del Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa, se

¹⁶ Ladrillera Mecanizada, "Guía de instalación Barro Kappa", consultado el 15 de julio de 2017, <http://www.ladrillramecanizada.com/ladrilleram/guias-de-instalacion/aislantes-termicos/guia-de-instalacion-barro-kappa-detail>

determinó que la losa de azotea es losa maciza de 10 centímetros de espesor, no obstante, por el análisis de campo se pudo observar un sistema constructivo de vigueta y bovedilla por la parte interna de la losa de azotea, por lo que se propuso agregar al sistema constructivo 0.05 metros de concreto y 0.07 metros como ladrillo.

Al realizar la simulación comparando el sistema constructivo actual de losa maciza de 0.10 metros más la vigueta y bovedilla, con el sistema constructivo propuesta de losa maciza de 0.10 metros, vigueta y bovedilla más Barro Kappa, da como resultado las siguientes gráficas:

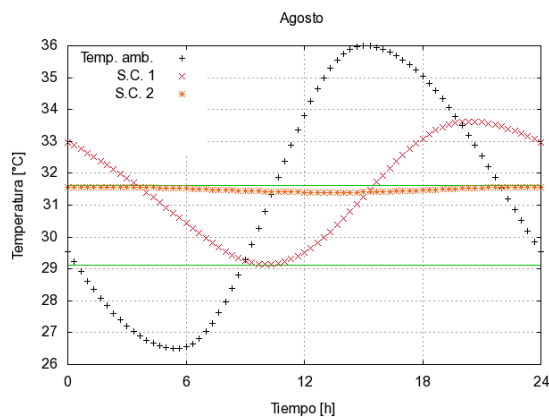


Figura 58. Gráfica de comportamiento de temperaturas interiores y exterior con la zona de confort
Fuente: Ener-Habitat

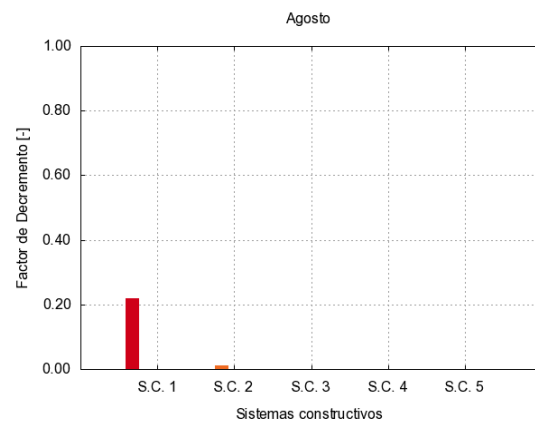


Figura 59. Gráfica de factor de decremento.
Fuente: Ener-Habitat

Como se puede observar, el sistema constructivo que presenta un factor de decremento menor es el sistema constructivo propuesto con el material aislante Barro Kappa, asimismo, en lo referente al comportamiento de las temperaturas, el sistema constructivo propuesto (s.c.2) presenta un comportamiento lineal, encontrándose durante todo el día dentro de la zona de confort sin cambios bruscos de temperatura, al contrario del comportamiento que presenta el sistema constructivo actual.

Se puede decir que en este caso particular, el aplicar este material aislante en la losa de azotea podría ser beneficioso en el comportamiento térmico del inmueble, puesto que se puede observar una disminución de temperatura.

Por otro lado, al ser un material de fácil instalación y con un criterio de reversibilidad, se recomienda el uso de este. Aunado a esto, al instalarse no afectaría la apariencia del inmueble pues cuenta con techos planos y pretilas altas, lo que dificultaría la visibilidad de este.

3.4.3. Implementación de ventilación cruzada

Mediante el diagnóstico general del inmueble, un punto importante que se identificó, es que en el uso cotidiano del inmueble, los espacios se mantienen prácticamente herméticos con ventilación nula. Esto llega a ser un problema puesto que

una habitación sin ventilación produce rápidamente una sensación desagradable de incomodidad, ya que se alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del aire, benignas y necesarias; asimismo, se producen cambios higrotérmicos y deterioro progresivo del aire debido, principalmente, al aumento de la concentración de dióxido de carbono...¹⁷

Es decir, que exista una buena ventilación constante en los espacios interiores no solo es importante para mejorar el comportamiento higrotérmico de estos, sino que resulta beneficioso para la salud de los usuarios, al ayudar a mejorar la calidad del aire.

Al realizarse anteriormente el análisis de los vientos dominantes en Culiacán, se pudo detectar que estos tienen una dirección principalmente desde el sur, con variaciones hacia el suroeste durante todo el año. En verano se presenta una variación en la cual si bien se mantiene la

¹⁷ José Roberto García Chávez y Víctor Fuentes Freixanet, *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*, Ciudad de México, Trillas, 2005, p. 90.

dirección de los vientos desde el suroeste, también se presentan gran cantidad de vientos desde el sur y el sureste. Mientras que en invierno se presentan vientos que vienen desde el norte, junto con los vientos del suroeste.

El viento en la arquitectura tiene un papel importante en el confort de los usuarios, puesto que es una de las principales variables que afectan el confort que experimenta una persona. Por medio de la temperatura del aire, el movimiento del aire y su velocidad, es posible ganar o perder calor, que es lo que se busca en este caso en particular. Una manera de perder calor por medio del uso del viento, es "cuando la temperatura del aire es inferior a la temperatura de la piel (37° C), incrementándose el enfriamiento del cuerpo." (pág. 49, viento y arquitectura)

Por otro lado, cuando se realizó el análisis morfológico del inmueble, se identificó que la ventilación cruzada podría funcionar como una estrategia pasiva de enfriamiento, ya que tanto las condiciones de los vientos dominantes como del edificio lo favorecen. Se detectaron una gran cantidad de ventanas en la fachada principal de este, la cual se cuenta con una orientación hacia el sur.

Es importante considerar que el recorrido que lleva el viento en un edificio va de acuerdo a las entradas y salidas del aire, es decir, el viento entra en las habitaciones de enfrente con la misma dirección del viento libre, no obstante una vez dentro, el recorrido es determinado por la ubicación de la salida. Se realizó una representación (figura 60) del recorrido hipotético que podría tener el viento en el inmueble en planta baja y planta alta, considerando los vanos, la dirección del viento y la morfología del inmueble.

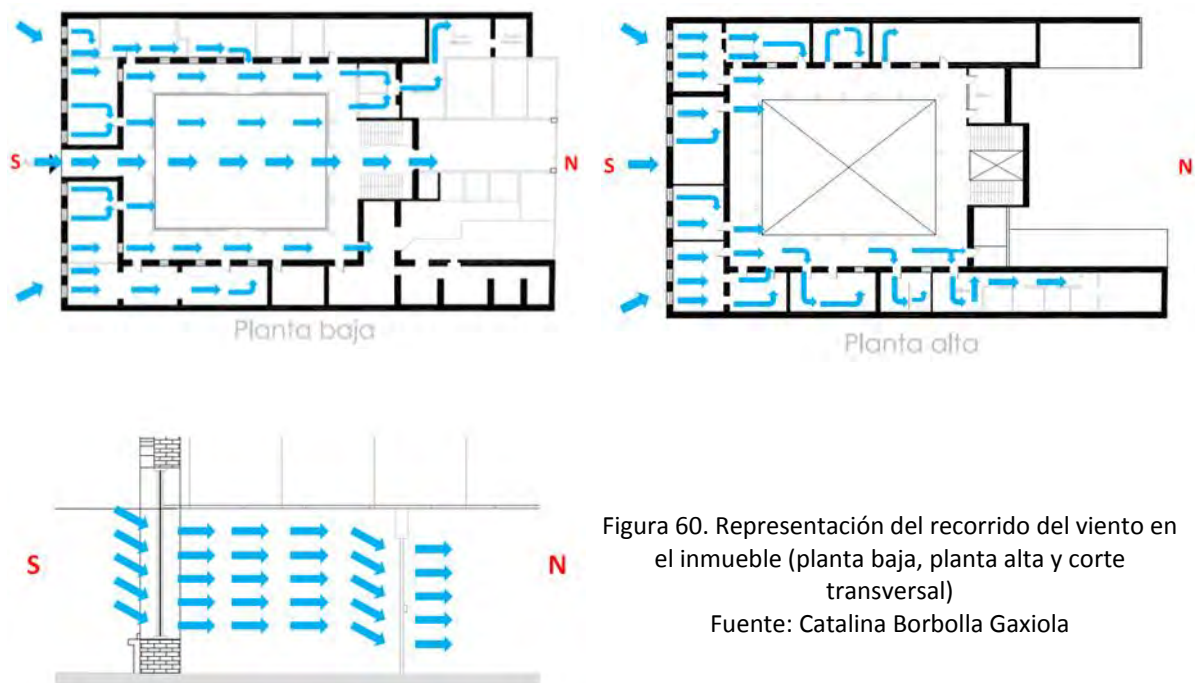


Figura 60. Representación del recorrido del viento en el inmueble (planta baja, planta alta y corte transversal)

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Con este sencillo análisis se puede comprobar que el implementar la ventilación cruzada en el inmueble, se podría dotar de ventilación natural a la mayor parte de los espacios del inmueble, asimismo, se podría controlar el flujo de este y su dirección por medio de la colocación de vegetación en lugares específicos.

3.4.4. Resultados

En lo referente a las estrategias de actuación en la envolvente del edificio por medio la aplicación de materiales aislantes, se puede resumir lo siguiente:

La utilización de aislante exterior en muros podría no ser la mejor estrategia a emplear para reducir las temperaturas interiores, no obstante, de acuerdo a lo expresado en las gráficas y tablas, los sistemas constructivos propuestos con material aislante se mantendrían dentro de la zona de confort durante todo el día en la temporada más cálida del año.

Como se mencionó anteriormente, por medio de esta simulación es posible obtener los comportamientos térmicos de los sistemas constructivos simulados, sin embargo, los resultados que se obtengan pueden variar en situaciones reales donde se consideren otros factores que pudieran alterar los resultados.

Se propone implementar un sistema de acondicionamiento activo que sea respetuoso con los valores patrimoniales del inmueble, para lo cual lo más factible podría el uso de un suelo radiante para enfriamiento en todo el edificio, el cual, de los sistemas activos evaluados, sería el que cumpliera en mayor medida con los criterios de evaluación expuestos anteriormente. Por otro lado, es necesario evaluar y simular la colocación de parasoles en planta baja, para obtener datos de incidencia solar con la colocación de estos. Así mismo, realizar una simulación con la habilitación de la doble altura con la que cuenta actualmente el inmueble.

3.5. Conclusiones tercer capítulo

Por medio de esta aplicación de la metodología propuesta, se puede decir que los pasos especificados podrían resultar suficientes para realizar un diagnóstico de las condiciones del inmueble de acuerdo a su comportamiento higrotérmico, orientación, asoleamiento y vientos dominantes, para detectar las estrategias pasivas con las que cuenta actualmente, y proponer otras estrategias que podrían ser empleadas.

Por otro lado la evaluación de las estrategias por medio de la tabla de categorías y criterios, podría ser efectiva para alguien que cuente con los conocimientos adecuados de conservación patrimonial y comportamiento higrotérmico del inmueble, no obstante, alguien que carezca de estos conocimientos no podría realizar una evaluación certera de las estrategias propuestas.

Por último, por medio de la simulación con el programa computacional propuesto es posible llegar a obtener resultados en condiciones óptimas, sin embargo, los resultados obtenidos en situaciones reales pueden variar, por lo cual es necesario decir que se requiere de la aplicación de las estrategias de manera real en el inmueble, para obtener un comportamiento más completo de estas estrategias una vez aplicadas. No obstante, se puede emplear la simulación como un primer paso antes de aplicar realmente las estrategias, puesto que esto podría dar un primer acercamiento del posible comportamiento del inmueble con las estrategias propuestas.

Conclusión

Con la finalización de esta investigación se reafirma la idea con la que se inició este proceso, la importancia que tiene la integración de la rehabilitación energética en el contexto mexicano por medio de la restauración, ya que esto solo traería consigo beneficios tanto para la conservación del inmueble como para el bienestar de los usuarios que utilizan los inmuebles rehabilitados energéticamente. Así mismo, la importancia y factibilidad de este tipo de intervenciones recae en apreciar al inmueble como un sistema holístico que funciona en conjunto y no por elementos aislados.

Si se tiene esta visión del inmueble, es posible obtener mejores resultados, puesto que el fracaso en las intervenciones de restauración y la conservación de los inmuebles se da cuando se deja de lado algún factor importante que interviene en el funcionamiento total del inmueble, los cuales podrían ser la sociedad o factores propios del funcionamiento del inmueble.

El edificio caso de estudio seleccionado para aplicar la metodología propuesta, cumplía varios aspectos que lo convirtieron en el adecuado para someterse a este estudio. Presentaba un nivel de conservación medio, conservando tanto materiales y sistemas constructivos históricos, con algunos sistemas constructivos modificados, además, contaba con gran número de sistemas de enfriamiento, lo que daba la impresión de que los espacios del inmueble no se encontraban en confort higrotérmico. No obstante, al profundizar en los análisis del inmueble, lo que se encontró no siempre coincidía con la realidad.

Como se mencionó durante el tercer capítulo, de acuerdo al rango de confort adaptativo obtenido, se pudo determinar que durante el horario

operacional del inmueble, la mayor parte de las horas del se encontraban dentro del rango de confort, tanto en la temporada fría (febrero), como en la temporada cálida (agosto):

Temporada Cálida						Temporada fría					
Temperatura en °C						Temperatura en °C					
Hora	Hobo AH-01	Hobo AH-02	Hobo AH-03	Hobo AH-04	Estación	Hora	Hobo AH-01	Hobo AH-02	Hobo AH-03	Hobo AH-04	Estación
12:00:00 a. m.	31.23	30.65	30.92	27.85	26.5	12:00:00 a. m.	24.24	23.32	23.29	22.52	13.6
01:00:00 a. m.	31.18	30.65	30.87	27.42	26.2	01:00:00 a. m.	24.15	23.26	23.23	22.31	13.3
02:00:00 a. m.	31.12	30.64	30.94	26.98	25.8	02:00:00 a. m.	24.05	23.18	23.15	22.09	13
03:00:00 a. m.	31.09	30.63	30.94	26.75	25.5	03:00:00 a. m.	23.96	23.11	23.07	21.88	12.8
04:00:00 a. m.	31.05	30.63	30.95	26.52	25.5	04:00:00 a. m.	23.86	23.03	23	21.69	12.7
05:00:00 a. m.	31	30.62	30.96	26.33	25.3	05:00:00 a. m.	23.77	22.96	22.91	21.51	12.5
06:00:00 a. m.	30.98	30.62	30.94	26.23	25.3	06:00:00 a. m.	23.65	22.85	22.78	21.3	12.4
07:00:00 a. m.	30.93	30.62	30.92	26.26	25.4	07:00:00 a. m.	23.51	22.73	22.66	21.11	12.5
08:00:00 a. m.	30.9	30.62	30.81	27.22	26.8	08:00:00 a. m.	23.47	22.72	22.64	21.33	15.5
09:00:00 a. m.	30.84	30.61	30.52	28.9	28.7	09:00:00 a. m.	23.57	22.8	22.74	21.77	19.1
10:00:00 a. m.	30.84	30.62	30.33	31.16	30.4	10:00:00 a. m.	23.76	22.93	22.9	22.32	21.9
11:00:00 a. m.	30.96	30.66	30.21	34.48	32.2	11:00:00 a. m.	24.09	23.09	23.03	22.82	24.4
12:00:00 p. m.	31.2	30.67	30.11	35.82	33	12:00:00 p. m.	24.49	23.36	23.31	23.44	26.3
01:00:00 p. m.	31.44	30.67	30.05	36.51	33.5	01:00:00 p. m.	24.92	23.66	23.61	25.91	27.5
02:00:00 p. m.	31.64	30.67	30.01	37.65	33.9	02:00:00 p. m.	25.03	23.68	23.62	26.56	28.1
03:00:00 p. m.	31.71	30.67	29.99	37.94	34	03:00:00 p. m.	25.09	23.77	23.72	27.2	28.4
04:00:00 p. m.	31.85	30.64	30.15	36.29	32	04:00:00 p. m.	25.09	23.79	23.74	27.24	27.7
05:00:00 p. m.	31.81	30.66	30.35	34.82	32.6	05:00:00 p. m.	25.03	23.81	23.81	25.36	26
06:00:00 p. m.	31.77	30.64	30.52	33.2	30.8	06:00:00 p. m.	24.82	23.7	23.68	24.51	22.4
07:00:00 p. m.	31.66	30.65	30.63	32.26	30.4	07:00:00 p. m.	24.65	23.58	23.56	23.91	19
08:00:00 p. m.	31.53	30.64	30.72	31	29	08:00:00 p. m.	24.48	23.51	23.49	23.51	17.3
09:00:00 p. m.	31.45	30.64	30.78	29.36	28.2	09:00:00 p. m.	24.33	23.42	23.38	23.19	15.8
10:00:00 p. m.	31.36	30.64	30.83	28.67	27.3	10:00:00 p. m.	24.18	23.31	23.26	22.91	14.9
11:00:00 p. m.	31.29	30.64	30.86	28.32	27	11:00:00 p. m.	24.08	23.25	23.2	22.71	14

Figura retomada del capítulo 3, número 42. Horas al día dentro del horario operacional durante la temporada cálida y la fría.

Fuente: Catalina Borbolla Gaxiola

Esto resultó interesante al contrastarse con lo que fue observado en el inmueble durante los análisis *in situ*, y expuso por si solo la importancia de realizar este tipo de análisis. Por otro lado, hablando de la fase de la metodología de aplicación de estrategias de mejora mediante programa computacional, al haber diagnosticado en el inmueble un leve superávit de temperatura, se propuso trabajar con la envolvente del inmueble, para lo cual se realizó la simulación numérica de un sistema SATE.

Los resultados obtenidos por medio de esta fase resultaron de gran interés para esta investigación, puesto que este tipo de estrategia de sistema SATE es sumamente recomendada cuando se tienen las condiciones higrotérmicas que se encontraron en el inmueble, no obstante, al tratarse

de un inmueble patrimonial con muros de espesores de 0.65 metros, este tipo de sistema no significó una mejora en el comportamiento del sistema constructivo, por lo que se optó por no recomendarlo. Sin esta fase en la que se hizo uso de un programa computacional para evaluar las estrategias de mejora seleccionadas, es posible que se hubieran propuesto las estrategias no más adecuadas.

Por otro lado, si bien las estrategias que se trabajaron a mayor detalle se relacionan con la arquitectura bioclimática, basándose en estrategias pasivas de acondicionamiento, es importante mencionar que, por medio de los análisis realizados para realizar una rehabilitación energética, se llega a la conclusión de que en el caso de estudio también resulta factible incorporar sistemas que funcionen a base de energías renovables como la solar, por medio de la instalación de paneles fotovoltaicos.

El uso de estos resulta compatible con el inmueble y sus valores patrimoniales, puesto que por su morfología, sus líneas, formas e inclinación de la losa de azotea, no genera un impacto visual o espacial negativo. Asimismo, al haber analizado la mejor orientación en Culiacán junto con la orientación del inmueble, se obtuvo que una orientación hacia el sur resulta óptima para la instalación de estos sistemas de paneles fotovoltaicos. De igual manera, la colocación de estos podría generar mayor protección contra los rayos solares en la losa de azotea, y, económicamente, ayudarían a disminuir los recursos destinados al consumo de energía eléctrica.

Esto lleva a la conclusión de que cada una de las fases de la metodología propuesta tuvieron un papel fundamental en el proceso de aplicación de la metodología, ya que si alguna de ellas se hubiera excluido, no se hubieran llegado a los resultados más adecuados.

En este sentido, la importancia de contemplar la rehabilitación energética en la restauración patrimonial, se hace evidente al exponer los aspectos que esta contempla y las aportaciones que podría tener en la conservación de los inmuebles patrimoniales y en el uso de estos. Es necesario considerar la rehabilitación energética como una intervención necesaria no solamente enfocada a la mejora del desempeño energético, sino al ahorro de la energía eléctrica y a la conservación de los valores patrimoniales.

Así mismo, durante el transcurso de esta investigación, se hizo evidente que se necesitan más estudios en esta línea de investigación, puesto que no existe en México una metodología de rehabilitación energética para inmuebles patrimoniales, que si bien puede darse el caso de que existan intervenciones de este tipo en la práctica profesional, no hay una metodología documentada sobre rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales en el contexto mexicano. El producto de esta investigación se propone como un primer acercamiento a una metodología que contemple los aspectos esenciales para la rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales, no obstante queda abierta a posibles mejoras en futuras investigaciones, con el adelanto de las tecnologías resulta evidente que la metodología irá cambiando.

Además, la metodología propuesta en esta investigación, se postula como una metodología que regresa al estudio de las características esenciales del inmueble, por medio de los análisis de la relación del edificio y las características medioambientales, puesto que un punto importante que se identificó, es que la mayoría de las metodologías para rehabilitación energética de inmuebles históricos desarrolladas alrededor del mundo, poseen un enfoque con una marcada inclinación hacia el aspecto monetario de este tipo de intervenciones, con el análisis de consumos

energéticos y con el uso métodos de análisis que se apoyan en nuevas tecnologías, dejando de lado el estudio del inmueble en su medioambiente.

Por otro lado, es necesario enfrentarse al cambio de mentalidad sobre este tipo de intervenciones, puesto que no es un ámbito completamente aceptado en el área de la conservación patrimonial, ya que se desconoce mucho sobre los efectos a largo plazo de la aplicación de las diversas estrategias de mejora, sin embargo, algo que resulta necesario dejar claro, es que se conocen los efectos de la aplicación de los sistemas de acondicionamiento artificial empleados actualmente (aires acondicionados), y las problemáticas que traen consigo. Por lo tanto, se evidencia la necesidad de ofrecer alternativas a estos sistemas, que al mismo tiempo exista un estudio previo para su instalación, cuidando siempre el respeto a los valores patrimoniales del inmueble.

Para futuras investigaciones, se podría estudiar la aplicación real de esta metodología, para observar los efectos en el inmueble, y así mismo poder obtener resultados reales sobre el comportamiento higrotérmico del inmueble, posiblemente, se pudiera comenzar por la aplicación de estrategias con amplios criterios de reversibilidad. Así mismo, se podría trabajar de manera interdisciplinar con áreas como energías renovables, medio ambiente y sustentabilidad, incorporando nuevas áreas de estudio a la conservación patrimonial en México. Y por último, un área que requiere gran estudio, que se relaciona directamente con esta metodología, es la base de datos de las propiedades térmicas de los materiales empleados en los sistemas constructivos de las inmuebles patrimoniales en México.

Para finalizar, se espera que por medio de esta investigación, el lector comprenda la importancia de incorporar las rehabilitaciones energéticas

en los inmuebles patrimoniales, y no únicamente por su importancia en el cuidado medioambiental, sino por su importancia en la conservación patrimonial.

Bibliografía

AZEVEDO SALOMAO, Eugenia María, et al., *Estación de ferrocarril San Lázaro, Investigación, Análisis y Proyecto de Restauración*, Ciudad de México, ENCRM, 1981.

BALLART, Josep, *El patrimonio histórico y arqueológico: valor y uso*, Barcelona, Ariel, 2002.

BECERRA SANTACRUZ, Habid, *Low income housing in México: An evaluation of thermal confort and performance of industrialised housing construction system in warm temperate climate*, Tesis de Doctorado, Sheffield, Universidad de Sheffield, Escuela de Arquitectura.

BEDOLLA ARROYO, Juan Alberto y Alonso Guzmán, Elia Mercedes, *Procedimiento, método y técnicas de conservación. Técnicas y materiales de restauración*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2010.

BONFIL BATALLA, Guillermo, "Nuestro patrimonio cultural: Un laberinto de significados", en *Patrimonio Cultural y Turismo. Cuadernos*. 3, 2003.

BROLIN, Brent C., *La arquitectura de integración. Armonización entre edificios antiguos y modernos*, Barcelona, CEAC, 1984.

BSI GROUP, *borrador del estándar Europeo prEN 16883:2015 Conservation of Cultural Heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic building*, Londres, 2015.

CALVILLO, Jorge, "Principios de pensamiento sistémico y holístico. Respeto por el proceso" en Carolyn Aguilar Dubose, *Diseño y construcción sostenibles: realidad ineludible*, Ciudad de México, Universidad Iberoamericana, 2011.

Carta de Lisboa sobre Rehabilitación Urbana Integrada, Primer Encuentro Luso-Brasileño de Rehabilitación Urbana, Lisboa, Octubre de 1995.

CHANFON OLMOS, Carlos, *Fundamentos teóricos de la restauración*, Universidad Nacional Autónoma de México, 1996.

CHICO PONCE DE LEÓN, Pablo, "Función y significado de la historia de la arquitectura", en *Cuadernos*, 4, otoño de 1991, p. 44

CHOAY, Françoise, *Alegoría del patrimonio*, Barcelona, Gustavo Gili, 2007.

CLAEISSON, M. y Brostöm, T., "Eight years of energy efficiency in historic buildings" en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016.

COCOM HERRERA, José Luis, *Arquitectura de integración. La nueva arquitectura en el centro histórico de Mérida, enfoque crítico y propuesta metodológica*, Tesis de Maestría, Mérida, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Arquitectura, 1997.

Comisión Federal de Electricidad, consultado en http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Paginas/Misionyvision.aspx

CURTIS, R., "Energy efficiency in traditional and historic buildings: keeping it simple", en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016.

DE ANDA, Enrique x., *Historia de la arquitectura mexicana*, Barcelona, Gustavo Gili, 2015.

DE BOUW, Michael, et. al., *Second International Conference on Energy Efficiency and comfort of historic buildings*, Bruselas, Flanders Heritage Agency, 2016.

DÍAZ ARREOLA, Emilia, Fuentes Valles, Liliana y Pérez Martínez, Sofía, *Manual de Conservación de Monumentos Históricos*, Chihuahua, Centro INAH Chihuahua.

ENDRES, E. y Santucci, D., "Exemplary energetical refurbishment of the german academy in rome "villa massimo", en Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica, Madrid, septiembre 2014

EPELDE MERINO, Marta, "Soluciones de aislamiento térmico para edificios protegidos de especial interés arquitectónico o histórico. Ejemplo de actuación" en Sexta Conferencia Europea sobre eficiencia energética y sustentabilidad en arquitectura y planeación, Donostia - San Sebastián, 2015.

FONT FRANSI, Jaime y Torres Hurtado, Manuel, *Proyecto de conservación y restauración para un sitio y un monumento en la ciudad de Querétaro*, Guanajuato, Universidad de Guanajuato, 1993.

Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, diciembre de 2016, consultado en http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=219

FUENTES FREIXANET, Victor Armando, *Arquitectura Bioclimática*, Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco, (s.f.).

FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID, *Guía de Rehabilitación Energética de edificios de viviendas*, Madrid, 2008.

GARCÍA CHÁVEZ, José Roberto y Fuentes Freixanet, Víctor, *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*, Ciudad de México, Trillas, 2005.

GONZÁLEZ, Antoni y Moreno-Navarro, *Por una metodología de la intervención del patrimonio arquitectónico como documento y como objeto arquitectónico*.

GONZÁLEZ CAPITEL, Antón, "Técnicas viejas y técnicas nuevas. El edificio como buen agente ecológico y otras experiencias especiales en la restauración de edificios históricos", en *Patrimonio, restauración y nuevas tecnologías*, Valladolid, Instituto Español de Arquitectura, 1999 , pp. 137-142.

GONZÁLEZ LICÓN, Héctor Javier, *Vivienda tradicional de la región Purhépecha. Adecuación al medio ambiente, espacios y configuración formal*, Tesis de Doctorado en Arquitectura, Colima, Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura, 2006.

GRANADOS MENÉNDEZ, Helena, *Rehabilitación Energética de Edificios*, Madrid, Tornapunta, 2014.

GUERRA-SANTIN, Olivia y Tweed, Christopher, "In-use monitoring of buildings: An overview and classification of evaluation methods", en *ENERGY & BUILDINGS*, 86, enero 2015.

HUELSZ, Guadalupe, Barrios, Guillermo y Rojas, Jorge, *Ener-Habitat. Evaluación térmica de la envolvente arquitectónica*. Manual de Uso, Ciudad de México, CONACYT-SENER, 2014.

ICOM-CC, *terminología para definir la conservación del patrimonio cultural*, Nueva Delhi, XV Conferencia Triannual, 22-26 de septiembre de 2008.

IDAE, Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios Existentes, consultado en <http://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/programa-de-ayudas-para-la-rehabilitacion-energetica-de-edificios-existentes>

DE BUEN RODRÍGUEZ, Odón, *Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en la Construcción y Administración de Edificios en México*, Instituto Nacional de Ecología, 2010.

International Energy Agency, consultado el 12 de enero de 2017, en <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/>

J. Adeline, *Vocabulario de términos de Arte escrito en francés*. Madrid, La ilustración española y americana., 1887.

KING BINELLI, Delia, *Acondicionamiento Bioclimático*, Ciudad de México, Universidad Autónoma Metropolitana, 1994.

KRUS, M., KILIAM, R. Y Pfundstein, B., "Comparison of different systems for internal wall insulation with reversible application for historic buildings", en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016.

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Consultado en <https://new.usgbc.org/leed>

LECHNER, Norbert, *Heating, cooling, lighting: Design methods for architects*, Estados Unidos, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

Ley de Transición Energética, Diario Oficial de la Federación 24 de diciembre de 2015.

Ley General de Cambio Climático, Diario Oficial de la Federación, 01 de junio de 2016.

Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, Diario Oficial de la Federación 6 de mayo de 1972.

Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Diario Oficial de la Federación 28 de noviembre de 2008, México.

LLANES GUTIÉRREZ, René A., *Luis F. Molina: El arquitecto de Culiacán*, Culiacán, La Crónica de Culiacán, 2002.

LITTI, Giovanni, et. al., "Energy environmental monitoring in historical buildings; a simplified methodology for modeling realistic retrofitting scenarios. The case study of Schoonselhof Kasteel in Antwerp (Belgium)", en *Build Heritage 2013 Monitoring Conservation Management*, 2013.

LUCCHI, E., Garegnani, G., Maturi, L. y Moser, D., "Architectural integration of photovoltaic system in historic districts. The case of study of Santiago de Copostela", en Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica, Madrid, septiembre 2014.

MACHORRO PÉREZ, Flor de los Ángeles, *Productores agrícolas del valle de Culiacán: 1933-1958*, Tesis de Maestría en Historia, Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Historia, 2009.

MAINE PRESERVATION, *Guidelines for improving the energy performance of historic building*. Maine, 2012.

MENDOZA PÉRES, Luis Alberto, *El valor de utilizar un dispositivo de ahorro energético en la valuación de un bien inmueble*, Tesis de Maestría en Ciencias, Colima, Universidad de Colima, Facultad de Economía, 1999.

MUÑOZ, C., LEÓN, A. y Navarro, J., "La monitorización y simulación higrotérmica como herramienta para la mejora del confort, preservación y ahorro energético de espacios patrimoniales. El caso de la iglesia de San Francisco de Asís, Morón de la Frontera", en Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica, Madrid, septiembre 2014.

NAKAYAMA, Antonio, *Culiacán*, Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa, 2006.

NAKAYAMA, Antonio, *Sinaloa. Un bosquejo de su historia*, Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa, 2006.

NAKAYAMA, Antonio, *Culiacán. Crónica de una ciudad*. En *Crónicas de Culiacán 1*, Universidad Autónoma de Sinaloa, 2007.

NEILA GONZÁLEZ, Francisco Javier, *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid, Munilla-Lería, 2004.

Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-1995, *Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales*, Diario Oficial de la Federación 07 de enero de 1995.

Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, *Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales*, Diario Oficial de la Federación 25 de abril de 2001.

NTP 289, Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo, Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España, 1991.

NTP 501, *Ambiente térmico: inconfort térmico local*, Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España, 1998.

OLGYAY, Víctor, *Arquitectura y Clima*, Barcelona, Gustavo Gili, 1998.

OPTIMAGRID, *Buenas Prácticas para el ahorro de energía en la empresa*, Universidad de San Jorge, 2011.

PALLASMA, Juhani, *Los ojos de la piel. La arquitectura y los sentidos*. Barcelona, España: Gustavo Gili, Barcelona, Gustavo Gili, 2014.

Programa Eraikal, *Manual de Buenas Prácticas en la Rehabilitación Energética Integral de los Edificios*, País Vasco, 2015.

Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018, Diario Oficial de la Federación 28 de abril de 2004.

PUIG TARÍN, Ignacio, *et. al.*, " La eficiencia energética en edificios con valores patrimoniales" en Jornada de Investigación Emergente en Conservación y Restauración de Patrimonio, 2014.

R. Atkins, R. Emmanuel y C. Hermann, " Integrating conservation aspects into energy performance assessments for 20th century buildings: Canongate housing" en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Octubre 2016.

Real Academia Española, Diccionario de la Real Academia Española, Madrid, Espasa Libros, S. L. U., 2014.

RIEGL, Alois, *El culto moderno a los monumentos*, Madrid, Visor, 1987.

RICHARDS, Andrew, "Cómo mejorar la eficiencia energética de los sitios y construcciones históricas conservando su carácter, valores e integridad histórica" en Revista PH, 88, octubre 2015.

ROBLES, Marina, "El vínculo, la conservación y el desarrollo: consideraciones ecológicas para la sostenibilidad" en Carolyn Aguilar Dubose, *Diseño y construcción sostenibles: realidad ineludible*, Ciudad de México, Universidad Iberoamericana, 2011.

RODRÍGUEZ VIQUEIRA, Manuel, *Introducción a la arquitectura bioclimática*, Ciudad de México, Limusa, 2002.

ROJO CARRASCAL, Juan Carlos, *Culiacán, Clima y Arquitectura Habitacional*, Ciudad de México, Fontamara, 2008.

RORÍZ, Mauricio citado por Josué Jacob Tello Rodríguez, *Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: Uma hipótese de modelo adaptativo*, en Memórias de ECAC COTEDI, Curitiba, Universidade Federal de Sao Carlos, noviembre 2003.

RYBCZYNSKI, Witold, *La casa. Historia de una idea*, Buenos Aires, EMECÉ, 1991

SANDOVAL BOJÓRQUEZ, Martín, *Luis F. Molina y la arquitectura porfirista en la ciudad de Culiacán*, Culiacán, La Crónica de Culiacán, 2002.

SANTOS, A., Valenca, P. y Sequeira, J., "Energy efficiency and urban renewal of a UNESCO- listed historical center: The case of Porto", en Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica, Madrid, septiembre 2014.

Secretaría de Energía, *Balance Nacional de Energía*, Ciudad de México, 2015.

SERRA FLORENSA, R. y Couch Roura, H., *Arquitectura y Energía Natural*. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 1995.

SINAGAWA MONTTOYA, Heriberto y Márquez Meza, Octavio, *Foro ministerial. órgano informativo de la procuraduría general de justicia del estado de Sinaloa*, año II, números 1 a 12, diciembre de 2000l.

Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde (Sievive-Ecocasa), 2014.

TELLO RODRÍGUEZ, Josué Jacob, *Propuesta metodológica para análisis ambiental de edificios patrimoniales. Tres casos de estudio en el Centro Histórico de Morelia, Michoacán, México*, Tesis de Maestría en Arquitectura, Morelia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Arquitectura, 2015.

TROI, A., "Comfort and energy efficiency in historic buildings - The 3ENCULT experience" en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016.

UBICO CALDERON, Mario Alberto, *Antiguo templo de N. S. de los Remedios de la Antigua Guatemala: Restauración y Rehabilitación de su atrio*, Tesis de Maestría en Restauración, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2008.

VERDUGO FÁLQUEZ, Francisco, *Las viejas calles de Culiacán*, Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa, 2006.

WESSBERG, M., Leijonhufvud, G. y Brostöm, T., "An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle" en Segunda Conferencia Internacional sobre Eficiencia Energética y Confort en Edificios Históricos, Bruselas, Octubre 2016.

World Energy Council, *Energy Efficiency: A worldwide review. Indicators, Policies, Evaluation*, Londres, World Energy Council and French Environment and Energy Management Agency, 2004.

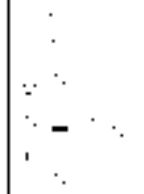
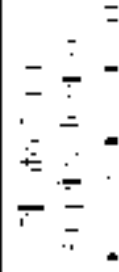
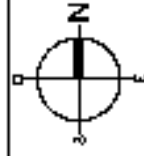
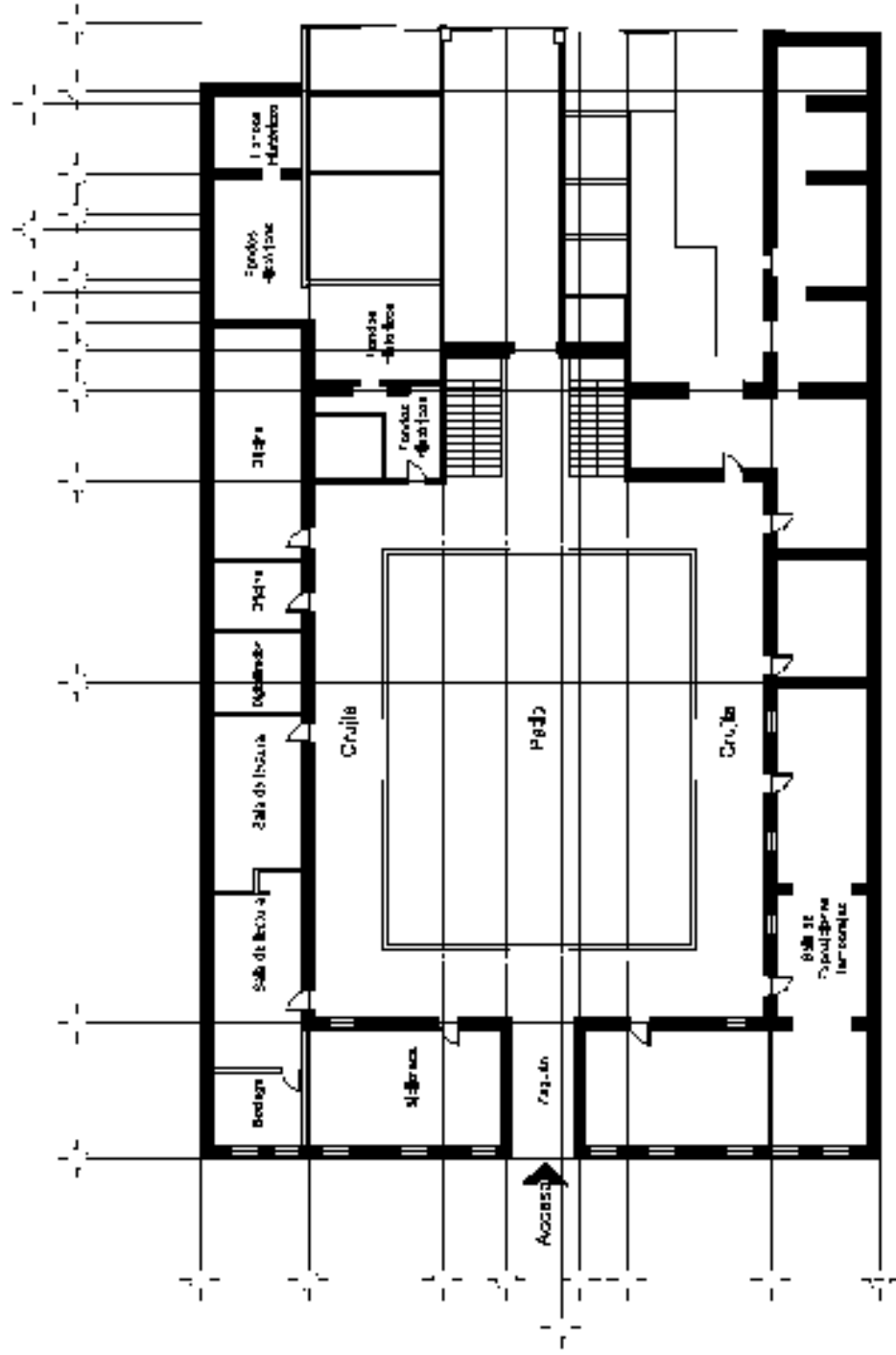
Anexo 1

Esquema de la metodología propuesta para rehabilitación energética de inmuebles patrimoniales, con los análisis necesarios en cada fase:

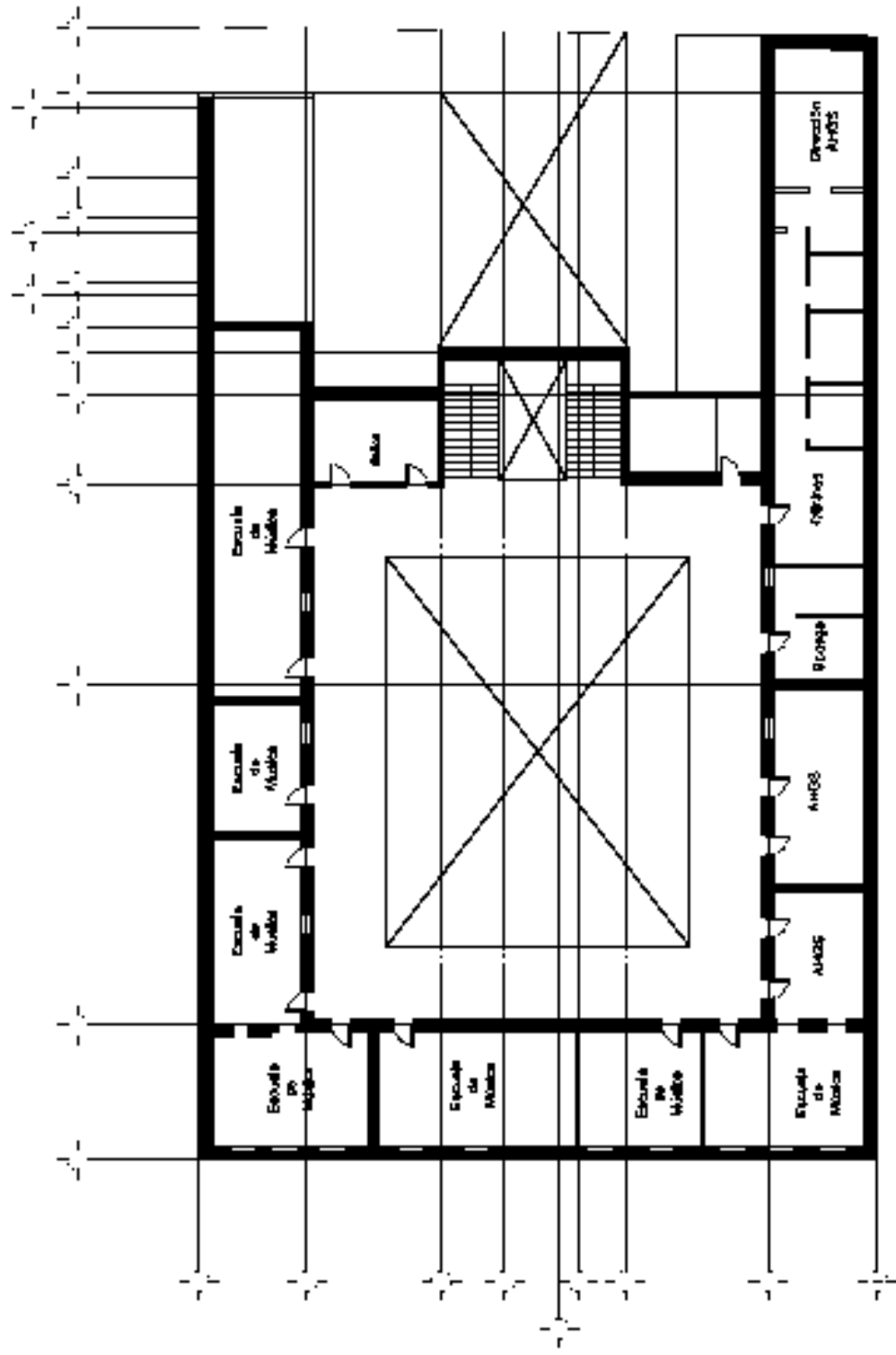
Fases de la metodología			Tipo de Análisis	
			Cualitativo	Cuantitativo
Diagnóstico y evaluación del inmueble	Clima y confort	Condiciones medioambientales generales	- Determinación de tipo de clima - Obtención de gráfica solar - Identificación de vientos dominantes por medio de gráfica de vientos	- Obtención de las temperaturas medias mensuales de cada mes - Identificación de la temporada más cálida del año y la más fría - Realizar análisis de asoleamiento durante solsticios y equinoccios. - Realizar análisis de vientos durante las cuatro estaciones del año.
		Análisis del confort higrotérmico	- Definir periodo de análisis - Identificar espacios más adecuados para instalación de instrumentos - Colocación de instrumentos - Obtención de datos (humedad relativa y temperatura del aire)	- Definir rango de confort variable por medio de modelo de Mauricio Roríz. - Síntesis e interpretación de datos obtenidos con los instrumentos, por medio de elaboración de gráficas y tablas.
	Edificio	Características generales del inmueble	- Prospección del inmueble para identificación de materiales, sistemas constructivos y morfología espacial. - Identificación de dimensiones: Alturas, espesor de los muros, tamaño de los espacios. - Identificación de sistemas pasivos con los que cuenta el inmueble	—
	Energía	Cálculo del consumo operacional	- Análisis del inmueble para identificar los tipos de sistemas de acondicionamiento artificial, la cantidad y lugares donde se encuentran, así como también horario operacional.	- Realización de cálculo de consumo aproximado de energía eléctrica (utilizada por los sistemas de acondicionamiento) en kWh durante un año.
Toma de decisiones	Selección de posibles estrategias		- De acuerdo a los análisis anteriores, realizar una lista de posibles estrategias a emplear de acuerdo al tipo de clima y a las condiciones higrotérmicas del inmueble.	—
	Evaluación de lista de estrategias		- Evaluar a el listado de estrategias por medio de la tabla de categorías	—
Aplicación de estrategias de mejora por medio de simulación en software	—		-Seleccionar estrategias que pueden ser simuladas por medio del programa computacional empleado. - Obtener esquema de materiales de sistema constructivo actual y sistema constructivo propuesto para realizar la simulación. (Obtener los datos de conductividad, densidad y calor específico de cada material)	-Realizar simulación comparando el sistema constructivo actual con el sistema constructivo creado con las estrategias propuestas. - Al realizar la simulación, analizar los datos de temperatura obtenidos por medio de gráficas. -Comparación de datos.

Anexo 2.

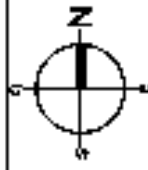
Plantas arquitectónicas inmueble del Archivo Histórico General del Estado
de Sinaloa.

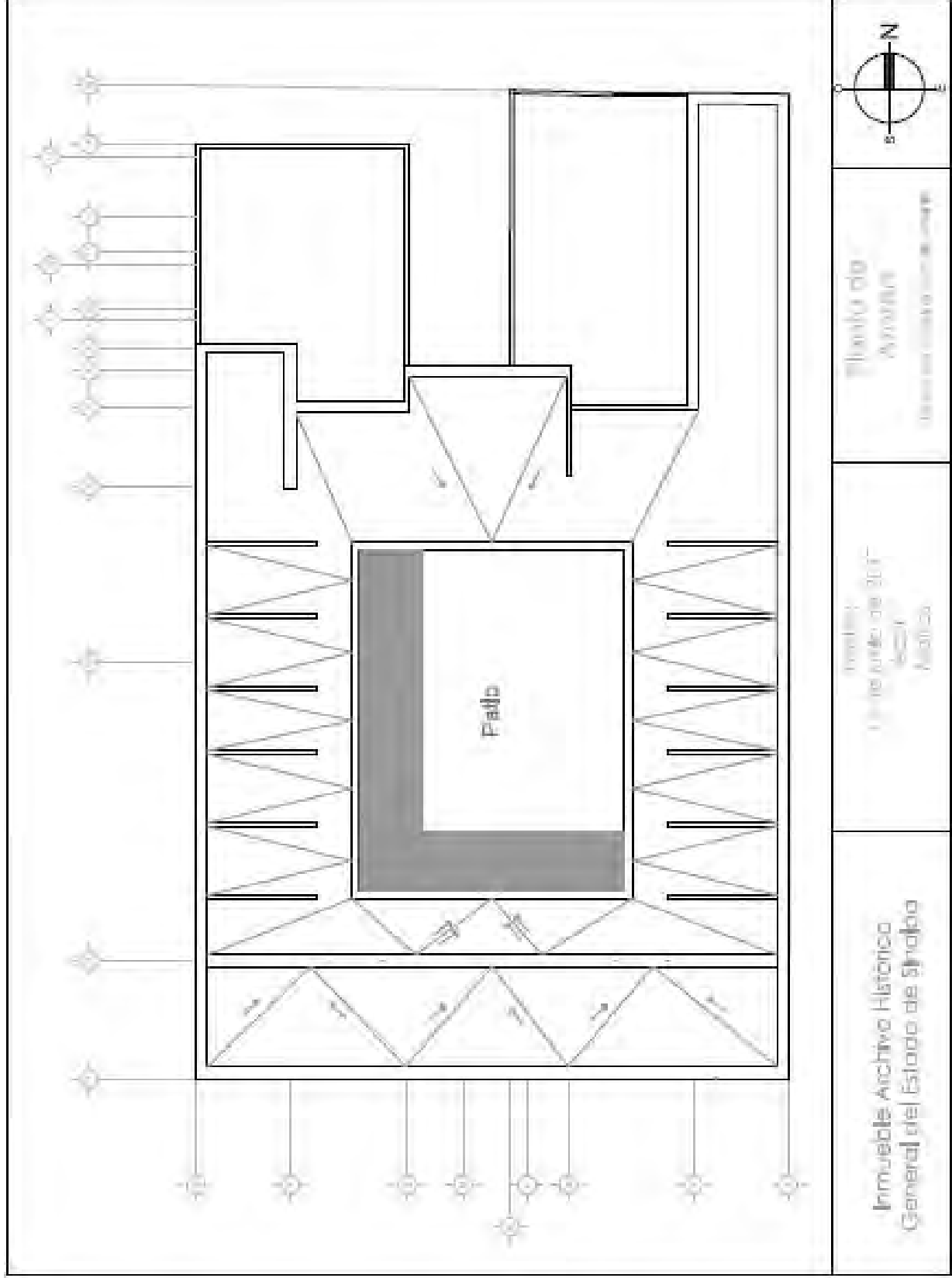


Instituto de la Archivo Histórico
General del Estado de Sonora



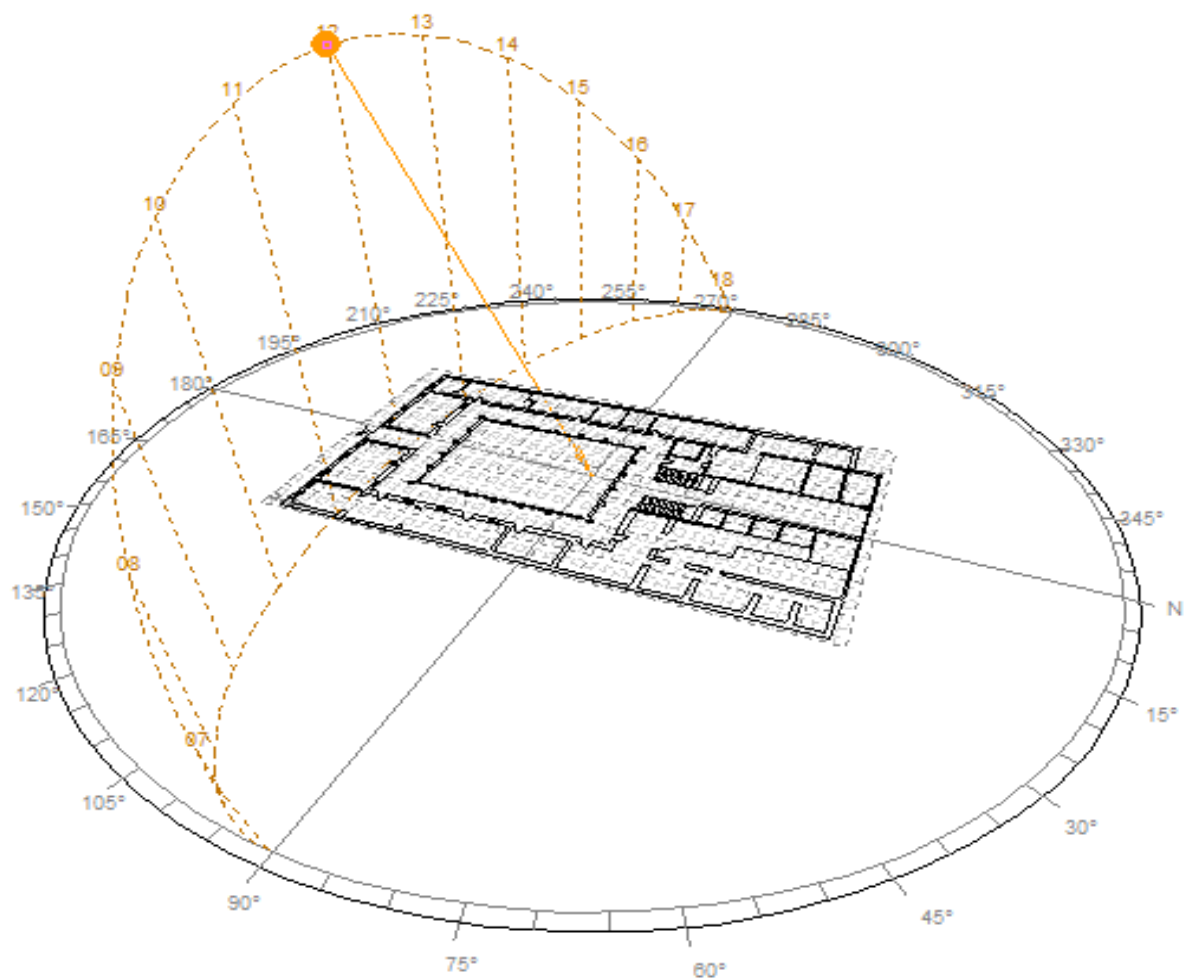
Inmuable Archivo Histórico
General del Estado de Sinaloa



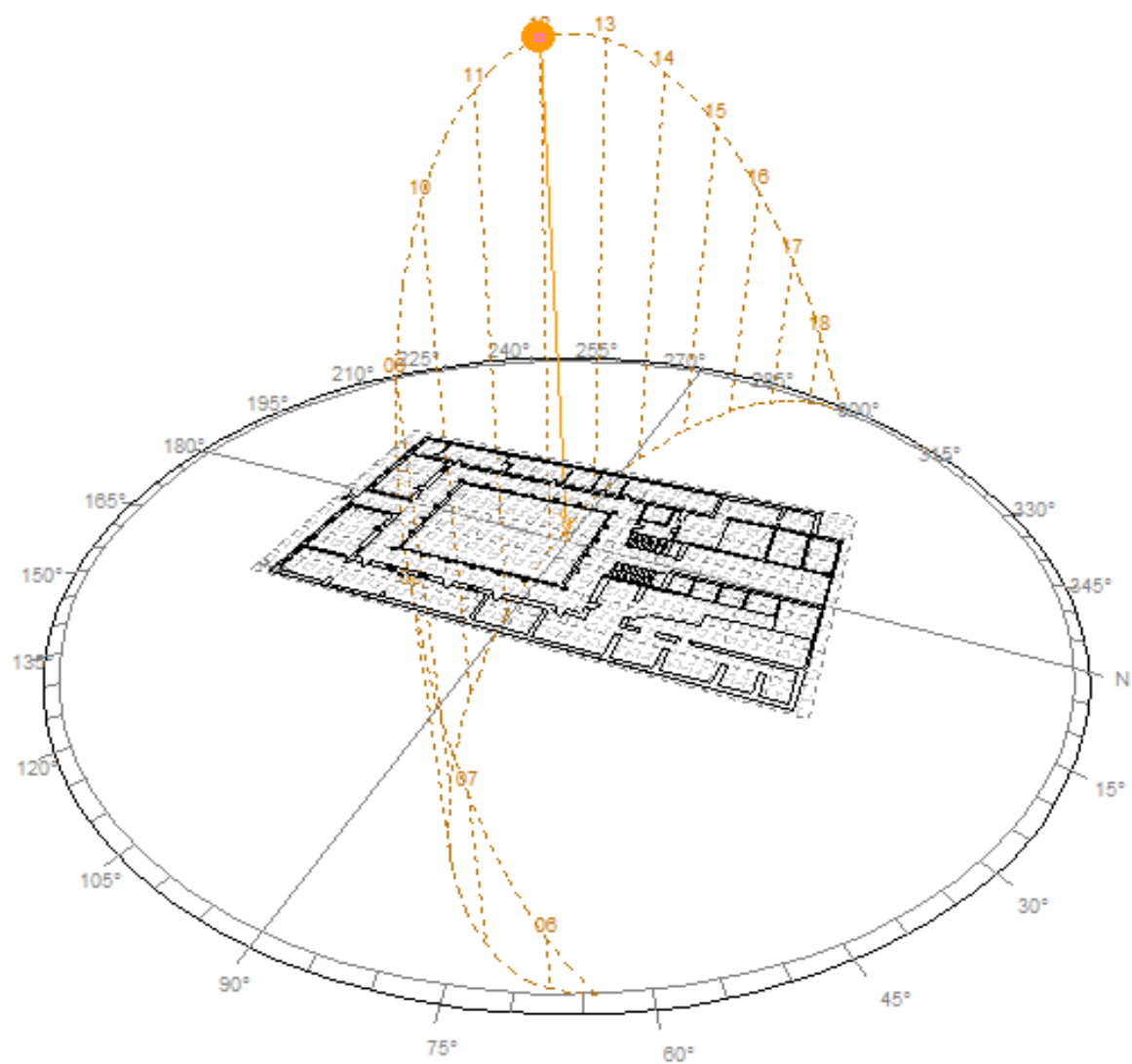


Anexo 3.

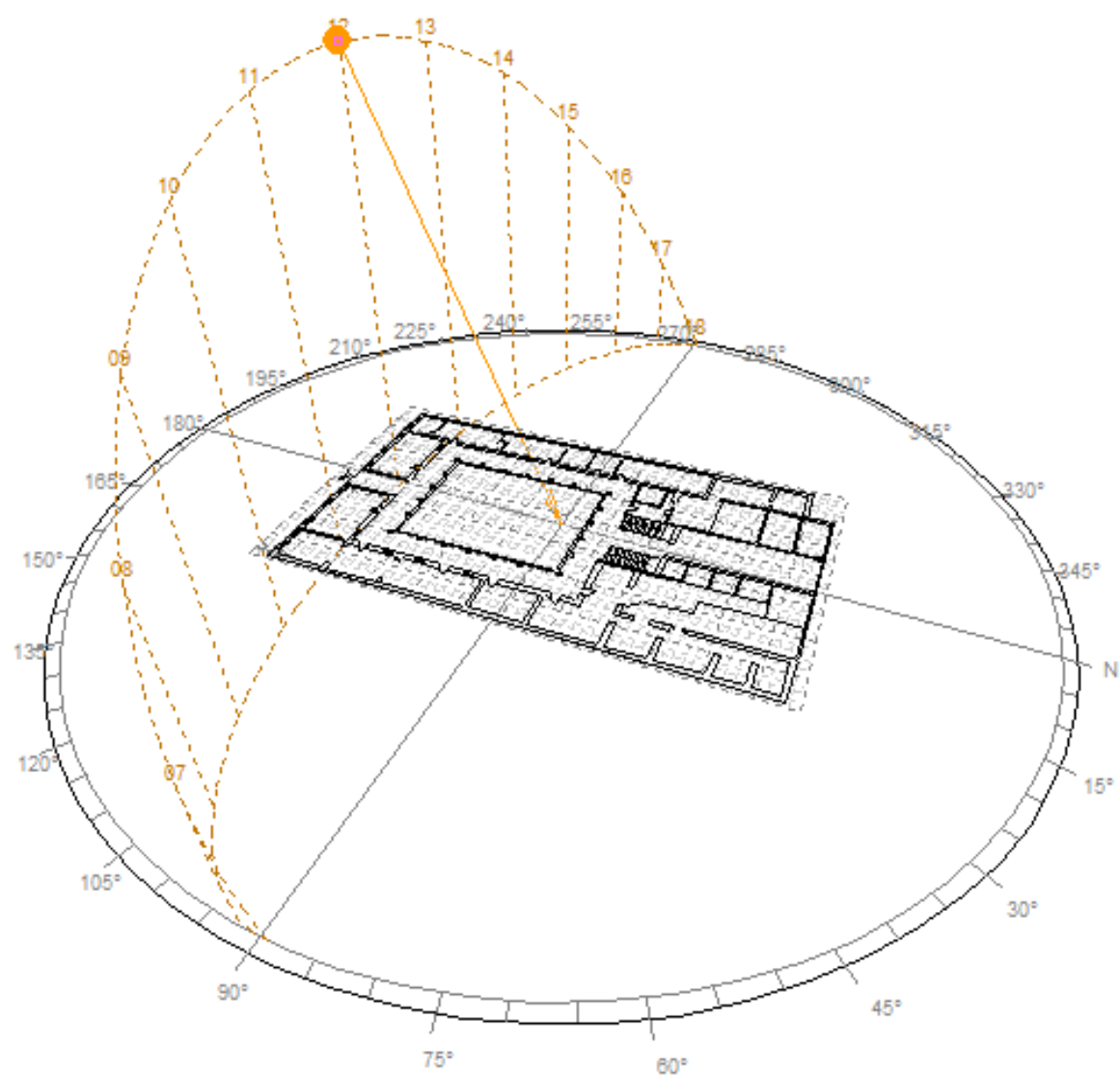
Gráficas solares de solsticios y equinoccios con respecto al inmueble.



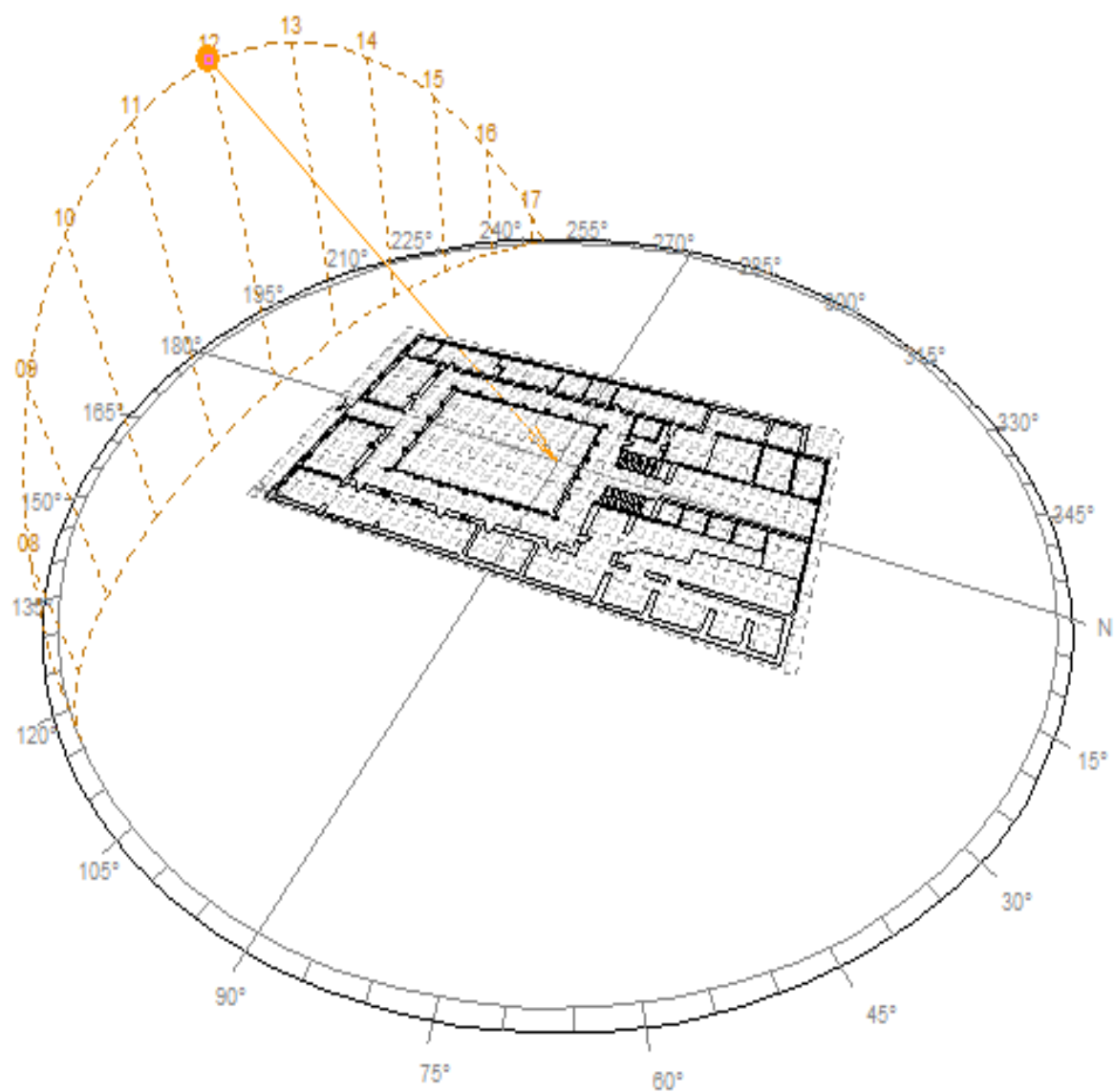
Equinoccio de primavera



Solsticio de verano



Equinoccio de otoño



Solsticio de invierno