



La Alhambra, un patrimonio de alta eficiencia energética: “Enseñanzas del pasado para la construcción de un futuro sustentable”

Brigitte M. Gámez Meneses¹

Resumen: El presente estudio evidencia de forma cualitativa y cuantitativa la alta eficiencia energética del conjunto de Palacios de la Alhambra, a través de la estrecha relación que tiene la arquitectura palatina Nazarí con su entorno, desde el emplazamiento, la climatología, el uso de sistemas constructivos y la materialidad, aprovechando y controlando al máximo la radiación solar, la vegetación, el agua y los vientos de acuerdo con cada época del año.

Palabras claves: Radiación; Conducción; Convección; Ventilación y Evaporación.

A Alhambra, um patrimônio de alta eficiência energética: “Lições do passado para a construção de um futuro sustentável”

Resumo: O presente estudo evidencia de forma qualitativa e quantitativa a elevada energia que envolve o conjunto de Palácios da Alhambra, por meio da estreita relação que se observa entre a arquitetura palaciana Nazarí e o cenário, desde a localização, o clima, os aspectos de construção e o material empregado, com aproveitamento e controle da radiação solar, da vegetação, da água e dos ventos, conforme cada estação do ano.

Palavras-chave: Radiação; Condução; Convecção; Ventilação e Evaporação.

The Alhambra, a heritage of high energy efficiency: “Lessons from the past for the construction of a sustainable future”

Abstract: The present study qualitatively and quantitatively demonstrates the high energy efficiency of the Palaces of the Alhambra, through the close relationship that the Nazari palatine architecture has with its surroundings, from the location, the climatology, the use of construction systems and the materiality, taking advantage of and controlling to the maximum the solar radiation, the vegetation, the water and the winds according to each season of the year.

Keywords: Radiation; Conduction; Convection; Ventilation and Evaporation.

Introducción

Desde el inicio de la historia del hombre, este siempre ha usado su inventiva para adaptarse al clima, desde el uso del fuego para calentarse hasta imponentes palacios en busca de un hábitat que le ofrezca confort espacial, térmico, lumínico y acústico.

El Simbolismo y la religiosidad hacia del sol de las primeras culturas, ya mostraban la importancia que tenía como medio de transmisión de: luz y sombra, calor y frío, día y noche, verano e invierno. En la antigua Grecia los espacios de mayor uso se orientaban hacia el sur y se relacionaban con un patio a través

¹ Maestría en Diseño Sostenible. Universidad Piloto de Colombia y Universidad Católica de Colombia. E-mail: bm_g_arq@yahoo.com, brigitte-gomez@upc.edu.co, bmgamez@ucatolica.edu.co

de un pórtico que protegía del sol en verano y lo dejaba penetrar a los espacios en invierno.

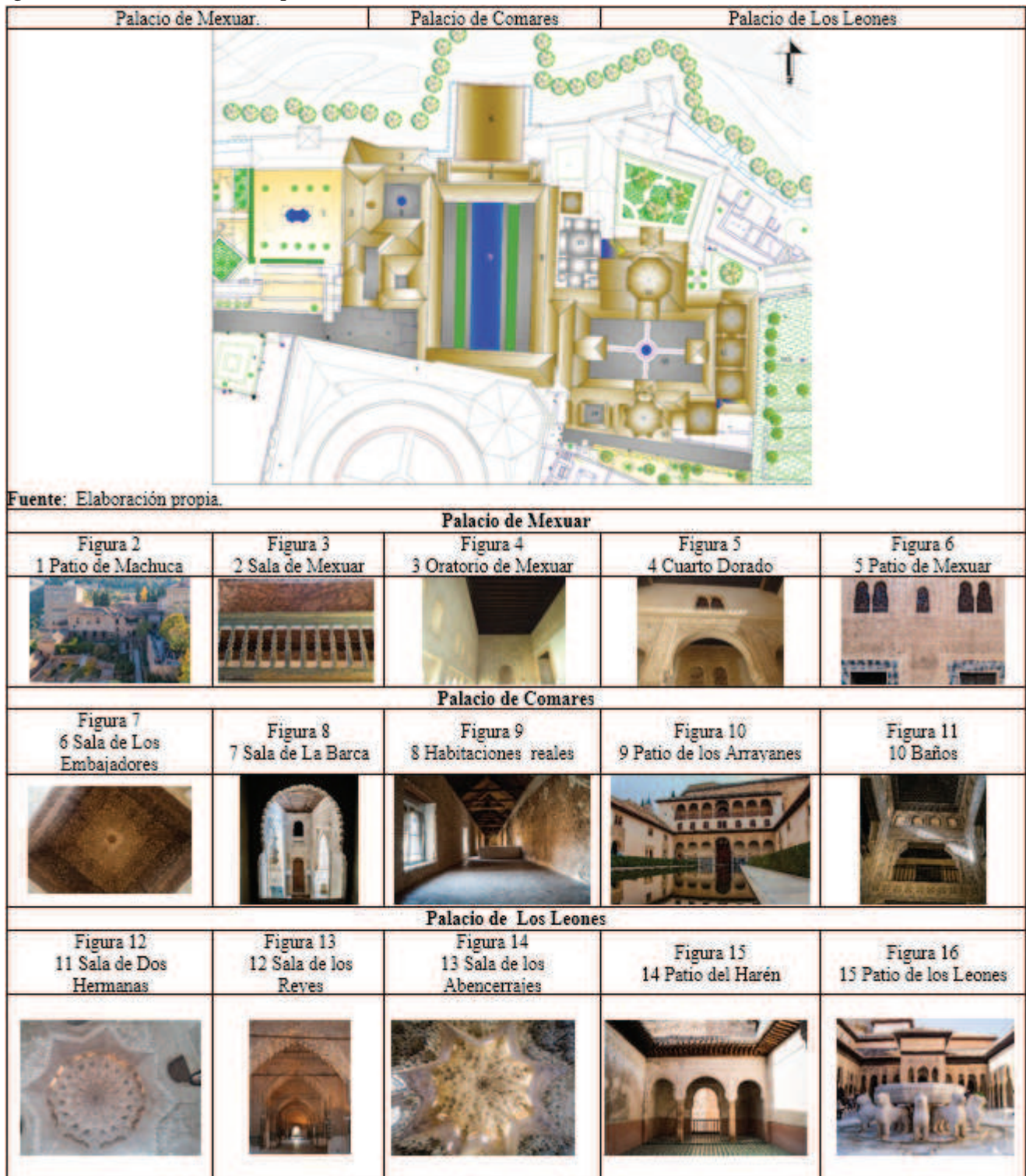
En el Imperio Romano se desarrolló la Villa Romana adaptándose al clima del lugar, se construyeron las termas aprovechando el “efecto invernadero”.

En nuestra Era, la divulgación del libro “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson en 1962 alertó al mundo sobre la contaminación ambiental, la crisis del petróleo de 1973 mostró la dependencia a los combustibles fósiles y la crisis ecológica de finales de los años ochenta generaron consciencia sobre el inminente agotamiento de los recursos naturales e incentivaron prácticas con energías renovables y diseño bioclimático.

Actualmente, la eficiencia energética como parte del desarrollo sustentable, hace que se convierta en prioridad estudiar el patrimonio arquitectónico que contenga enseñanzas útiles para la construcción de un mundo más amable con el medio ambiente, como es el caso de la Alhambra de Granada que aplica gran parte de las estrategias bioclimáticas hoy conocidas.

El Objetivo del presente estudio, es identificar las estrategias bioclimáticas usadas en los palacios de: Mexuar, Comares y Leones y evaluar su eficiencia térmica a nivel cualitativo y cuantitativo.

Figura 1. Localización de los espacios estudiados.



Importantes modificaciones que se han realizado al complejo

La Alhambra ha sufrido a lo largo del tiempo una permanente transformación, inicialmente era una arquitectura militar (siglo XII), caracterizada por la sobriedad, edificada por el sultán Muhammad; posteriormente el sultán Yusuf I transforma el interior de los palacios en moradas de lujo y Muhammad V implementa una arquitectura palatina.

La más radical transformación de la Alhambra se produce tras la conquista de los cristianos en

1492, que impone nuevos usos y conceptos con importantes modificaciones arquitectónicas y urbanas entre las que se destaca:

-La construcción de nuevos edificios, como Carlos V, Los Patios de Lindaraja y la Reja, la Iglesia de Santa María, el Convento de San Francisco, el Pilar de Carlos V, que crean una exquisita mezcla cultural y cambio de usos como la mezquita mayor que se convierte en la iglesia de Santa María.

-La estructura urbana unitaria y global Nazarí es transformada por la división en palacios, de ahí nacen los palacios de Comares y Leones.

-La edificación más modificada en sus acabados, distribución y comunicación es Mexuar, a causa de una explosión con pólvora en 1590 que causó grandes destrozos, en ella se evidencia la mezcla árabe-cristiana: en sus azulejos, ménsulas de mocárabes y el techo cristiano junto con el escudo de Carlos V.

A todo el proceso de transformación del conjunto se suman las intervenciones de restauración y adorno del siglo XIX, efectuadas por Contreras; hasta que el siglo XX con ayuda de estudios históricos y excavaciones arqueológicas se intenta devolver al conjunto su imagen auténtica en forma y función.

Figura 17. Pintura “Rendición de Granada” Francisco Pradilla (1848-1921)



Fuente: (Wikimedia, 2018).

La pintura narra la toma de Granada por parte de los reyes católicos el 2 de enero de 1492, dando fin al Estado Islámico en la Península Ibérica, en ella se divisan las torres blancas de la Alhambra.

Metodología

Trabajo de Campo. Visitas al lugar los días 16 de julio de 2017 (verano), 26 de noviembre de 2017 (otoño), 23 de enero de 2018 (invierno) y 26 de marzo (primavera), con el objetivo de analizar los factores astronómicos, factores geográficos y los elementos del clima para evaluar el emplazamiento, la estructura urbana, los espacios públicos, el paisaje, la vegetación, la tipología, el volumen, la orientación, los espacios interiores, el color, las aberturas, la materialidad y los elementos de protección de edificación.

Equipos usados para las mediciones dentro del edificio.

Figura 18. Orientación, uso de la brújula



Fuente: Fotografía de Brigitte Gámez.

Figura 19. Temperatura del aire y humedad relativa, uso del termómetro higrotérmico



Fuente: Fotografía de Brigitte Gámez

Figura 20. Temperatura radiante, uso del termómetro radiante.



Fuente: Fotografía de Brigitte Gámez

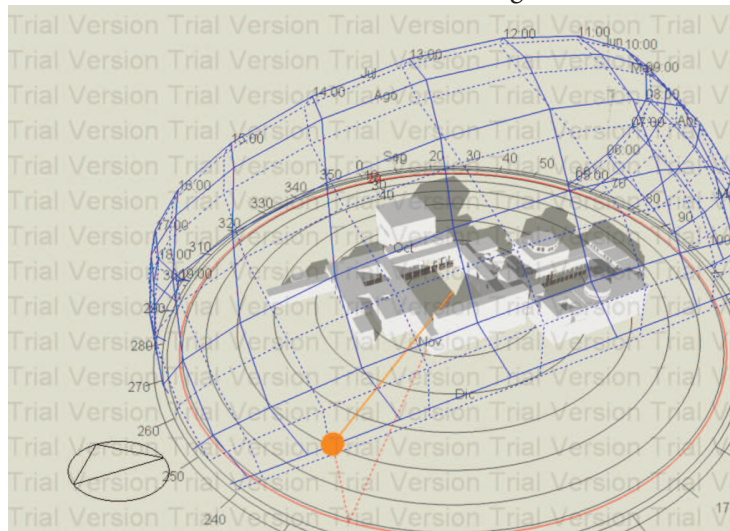
Tabla 1. Formato diligenciado para mediciones en campo

Espacio de la Alhambra:											
Fecha:											
No.	Hora	Temperatura del aire		Temperatura radiante				Temperatura operativa		Humedad relativa	
		Ext.	Int.	Material 1	Material 2	Material 3	Material 4	Ext.	Int.	Ext.	Int.
1.											

Fuente: Elaboración propia

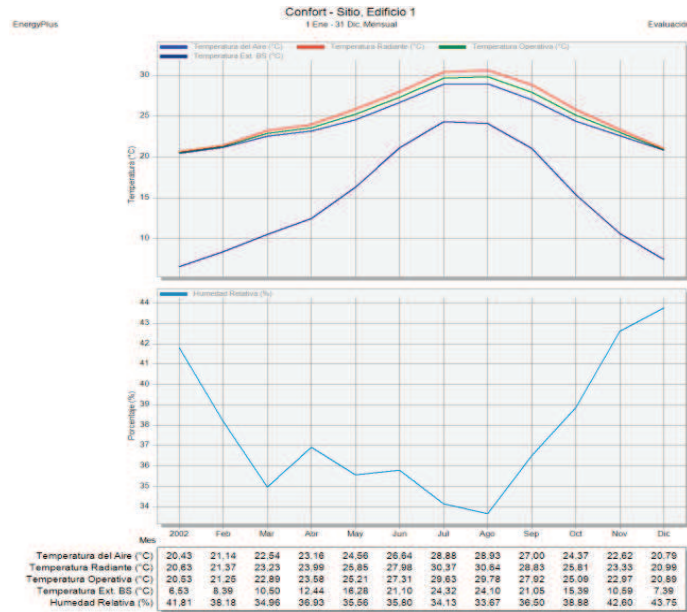
Parametrización y simulación de los palacios en sistema BIM, a través del Software Design Builder, en el cual se elabora el modelo volumétrico de la Alhambra, se definen las actividades, se especifica cerramientos, aberturas, iluminación y ventilación para simular confort (humedad relativa, ventilaciones, temperatura del aire: radiante, operativa y exterior) representado en datos anuales, mensuales, diarios y horarios de un espacio específico o toda la edificación:

Figura 21. Modelo de los Palacios de la Alhambra en el software Design Builder



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Gráfico de simulación de confort generada por el software Design Builder.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de resultados que permite validar los datos de la simulación con los datos tomados en campo, evaluar a nivel cualitativo y cuantitativo cada una de la estrategias bioclimáticas encontradas en la edificación y elaborar gráficas y tablas que dan respuesta a los interrogantes planteados en el estudio.

El clima

La Alhambra se encuentra en Granada, en la comunidad autónoma de Andalucía, dentro de la zona climática templada según la clasificación climática de Koppen y bioma chaparral o matorral mediterráneo, caracterizada por estaciones térmicas claramente diferenciadas: veranos muy cálidos, secos y con pocas precipitaciones y los inviernos son suaves con una amplitud térmica inferior a 15°C, las lluvias son de escasas a moderadas y van generalmente del otoño a la primavera.

Cálculo zona de confort térmico.

Zona de confort es el rango de temperaturas donde las personas no siente calor ni frio porque las condiciones de temperatura, humedad y ventilación son las óptimas. Para el presente estudio se utiliza la fórmula de cálculo de zona de confort propuesto por Aluciens & Dear, teniendo en cuenta la temperatura promedio anual para la ciudad de Granada de 15.5 °C.

Cálculo Temperatura de confort: $17.6+(15.5^{\circ}\text{C}\times 0.31)= 21.7^{\circ}\text{C}$

Rango de confort. 19.2°C a 24.2°C

Factores astronómicos

Coordenadas: Longitud: 3°10'58.40" E, Latitud: 37°34'41.73" N, Altitud: 797 msnm.

Elementos del clima

Datos tomados de la Estación meteorológica de Granada-Albayzin.

Coordenadas: Longitud: 3°35'26" E, Latitud: 37°10'48" N, Altitud: 730 msnm

Responsable: Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada.

Datos del año 2017.

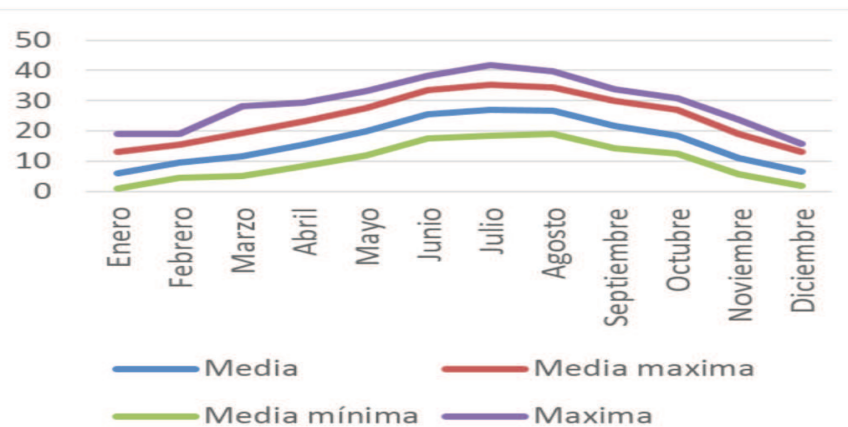
Las temperaturas más altas se registran en el mes de julio, con máximas absolutas de 41.8°C y temperaturas medias promedio de 35.4°C. Las temperaturas más bajas se registran en el mes de enero con 0°C y medias mínimas promedio de 6°C. Durante el otoño y la primavera la temperatura promedio se encuentra entre 11°C y 20°C. Toda la temporada de invierno y verano la temperatura exterior se encuentra fuera de la zona de confort.

La humedad relativa. El aire es seco de mayo a septiembre, en julio oscila entre 35% y 55%. El aire más húmedo se registra en los meses de febrero y diciembre. El nivel bajo de la humedad relativa permite la adaptación de refrescar las temperaturas a través de la evaporación.

La Pluviosidad. La temporada de sequía va de mayo a septiembre, los meses más lluviosos son febrero, abril y noviembre

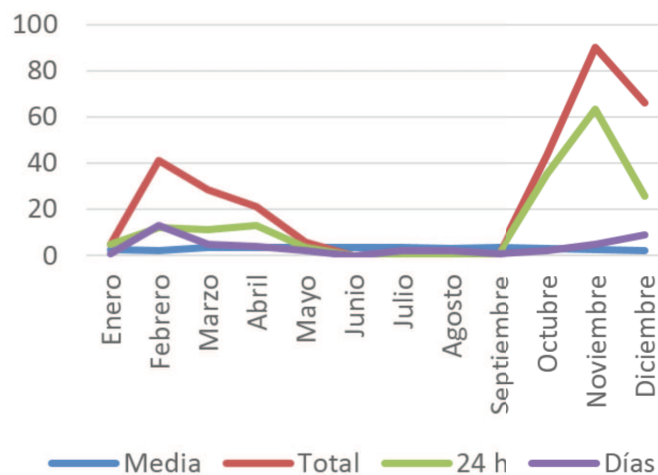
Los vientos. Las direcciones de los vientos predominantes son: oeste y este y direcciones secundarias: suroeste y sur.

Figura 23. Temperatura mensual, Granada en °C



Fuente: Gráfico sobre datos tomados de (Dpto. Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 2018). Elaboración propia.

Figura 24. Pluviosidad mensual, Granada en mm.



Fuente: Gráfico sobre datos tomados de (Dpto. Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, 2018). Elaboración propia.

Ordenación del conjunto

Elección del emplazamiento y estructura urbana

Figura 25. Barrio el Albaicín de Granada. Fotografía tomada desde la colina la Sabika.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Los palacios se encuentran sobre la colina Sabika, localización denominada “cinturón termal”, que en verano proporciona temperaturas intermedias producidas por los vientos frescos provenientes del macizo montañoso Penibético de Sierra Nevada y el aire cálido procedente de las zonas habitadas de la Vega de Granada, en cambio en invierno las temperaturas en la planicie son frías a nivel del suelo y se mantendrán templadas en la ladera, siendo este el mejor lugar para emplazar una edificación.

La mejor orientación. Se hizo un estudio comparativo entre diferentes orientaciones para determinar cuál posición volumétrica ofrece mejor confort térmico interior durante el año; dando como resultado:

Tabla 2. Resultados de estudio comparativo para determinar mejor orientación.

Orientación	Temperatura promedio verano en °C	Temperatura promedio en invierno °C	Evaluación cualitativa
Eje este-oeste. Fachada sur Implantación actual Alhambra	25.2°C	21.5°C	La mejor orientación. Buen comportamiento térmico durante las dos estaciones
Eje este-oeste Fachada norte Giro 180°	25.7°C	20.9°C	Segunda mejor orientación.
Eje norte-sur Fachada occidental Giro 270°	27.8°C	20.5°C	Tercera mejor orientación en invierno, pero la peor en verano.
Eje norte-sur Fachada oriental Giro 90°	27.6°C	19.7°C	Tercera mejor orientación en verano, pero la peor en invierno.

Fuente: Elaboración propia.

La mejor orientación del emplazamiento de los palacios es en el eje este-oeste, porque permite una distribución calorífica equilibrada a través de la mayor captación de radiación solar en invierno y menor en verano, logrando óptimas condiciones térmicas de calor y fresco en cada uno de los solsticios y equinoccios.

La estructura urbana se forma con un tejido denso que proporciona sombra, creando una estrecha relación entre los palacios y los espacios públicos, dentro de un orden residencial introvertido rodeado de zonas verdes y cerrado al exterior que evita la radiación solar directa, favoreciendo los efectos refrescantes y la pérdida nocturna de calor durante el verano.

Figura 26. El Palacio de los Leones y su relación con la vegetación.

Fuente: Fotografía de Mónica Serrano

El Paisaje

La mayor cantidad de árboles se encuentran ubicados en la fachada oriental del Palacio de los Leones, siendo la posición más eficaz para sombrear durante las primeras horas de la mañana, y la arborización que se encuentra en el sur protege el contorno más expuesto en verano.

Los jardines y las huertas además de mejorar el paisaje regulan la temperatura: en verano las superficies del césped y las hojas absorben la radiación y en su proceso de evaporación enfría la temperatura del aire, esto se logra gracias a que la época de hojecer y de floración se da antes de la temporada cálida, en cambio en invierno los árboles de hoja caduca no interfieren en el ingreso de los rayos solares y los de hoja perenne reducen las pérdidas de calor en las edificaciones e impiden la acumulación de nieve.

Figura 27. Camino de Ronda y Adarve.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

El agua actúa como regulador de elevadas y bajas temperaturas, a través del enfriamiento evaporativo: que consiste en enfriar el aire disipando el calor de forma eficiente a la atmósfera a través de la evaporación del agua, proporcionando microclimas agradables; la estrategia se hace altamente eficaz en esta ciudad que tiene una baja humedad relativa la mayor parte del año.

Figura 28. Fuente del patio de Leones

Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Figura 29. Fuente en el Generalife

Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Las masas de agua contribuyen en verano a disminuir la reflectividad sobre las fachadas y a tener

una temperatura radiante por debajo de la temperatura del aire; en invierno por la baja altitud solar refleja la luz sobre las fachadas, como se evidencia en la Sala de la Barca que por estar junto al estanque del Patio de los Arrayanes y una fuente gallonada en el inicio de la galería, en verano la radiación solar que da sobre el patio es absorbida por el agua y en invierno es reflejada en las fachadas de la galería (ver figura 28 y 29).

Fuentes con taza, canales, surtidores y fuentes gallonadas logran todo un complejo hídrico en el Palacio de los Leones, llevando la estrategia de enfriamiento evaporativo al más alto nivel de aplicación, que contribuye a hacer de este palacio el más bioclimático de la ciudad palatina.

Diseño de los palacios

Forma y volumen - Dentro de las formas que favorece la bioclimática se encuentran:

-Volumen tipo Atrio con aberturas en la parte superior: presente en la Sala de Los Embajadores y el Baño, es un espacio de múltiples alturas que une distintos niveles.

-Volúmenes de doble altura con aberturas en la parte superior: presente en la Sala de Dos Hermanas, Sala de los Abencerrajes, Sala de los Reyes y Sala de la Barca.

Tipologías de vivienda - La tipología implementada en los palacios es la casa patio, que consiste en un patio rodeado por galerías perimetrales que actúa como un excelente regulador bioclimático y crea un microclima confortable a nivel térmico, lumínico y de calidad del aire, a través del uso de las siguientes estrategias:

-*Por radiación*: control y aprovechamiento de la exposición solar, regulando la luz y las sombras sobre las fachadas de acuerdo a las necesidades energéticas de cada estación.

-*Por convección y conducción*: En verano el patio guarda el aire fresco que enfría los materiales y el aire durante la noche, y en el día intercambia calor con los espacios que lo rodean; en el invierno conservará el calor en su interior logrando que la temperatura del aire sea mayor que en espacios totalmente abiertos. El patio se encargará de distribuir la ventilación a cada uno de los espacios perimetrales, generando ventilaciones cruzadas y reduciendo la exposición al polvo o agentes contaminantes.

En estos volúmenes se produce un efecto chimenea (tipo de ventilación por efecto de la convección), donde el aire caliente al ser menos denso sube y sale por las ventanas ubicadas en parte superior y es reemplazado por aire más fresco del exterior.

Figura 32. Atrio de los Baños.

Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Figura 33. Aberturas superiores para extracción de aire cálido

Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Espacios Fragmentados por zonas: como la Sala de Dos Hermanas, Sala de los Reyes, Sala de Los Abencerrajes y Sala de los Embajadores.

Para comprobar la eficiencia energética de estas formas arquitectónicas se simuló la Sala de Los Reyes un día típico de verano (6 de julio), con los siguientes modelos:

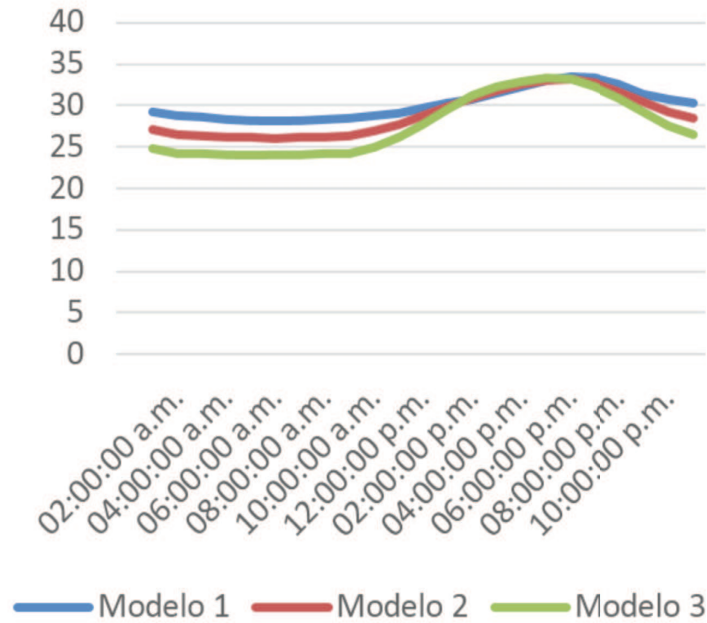
Modelo 1: Sin doble altura, sin aberturas en la parte superior y sin zonas.

Modelo 2. Con doble altura, con aberturas en la parte superior y sin zonas.

Modelo 3. Con doble altura, con aberturas en la parte superior y dividido en zonas.

En los resultados de la simulación se evidencia que en el diseño de la Alhambra se tuvo en cuenta las estrategias de doble altura, las aberturas en la parte superior y la división de las estancias por zonas para lograr ambientes más frescos, logrando en promedio 4.4°C menos de temperatura en un día típico de verano.

Figura 34. Estudio comparativo de tres modelos volumétricos para determinar eficiencias volumétricas.



Fuente: Elaboración propia

Colores

Figura 35. Iluminación cenital que da sobre el color claro localizado en los baños.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano

Figura 36. Iluminación por ventanas que refleja sobre los muros blancos localizados en la primera planta costado sur de la Sala de Abencerrajes.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano

Fachadas con piel protectora de cal como fue diseñada originalmente, permite aumentar la reflexión y así evitar el ingreso de toda la radiación solar por conducción al interior de la edificación.

En el interior el color blanco se encuentra expuesto al asoleo para aumentar la reflexión y los colores oscuros y absorbentes de baja emisión se encuentran protegidos de la radiación para evitar el sobrecalentamiento en verano y aprovechar la reflexión de los colores claros sobre los oscuros en invierno y así aumentar la absorción calorífica.

Elementos Constructivos

Aberturas y ventanas

Figura 37. Aberturas, vista desde planta superior, galería sur patio de Los Leones.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Las principales aberturas incluyendo las galerías se ubican sobre los patios, lo que permite mayor flexibilidad en el manejo de la radiación solar, para calentar los espacios en invierno y controlar la radiación para disminuir las ganancias solares por ventanas en verano.

Galerías - La mayoría de las galerías se encuentran localizadas en el norte de los patios, como las del patio de Mexuar, patio de los Arrayanes, patio de Leones, patio de Machuca, patio del Harén y el Partal, porque estas reciben más radiación solar por el sur en invierno y en verano el sol es controlado por los aleros.

Lucernas pequeñas de colores sobre cúpulas: se encuentran en la cubierta del baño, las cuales se pueden abrir o cerrar desde afuera para regular la temperatura interna de las salas; las aberturas tienen forma de estrella con vidrios de colores que disminuyen la transmitancia lumínica y reflejan el color en el interior, creando una iluminación mágica y relajante.

Figura 38. Lucernas de colores en el interior del baño.



Fuente: Fotografías de Mónica Serrano.

Figura 39. Aberturas para contemplar el paisaje. Vista a las Huertas del Generalife .



Fuente: Fotografías de Mónica Serrano.

Figura 40. Ventilación e iluminación en los baños.



Fuente: Fotografías de Mónica Serrano.

Aberturas para contemplar el paisaje: se encuentran con vista hacia el norte, son las de mayor tamaño, para poder apreciar la naturaleza y no requieren ningún tipo de control solar, ya que a esta fachada nunca le llega la radiación solar directa. Se encuentran localizadas en el Oratorio de Mexuar, el Cuarto Dorado, salón del Trono en el patio de Comares, sala de los Reyes, sala de Dos Hermanas (Mirador de Lindaraja).

Abertura saetera: Son verticales, estrechas y profundas, estas no solo protegen al arquero mientras lanza un proyectil, sino que amplifica la radiación solar, la iluminación y la ventilación al interior de los espacios, por su ancho estrecho en la parte exterior que se va ampliando hacia el espacio interior, este tipo de aberturas se encuentra en las habitaciones reales.

Abertura de ventilación y control lumínico: las celosías están localizadas en la parte superior de los espacios y son las encargadas de extraer del interior el aire cálido que será reemplazado por uno más fresco y así ofrecer calidad del aire. Estas aberturas están presentes en: Sala de Dos Hermanas, Sala de los Abencerrajes, Sala de los Reyes, Sala de los Embajadores, Sala de la Barca, baños y en el Oratorio de Mexuar.

Figura 41. Iluminación difusa en la galería de los músicos de los baños, fotografía tomada en época invierno.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Figura 42. Habitaciones reales, fotografía tomada en época invierno.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Las aberturas, cuentan con un correcto dimensionamiento de los vanos, porque permite que el sol en invierno (que se encuentra a poca altitud) penetre al fondo de las estancias.

La materialidad

Los muros de carga que soportan la estructura de los palacios, fueron construidos en la técnica del tapial o tapia pisada, que consiste en tomar tierra arcillosa húmeda en este caso extraída de su entorno para luego compactarla mediante golpes y moldeándola en un encofrado de madera.

Figura 43. Tierra arcillosa, material de construcción de los palacios.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

La construcción de los palacios es un ejemplo de eficiencia constructiva porque utilizaron los recursos del lugar, no generaron desperdicios, lograron acabados perfectos, tuvieron velocidad en la construcción, bajo costo y calidad.

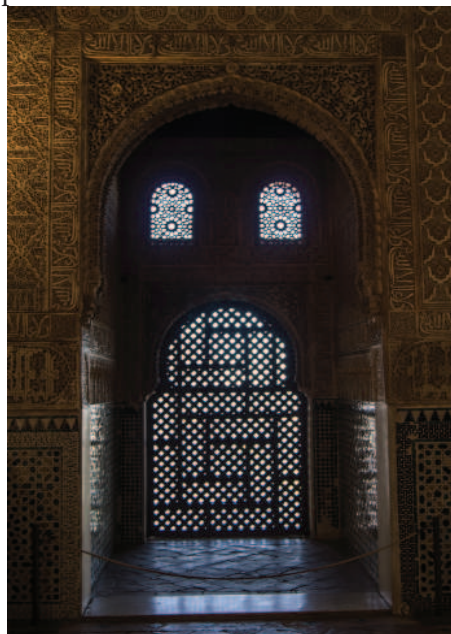
Los muros en tierra tienen una gran masa térmica e inercia térmica, ofreciendo una excelente capacidad de mantener y conservar el calor a través del tiempo, es decir que el calor absorbido durante el día es conducido y llevado hacia el interior en las horas de noche, lo que es muy beneficioso porque en verano la alta radiación solar no ingresa a la edificación de manera directa sino hasta las horas de la noche que es cuando bajan las temperaturas y durante el invierno el calor interno no sale de la edificación en las horas de la noche, sino solo hasta cuando llegue el día y el sol vuelva a calentar las fachadas.

Figura 44. Sala de los Embajadores celosías y cieloraso.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano

Figura 45. Sala de los Embajadores espesor de muros.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Un excelente ejemplo de aplicación de estrategias por conducción (baja conductividad del material) es la Sala de los Embajadores que tiene muros de 2.5m de espesor, no solo para soportar la Torre de Comares sino porque le permite mantener en verano una temperatura promedio de 22.9°C y en invierno de 20.8°C ambas temperaturas se encuentran dentro del rango de confort (19.2°C y 24.2°C).

Elementos de protección solar

Las protecciones solares en los palacios son flexibles, porque durante el verano generan sombra sobre la fachada y durante el invierno captan la radiación solar. En la edificación existen dos tipos de protecciones solares: aleros y celosías.

Figura 46. Sala de los Embajadores espesor de muros.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Figura 47. Alero invertido de la fachada de Comares en el patio de Mexuar.



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Aleros rectos: Presente en la mayoría de las cubiertas, su posición recta equilibra la cantidad de sombra que recibirá en verano y de luz que recibirá en invierno la fachada.

Alero invertido: Se encuentra en la fachada de Comares, este alero maximiza la captación de radiación solar y genera menos sombras, dando respuesta a las condiciones espaciales de un patio pequeño que genera muchas sombras y localizado en la fachada norte que no recibe radiación solar directa.

La eficiencia de los aleros de acuerdo con la altitud solar durante el verano y el invierno.

Figura 48. Patio de Arrayanes en verano.



Fuente: Fotografía de Brigitte Gámez.

Figura 49. Patio de Arrayanes en invierno



Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

La trayectoria solar con alta altitud en verano, permite que los aleros generen sombra evitando el ingreso de la radiación solar y el calentamiento de los muros exteriores.

La trayectoria solar en invierno caracterizada por su baja altitud, hace que el alero no genere sombras significativas y la radiación solar ingrese al interior de la edificación, adicionalmente en este caso se refleja el sol sobre los muros a través del agua del estanque elevando las temperaturas.

Las **celosías** de la edificación se encuentran en la parte superior, además de contribuir a la ventilación natural es un filtro solar que impide el ingreso de la radiación solar directa y crea un balance entre la luz natural y el deslumbramiento ofreciendo confort térmico y visual.

Figura 50. Las celosías



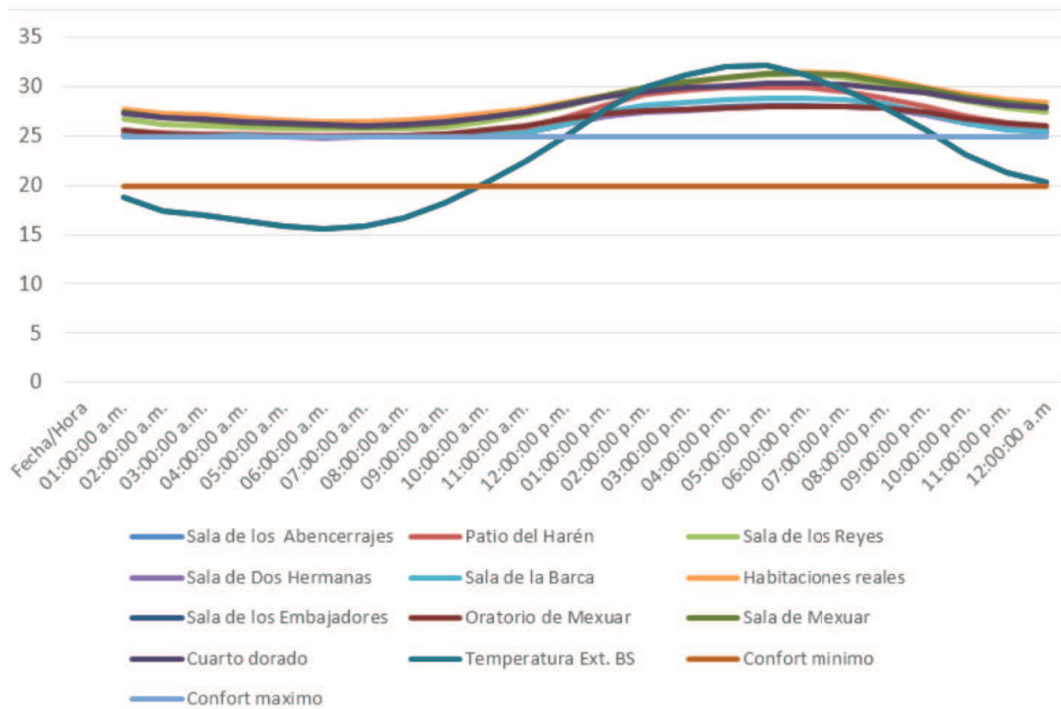
Fuente: Fotografía de Mónica Serrano.

Resultados de las simulaciones por espacios

Los resultados revelan que existe un microclima propio para cada una de las zonas y espacios.

Estancias para el verano. Comportamiento térmico en un día promedio en verano. Simulación por espacios - 6 de julio.

Figura 51. Comportamiento térmico en un día promedio en verano.



Fuente: Elaboración propia.

Se evalúan los espacios de acuerdo a los criterios: mayor proximidad con el rango de confort (19.2 C a 24.2°C) y mayor capacidad de controlar las ganancias energéticas.

El estudio determina que los espacios ideales para el verano en orden del más al menos eficiente son:

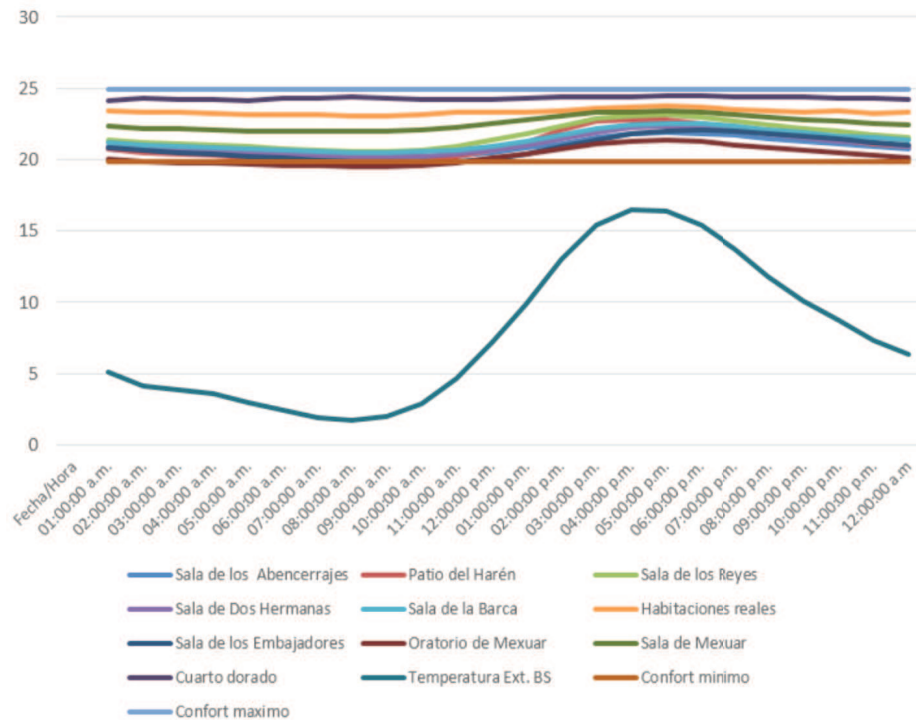
Tabla 3. Espacios de mayor eficiencia en verano.

No.	Espacio	Temperatura promedio
1.	Sala de Dos Hermanas	25.13°C
2.	Sala de los Abencerrajes	25.16°C
3.	Oratorio de Mexuar	25.39°C
4.	Sala de la Barca	25.41°C
5.	Sala de los Embajadores	25.64°C
6.	Patio del Harén	25.65°C
7.	Sala de los Reyes	27.03°C
8.	Cuarto Dorado	27.09°C
9.	Habitaciones reales	27.61°C
10.	Sala de Mexuar	27.94°C

Fuente: Elaboración propia.

Estancias para el invierno

Comportamiento térmico en un día promedio en invierno. Simulación por espacios- 27 de enero.

Figura 52. Comportamiento térmico en un día promedio en invierno

Fuente: Elaboración propia.

Se evalúan los espacios de acuerdo al criterio: mayor capacidad de conservar las ganancias energéticas. El estudio determina que los espacios ideales para el invierno en orden del más al menos eficiente son:

Tabla 4. Espacios de mayor eficiencia en invierno.

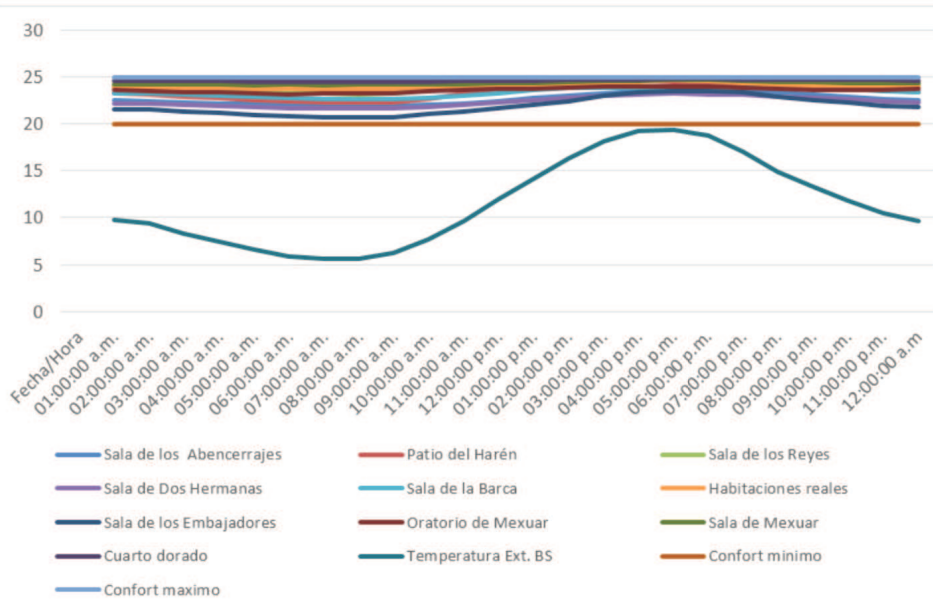
No.	Espacio	Temperatura promedio Rango de confort (19.2°C a 24.2°C)
1.	Cuarto Dorado	24.16°C
2.	Habitaciones reales	23.35°C
3.	Sala de Mexuar	22.55°C
4.	Sala de los Reyes	21.66°C
5.	Sala de la Barca	21.36°C
6.	Sala de Dos Hermanas	21.08°C
7.	Patio del Harén	21.05°C
8.	Sala de los Abencerrajes	20.85°C
9.	Sala de los Embajadores	20.81°C
10.	Oratorio de Mexuar	20.27°C

Fuente: Elaboración propia. Todos los espacios se encuentran en el rango de confort.

Estancias para la primavera y el otoño

Comportamiento térmico en el equinoccio de primavera - simulación por espacio-21 de marzo.

Figura 53. Comportamiento térmico en el equinoccio de primavera



Fuente: Elaboración propia

Durante los equinoccios todos los espacios se encuentran dentro del rango de confort térmico.

Los espacios con el mejor comportamiento bioclimático durante todo el año

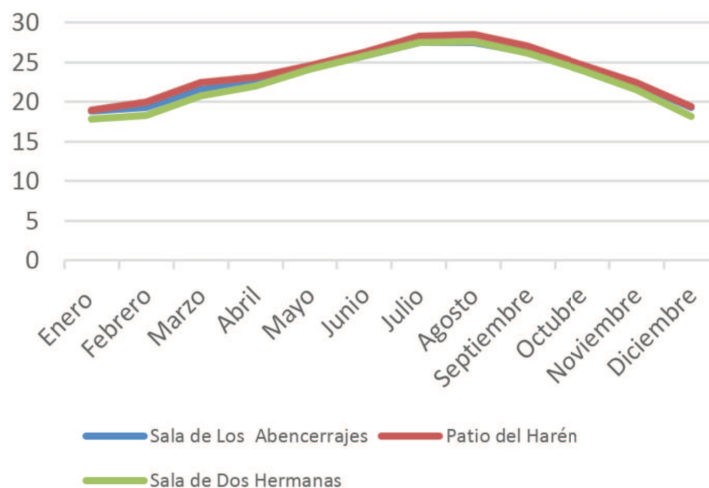
Se evalúan los espacios de acuerdo a los criterios: mayor tiempo con temperaturas dentro de la zona de confort y la alta capacidad de adaptación a las condiciones climáticas en invierno y en verano.

El estudio determina que los espacios con mejor comportamiento bioclimático son:

1. Sala de los Abencerrajes
2. Patio del Harén
3. Sala de Dos Hermanas.

Resultado de simulación

Figura 54. Comportamiento promedio mensual, espacios con mejor bioclimática



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Los palacios fueron diseñados para conservar el calor, porque la temperatura promedio anual de la ciudad es 15.5°C, 3.7 °C por debajo de donde empieza el rango de confort (19.2°C-24.2°C), razón que se evidencia en el excelente comportamiento térmico que tiene la edificación en invierno, otoño y primavera; en verano su comportamiento es bueno, por esta circunstancia es probable que se haya construido el Generalife, como residencia ideal para el verano.

Se aplica el concepto de la mejora continua en la construcción, porque el Palacio de los Leones tiene el mejor diseño bioclimático y fue el último en construirse, recogiendo las experiencias de los anteriores palacios; este palacio tiene todas las estrategias bioclimáticas conocidas que se puedan aplicar en su medio ambiente, un excelente manejo de los cuatro elementos:

Fuego: control y aprovechamiento de la radiación solar a través de la alta reflectividad del blanco de sus muros expuestos a la radiación directa, la alta absorción de los muros no expuestos, el manejo de las protecciones solares y aberturas.

Agua: enfriamiento evaporativo a través de fuentes de taza, canales, surtidores y fuentes gallonadas.

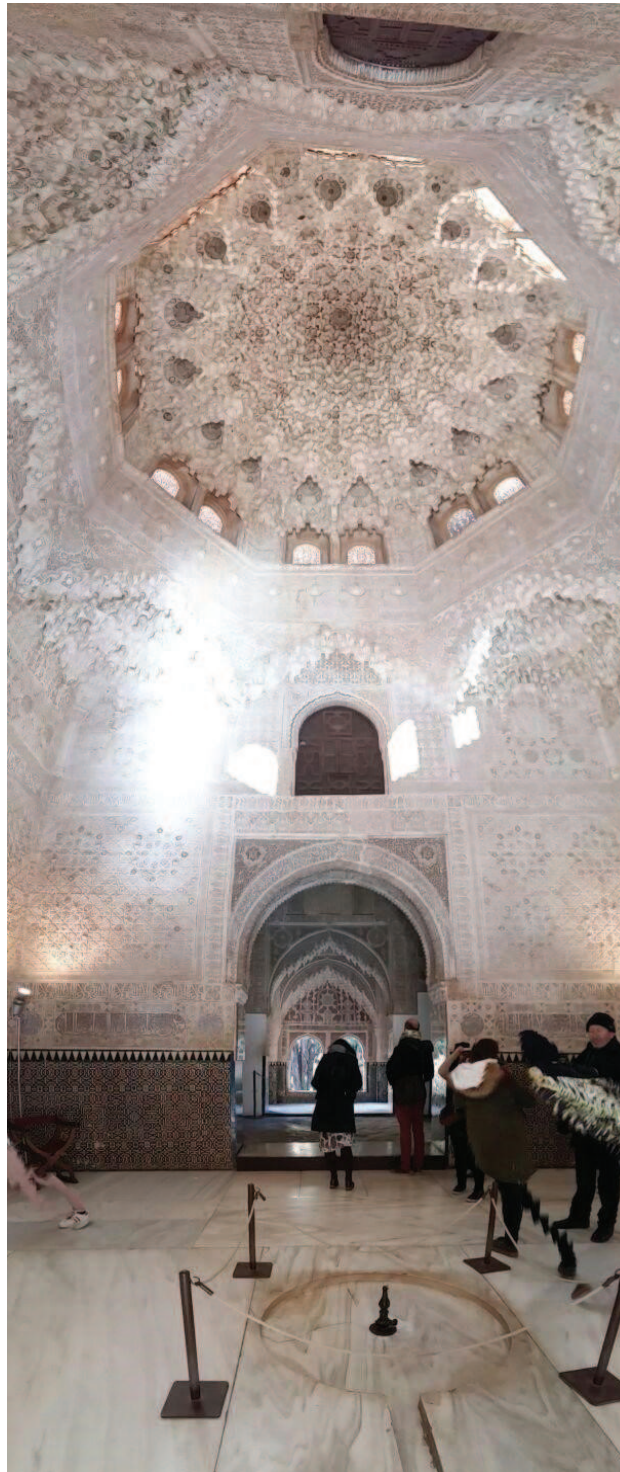
Tierra: como material de construcción de baja conductividad, alta inercia y masa térmica.

Aire: Convección dentro de los espacios, enfriamiento nocturno y tipología de casa-patio.

Los palacios ofrecieron a sus habitantes espacios confortables y saludables, con una temperatura que se encuentra dentro del rango de confort térmico el 91% de las horas del año; materiales con alta inercia térmica y no contaminantes; acondicionamiento acústico por la relación directa con el paisaje, el agua y el canto de la aves; aislamiento acústico a través de materiales con alta masa aislante eficiente, calidad del aire por la extracción de viento cálido por la parte superior de los volúmenes; respeto por el medio ambiente a través de la poca generación de residuos durante su construcción, utilización de materiales locales y no contaminantes.

Por todo lo anterior hace de este monumento Patrimonio de Humanidad un “Patrimonio de la eficiencia energética y de la sustentabilidad”.

Figura 55. Sala de Dos Hermanas.



Fuente: Fotografía de Brigitte Gámez.

Referencias

Arte e Historia . (19 de 05 de 2018). Obtenido de <https://www.artehistoria.com/es/contexto/la-alhambra-actual-y-la-alhambra-nazar%C3%AD>

De Garrido, L. **Un nuevo paradigma de la arquitectura**. Barcelona: Monsa, 2012.

Dpto. Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada. (01 de 01 de 2018). Obtenido de <http://www.ugr.es/~velilla/meteo-albayzin/resumen.htm>

Edwards, B. **Guía básica de la sostenibilidad**. Barcelona: Gustavo Gili, 2005.

Olgay, V. **Arquitectura y clima**. Barcelona: Gustavo Gili, 2010.

Wikimedia. (19 de 05 de 2018). Obtenido de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/31/La_Rendici%C3%B3n_de_Granada_-_Pradilla.jpg

Recebido em 13/04/2018.

Aceito em 20/05/2018.