

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

Incidencia de la orientación como estrategia bioclimática en la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

Murillo Garavito, L. José^(1, *), Rubio Bello, Carlos⁽²⁾

(*) Universidad del Bío-Bío, josemurilloarq@gmail.com +57

(1) (1) Universidad de Sevilla, carlosrubio@us.es

Resumen La creciente preocupación por el calentamiento global y el consecuente cambio climático ha llevado a la investigación en arquitectura y sistemas de eficiencia energética a explorar y profundizar el concepto de sustentabilidad. Dada la disminución de las reservas de combustibles fósiles habrá cada vez mayor presión por el uso racional de la energía. La arquitectura ha sido un actor clave en el desarrollo del problema y por lo tanto en la solución, desde este punto de vista la arquitectura bioclimática ha sido definida como el arte de crear una simbiosis entre el ambiente exterior, el edificio y la ocupación a fin de disminuir las carencias energéticas y de asegurar el confort, en particular el térmico en todas las estaciones.

En el caso de la arquitectura tropical, el objetivo a nivel general ha sido aprovechar tanto la ventilación como la iluminación natural y hacer que las diferencias de temperaturas entre el exterior y el interior del edificio estén atenuadas a lo largo del año, (a pesar de la alta radiación y humedad diaria en el exterior) para disminuir la intervención de sistemas mecánicos y eléctricos. Sin embargo, lo anterior solo afronta aspectos técnicos y económicos carentes de identidad, y por lo tanto de una de sostenibilidad.

Con el propósito de conocer las temperaturas operativas, este trabajo por medio de un caso de estudio representativo identificó las estrategias pasivas adaptadas a la arquitectura vernácula de Barichara Colombia, realizando simulaciones dinámicas, para distintas orientaciones, permitiendo detectar las potencialidades ambientales de este tipo de arquitectura.

Palabras clave: Estrategias bioclimáticas, Arquitectura vernácula, simulación dinámica, Barichara Colombia.

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

1 Introducción

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) este fenómeno se entiende como: “Un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”(Naciones Unidas 1998). Los efectos del cambio climático son variados, dependiendo la región, la capacidad de adaptación y nivel de vulnerabilidad que cada uno de los países maneja, así mismo se ven representados en las diferentes actividades humanas. Los expertos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) establecen que las zonas más vulnerables a los efectos negativos del cambio climático son las zonas con menor desarrollo en el mundo, entre estas, Latinoamérica (IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change 2014)

Según expertos, para la segunda mitad del siglo XXI habrá un aumento en la temperatura media mundial del aire en superficie en rangos que fluctúan entre 1,4°C y 5,8°C con respecto a las temperaturas observadas en el siglo XX. Este incremento de la temperatura podría causar un aumento en el nivel del mar de 14cm a 80cm para este mismo periodo de tiempo y afectar los patrones de la distribución de la precipitación y otras variables climatológicas (Nations and Programme 2007)

La arquitectura contemporánea afronta una serie de retos, sociales, económicos y ambientales. Desde distintos puntos de vista se ha buscado dar solución a estas problemáticas por medio de políticas públicas y conceptos dictados por la academia que desde su formación busca incorporar criterios básicos de sostenibilidad a todas las edificaciones, en especial a las viviendas; pero que en la práctica carecen de aplicabilidad (Gen 2008). En Colombia este fenómeno no es indiferente ya que la variación de la temperatura afecta los recursos hídricos, las coberturas vegetales, ecosistemas, condiciones de habitabilidad y requerimientos energéticos. El decreto 1285 del 12 de junio de 2015 decretó el “reglamento del sector vivienda, ciudad y territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible de edificaciones”(Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio 2015), este decreto vela y fomenta las buenas practicas que contribuyan a obtener edificaciones adaptadas con el medio.

Desde este contexto, en la arquitectura colombiana se identifican oportunidades rescatables en territorio nacional definidas por asentamientos humanos como las poblaciones de Barichara, Cepitá, Charalá, Aratoca que han logrado mantener su identidad gracias en gran medida a la conservación de técnicas constructivas en tapia pisada y otras técnicas de tierra cruda, pero también a la adaptación climática de estas técnicas constructivas a las ya agrestes condiciones climáticas del lugar. (Battistelli, 2005)

Lo cual evidencia lo expresado por (Rigoberto Lárraga Lara and Humberto Reyes Hernández 2014) donde afirman que “La arquitectura tradicional es heredera del conocimiento empírico producto de la experimentación ancestral de los pueblos en sus construcciones”. Este cúmulo de experiencias sintetiza la búsqueda constante de los personas por satisfacer las necesidades básicas de adaptación al medio natural, y nos muestra su forma de ver e interpretar el mundo; esta búsqueda hace de este conocimiento un conocimiento dinámico, ya que este es constantemente readaptado, renovado y expandido.

Este trabajo tiene por objeto identificar las estrategias bioclimáticas presentes en este tipo de arquitectura para posteriormente analizarlas mediante simulaciones dinámicas y obtener resultados asociados al análisis de confort térmico (temperatura operativa en la vivienda).La metodología a aplicar permite desarrollar el trabajo en tres etapas, inicialmente se realiza una etapa analítica en la cual se identifica el área de estudio y sus condiciones ambientales para luego definir las características físicas del caso de estudio; posteriormente se ejecuta una etapa de tipo explicativa en la

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

que al caso base (caso de estudio) se le realizan simulaciones dinámicas variando orientaciones y evaluando su comportamiento térmico.

Este proceso permite obtener datos específicos para descubrir, entender, interpretar y cuantificar frente a afirmaciones difusas las particularidades de la vivienda tradicional de Barichara en Colombia, para el desarrollo de una vivienda sustentable contemporánea acorde a las necesidades específicas de la comunidad; aportando conocimiento a las buenas prácticas para afrontar un diseño bioclimático pasivo que contribuya al hábitat sustentable en la vivienda rural de la región estudiada.



Fig 1 Arquitectura Vernacula Colonial. Extraído de <http://www.laderasur.cl/proyectos/lecciones-del-pasado-la-casa-chilena-tradicional/>

2 Metodología y Desarrollo

Este trabajo involucró tres etapas específicas que permitirán desarrollar el objetivo principal. En la primera se hace un análisis del lugar donde se realizará el estudio para identificar las condiciones climáticas específicas a la que está expuesta la arquitectura, evaluando sus principales parámetros ambientales a través de la base de datos Meteoblue para conocer los valores de temperatura, humedad y precipitaciones; necesarios para realizar simulaciones posteriores.

En la segunda etapa se identifica y describen las estrategias pasivas insertas en la arquitectura vernácula de Barichara a través de la selección de un caso de estudio representativo de las viviendas de la zona, al cual se hace un análisis sustentado en los planos de la vivienda y levantamiento fotográfico para posteriormente realizar una simulación dinámica a modo de caso base y obtener resultados del comportamiento térmico mensual y anual.

Finalmente, utilizando el caso base se realizaron distintas simulaciones de la vivienda en distintas orientaciones, pero conservando la misma configuración morfológica para conocer la influencia de este parámetro en los resultados de temperatura mensual y anual.

Estas simulaciones se generaron en función a la base climática de la ciudad de Barichara y empleando como herramienta el Software Design Builder el cual incorpora a energy plus como motor de análisis, para obtener valores referentes a temperatura, ganancias solares y demanda energética.

2.1 Descripción del lugar

Barichara se encuentra en el departamento de Santander, que está situado al noreste de Colombia en la región andina, entre los 05°42'34'' y 08°07'58'' de latitud norte y los 72°26' y 74°32' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 30.537 km² lo que representa el 2.7 % del territorio. Limita por el Norte con los departamentos de Cesar y Norte de Santander; por el Este y por el Sur con el departamento de Boyacá y por el Oeste con el río Magdalena, que lo separa de los departamentos de

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

Antioquia y Bolívar. El relieve del territorio se distingue en dos grandes unidades fisiográficas denominadas Valle Medio del Magdalena y la Cordillera Oriental. El valle del Magdalena situado al occidente del departamento, se caracteriza por un modelado plano suavemente ondulado, en los márgenes del río Magdalena predomina la vegetación selvática mientras que al oriente de éstas se encuentra una faja de bosque ecuatorial (Alcaldía de Barichara - Santander 2015).

Tabla 1 Condiciones Clímaticas de Barichara Santander. Elaboración propia, con datos extraídos de <https://www.meteoblue.com>

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Minima diaria media (°C)	16	17	17	18	18	17	16	16	17	18	17	16
Maxima diaria media (°C)	27	27	26	25	25	25	26	26	26	25	24	25
Humedad (%)												
Precipitación (mm)	35	57	103	180	243	207	197	197	187	167	130	66
Días calurosos (°C)	29	29	30	29	27	27	28	28	29	28	27	28
Noches frias (°C)	11	13	14	15	15	13	12	13	13	14	14	12
Velocidad del viento (km/h)	5-12	5-12	5-12	5-12	5-12	5-12	5-12	5-12	5-12	5-12	5-12	5-12

2.2 Caso de estudio

Con la finalidad de identificar y caracterizar las estrategias bioclimaticas aplicadas en la arquitectura vernácula de la región de Baricha; se selecciona la casa Oniri como caso referencial para analizar la aplicación de las alternativas de diseño. El análisis de su configuración arquitectónica permitió identificar cinco criterios de diseño bioclimático representativos de la tipología residencial de la zona.

Originalmente fue una residencia familiar que se construyó en 1860 y que se transformó en el 2007 en un hotel moderno de caparazón colonial, que guarda en el interior de sus muros técnicas de construcción típicas de la región. Evocando los patios y albercas de Marruecos y los espaciosos jardines asiáticos, se creó una edificación acorde con las exigencias de la vida moderna.

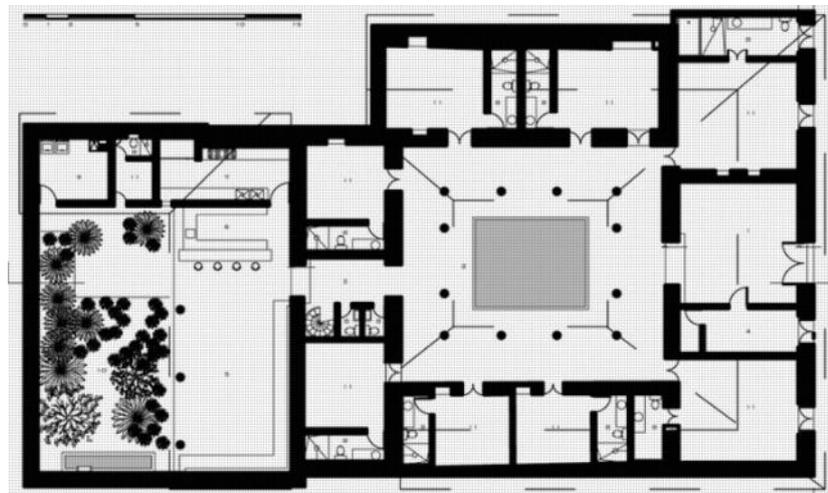


Fig 2 Casa Oniri Barichara Santander Colombia distribución espacial caso base. Extarido de <http://www.casaaniri.com/taxonomy/term/12>

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia



Fig 3 Casa Oniri Barichara Santander Colombia. Extraído de <http://www.casaaniri.com/taxonomy/term/12>

Tabla 2 Características técnicas caso de estudio. Valores U extraídos de (Hoyos 2016)

Orientación	Este - Oeste
Numero de niveles	1
Superficie Ocupada	520 m ²
Superficie Construida	520 m ²
Materialidad	
Muros	Tapia pisada con estuco - 70 cm Valor 'U' 1,39 w/m2.k
Techos	Estructura de madera con caña brava y teja de barro - 30 cm Valor 'U' 5,20 w/m2.k
Piso	Tierra + Cerámica terracota Valor 'U' 2,30 w/m2.k
Ventana	Batiente de madera Valor 'U' 5,80 w/m2.k

2.3 Análisis e identificación de estrategias bioclimáticas

El patrimonio arquitectónico en tierra cruda es muy consistente en Colombia sobre todo en los contextos definidos como “arquitectura menor” que constituye y caracteriza, en muchos de estos contextos, un elemento de fuerte potencial histórico cultural y turístico que es ignorado con frecuencia por parte de la población local que no reconoce lo que tiene o que lo considera de poco valor.

Como se describió anteriormente, la casa Oniri es un fiel representante de la arquitectura vernácula, a continuación, hacemos una descripción de las estrategias involucradas:

Altura de la cubierta

El diseño de la vivienda muestra el empleo de cubiertas compuestas de dos faldones inclinados en dirección ascendente, que parten desde una cumbre central de altura igual a 5,0 m hasta llegar a una altura mínima de 2,70 m; esta característica se encuentra presente en los espacios destinados a las habitaciones de la vivienda que se organizan alrededor del patio central 1.

Alturas superiores a los 3,5 metros permiten que mediante el diferencial de temperatura los espacios habitables permanescan durante el transcurso del día en condiciones de confort, ya que el aire caliente asciende y ocupa el espacio superior no es habitable escapando por aberturas en cubierta y permitiendo un flujo de aire constante.

Los espacios organizados entorno al patio central 2 corresponden a la cocina, comedor y servicios; presentan la misma configuración de la cubierta, pero con variación en las alturas, donde la cumbre tiene una altura de 4,0 m que disminuye a una mínima de 2,70 m. Estas características coinciden con la descripción de las estrategias bioclimáticas representativas de la arquitectura vernacular, donde el diseño y altura de la cubierta tiene un aporte en el mejoramiento de las condiciones ambientales de la vivienda, ayudando a generar los flujos de circulación del viento para obtener una mejor ventilación de los espacios.

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

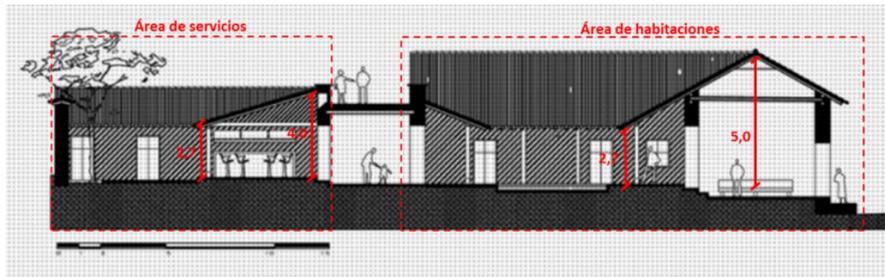


Fig 4. Altura de la cubierta en caso referencial. Casa Onil Extraído de <http://www.casaaniri.com/taxonomy/term/12>

Ventilación natural

La configuración arquitectónica de la vivienda permite tener una ventilación natural de todos sus espacios, debido a su organización entorno a dos espacios centrales que permiten el flujo de aire natural; se genera una ventilación cruzada que está determinada por las siguientes condiciones:

- **Dirección de los vientos:** La zona en estudio presenta vientos predominantes en diversas direcciones durante todo el año (figura xx rosa de los vientos), destacando los vientos en dirección Norte con una velocidad entre 1 y 5 Km/h por presentar mayor período de duración (1500 h/año). Sin embargo, los vientos en direcciones Este y Noroeste representan los de mayor intensidad con velocidad comprendida entre 5 y 12 Km/h con duración aproximada de 1.000 h/año. Estas características permiten identificar una corriente de aire en dirección Este - Noroeste durante todo el año, lo cual facilita la ventilación cruzada de los espacios de la vivienda (Figura 2)
- **Emplazamiento de la vivienda:** La forma rectangular de la parcela y su orientación en sentido Este – Oeste permite aprovechar las corrientes del viento con mayor velocidad durante todo el año, generando un flujo de aire constante en sentido longitudinal. Esta condición permite canalizar el viento para que atraviese los espacios de la vivienda sin necesidad de emplear otros recursos naturales como arboles y vegetación, o recursos arquitectonicos adicionales como muros exteriores.
- **Planta de distribución de la vivienda:** La planta rectangular de la vivienda presenta un único acceso por la fachada Este, lo cual limita el ingreso de viento por las demas fachadas. Por tal motivo, se organizan los espacios habitables entorno a dos espacios centrales comunicados por un eje longitudinal en sentido Este – Oeste. Este diseño permite una ventilación cruzada en la mayoría de las habitaciones y área social de la vivienda, por la ubicación de sus aberturas en la dirección del viento; sin embargo, en los espacios con orientación norte sur es posible generar dicho efecto con el manejo de aberturas en la parte superior de la cubierta que permita direccionar el aire que ingresa desde el patio central de la vivienda.

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

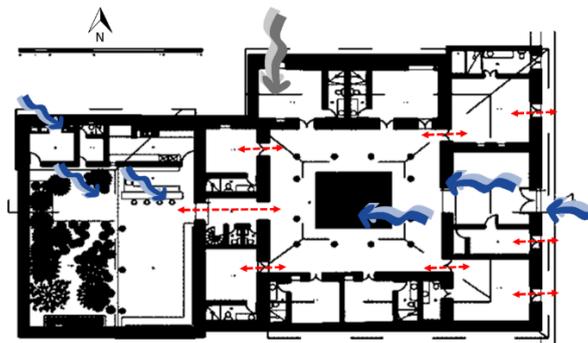


Fig 5. Ventilación natural en caso referencial. Casa Oniri Extraído de <http://www.casaaniri.com/taxonomy/term/12>

Patio Interior

El patio interno es uno de los elementos arquitectónicos más representativos de la arquitectura residencial en la zona de Barichara, es a través de ellos que se organizan los distintos espacios de la vivienda, permitiendo el ingreso de iluminación natural y circulación de los vientos en todos sus espacios. En el caso referencial se identificaron dos patios que presentan diferentes características de diseño, pero cumplen la misma función como estrategia de diseño bioclimático: ser el medio de refrigeración de la vivienda (Figura 3).

- **Patio 1:** Es el patio principal de la vivienda y se convierte como el centro relacionador de las habitaciones de la casa, formando cuatro pabellones principales, relacionados entre sí mediante corredores cubiertos con aleros que impiden el asoleamiento en los muros circundantes. Este patio está conformado por un cuerpo de agua que permite el efecto de enfriamiento evaporativo del viento, disminuyendo su temperatura y permitiendo su ingreso a las habitaciones que se ubican a su alrededor.
- **Patio 2:** Es el patio secundario de la vivienda que relaciona la cocina, comedor, terraza y áreas de servicios, está ubicado al fondo de la vivienda y está compuesto por un jardín interno que permite bajar la temperatura de los vientos que ingresan a la vivienda en sentido Noroeste – Este.

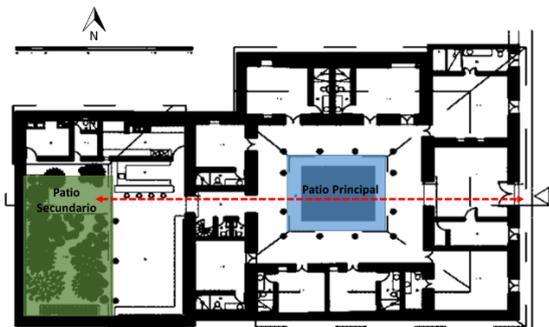


Fig 6. Patio refrigerante en caso referencial. Casa Oniri Extraído de <http://www.casaaniri.com/taxonomy/term/12>

Disminuir la reflexión de los pisos asoleados

Las superficies de pisos asoleados se encuentran en los patios internos de la casa, de acuerdo a la materialidad que estos presentan, se puede decir que hay una radiación neutralizada donde la vegetación del patio 2 obstruye, filtra y refleja la radiación, además de modificar el impacto de la lluvia y la evaporación de agua del suelo. En algunos casos la vegetación puede absorber el 90% de la radiación y puede reducir hasta 7°C por debajo de la del aire.

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

En el patio 1, el agua tiene un profundo impacto en el clima y en el control climático, su efecto moderador se debe a que el agua almacena la mayoría de la radiación incidente, radiando una cantidad muy pequeña. Las aguas superficiales modifican las temperaturas, el grado de humedad y pueden establecer brisas.



Fig 7. Disminuir la reflexión en pisos asoleados en patios centrales de la vivienda, Casa Oniri. Extraído de <http://www.casaoniri.com/taxonomy/term/12>

Inercia térmica de los materiales

Regula el intercambio energético con el ambiente. Es importante en este caso la permeabilidad del edificio que depende de la situación del edificio frente al terreno, y frente a otras edificaciones, pero sobre todo de las características de la propia piel del edificio.

Una de las características que representa la tipología residencial la zona es la construcción de muros con tapia pisada, utilizando la tierra como material principal para mezclarlo con fique, agua y cal, y luego ser compactada con tapias de maderas y revestir con un pañete que se prepara con boñiga de caballo, cal y tierra. Este componente no es buen aislante térmico ya que la arcilla seca y compacta con la que se ejecuta tiene una conductividad térmica (λ) de 1,50 W/m·K, lo que para espesores ordinarios de 50 cm supone una resistencia térmica (R) de 0,33 m²·K/W y una transmitancia térmica (U) de 3,00 W/m²·K. Sin embargo, proporciona una gran inercia térmica, lo que se traduce en que las construcciones mantienen en el interior una temperatura constante ajustada a la media diaria de la temperatura exterior. Por esta razón, en la región de Barichara durante los días más calurosos y las noches frescas, el interior se mantiene fresco, evidenciando que la condición de permeabilidad de estos muros se adapta clima donde se emplea, satisfaciendo las necesidades de una ventilación abundante durante la mayor parte del año (Figura 4).

Los techos a dos aguas de la vivienda son contruidos sobre vigas de madera, la construcción del techo se inicia con la colocación de caña brava sobre los tirantes de madera de manera tejida, para luego aplicar sobre esta base una gruesa capa de barro, y finalmente recubrir con tejas musleras de barro cocido. Esta composición de la cubierta disminuye las ganancias de calor transmitida al interior de la vivienda, por la alta capacidad térmica que presenta (Figura 5).



Fig 8. Construcción de muros con tapia pisada. *Extraído de*

Estos elementos constructivos que se forman por la superposición de capas de materiales facilitan la incorporación de elementos aislantes, cámaras de aire intermedias y facilitan el control energético, permitiendo en algunos casos la ventilación en épocas determinadas.

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia



Fig 9. Construcción de techo a dos aguas con caña brava y teja de barro. Extraído de <http://www.arquitecturadecasas.info/>

Factor forma

La forma del edificio debe dar respuesta al clima y microclima del emplazamiento. Se trata de minimizar las pérdidas de calor en épocas frías y las ganancias en épocas calurosas, facilitar la protección contra los vientos no deseados y favorecer la ventilación natural en aquellos climas en que sea necesario. La forma óptima en todos los climas templados es la alargada en dirección este-oeste, como se evidencia en el caso referencial estudiado (Figura 6)

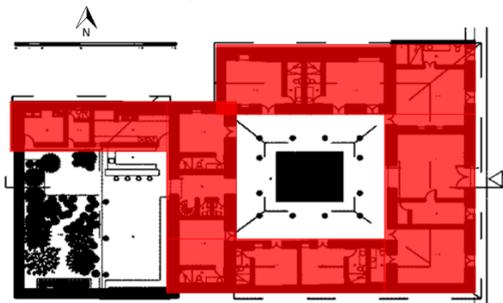


Fig 10. Forma alargada de la vivienda en dirección Este – Oeste. Extraído de <http://www.arquitecturadecasas.info/>

La altura, dimensiones y compartimentación tiene gran importancia en el posterior comportamiento sobre todo, térmico y lumínico del edificio; el cual depende de la climatología del entorno. Las estancias en las que la ocupación es continua a lo largo del día deberán situarse en las áreas del edificio climatológicamente mas favorecidas, protegiendolas de orientaciones mas desfavorables mediante la interposición de espacios en los que las exigencias de confort no sean tan estrictas. El grado de compartimentación aconsejado depende directamente del tipo de clima: en los frios se recomienda una elevada compartimentación por su facilidad de control térmico. En climas cálido húmedo son adecuados los espacios abiertas que permitan la ventilación.

Control solar

El vidrio juega un importante papel en el equilibrio térmico de un edificio. En consecuencia, se debe cuidar en particular el desarrollo de las tecnologías adecuadas que puedan tener relevancia en este campo; los problemas mas importantes a resolver son:

1. Darle al vidrio la función positiva y útil de recoger y acumular la energía radiante durante el día, y de calentar el espacio interior durante las horas invernales en que el vidrio se utiliza para la iluminación natural.
2. Evitar que el vidrio se comporte negativamente como un gran disipador de calor.

Las soluciones más comunes implican la utilización de acristalamientos dobles o triples y de protectores solares regulables. En el caso específico del de la vivienda Oniri, se evidencia la estrategia de control solar a través del uso de aleros que impiden la incidencia solar directa en los muros de la vivienda; de este modo de mejoran las condiciones termicas de la envolvente.

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

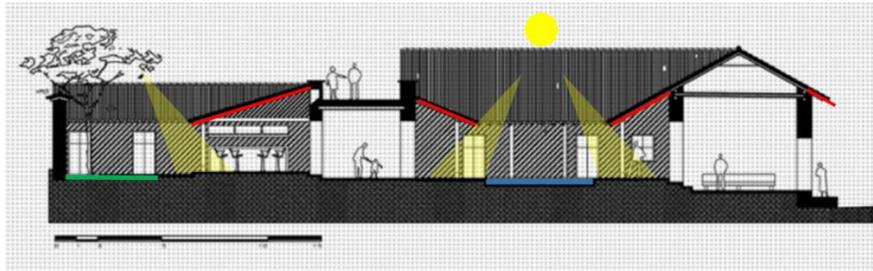


Fig 11. Uso de aleros como estrategia de control solar en la vivienda. Extraído de <http://www.arquitecturadecasas.info/>

Seleccionar esta vivienda como caso de estudio base para comparar las simulaciones energéticas de los demás casos de estudio a desarrollar en este trabajo, requiere definir los parámetros de área, materialidad y ocupación especificados en la tabla xx. Con esta información se realiza la simulación energética de la vivienda en las condiciones climáticas propias del lugar donde se encuentra implantada.

Tabla 3 Estrategias bioclimáticas identificadas en el caso base. Elaboración propia

<u>Altura de la cubierta</u>
<u>Ventilación natural (cruzada)</u>
<u>Orientación</u>
<u>Disposición de recintos</u>
<u>Patio refrigerante</u>
<u>Disminuir la reflexión de los pisos soleados</u>
Inercia térmica de materiales
<u>Factor forma</u>
Control solar

3 Simulación dinámica

Se formuló como herramienta para determinar la demanda energética de electricidad, iluminación, agua caliente sanitaria e identificar temperaturas operativas. Se utilizó el software Design Builder desarrollando un modelo tridimensional conformado por 22 zonas térmicas que compartieron las mismas características morfológicas de los casos evaluados y a las cuales se les asignaron propiedades de ocupación, cargas latentes, sensibles y materialidad de la envolvente según estado actual y propuesto.

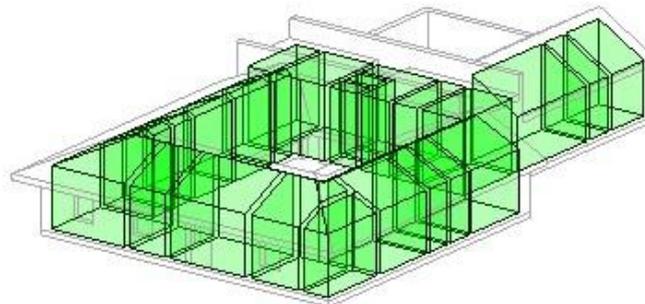


Fig 12. Modelo energético vivienda Barichara caso base. Elaboración propia

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

Tabla 4 Estrategias bioclimáticas identificadas en el caso base. Elaboración propia

Barichara		Orientación	Horario de operación	Condiciones metabólicas	Clo
Simulación	Data climática	Norte	L-V (7-9 & 16:-23) S-D (7-23)	Standing relaxed	Clothing level (clo) 0,7 (ropa media)
1	Barichara				

Tabla 5 Datos de entrada para simulación dinámica. Elaboración propia

Volumetría			Actividad			
Superficie útil m ²	Altura entre plantas mts	Número de plantas	Densidad (personas/m ²)	Control ambiental °C	Aire exterior por persona (l/s-persona)	Aire exterior por área (l/s-m ²)
200	3,5	1	0,25	20-25	5	0,9

4 Resultados de simulación

Caso base (Vivienda Barichara)

Tabla 6 Resultados mensuales de simulación caso 1. Elaboración propia

Date/Time	Mech Vent + Nat Vent + Infiltration	External Infiltration	External Vent.	General Lighting	Computer + Equip	Occupancy	Solar Gains Exterior Windows
	ac/h	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²
Ene	1	-2.260	-400	1.125	608	358	848
Feb	1	-1.851	-344	1.015	550	323	770
Mar	1	-1.956	-275	1.119	610	357	753
Abr	1	-1.891	-297	1.096	587	348	747
May	1	-1.991	-398	1.119	610	349	855
Jun	1	-2.050	-439	1.084	590	341	860
Jul	1	-1.974	-411	1.130	607	354	909
Ago	1	-1.999	-462	1.119	610	350	924
Sep	1	-1.881	-362	1.090	588	343	818
Oct	1	-1.974	-400	1.125	608	355	788
Nov	1	-1.983	-352	1.084	590	344	756
Dic	1	-2.133	-463	1.130	607	357	801

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

Date/Time	Air Temperature	Radiant Temperature	Operative Temperature	Room Electricity	Lighting	DHW (Electricity)	Outside Dry-Bulb Temperature
	°C	°C	°C	Wh/m2	Wh/m2	Wh/m2	°C
Ene	22	22	22	608	1.125	2.204	19
Feb	22	22	22	550	1.015	1.989	19
Mar	22	22	22	610	1.119	2.189	19
Abr	22	22	22	587	1.096	2.153	19
May	22	22	22	610	1.119	2.189	19
Jun	22	22	22	590	1.084	2.122	19
Jul	22	22	22	607	1.130	2.220	19
Ago	22	22	22	610	1.119	2.189	19
Sep	22	22	22	588	1.090	2.138	19
Oct	22	22	22	608	1.125	2.204	19
Nov	21	21	21	590	1.084	2.122	19
Dic	22	22	22	607	1.130	2.220	19

En estos resultados, la temperatura interior de la vivienda es similar durante todo el año, presentando una variación de 22° a 21° en el mes de noviembre (Tabla 6); por lo que se puede decir que su comportamiento térmico es constante y no evidencia variaciones significativas que incidan en la demanda de energía para iluminación y Agua Caliente Sanitaria (Gráfico 2).



Gráfico 1. Comparación entre resultados de temperaturas caso 1. Elaboración propia

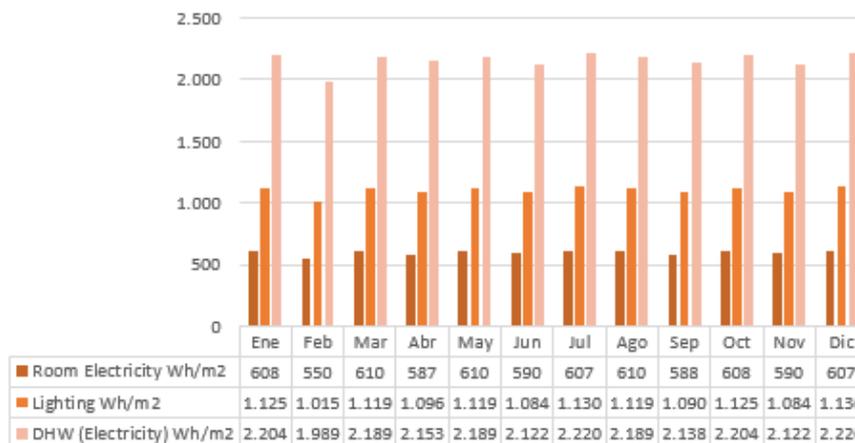


Gráfico 2. Comparación entre resultados de demandas caso 1. Elaboración propia

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

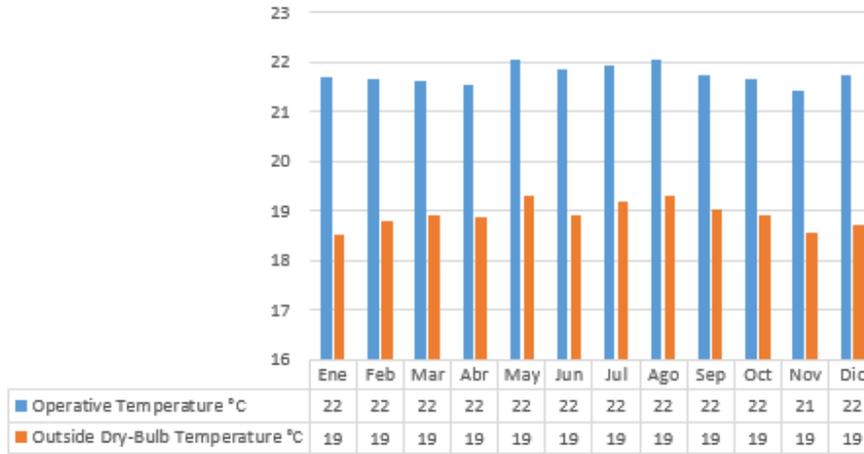


Gráfico 3. Comparación entre resultados de temperaturas operativas y bulbo seco caso 1. Elaboración propia

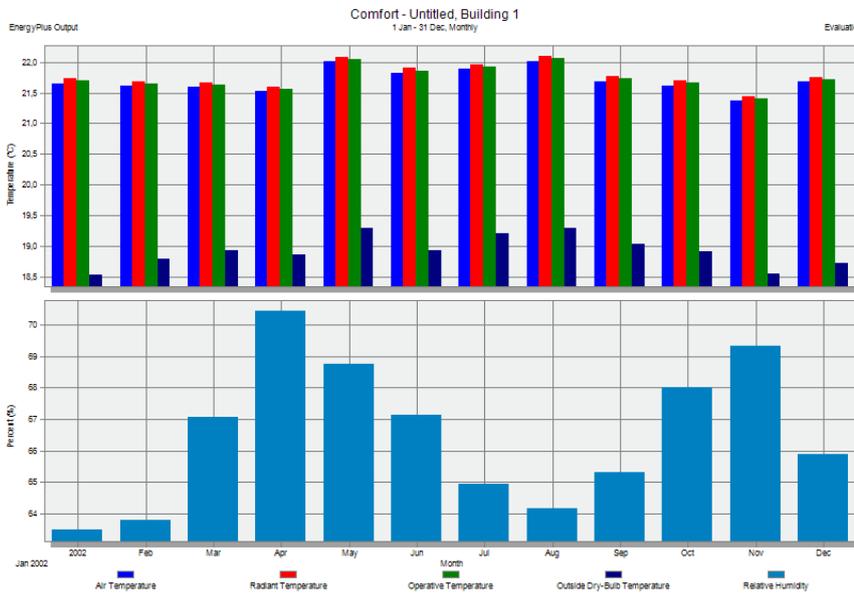
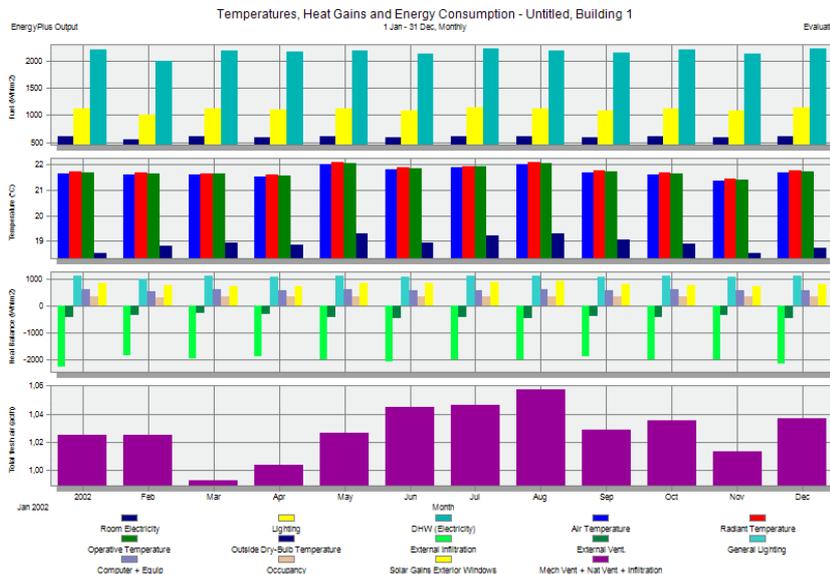


Gráfico 4. Resultados de temperaturas de confort caso 1. Elaboración propia



Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

Gráfico 5. Resultados de temperaturas de confort, ganancias y consumos energéticos caso 1. Elaboración propia

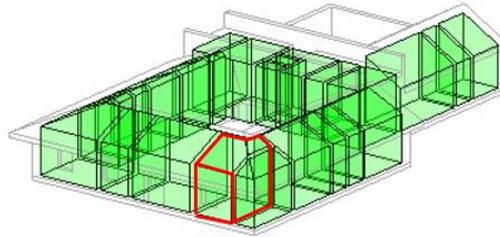


Fig. 13. Análisis zona térmica 12, (habitación)

Caso base (Vivienda / Zona 12 habitación oeste)

Tabla 7. Resultados mensuales de simulación caso 1. Elaboración propia

Fecha/Hora	Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infiltr.	Infiltración Ext.	Ventilación Ext.	Iluminación General	Computadoras y Equipos	Ocupación	Gan. Solares Ventanas Ext.
	renov/h	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²
Ene	0,71	-1.823,52	0,00	589,00	857,19	612,49	5.997,41
Feb	0,71	-1.602,98	0,00	532,00	774,23	549,25	5.738,54
Mar	0,71	-1.596,92	0,00	589,00	857,19	601,16	5.587,80
Abr	0,71	-1.696,70	0,00	570,00	829,54	604,45	5.512,14
May	0,71	-1.609,52	0,00	589,00	857,19	586,23	6.109,01
Jun	0,71	-1.739,35	0,00	570,00	829,54	574,10	6.111,07
Jul	0,71	-1.634,26	0,00	589,00	857,19	613,96	6.402,58
Ago	0,71	-1.733,04	-7,82	589,00	857,19	578,38	6.998,64
Sep	0,71	-1.746,62	0,00	570,00	829,54	583,06	6.325,08
Oct	0,71	-1.692,96	-5,82	589,00	857,19	606,10	5.793,33
Nov	0,71	-1.648,29	0,00	570,00	829,54	591,55	5.346,20
Dic	0,71	-1.617,02	0,00	589,00	857,19	629,18	5.603,52

Fecha/Hora	Temperatura del Aire	Temperatura Radiante	Temperatura Operativa	Temperatura Ext. BS
	°C	°C	°C	°C
Ene	21,27	21,31	21,29	18,53
Feb	21,47	21,49	21,48	18,79
Mar	21,33	21,33	21,33	18,92
Abr	21,51	21,53	21,52	18,86
May	21,73	21,73	21,73	19,30
Jun	21,65	21,68	21,66	18,93
Jul	21,67	21,67	21,67	19,20
Ago	21,91	21,92	21,92	19,29
Sep	21,76	21,79	21,77	19,04
Oct	21,46	21,48	21,47	18,91
Nov	21,11	21,13	21,12	18,54
Dic	21,16	21,16	21,16	18,72

En estos resultados, se confirma que en la zona térmica analizada se mantiene la temperatura media interior durante todo el año, presentando una variación entre 21°

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

y 22°; por lo que se puede decir que su comportamiento térmico es constante y no evidencia variaciones significativas. (tabla 7).

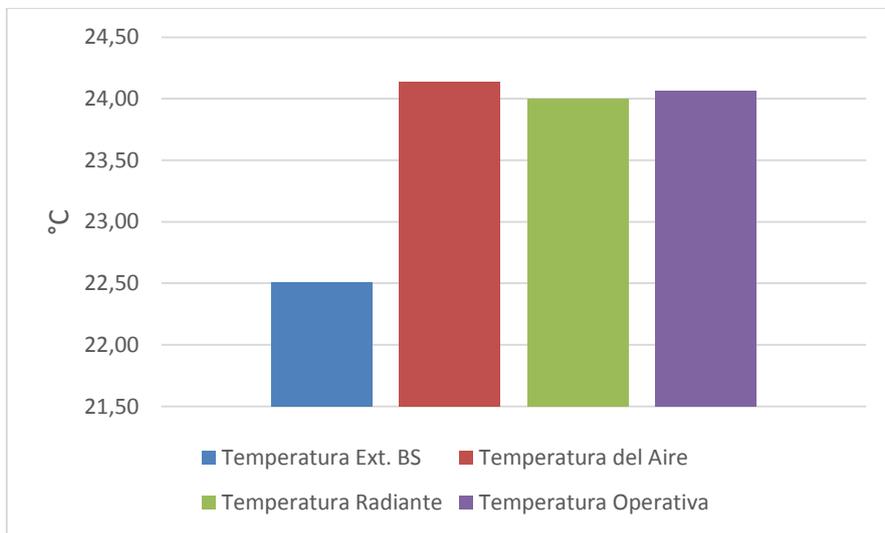
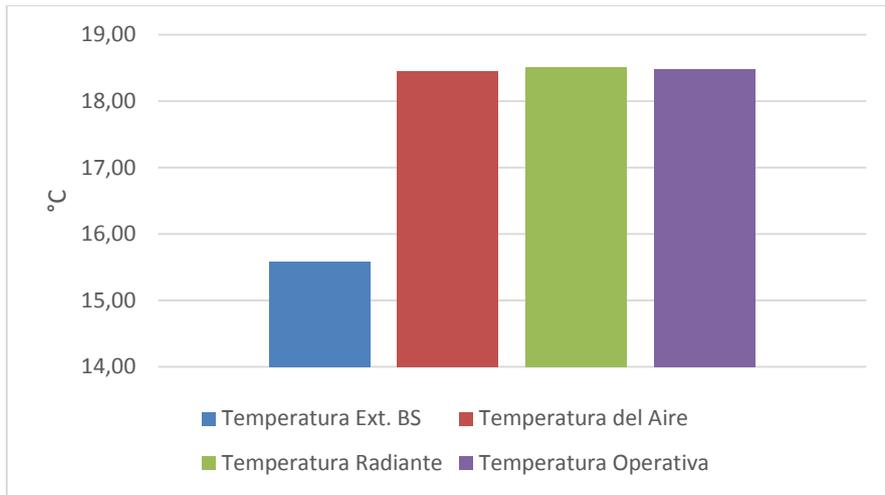
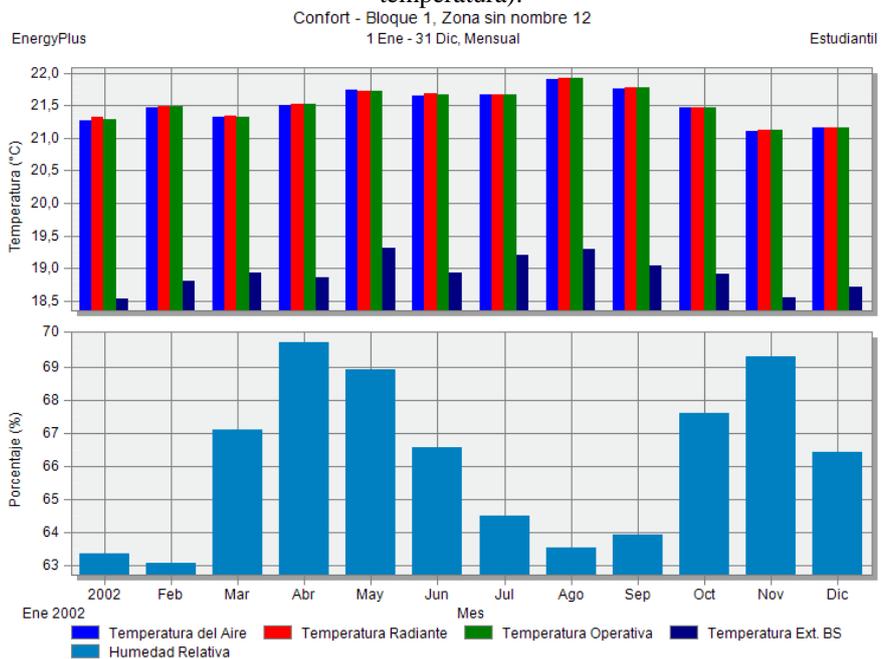


Gráfico 6. Comparación entre resultados de temperaturas para zona 12 (habitación este) 15 de enero (mínima temperatura) y 29 de julio (máxima temperatura).



Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

Gráfico 7. Resultados de temperaturas de confort mensual zona 12 habitación este. Extraído de Design Builder

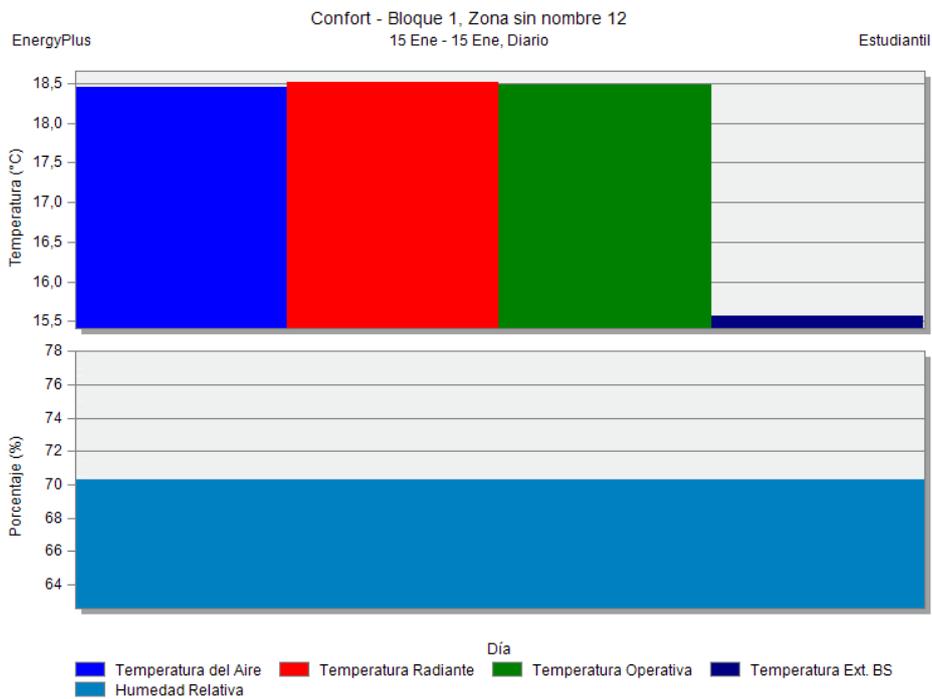


Gráfico 8. Resultados de temperaturas de confort y humedad relativa, para 15 de enero (temperatura mínima anual). Extraído de Design Builder

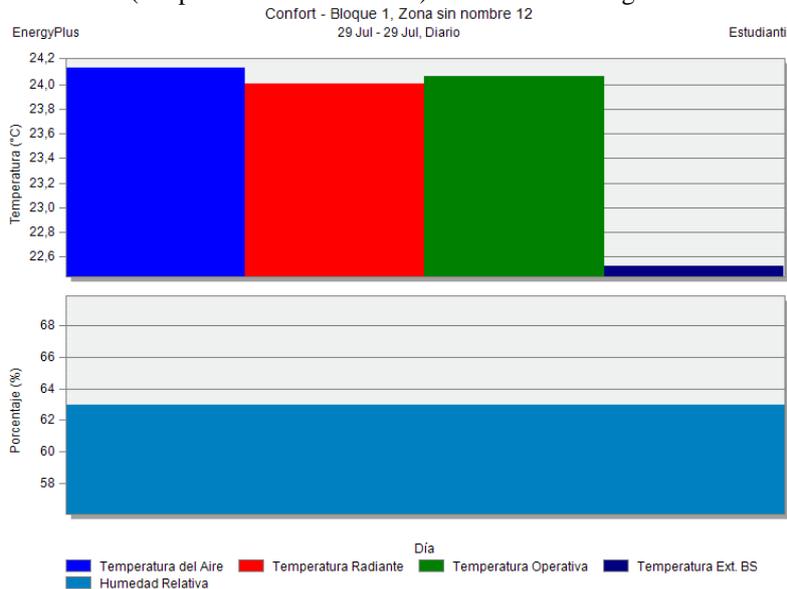


Gráfico 9. Resultados de temperaturas de confort y humedad relativa, para 29 de julio (temperatura máxima anual). Extraído de Design Builder

Se ha analizado los dos días con mayor variación de temperatura a lo largo del año según la data climática Meteoblue así:

- Mínima temperatura: 15 de enero: **16°**
- Máxima temperatura; 29 de julio: **28°**

Podemos observar que el comportamiento de la zona térmica 12 (habitación este) en los días de mínima temperatura la temperatura aumenta ligeramente la temperatura interior manteniéndola dentro de un rango de confort aceptable y así

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

mismo en el día de mayor temperatura mantiene la temperatura por debajo de la temperatura exterior.

Caso (Vivienda Barichara/ variación por orientación)

Tomando el caso base como ejemplo representativo se realizaron simulaciones dinámicas respetando las condiciones físicas y morfológicas, pero variando la orientación para conocer su influencia en el comportamiento térmico de la vivienda.

Bajo esta premisa se toman las cuatro orientaciones ilustradas en la Figura 13 (Norte, Sur, Este, Oeste) para hacer una comparación de la temperatura operativa durante todo el año. En los resultados se observa un comportamiento muy similar en todas las opciones evaluadas, donde la temperatura operativa permanece constante en cada mes independientemente de la orientación que presente la vivienda; en la **tabla 7** se observa una variación no mayor a 0,5° en la temperatura, lo que hace inferir que para esta latitud la orientación no incide significativamente en las condiciones de confort en las viviendas que presentan las características arquitectónicas evaluadas en el caso de estudio.

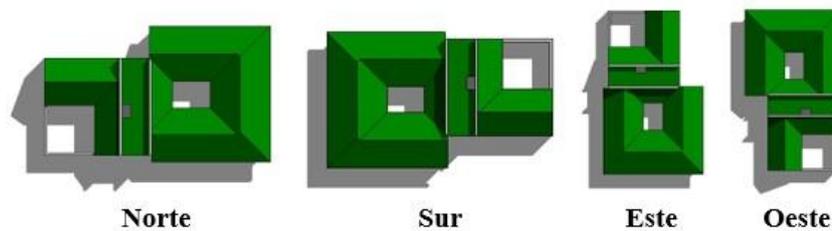


Fig 14. Modelo vivienda Barichara caso base con distintas orientaciones. Elaboración propia

Tabla 7 Resultados mensuales de temperatura operativa con variación de la orientación. Elaboración propia

Temperaturas operativas				
Orientación				
Mes	Norte	Sur	Este	Oeste
Ene	20,75	21,19	21,16	20,81
Feb	20,82	21,13	21,16	20,88
Mar	20,87	20,97	21,02	20,96
Abr	20,92	20,84	20,95	20,96
May	21,41	21,12	21,28	21,37
Jun	21,32	20,93	21,11	21,23
Jul	21,35	21,01	21,16	21,31
Ago	21,39	21,17	21,38	21,35
Sept	21,03	20,99	21,16	21,03
Oct	20,87	21,04	21,09	20,91
Nov	20,57	20,92	20,90	20,66
Dic	20,73	21,19	21,16	20,80

Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara, Colombia

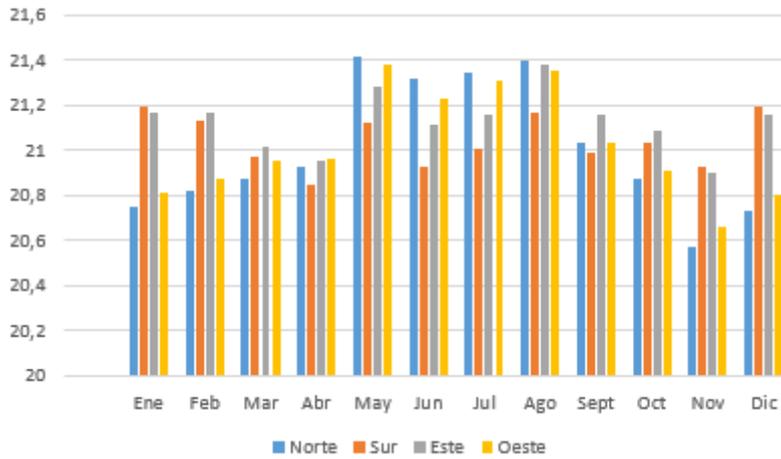


Gráfico 6. Resultados de temperaturas operativas para orientaciones norte, sur, este y oeste. Elaboración propia

Tabla 8. Temperaturas anuales exteriores y operativas zona 12 habitación oeste. Elaboración propia

Zona 12 /						
Orientación	Fecha/Hora	Temperatura Ext. BS	Humedad Relativa	Temperatura del Aire	Temperatura Radiante	Temperatura Operativa
		°C	%	°C	°C	°C
Mínima Este	15-01-2002	15,58	70,33	18,45	18,52	18,49
Máxima Este	29-07-2002	22,51	62,99	24,13	24,00	24,07
Mínima Norte	15-01-2002	15,58	70,73	18,36	18,41	18,39
Máxima Norte	29-07-2002	22,51	65,58	23,35	23,13	23,24
Mínima Oeste	15-01-2002	15,58	70,46	18,42	18,48	18,45
Máxima Oeste	29-07-2002	22,51	66,79	23,09	22,85	22,97
Mínima Sur	15-01-2002	15,58	70,06	18,52	18,59	18,56
Máxima Sur	29-07-2002	22,51	67,79	22,80	22,52	22,66

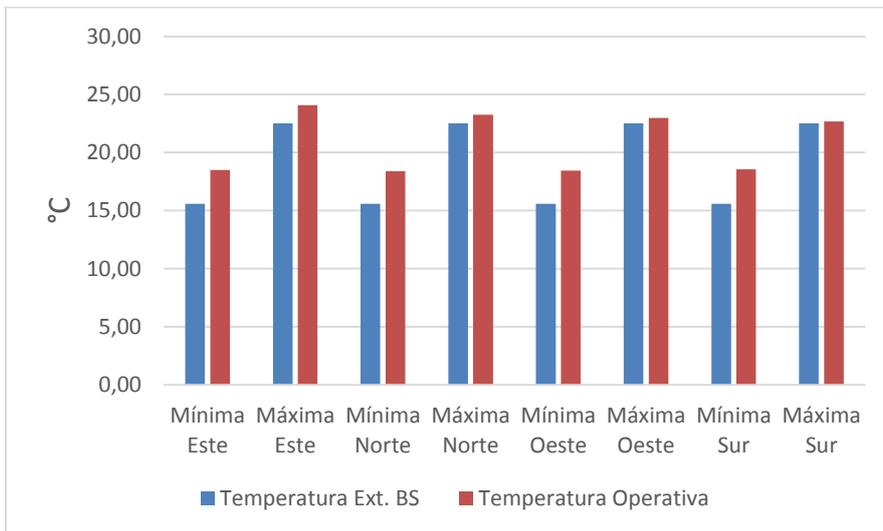


Gráfico 3. Temperatura mínima y máxima exterior Vs temperatura operativa por orientación, zona 12 habitación oeste. Elaboración propia

11 Discusión

La identificación de las estrategias bioclimáticas aplicadas en el diseño arquitectónico de la vivienda tipo, y su posterior evaluación bajo simulación computarizada permitió conocer su respuesta adecuada al confort térmico; destacando la ventilación natural como factor determinante en la adaptación al clima, dado principalmente por la sencillez de la construcción y la posibilidad de tener vanos enfrentados para lograr una ventilación cruzada en los diferentes espacios de la vivienda. De igual manera, el manejo de protecciones solares mediante el empleo de aleros en la cubierta genera zonas de sombra que disminuye la incidencia de la radiación solar en el interior de la vivienda principalmente.

Es preciso anotar que en los días de temperaturas críticas máximas y mínimas, el conjunto de estrategias bioclimáticas logran mantener rangos aceptables de confort, de igual manera podemos notar que las variaciones en temperaturas operativas debido al cambio de orientación no son significativas debido a la localización ecuatorial de la edificación y su posición entre medianeras.

Finalmente, se puede decir que el desempeño térmico de la vivienda en su conjunto se armoniza con el clima y el medio que lo circunda, manteniendo una temperatura operativa constante con poca incidencia en la demanda de energía de la vivienda. De esta manera, la arquitectura vernácula de Barichara permite obtener temperaturas internas confortables, comprobando que es factible y conveniente replicar estrategias pasivas típicas de este tipo de arquitectura en edificaciones contemporáneas que compartan condiciones climáticas similares.

12 Conclusiones

- Las estrategias pasivas analizadas en este caso de estudio son favorables para mantener temperaturas dentro de rangos de confort aceptables.
- Ventilación natural, sombreado solar y la alta masa térmica fueron las estrategias más apropiadas.
- Se obtuvieron resultados acerca del rendimiento térmico de la vivienda vernácula de clima cálido seco, teniendo como un primer avance que esta conserva condiciones térmicas muy favorables para la habitabilidad a lo largo del año.
- Para la época fría y de mayores precipitaciones (marzo-mayo y septiembre-noviembre), la vivienda vernácula mejora notoriamente las temperaturas bajas del exterior en la noche, lo que nos dice que una estrategia activa para calentarla no es necesaria.
- Este estudio ha enfatizado la importancia del diseño de edificaciones teniendo en cuenta el uso consciente y adecuado de las condiciones climáticas y geográficas apropiándose del saber constructivo y de su valor cultural, objeto de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible.
- En condiciones críticas como las ocasionadas por la variabilidad climática producto de fenómeno del niño y de la niña es posible que se requiera sistemas mecánicos de baja energía, tales como como ventilación mecánicamente asistida, enfriamiento evaporativo, calefacción solar; o las respuestas adaptativas de los usuarios como ropa, actividad física, controles de apertura y el uso de ventiladores.
- Para replicar estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula en viviendas contemporáneas se puede concluir que:
 1. La humedad relativa permanece prácticamente sin alteraciones con respecto a la medida en el exterior, por lo que hay que promover más la ventilación natural cruzada.
 2. Las ganancias por radiación a través de ventanas de la vivienda son muy bajas, comprobando que el uso de aleros reduce considerablemente las cargas térmicas.
 3. La mayor parte de las temperaturas horarias registradas en los meses cálidos se encuentran dentro del rango de confort definido, y no hay la necesidad de emplear un sistema de climatización

**Análisis de estrategias bioclimáticas de la arquitectura vernácula: caso de estudio Barichara,
Colombia**

mecánico que ayude a obtener el confort en horas críticas reduciendo así la demanda energética.

4. Los espacios que conservan mejores condiciones en los meses más cálidos y en las horas más críticas son los más húmedos y ventilados.

12 Bibliografía

Alcaldía de Barichara - Santander. 2015. "Ubicación, Extensión Y Límites de - Santander." <http://www.barichara-santander.gov.co/index.shtml>.

Gen. 2008. "Aprendiendo de La Ciudad Contemporánea." : 34–43.

Hoyos, Andrés Quiceno. 2016. "DE LA VIVIENDA TRADICIONAL CAFETERA " AUTOR : Arquitecto Andrés Quiceno Hoyos."

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change*. <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781107415416>.

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. 2015. "Decreto 1285 de 2015." : 4.

Naciones Unidas. 1998. "Protocolo de Kyoto de La Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático." *Protocolo de Kyoto* 61702: 20. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.

Nations, United, and Environment Programme. 2007. Environment *Anual Del Pnuma 2007*.