

Estándares de sustentabilidad para viviendas patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca – Ecuador

Sustainability standards for patrimonial housing in the
Historic Center of Cuenca - Ecuador

Resumen

Autores:
José Luis Espinoza Mosquera
 jlemcarpediem@
 hotmail.com
Felipe Quesada Molina
 felipe.quesada@
 ucuenca.edu.ec
Andrea Estefanía Calle
 Pesántez
 andrea.calle@
 ucuenca.edu.ec
Jessica Mariela Ortiz
 Fernández
 jessicam.ortizf@
 ucuenca.edu.ec

Universidad de Cuenca
 Ecuador

Recibido: 8 May 2018
 Aceptado: 14 Nov 2018

El estudio tiene por objetivo analizar los estándares de eficiencia energética y calidad del ambiente interior de las viviendas patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca, considerando los siguientes factores: consumo de energía, temperatura, calidad del aire interior, iluminación natural y confort acústico. La metodología empleada es mixta y de diseño longitudinal, involucrando variables cuantitativas y cualitativas para la evaluación de las mediciones ambientales, eléctricas, así como las percepciones de confort de los ocupantes de las viviendas. En una primera etapa se realiza una encuesta a 280 viviendas de Cuenca para determinar hábitos de consumo energético y condiciones del ambiente interior; en una segunda fase se ejecuta un monitoreo de las variables eléctricas y ambientales en tres viviendas de características patrimoniales, mediante el uso de sensores de medición, simulaciones y encuestas de percepción. Posteriormente se analizan y evalúan los resultados para compararlos con estándares de eficiencia energética y calidad del ambiente interior de normas nacionales e internacionales, determinando resultados que demuestran que los usuarios se adaptan a condiciones de confort diferentes a los establecidos por normas, tal es el caso de la temperatura, donde los usuarios, como respuesta al clima andino, admiten rangos inferiores a los estándares establecidos.

Palabras clave: Eficiencia energética; calidad del ambiente interior; patrimonio; edificaciones históricas; vivienda.

Abstract:

The aim of the study is to analyze the standards of energy efficiency and quality of the indoor environment of the heritage dwellings in the Historic Centre of Cuenca, considering the following factors: energy consumption, temperature, indoor air quality, natural lighting and acoustic comfort. The methodology used is mixed and of longitudinal design, involving quantitative and qualitative variables for the evaluation of environmental and electrical measurements, as well as the perceptions of comfort of the occupants of the houses. In a first stage, a survey is carried out to 280 houses in Cuenca to determine energy consumption habits and indoor environment conditions; in a second phase, a monitoring of electrical and environmental variables is carried out in three houses with patrimonial characteristics, through the use of measurement sensors, simulations and perception surveys. Subsequently, the results are analyzed and evaluated in order to compare them with energy efficiency and indoor environment quality standards of national and international standards, determining results that demonstrate that users adapt to comfort conditions different from those established by standards, such as temperature, where users, in response to the Andean climate, admit lower ranges than the established standards.

Keywords: Energy efficiency; indoor quality environment; heritage; historic buildings; house.

1. Introducción

El ahorro de energía se ha convertido en una de las formas más rentables para mejorar la seguridad del suministro energético, y reducir la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes. Es así que la Unión Europea trazó como objetivo de ahorro al menos el 40% de su consumo de energía para el año 2030 (Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, 2018).

En Ecuador, la producción energética ha incrementado, incluso ha ocurrido lo mismo con la demanda de energía en general, sin embargo, la tasa de energía proveniente de fuentes renovables no convencionales, tales como la captación solar, eólica y geotérmica, ha sido nula. Además, según el Balance Energético Nacional (2016), el sector residencial es el tercer consumidor de recursos energéticos, después del sector de transporte y del sector industrial.

Ante esta problemática es necesario pensar en un manejo eficiente de la energía, (Guillén, Quesada, López, Orellana y Serrano, 2014) sin embargo, es importante que en la búsqueda por reducir el consumo energético y las emisiones de contaminantes al ambiente no se afecten las condiciones de Calidad de Ambiente Interior (IEQ: Indoor Environmental Quality) en las edificaciones.

En esta línea, rehabilitar lo ya existente, en materia de vivienda, es la mayor propuesta edificatoria sostenible en la actualidad, debido a que, con una inversión equivalente a la mitad de la necesaria para construir una nueva edificación, puede rehabilitarse una ya existente, alcanzando similar eficiencia energética durante su uso. Expertos afirman: “Rehabilitar un edificio de viviendas, aunque se sustituyan todas las carpinterías, se le dote de aislamientos y se le cambien las instalaciones, supone un ahorro energético y de contaminación del 60% aproximadamente frente a la construcción de otro nuevo” y, por tanto: “no hay edificio más sostenible que el que ya está edificado” (Luxan, 2011, p. 7).

La eficiencia energética y la calidad del ambiente interior se han convertido en nuevas entradas en el proceso de planificación estratégica, en lo referente a la restauración arquitectónica y rehabilitación patrimonial, en donde el desarrollo y aplicación de indicadores y estándares de sustentabilidad son herramientas esenciales en las viviendas de características patrimoniales.

Investigaciones indican que las viviendas vernáculas se adaptan a las condiciones naturales locales y utilizan estrategias sensibles al clima, sin embargo, también se manifiesta que en

condiciones climáticas extremas los diseños tradicionales podrían no ser suficientes para mantener el confort térmico interior (Nguyen, Tran, Tran, y Reiter, 2011; Singh, Mahapatra, & Atreya, 2010; Zhai y Previtali, 2010). Una investigación similar estudia varios edificios históricos y manifiesta la viabilidad de mantener sus valores patrimoniales, siempre que se realicen mejoras significativas en su eficiencia energética y confort térmico, pues contribuyen a reducir las emisiones de carbono y el consumo de energía, además de que mantienen los legados culturales e históricos (Martínez-Molina, Tort-Ausina, Cho y Vivancos, 2016).

Como se evidencia, varias investigaciones manifiestan las ventajas que presentan las edificaciones vernáculas, sin embargo, se percibe la necesidad de evaluar el rendimiento energético de las técnicas de construcción tradicionales y el confort interior de este tipo de edificaciones contemplando las diferencias en los comportamientos humanos en diversas regiones (Zhai y Previtali, 2010). En este sentido, el presente estudio se centra en la obtención de estándares de sustentabilidad que evalúen la eficiencia energética y la confortabilidad de las viviendas patrimoniales dentro del contexto local, para garantizar a los usuarios dentro de sus viviendas condiciones confortables que no impliquen un mayor gasto energético.

2. Materiales y Métodos

El lugar de estudio lo conforma el área urbana residencial de la ciudad de Cuenca-Ecuador, en el nivel de “vivienda patrimonial”. Las coordenadas geográficas de la ciudad son 2°54'2" S y 79°0'16.3" O. Cuenca está ubicada en una zona de clima lluvioso continental, con DDC 10 ° C <2500 y HDD de 18 ° C <2000. La ciudad tiene una temperatura promedio anual de 16.3 ° C, y varía de 10.1 ° C a 21 ° C. El clima en la ciudad es principalmente frío; sin embargo, hay períodos que son más cálidos. La humedad relativa fluctúa entre 40% y 85% (Figura 1).

La investigación fue desarrollada en dos etapas. La primera etapa se centró en estudiar la satisfacción de los ocupantes del sector residencial de la ciudad, tomando una muestra de 280 viviendas. En la segunda etapa, se seleccionaron las condiciones físicas ambientales y las expectativas de la comodidad de los usuarios de un grupo de viviendas como casos de estudio para evaluar.

La metodología utilizada posee una estrategia de diseño multidimensional, que involucra enfoques cuantitativos y cualitativos. La IEQ de las viviendas se evaluó por mediciones in situ y toma de datos cuantitativos, mientras que la percepción de sus ocupantes se analizó por medio de entrevistas en relación a sus experiencias de confort. La combinación de esta información proporciona una visión holística del ambiente interior

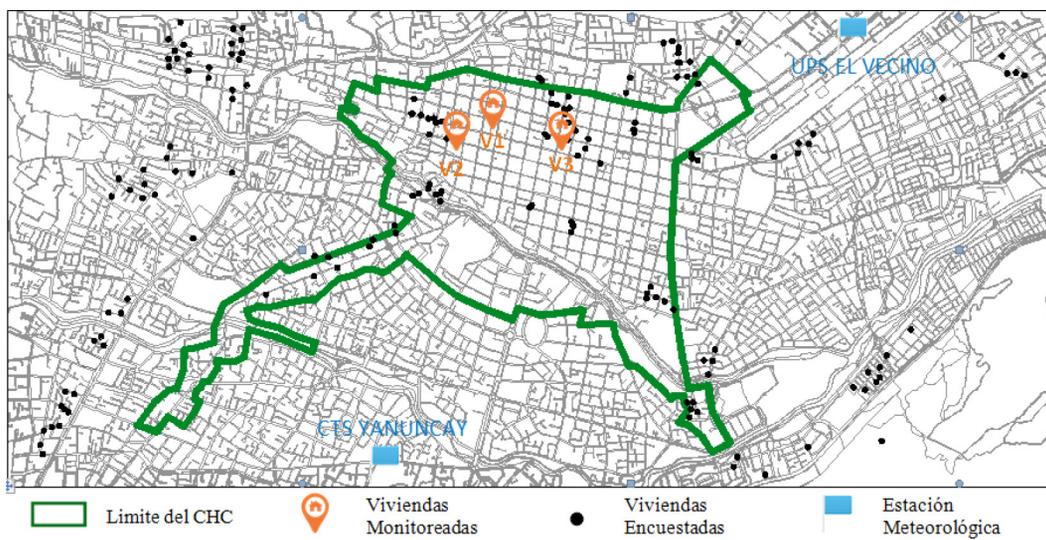


Figura 1: Distribución de las viviendas encuestadas, viviendas monitoreadas y estaciones meteorológicas en Cuenca.
Fuente: Elaboración Propia

(Brunsgaard, Heiselberg, Knudstrup y Larsen, 2012), y existen algunas investigaciones previas que aplican esta metodología (Gylling, Knudstrup, Heiselberg y Hansen, 2014; Kamaruzzaman, Egbu, Zawawi, Ali y Che-Ani, 2011)

2.1. Casos de Estudio.

Estudios han centrado su análisis en una sola vivienda (Dili, Naseer, y Varghese, 2010; Laverge, Van Den Bossche, Heijmans y Janssens, 2011; Taleb y Sharples, 2011), no obstante, autores como Brunsgaard et al. (2012) y Molina and Veas (2012) mencionan que una selección de al menos tres viviendas conduce a resultados óptimos. Por esta razón se seleccionaron tres viviendas de características patrimoniales ubicadas dentro del área declarada como primer orden en el Centro Histórico de Cuenca (CHC) (Tabla 1), considerando los siguientes criterios:

- Que el uso principal sea de vivienda o vivienda-comercio.
- Que el inmueble presente un sistema constructivo de características tradicionales o vernáculas.
- Que tipológicamente pertenezcan a un grupo representativo de inmuebles del CHC.
- Que se encuentren catalogados como bienes patrimoniales y representen a diferentes valoraciones de inmuebles patrimoniales establecidos en la norma vigente.

2.1.1. Descripción de las viviendas seleccionadas

Los inmuebles analizados constituyen ejemplos diversos de la arquitectura tradicional cuencana que existe en el CHC; sin embargo, así como existen diferencias muy marcadas en la composición de sus fachadas, se observan similitudes en su tipología arquitectónica (lotes angostos desarrollados a través de patios) y materiales constructivos tradicionales propios de la región (adobe, bahareque, madera, teja).

a) Vivienda 1

Edificación vernácula de dos plantas desarrolladas alrededor de dos patios laterales en donde se ubican los diferentes ambientes de la vivienda. En la parte posterior existe un último patio, originalmente utilizado como huerta. Existe una única grada que comunica los niveles de la vivienda ubicada en el patio principal. Constructivamente resalta el uso de adobe (en planta baja) y bahareque (planta alta) en sus paredes y madera en pisos, entrepisos y estructura de la cubierta, así como en sus carpinterías (ventanas, balaustres y puertas). La cubierta se encuentra revestida con teja artesanal. En la fachada existe un ritmo marcado en los vanos enmarcados con sencillas molduras. Sobresalen los balcones de hierro forjado con motivos geométricos y las pilastras embebidas en los muros de adobe, así como las cornisas y marcapisos que delimitan los niveles de la vivienda. El remate de fachada se lo da con alero y canchillos de madera.

b) Vivienda 2

Constituye una reinterpretación del estilo art decó utilizado en las casas cuencanas de las décadas del treinta y cuarenta del siglo pasado, en el que se destaca la composición de la fachada a través de la utilización de balcones de hierro forjado con motivos geométricos y el remate con balaustre corrido y tímpano en el centro de la fachada. Actualmente cuenta con un zócalo de piedra natural. Los espacios interiores se desarrollan en torno a dos patios y una huerta en la parte posterior. Los muros son de adobe y bahareque, la carpintería es de madera y su cubierta es de teja.

c) Vivienda 3

Constituye un ejemplo de la arquitectura vernácula cuencana con influencia colonial. En fachada, su escala y proporciones son modestas, y su carácter introvertido se manifiesta a través del uso mínimo de puertas y

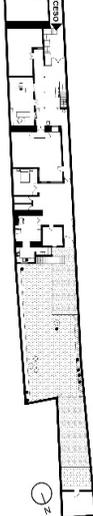
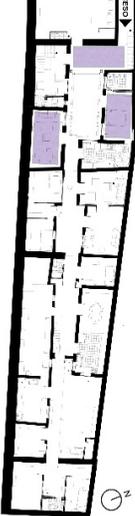
Fotografía Exterior			
Fotografía Interior			
Planta Baja			
Planta Alta			
Vivienda	1. Casa Berzeueta	2. Casa Benenaula	3. Casa Villacís
Valoración	Valor VAR B	Valor Ambiental (A)	Valor VAR A
Antigüedad	~ 60 – 80	~ 60 – 80	>100
Área	632 m ²	534 m ²	400 m ²
Monitoreos	Comedor; Dormitorio; Sala estar	Sala/Comedor; Dormitorio; Pasillo	Sala/Comedor; Dormitorio; Portal

Tabla 1: Principales características de las viviendas casos de estudio.

Fuente: Elaboración Propia

ventanas. El local hacia la fachada es utilizado como panadería desde hace varias décadas. El interior de la vivienda se desarrolla mayormente a nivel de planta baja, sin embargo, la crujía frontal posee un segundo nivel en donde existen algunas habitaciones. Las áreas sociales y habitaciones principales se encuentran alrededor del primer patio, mientras que las áreas de servicio dan hacia el segundo patio.

2.2. Mediciones cualitativas

2.2.1. Encuesta al sector residencial de Cuenca.

Se aplicó una encuesta a los usuarios de 280 viviendas distribuidas en la zona urbana de Cuenca, y a 54 ubicadas en el área de CHC (Figura 1). El diseño del muestreo fue de tipo probabilístico y aleatorio.

Para analizar el IEQ y el confort se estructuró una ficha con preguntas cerradas que tomaron como referencia estudios previos de autores como Bayulken y Huisingh (2015) y Malmqvist (2008). Se aplicaron dos series de preguntas: las primeras enfocadas en la caracterización física de la vivienda y la definición de indicadores de ocupación de los habitantes (área, niveles, tipología, antigüedad, materiales, uso y condiciones de habitabilidad). Un segundo grupo de preguntas estuvo relacionado con la percepción de los usuarios respecto al grado de satisfacción con el ambiente interior de su vivienda. Estas permitieron obtener datos de percepción de iluminación, temperatura, confort auditivo y calidad de aire.

Para analizar la eficiencia energética se aplicó una encuesta con preguntas cerradas que tomaron como referencia estudios de varios autores: Martínez (2010), Barr, Gígl y Ford (2005) y del INEC(2015).

2.2.2. Encuesta a los casos de estudio

Se realizaron encuestas sobre percepción del ambiente interior a los jefes de hogar de cada vivienda estudiada. La encuesta presentó preguntas abiertas y de opción múltiple, y se basó en la empleada por el Center for Built Environment de la Universidad de Berkeley (2015).

Para analizar el confort térmico se llevó a cabo una entrevista aplicada a los usuarios mayores de edad, durante dos períodos, que coinciden con los del monitoreo (frío y caliente). La entrevista se basa en “E1. Thermal Environment Point-In-Time Survey” que se indica en la Norma ASHRAE 55 (2010). Esta sirvió para determinar indicadores con respecto al aislamiento por vestimenta (clot), sensación térmica, tasa metabólica (met) mediante las tablas de la misma norma: “El Valor de Aislamiento de Ropa para Conjuntos Típicos y Prendas de Vestir” y “Tasas Metabólicas de las Tareas Típicas de Descanso”.

2.3. Mediciones cuantitativas

Se realizaron monitoreos a cada caso de estudio, durante dos épocas en el año correspondientes a los meses más fríos (1era medición: meses cercanos a octubre de 2015) y calurosos (segunda medición: meses cercanos a febrero de 2016).

Fueron instalados tres equipos por vivienda, cada uno contó con sensores ubicados en el centro del dormitorio, área social (sala o comedor) y un espacio semiabierto (portal, pasillo, sala de estar), a una altura de 1.70 m desde el suelo. Se programaron los equipos para que registren medidas cada cinco minutos durante 7 días. Los parámetros que se registraron fueron: temperatura, humedad relativa, nivel de CO₂ y radiación solar. Los parámetros exteriores de temperatura, humedad relativa y radiación solar se obtuvieron de reportes de estaciones meteorológicas, según la proximidad a las viviendas estudiadas. Los equipos utilizados se describen y observan respectivamente en la Tabla 2 y Figura 2.

Equipo	Características	Datos	Rango de error o precisión
Caja de integración	Marca: Datalights		
	Modelo: DL-Logger2015-mR		
Sensor de Humedad relativa	Marca: Omega	Humedad relativa del aire, HR %	Precisión: ± 3.5% RH (desde 15 a 85% RH)
	Modelo: HX71-V1		
Sensor de temperatura	Marca: Apogee	Temperatura del aire, °C	Rango de error: 0.1 °C (desde 0 a 70 °C)
	Modelo: ST-100		
Piranómetro	Marca: Apogee	Nivel de Radiación,	Rango de error: ± 5%
	Modelo: Sp-212	W/m ²	
Sensor de dióxido de carbono	Marca: Vernier	Concentración de CO ₂ , ppm	Precisión: A 1atm de presión
	Modelo: Carbondioxide gas sensor		Rango bajo: • 0 a 1000 ppm: ± 100 ppm • 1000 a 10 000 ppm: ± 10% de lectura Rango alto: • 0 a 1000 ppm: ± 100 ppm • 1000 a 100 000 ppm: ± 20% de lectura
Sensores de electricidad	Marca: Efergy	Frecuencia: 433.5 MHz	Precisión: > 90%
	Modelo: e2 Classic	Intervalo transmisión: 6- 18 seg.	

Tabla 2: Características de equipos utilizados

Fuente: Elaboración Propia



Figura 2: Equipos utilizados en el monitoreo de variables ambientales y el consumo energético.

Fuente: Elaboración Propia

Para el monitoreo del consumo energético, se instalaron contadores instantáneos de electricidad. Cada equipo constó de un monitor inalámbrico para visualización y programación de ajustes, un transmisor de datos y sensores para los circuitos. La instalación se realizó, según la recomendación del fabricante, directamente a los circuitos de tomacorrientes de la caja de distribución de electricidad, con el fin de diferenciar el consumo por iluminación. Se ejecutó una comparación con las planillas de electricidad y el historial anual de consumo para contar con información integral del uso de electricidad.

En lo referente a iluminación, se realizaron simulaciones en el software Autodesk Ecotect Analysis 2011, el cual se basa en el método de las admittancias y fue desarrollado por el Chattered Institute of Buildings Service Engineers, del cual se obtuvieron valores de factor luz día (FLD) y niveles de iluminación (Lux).

2.4. Evaluación

2.4.1. Confort higrotérmico

Es necesario verificar el cumplimiento de los requerimientos de las normas, previo a la determinación de la temperatura neutra (T_n). Para el cumplimiento de la Norma ISO 7730 (2006) se estableció la temperatura seca del aire entre los 10 y 30 °C, la actividad metabólica de 0,8 a 4,0 met y el grado de vestimenta de 0 a 2 clot. La Norma UNE-EN 15251 (2008) establece otros datos a cumplirse en condiciones de actividades sedentarias: de 1 a 1,3 met, acceso a ventanas abatibles y que los usuarios puedan adaptar su vestimenta a las condiciones ambientales del interior y exterior.

Se determinó el valor de la temperatura neutra (T_n) mediante un análisis de regresión lineal entre la percepción de sensación térmica de los usuarios y la temperatura interior del aire.

2.4.2. Calidad del aire interior

Mediante el registro continuo obtenido de las mediciones de concentración de dióxido de carbono (CO_2), se

compararon los resultados con los índices de satisfacción de las encuestas realizadas y los niveles máximos de concentración de CO_2 establecidos en diferentes normativas internacionales (ASHRAE 62.1, 2007) y nacionales (NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Cap 13. Eficiencia Energética en la Cosntrucción de Ecuador, 2011).

2.4.3. Confort visual

Los factores de iluminación natural y deslumbramiento se analizaron con base en los criterios propuestos por Quesada y Trebilcock (2015), y por la Norma NEC-11. Los valores mínimos del FLD y de los niveles de iluminación, que establecen las normas, se comparan con los obtenidos de las simulaciones, y por medio de la percepción de confort de los ocupantes encuestados.

2.4.4. Confort auditivo

Se evaluó a través de las encuestas que determinaron la percepción de los usuarios.

3. Resultados

3.1. Resultados de encuestas

3.1.1. IEQ y percepción de confort:

- El 98,7% de los usuarios menciona que ventilan la vivienda por medio de la apertura de ventanas y puertas.
- El 92,5% de los usuarios aprovecha la luz natural exterior mediante la apertura de cortinas. El 41% menciona que los ambientes de sus viviendas están correctamente iluminados.
- El 65% de los usuarios considera que la temperatura interior es confortable. El 30% considera que tiende a ser fría y el 5% la considera calurosa.
- El 80% de los usuarios menciona que la calidad del ambiente interior de su vivienda es correcta.
- El 38% de los usuarios afirman que perciben molestos ruidos provenientes del exterior, el 28% menciona en cambio que perciben ruidos provenientes de departamentos o viviendas vecinas.
- El 41% de los usuarios considera que la vivienda no cumple con sus expectativas en cuanto a la disponibilidad de iluminación natural.

3.1.2. Electricidad y eficiencia energética:

- El 68% de los usuarios menciona que desconectan los artefactos eléctricos cuando no los usan.
- El 87% considera que es importante que los electrodomésticos presenten etiquetas de ahorro.
- El 41% de los encuestados tiene refrigerador con etiqueta de eficiencia energética, y un 36% tiene un refrigerador de antigüedad superior a 10 años.

- El 93% usa focos ahorradores. El 98% menciona que apaga las luces al salir de la habitación.
- El 32% considera que es muy importante y un 29% que es importante el ahorro de energía y agua, y que el proceso de construcción y desechos causen el mínimo impacto.

3.2. Resultados del IEQ

3.2.1. Confort higrotérmico

En la tabla 3 y figura 3 se observa, en el primer período de monitoreo, que al interior de las viviendas la temperatura es inferior a la exterior durante el día. En la noche, se produce una inversión en la tendencia. En los ambientes

semiabiertos la tendencia cambia, ya que durante el día la temperatura interior casi se equipara con la exterior (principalmente en las viviendas 1 y 2) y en la noche la temperatura interior es mayor que la externa. En todos los casos el promedio de temperatura fluctúa en valores que van de 16,5 a 18,7°C. Sin embargo, la vivienda 2, es la más cálida ya que presenta la mayor diferencia (4°C) de temperatura con respecto al exterior.

En el segundo período de monitoreo la temperatura diurna de los ambientes interiores de las viviendas 1 y 3 es similar, con ligeras variaciones respecto al exterior, en el caso de la vivienda 2 la temperatura interior es superior a la exterior. Pero, durante la noche, en las tres viviendas, el interior es más cálido con respecto al

Viviendas	Datos	Temperatura (°C)												
		1 ^{ra} medición					2 ^{da} medición							
1	promedio	16.62	16.99	16.51	15.51	18.29	18.52	18.48	16.30	comedor	dormitorio	pasillo	estar	exterior
	máximo	20.11	20.45	24.61	22.50	21.64	23.13	29.98	23.30					
	mínimo	14.36	14.88	11.99	10.40	16.00	16.45	13.40	12.00					
2	promedio	18.11	18.79	18.66	14.55	20.04	20.23	19.90	16.47	comedor	dormitorio	pasillo	estar	exterior
	máximo	23.39	22.4	25.82	24.60	24.61	22.87	25.54	23.00					
	mínimo	15.02	16.45	14.27	5.50	17.97	19.00	17.55	12.90					
3	promedio	17.28	18.45	16.52	16.19	18.56	17.86	16.65	16.30	comedor	dormitorio	pasillo	estar	exterior
	máximo	21.90	20.70	23.08	24.70	21.29	19.34	22.40	23.30					
	mínimo	15.37	16.81	13.32	12.10	17.41	15.77	13.92	12.00					

Tabla 3: Temperatura (°C) de los espacios monitoreados de cada vivienda

Fuente: Elaboración Propia

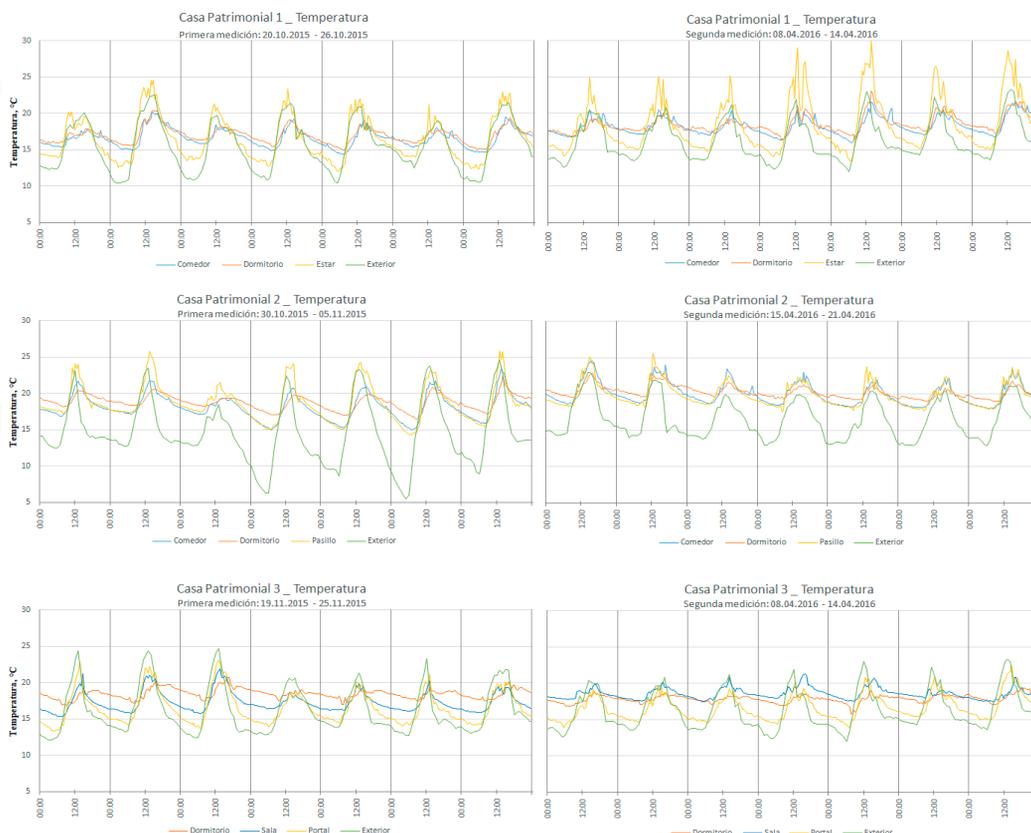


Figura 3: Temperatura (°C) de los espacios monitoreados de cada vivienda

Fuente: Elaboración Propia

Medición	Vivienda 1				Vivienda 2				Vivienda 3			
	Com.	Dorm.	Estar	Ext.	Com.	Dorm.	Pasillo	Ext.	Sala	Dorm.	Portal	Ext.
1 ^{ra}	55.42	54.17	54.45	64.63	46.47	48.41	45.92	65.34	59.09	57.85	65.8	73.54
2 ^{da}	63.99	62.03	60.77	80.8	51.16	52.98	53.85	74.26	62.38	66.32	71.21	80.8

Tabla 4: Humedad relativa promedio (%) de los espacios monitoreados de cada vivienda

Fuente: Elaboración Propia

exterior. El promedio general de temperatura, para todos los casos, fluctúa entre los 16.6 y 20.2°C, y nuevamente la vivienda 2 es la más cálida ya que registra una diferencia de temperatura con respecto al promedio del exterior de hasta 3,5°C.

En cuanto a humedad relativa, la tabla 4 muestra que en el primer período de mediciones, los espacios interiores presentaron promedios que fluctúan entre el 46,4% y el 59,1%. Igual comportamiento se registró en el segundo período y se presentaron promedios que variaron entre el 51,1% y el 66,3%. En ambos períodos los valores se mantienen dentro del rango que establece la norma ISO7730 (HR entre el 30% y 70%)(2006).

Los valores obtenidos de los espacios semiabiertos son los que mayor variación presentaron, generando una curva de desarrollo similar a la del exterior, incluso en algunos casos se llegó a sobrepasar el rango de la norma.

a) Percepción de confort y sensación térmica

Las encuestas fueron registradas con base en una escala de 7 grados bipolar que se basa en los rangos (+3) muy satisfecho, hasta (-3) muy insatisfecho.

Los datos reflejan que la percepción de confort térmico general es positiva para las tres viviendas. Sin embargo, existen casos puntuales en los cuales se registra valoración negativa, por ejemplo, en la sala de estar de la vivienda 1 y en el pasillo de la vivienda 2, que puede deberse a su ubicación bajo cubiertas translúcidas.

La tabla 5 muestra un resumen de resultados de temperatura media interior para cada período de monitoreo. En el primer período se registró una temperatura media de 17,55°C, y un valor VST de 0.5. En el segundo se registró una temperatura media de 18,63°C y un valor VST de 1.0.

Vivienda	Primer monitoreo		Segundo monitoreo	
	VST media	Temp _{media} °C	VST media	Temp _{media} °C
Viv. 1	1.00	16,71	1.00	18,43
Viv. 2	-0.50	18,52	1.00	20,06
Viv. 3	1.00	17,42	1.00	17,69
Total	0.50	17,55	1.00	18,63

Tabla 5: Valores de los Votos de sensación térmica (VST) y temperatura operativa.

Fuente: Elaboración Propia

b) Temperatura neutra y rango de confort térmico

La temperatura neutra (T_n) se determina por medio de un análisis de regresión entre los votos de sensación térmica por parte de los usuarios a través de las encuestas y los valores registrados de temperatura interior. El análisis no diferencia los períodos de monitoreo debido a que la variación de temperatura es de alrededor de 1°C. El valor resultante de T_n (Figura 4) es de 18,14°C con un coeficiente de determinación R^2 de 0,0961, que se enmarca dentro de la expresión $0 \leq R^2 \leq 1$.

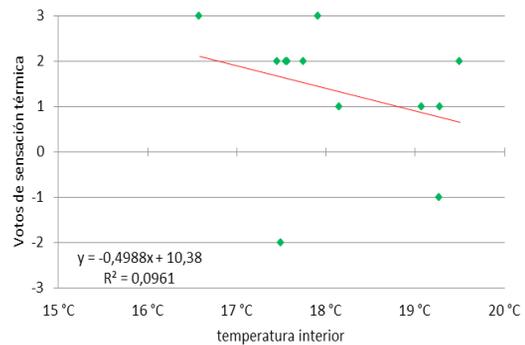


Figura 4: Cálculo de T_n mediante regresión lineal, en función de los valores VST y temperatura interior

Fuente: Elaboración propia

El rango de confort térmico se determina con base en el modelo ASHRAE 55 que establece una variación de T_n en dos escalas de aceptabilidad del 90% y 80% (ASHRAE 55-2010, 2013). Para un porcentaje del 90% de usuarios satisfechos (PPD 10%) se establece una variación $T_n = \pm 2,5$, lo que implica una temperatura entre 15,64 y 20,64°C. Para un porcentaje del 80% de usuarios satisfechos (PPD 20%) se establece una variación $T_n = \pm 3,5$, lo que implica una temperatura entre 14,64 y 21,64°C (Tabla 6).

Temperatura neutra (T_n)	Rango de Confort Térmico	
	PPD 10% $T_n: \pm 2,5$ (90% de usuarios satisfechos)	PPD 20% $T_n: \pm 3,5$ (80% de usuarios satisfechos)
18,14 °C	15,64°C- 20,64°C	14,64°C- 21,64°C

Tabla 6: Resumen de valores de T_n y rango de confort térmico para PPD 10 % y PPD 20 %.

Fuente: Elaboración Propia

Medición	Vivienda 1			Vivienda 2			Vivienda 3		
	Comedor	Dormitorio	Estar	Comedor	Dormitorio	Pasillo	Sala	Dormitorio	Portal
1 ^{ra}	113.5	19.35	18.45	19.55	97.98	18.04	19.23	141.13	19.23
2 ^{da}	250.35	1329	18.27	584.32	185.73	21.39	23.24	124.46	19.84

Tabla 7: Concentración de CO₂ promedio (ppm) de los espacios monitoreados de cada vivienda.

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Calidad de aire interior

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos en las mediciones de concentración de CO₂ durante los dos períodos, se observa que los valores se mantienen por debajo de los límites establecidos por la ASHRAE 62.1 de 1000 ppm, y la norma local NEC-11 de 650 ppm, salvo casos excepcionales.

En el primer período, el dormitorio y la sala de estar de la vivienda 1 presentaron valores bajos, mientras que el comedor presentó un promedio general de 113 ppm con picos de hasta 769 ppm. En la segunda medición los valores de la sala de estar y comedor se mantuvieron sin mayores variaciones, pero el dormitorio registró un valor promedio de 1329 ppm con picos máximos de hasta 1729 ppm, excediendo los estándares ASHRAE y NEC-11.

El comedor y el pasillo de la vivienda 2 durante la primera medición presentaron valores bajos, mientras que el dormitorio registró una concentración promedio de 97 ppm y máximos de hasta 338 ppm. En la segunda medición se mantuvo una similar tendencia, pero esta vez el comedor reveló un aumento, registrando un promedio de 584 ppm. La vivienda 3, en ambas mediciones, presentó los registros más estables, indicando que el dormitorio sufrió un aumento considerable de CO₂ en las noches, debido a las condiciones propias del uso del espacio, mas no a características constructivas inherentes de la vivienda.

a) Percepción de confort de calidad de aire interior

Se presentaron valoraciones positivas generales acerca de la percepción de calidad de aire para todos los espacios de las viviendas 2 y 3. En el caso de la vivienda 1, por el contrario, la percepción es favorable solamente en el comedor, mientras que el resto de espacios presenta valoraciones desfavorables.

3.2.3 Iluminación natural

Comparando los valores del factor luz día obtenidos a través de las simulaciones (Figura 5), se evidenció que todos los espacios interiores de las tres viviendas cumplen los requerimientos mínimos establecidos FLD \geq 2% por Quesada y Trebilcock (2015), y FLD \geq 3% por la Norma NEC-11. El valor más bajo registrado es en el dormitorio de la vivienda 2 (3.06%). Con respecto a los niveles de iluminación, se evidenció que todos los espacios de las viviendas cumplen los requerimientos mínimos establecidos de 100 lux por la norma UNE y de 300 lux del método de evaluación de Quesada y Trebilcock. El valor más bajo registrado es el del dormitorio de la vivienda 2 (581.64 lux).

b) Percepción de confort de iluminación natural

Se determinó a través de encuestas sobre la percepción del nivel de iluminación natural que, las viviendas son percibidas con valoraciones que van de lo normal a lo positivo, excepto el dormitorio de la vivienda 3, que es considerado por su ocupante como un espacio relativamente oscuro y poco iluminado.

3.2.4. Percepción de confort acústico

Los niveles de percepción del confort acústico fueron considerados con valoraciones satisfactorias en todos los casos. Estos resultados principalmente se deben a que los espacios de uso residencial de las viviendas se desarrollan junto a los patios interiores, a varios metros de distancia de la calle, principal fuente de ruido del centro histórico (*Cuenca ciudad sostenible. Plan de acción: GAD Municipal del cantón Cuenca, 2014*).

3.3 Resultados de eficiencia energética

3.3.1. Consumo energético

La monitorización se realizó durante una semana, y con los datos recolectados se realizó una proyección mensual y anual de consumo (Tabla 8). Adicionalmente se contó con información del historial de consumo general de las viviendas registrado por parte de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (EERCS), a través de la planilla eléctrica.

Vivienda	Consumo tomacorrientes kWh/mes	Consumo iluminación kWh/mes	Consumo total mensual kWh/mes	Promedio anual kWh/año	Consumo anual m ² kWh/año/m ²
Vivienda 1	197,61	7,39	205,00	2460,00	3,89
Vivienda 2	122,31	17,69	140,00	1680,00	3,15
Vivienda 3	118,15	11,85	130,00	1560,00	3,90
Promedio			158,33	1900,00	3,65

Tabla 8: Consumo eléctrico diferenciado, mensual y anual de cada vivienda

Fuente: Elaboración Propia

Cabe indicar que el consumo que se registró únicamente es el correspondiente al uso residencial y no involucró usos paralelos presentes en las edificaciones (usos comerciales) y que cuentan con contadores de energía individuales.

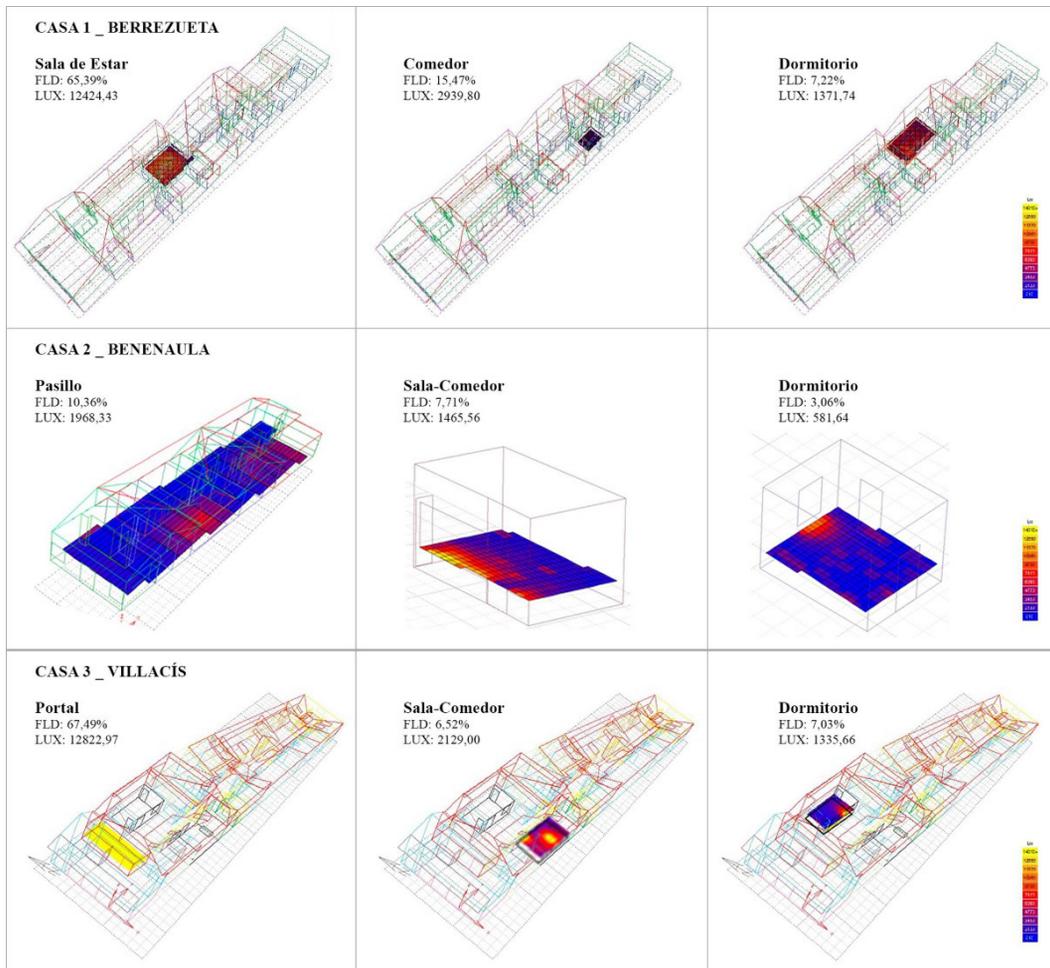


Figura 5: Valores del factor luz día (FLD) y niveles de iluminación (Lux).

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, las encuestas revelaron que ninguna de las viviendas emplea algún tipo de energía adicional a la eléctrica proporcionada por el sistema público, además los usuarios manifestaron que falta iluminación natural en algunos espacios de sus viviendas (diferentes a los que se simularon), sin embargo, controlan esta situación a través de la apertura manual de cortinas y/o persianas. También mencionaron que normalmente encienden las luminarias entre cuatro y cinco horas diarias, principalmente de 6:00 a 7:00 am y de 18:00 hasta las 22:00 pm, registrando un leve incremento durante los fines de semana. Además, en todos los casos los usuarios acostumbra a mantener encendida por lo menos una lámpara durante toda la noche. Ningún usuario utiliza algún sistema de control para las luminarias, como sensores automáticos o temporizadores.

Con respecto al uso de electrodomésticos, ninguna de las viviendas posee refrigeradoras con etiqueta de eficiencia energética. Se ha realizado un análisis para determinar el consumo de los electrodomésticos de cada vivienda, considerando la cantidad y frecuencia de uso de cada uno. Este consumo depende de la potencia del electrodoméstico y del tiempo de uso.

Para la dotación de agua caliente sanitaria se utilizan calefones de GLP. La cocina, horno y secadora también funcionan por medio de éste, aunque el secado de ropa se realiza al aire libre.

4. Discusión

El estudio muestra que las experiencias de los usuarios no necesariamente guardan coherencia con los estándares que intervienen en la calidad del ambiente interior. Por ejemplo, la vivienda 1 cumple satisfactoriamente con todos los estándares establecidos (Tabla 9), pero obtiene el menor puntaje en la suma de valoraciones (+9). En contraste, las viviendas 2 y 3 a pesar de que presentan problemas en cuanto al cumplimiento de ciertos estándares, obtienen mejor percepción por parte de sus usuarios.

En términos generales los usuarios muestran algún grado de satisfacción con los parámetros referentes a confort acústico, calidad del aire y temperatura interior de sus viviendas; por el contrario respecto a la iluminación

IQE	Norma	Estandar	Vivienda 1			Vivienda 2			Vivienda 3											
			Area Social	Dormitorio	Espacio Semiabierto	Area Social	Dormitorio	Espacio Semiabierto	Area Social	Dormitorio	Espacio Semiabierto									
			N	P	N	P	N	P	N	P	N	P								
CHT	ISO7730, ASHRAE55	Temp: ~ 18°C - 26°C	±		±		±		+		+		+		±		±		-	
	ISO 7730 HR: 30%- 70%		±	2	+	2	±	-2	±	1	±	2	-	-1	+	1	+	3	±	3
	NEC-11	HR: 40%- 65%	±		±		±		±		±		-		±		±		-	
CAI	EN 15251	CO ₂ máx: 1150 ppm	+		±		+		+		+		+		+		+		+	
	ASHRAE 62.1, UNE 100011	CO ₂ máx: 1000 ppm	+	1	±	-1	+	-2	±	1	+	2	+	3	+	2	+	3	+	1
	NEC-11	CO ₂ máx: 650 ppm	+		±		+		±		+		+		+		+		+	
CV	NEC-11	FLD ≥ 3%	+		+		+		+		+		+		+		+		+	
	EVALUACION	FLD ≥ 2%	+		+		+		+		+		+		+		+		+	
	INEN 1152	Salas FLD ≥ 0,625% Dorm: 0,313%	+	1	+	0	+	2	+	2	+	1	+	3	+	1	+	-1	+	2
	EVALUACION	Salas 50-300 lux Dorm.100lux	+		+		+		+		+		+		+		+		+	
CA		Encuesta de percepción		1		3		2		3		3		2		2		2		2
				5		4		0		7		8		7		6		7		8

N: Valoración del cumplimiento de la norma, en donde **(+)** significa que cumple completamente; **(±)** que cumple uno de los rangos o excede los límites de manera puntual y **(-)** significa que no cumple la norma. **P:** Valoración subjetiva de percepción de confort en una escala de 7 grados, desde **(-3)** muy insatisfecho a **(+3)** muy satisfecho.
CHT: Confort higrotérmico, **CAI:** Calidad del aire interior, **CV:** Confort visual, **CA:** Confort acústico.

Tabla 9: Resumen de resultados obtenidos en mediciones y entrevistas de percepción.

Fuente: Elaboración Propia

natural reflejan mayor percepción de insatisfacción. Además, en los casos de estudio no se presentan valoraciones extremas de IEQ pues se cumplen de manera total o parcial los estándares establecidos. Esto podría estar asociado a las condiciones climáticas propias de Cuenca que no presenta fluctuaciones extremas.

4.1 Confort térmico

Se evidencia que la temperatura exterior media de las viviendas en el primer período de monitoreo es de 15,41°C y en el segundo período de 16,36°C. Con respecto a la temperatura interior media, en el primer monitoreo fue de 17,33°C en el área social, 18,07°C en el dormitorio y 17,23°C en el espacio semiabierto. En el segundo monitoreo se obtuvieron valores promedio de 18,96°C, 18,86°C y 18,34°C respectivamente. Se advierte que entre los dos períodos hay un incremento cercano a 1°C en la temperatura exterior, sin embargo, el promedio de mediciones interiores con respecto al exterior muestra un incremento de algo más de 2°C.

Si bien el incremento de temperatura entre períodos de medición resulta mínimo, la percepción de sensación térmica de los usuarios registra algunas variaciones, pues un 78% reporta que se encuentra satisfecho con la temperatura interior, mientras que un 22% percibe algún grado de insatisfacción.

Se determinó un valor de temperatura neutra $T_n=18,14^\circ\text{C}$ en la localidad, la misma que difiere con la T_n establecida en las normas internacionales (22°C) y en torno a la que se define un rango de confort (18°C-26°C), no obstante, esta investigación se limita a temperaturas interiores que fluctúan entre 15,64°C y 20,64°C como rango óptimo, considerando el 90% de usuarios satisfechos (PPD 10%). Esta diferencia de temperatura con respecto a la norma indica que el usuario está adaptado a una temperatura de confort menor como respuesta al clima andino propio de Cuenca.

Los valores de humedad relativa interior se mantuvieron en condiciones normales durante los períodos de

monitoreo, por lo que su influencia en el balance del confort higrotérmico general es despreciable para los habitantes. La HR media registrada es del 57,34% lo cual se ubica dentro de los estándares, sin embargo, se advierte una fluctuación entre mínimos y máximos entre el 22,95% y 80,37% en ambos períodos de monitoreo.

4.2 Calidad de aire interior

Se cumplen con las expectativas de percepción de calidad del aire interior por parte de los usuarios para todos los espacios, excepto en el dormitorio de la vivienda 1 donde se reporta un cierto grado de insatisfacción. De igual manera, en lo que respecta a las mediciones realizadas, todos los espacios se mantienen dentro de los límites establecidos por las normas, salvo el caso puntual del dormitorio de la vivienda 1 que en el primer período registró valores inusualmente bajos, y en el segundo, valores que son acordes al uso que se le da. Sin embargo, registra una concentración promedio de 1329 ppm, que está por encima de los estándares.

Los valores de CO₂ registrados en el área social promedian un valor de 138,36 ppm, mientras que en los dormitorios es de 316,27 ppm, valor más alto debido a que aumenta de forma significativa principalmente en horas de la noche. En contraste, el valor promedio de los espacios semiabiertos es de 19,20 ppm. Tomando en cuenta todos los valores máximos obtenidos, exceptuando valores de los espacios semiabiertos, puede establecerse como un valor óptimo de concentración de CO₂, 508,37 ppm para las condiciones locales.

4.3 Confort visual

La percepción de los usuarios con respecto al confort visual es mayormente positiva, debido a los espacios abiertos interiores, ya que facilitan el ingreso de luz. Sin embargo, en los dormitorios de las viviendas 1 y 3 se registraron percepciones indiferentes o negativas, empero se ha dado un proceso de adaptación por parte de los ocupantes a estas circunstancias particulares.

Con respecto a las mediciones, el estudio reveló que todos los espacios cumplen los estándares al presentar valores de factor luz día superiores al 3%. En lo que se refiere a los niveles de iluminación (lux), la media aritmética de los valores registrados en los espacios interiores cumple con los estándares (300Lux).

4.4 Confort acústico

Se analiza únicamente la percepción que manifiestan los usuarios con respecto al ruido como elemento que ocasiona insatisfacción y que proviene principalmente del tráfico que soporta el sector donde se ubican las viviendas. Sin embargo, la percepción general es positiva debido a que el ruido exterior difícilmente llega con fuerza a los espacios habitados, pues están a varios metros (>10m) de distancia de la calle.

4.5 Consumo energético

El promedio de consumo mensual de electricidad según el análisis de las viviendas estudiadas es de 158,33kWh,

esto da como resultado un valor de 3,65kWh/m²/año (tabla 8). Las mediciones reportan que el 91,5% del consumo eléctrico procede de la utilización de tomacorrientes. Por otra parte, el consumo promedio de iluminación representa un valor de 8,5%. Estos porcentajes dependen principalmente de los hábitos de uso de los usuarios de las viviendas.

En cuanto al consumo por tipo de electrodomésticos, el 53,98% corresponde al refrigerador, un 17,54% al televisor, el 9,64% a la combinación de computador fijo y computador portátil. Estos 3 juntos dan un porcentaje superior al 80% del consumo general de tomacorrientes. Por otra parte, el análisis de consumo en días laborables y fin de semana revela un leve incremento, pues se observa una media de 48,06% en un día laboral, y una media de 51,94% en fin de semana.

Ya se indicó anteriormente que la percepción general de los usuarios acerca del confort térmico es positiva. Esto se corrobora en el ámbito de consumo energético porque en ninguna de las viviendas se utiliza algún sistema de apoyo para mejorar la temperatura interior, ya sea calefacción o ventilación. Además, la percepción de confort visual refleja un grado de insatisfacción a los usuarios, lo que se podría traducir en un uso más intensivo de iluminación artificial interna. Sin embargo, el consumo promedio por iluminación representa un 8,5% del consumo general.

Para definir estándares en cuanto al consumo energético, en primera instancia se propone determinar el porcentaje de reducción del consumo de energía empleando estrategias de ahorro básicas como: sustitución de luminarias, uso eficiente y/o reemplazo de electrodomésticos y aprovechamiento de la luz natural. La sustitución de luminarias incandescentes por lámparas fluorescentes, ahorradores o led, suponen una reducción del consumo de hasta el 70% (Baquero, 2016). El reemplazo de los electrodomésticos que mayor consumo producen (refrigerador, lavadora, secadora, televisión, computador) por otros de similares características, pero de mayor eficiencia reportan ahorros promedio del 39,79%. El ahorro total aplicando estrategias básicas es del 42.34%.

La aplicación de estrategias de diseño bioclimático permite conseguir una reducción en el consumo eléctrico de hasta el 50 %. Y si a esto se suma la aplicación de tecnologías domóticas, y el uso de fuentes de energía renovable se puede lograr una reducción de hasta el 70% (Baquero, 2016). Además, el promedio de ahorro en la región es del 10 % y el consumo superior es de +70 %, mientras que el peor escenario es de +147 %.

4.6 Definición de propuesta para valores de eficiencia energética e IEQ.

En la tabla 10 se indica un resumen de los valores que se proponen para las viviendas residenciales patrimoniales del CHC en lo referente a eficiencia energética, mientras que, en la tabla 11 se indican los valores que se adoptan para cada aspecto que interviene en la IEQ.

	Promedio Mes kWh/mes	Promedio Año kWh/año	Estándar eficiencia energética %	Aplicación factores
A	47,50	570,00	-70%	Aplicación de domótica, energías renovables y diseño bioclimático
B	79,17	950,00	-50%	Aplicación de diseño bioclimático
C	91,30	1095,54	-42,34%	Aplicación de estrategias de ahorro básicas
D	142,50	1710,00	-10 %	Promedio de ahorro regional
E	158,33	1900,00	0 %	Línea base actual obtenido por mediciones
F	269,17	3230,00	+70 %	Consumo superior intermedio
G	391,08	4693,00	+ 147 %	Nula aplicación de criterios de ahorro. Peor escenario

Tabla 10: Propuesta de valores para el consumo energético.

Fuente: Elaboración Propia.

Aspecto	Unidad	Estándar
Temperatura confort Tn	°C	18,14
Rango confort 20% PPD	°C	14,64 – 21,64
Rango confort 10% PPD	°C	15,64 – 20,64
Humedad relativa	%	30-70
Concentración CO ₂	ppm	508.37
Factor luz día- FLD	%	≥ 3,00- < 5,00
Nivel de iluminación	lux	≥ 300

Tabla 11: Propuesta de valores para la calidad del ambiente interior de viviendas patrimoniales.

Fuente: Elaboración Propia

5. Conclusiones

Se observa la importancia de definir valores locales de confort para evaluar la calidad del ambiente interior y la eficiencia energética, valores que respondan a las características físicas y ambientales particulares de la ciudad, a las características sociales y culturales de los usuarios y a las características constructivas y tecnológicas de las viviendas.

Con respecto a la temperatura se pudo comprobar que se ha producido una suerte de adaptación por parte del usuario al clima predominante de la ciudad y a las variaciones de temperatura que se producen en el transcurso día-noche, sin embargo, se debe estudiar y considerar la aplicación de métodos de ganancia térmica y reducción de infiltraciones de aire, con el fin de conseguir mejores resultados y mejorar la satisfacción general de los usuarios.

Por su tipología arquitectónica, las viviendas estudiadas gozan de una adecuada iluminación natural en los espacios cercanos a los patios internos, sin embargo, se ven afectados otros debido a la insuficiente entrada de luz natural.

La calidad de aire interior registra datos de confort mejores que los estándares establecidos en las normas analizadas, debido principalmente a que el CHC aún no presenta índices elevados de contaminación, y a que las características propias de las viviendas patrimoniales permiten desarrollar métodos de ventilación y renovación de aire de forma natural debido a su tipología arquitectónica.

Se produjeron algunas variaciones entre los rangos de confort determinados en las normas y las condiciones locales, aunque se debe reconocer que todos los casos guardan concordancia. Sin embargo, estos resultados constituyen una primera aproximación.

El requerimiento de un nivel de confort local para el ambiente interior y eficiencia energética se puede convertir en una oportunidad para mejorar la calidad en la ejecución de las diferentes intervenciones, rehabilitaciones y restauraciones de edificaciones residenciales que se llevan a cabo en el Centro Histórico y de esta manera propender a su conservación y a mejorar la calidad de vida de sus ocupantes.

6. Agradecimientos

Se agradece a la Universidad de Cuenca y a su Dirección de Investigación DIUC por el financiamiento del proyecto de investigación: Certificación Edificio Sustentable y Seguro, del cual forma parte el presente estudio.

Cómo citar este artículo/How to cite this article: Espinoza, J., Quesada, F., Calle, A. y Ortiz, J. (2019). Estándares de sustentabilidad para viviendas patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca – Ecuador. *Estoia, Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 8(15), 65-78. doi:10.18537/est.v008.n015.a06.

Bibliografía

- ASHRAE 55-2010, S. (2013). Thermal Environment Conditions for Human Occupancy: www.ashrae.org.
- ASHRAE 55. (2010). ASHRAE 55-2010: Thermal Environment Conditions for Human Occupancy.
- ASHRAE 62.1. (2007). Ventilation for acceptable indoor air quality (Vol. 62.1): ANSI-ASHRAE.
- Baquero, M. T. (2016). *Eficiencia energética en el sector residencial de la ciudad de Cuenca, Ecuador*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- Barr, S., Gilg, A., y Ford, N. (2005). Defining the multi-dimensional aspects of household waste management: A study of reported behavior in Devon. *Resources Conservation & Recycling*, 172-192.
- Bayulken, B., y Huisingh, D. (2015). Perceived 'Quality of Life' in eco-developments and in conventional residential settings: an explorative study. *Journal of Cleaner Production*, 98, 253-262. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.10.096
- Brunsgaard, C., Heiselberg, P., Knudstrup, M.-A., y Larsen, T. S. (2012). Evaluation of the Indoor Environment of Comfort Houses: Qualitative and Quantitative Approaches. *Indoor and Built Environment*, 21(3), 432-451. doi: 10.1177/1420326x11431739
- Center for Built Environment, C. (2015). Occupant Indoor Environmental Quality (IEQ) Survey., from www.cbe.berkeley.edu/research/survey
- *Cuenca ciudad sostenible. Plan de acción: GAD Municipal del cantón Cuenca*. (2014). Quito, Ecuador: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Delgado, D. (2016). Balance Energético Nacional 2016: Año Base 2015 (p. 118). Ecuador: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- Dili, A. S., Naseer, M. A., y Varghese, T. Z. (2010). Passive environment control system of Kerala vernacular residential architecture for a comfortable indoor environment: A qualitative and quantitative analyses. *Energy and Buildings*, 42(6), 917-927. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.01.002
- Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea. (2018). Directiva (UE) 2018/844 del parlamento europeo y del consejo de 30 de mayo de 2018 *Texto pertinente a efectos del EEE*. Estrasburgo, Francia.
- Guillén, V., Quesada, F., López, M., Orellana, D., y Serrano, A. (2014). Eficiencia energética en edificaciones residenciales. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 4(7), 63-72.
- Gylling, G., Knudstrup, M.-A., Heiselberg, P. K., y Hansen, E. K. (2014). *Measuring sustainable homes - a Mixed Methods approach*. Paper presented at the Reflecting upon current themes in Architectural research, Detroit, Michigan.
- INEC, I. E. d. E. y. c. (Producer). (2015). Censo Nacional 2010. *Ecuador en Cifras*. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/
- ISO 7730. (2006). ISO 7730: Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730:2005).
- Kamaruzzaman, S. N., Egbu, C. O., Zawawi, E. M. A., Ali, A. S., y Che-Ani, A. I. (2011). The effect of indoor environmental quality on occupants' perception of performance: A case study of refurbished historic buildings in Malaysia. *Energy and Buildings*, 43(2), 407-413. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.10.003
- Laverge, J., Van Den Bossche, N., Heijmans, N., y Janssens, A. (2011). Energy saving potential and repercussions on indoor air quality of demand controlled residential ventilation strategies. *Building and Environment*, 46(7), 1497-1503. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.01.023
- Luxán, M. (2011). 01: Prólogo Margarita de Luxán Dra. Arquitecta, Catedrática U.P.M. Grupo de Investigación Arquitectura, Urbanismo y Sostenibilidad GIAU+S *Manual de Rehabilitación y Habilitación Eficiente en Edificación* (pp. 2-9). Valencia, España.
- Malmqvist, T. (2008). Environmental rating methods: selecting indoor environmental quality (IEQ) aspects and indicators. *Building Research & Information*, 36(5), 466-485. doi: 10.1080/09613210802075841
- Martínez-Molina, A., Tort-Ausina, I., Cho, S. y Vivancos, J.-L. (2016). Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 70-85. doi: 10.1016/j.rser.2016.03.018
- Martínez, P. (2010). *Usos finales de energía eléctrica y GLP en el cantón Cuenca: Escenarios al año 2015*. (Magíster en Gestión Tecnológica), Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Recuperado de http://dSPACE.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2616
- Molina, C., y Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de la Construcción*, 11, 27-38.
- NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Cap 13. Eficiencia Energética en la Cosntrucción de Ecuador. (2011). Quito, Ecuador.
- Nguyen, A.-T., Tran, Q.-B., Tran, D.-Q., y Reiter, S. (2011). An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam. *Building and Environment*, 46(10), 2088-2106. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.04.019
- Norma ISO 7730, N. I. (2006). *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730:2005)*.
- Quesada, F., y Trebilcock, M. (2015). *Desarrollo de un Método de Evaluación de la Calidad del Ambiente Interior para el Diseño de Viviendas Sustentables: Caso de estudio Región del Bío-Bío, Chile*. (PhD en Arquitectura y Urbanismo Tesis de Doctorado), Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Singh, M. K., Mahapatra, S., y Atreya, S. K. (2010). Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India. *Building and Environment*, 45(2), 320-329. doi: 10.1016/j.buildenv.2009.06.009
- Taleb, H. M., y Sharples, S. (2011). Developing sustainable residential buildings in Saudi Arabia: A case study. *Applied Energy*, 88(1), 383-391. doi: 10.1016/j.apenergy.2010.07.029
- UNE-EN 15251. (2008). Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido. (Vol. UNE-EN 15251). Madrid, España: AENOR.
- Zhai, Z., y Previtali, J. M. (2010). Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation. *Energy and Buildings*, 42(3), 357-365. doi: 10.1016/j.enbuild.2009.10.002