



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES, TERCERA COHORTE

Obtención de Estándares de Sustentabilidad para mejorar
la Eficiencia Energética y la Confortabilidad de las
Viviendas Patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca

Artículo científico previo a la
obtención del título de
“MAGISTER EN
CONSTRUCCIONES”

AUTOR:

JOSE LUIS ESPINOZA MOSQUERA
C.I. 0104514245

DIRECTOR:

JUAN FELIPE QUESADA MOLINA
C.I. 0102260148

CUENCA - ECUADOR
2018



Obtención de Estándares de Sustentabilidad para mejorar la Eficiencia Energética y la Confortabilidad de las Viviendas Patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca

José Luis Espinoza Mosquera

Afiliación: Maestría en Construcciones – Tercera Cohorte. Universidad de Cuenca. Cuenca - Ecuador.

jlemcarpediem@hotmail.com

Juan Felipe Quesada Molina

Afiliación: Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Cuenca. Cuenca – Ecuador.

felipe.quesada@ucuenca.edu.ec

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo general analizar los estándares de eficiencia energética y calidad del ambiente interior de las viviendas patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca, por lo que se consideran los siguientes factores: consumo de energía, temperatura, calidad del aire interior, iluminación natural y confort acústico. La metodología empleada es mixta, no experimental y de diseño longitudinal que involucra 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 los habitantes de 280 viviendas de Cuenca, para determinar los hábitos de consumo energético y las 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 analiza y evalúa los resultados obtenidos, finalmente se desarrolla una comparación de estos datos con los estándares de eficiencia energética y calidad del ambiente interior según las normas nacionales e internacionales.

Palabras claves

Eficiencia energética; Calidad del ambiente interior; Patrimonio; Edificaciones históricas; Vivienda.

Abstract

The present study focus in the analysis of the energy efficiency and indoor quality environment of the heritage houses inside of the city center of Cuenca, considering elements such as energy, temperature, indoor quality air, nature lightning and acoustic comfort. The method use for the study is a mixed investigation not experimental with linear design that involves variables quantitative and qualitative for the assessment of the environment and electric measuring and the comfort perception of the occupants of the housings. In the first stage it will be necessary to make a survey to 280 houses to establish the energetic habits and the conditions of indoor environment. The second stage will take the monitor of the energetic and environment variables of three houses with heritage characteristics using measuring sensors, simulations and perception survey. Afterwards it will be analyzed and evaluated the obtain results and make a comparison of the energy efficacy standards and indoor quality environment through the national and international norms according with the type of housing.

Keyword

Energy efficiency; Indoor quality environment; Heritage; Historic buildings; House.



Contenido

Resumen	2
Abstract.....	2
Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional.....	4
Cláusula de Propiedad Intelectual.....	5
1.INTRODUCCIÓN	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS	9
3. RESULTADOS.....	14
4. DISCUSIÓN	22
5. CONCLUSIONES	25
AGRADECIMIENTO	25
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	26



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

José Luis Espinoza Mosquera en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del artículo científico "Obtención de Estándares de Sustentabilidad para mejorar la Eficiencia Energética y la Confortabilidad de las Viviendas Patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 27 de Abril del 2018

José Luis Espinoza Mosquera

C.I.:0104514245



Cláusula de Propiedad Intelectual

Cláusula de Propiedad Intelectual

José Luis Espinoza Mosquera, autor del artículo científico "Obtención de estándares de sustentabilidad para mejorar la eficiencia energética y la confortabilidad de las viviendas patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 27 de Abril del 2018

José Luis Espinoza Mosquera

C.I.:0104514245



1. INTRODUCCIÓN

El incremento en el consumo de recursos energéticos es uno de los mayores problemas que aquejan a la sociedad actual. Hoy en día, la "sociedad del bienestar" (Weber Saint-Gobain, 2011, p. 15) utiliza mayoritariamente fuentes primarias no renovables para producir energía, en particular combustibles fósiles como: el petróleo, el carbón mineral y gas natural que son generadores de grandes emisiones de CO₂ al ambiente, uno de los principales gases responsables del calentamiento global (Muñoz, 2013). "Los países ricos y desarrollados son los máximos consumidores de energía para satisfacer sus necesidades. Sin embargo, la tendencia está cambiando, los países en vías de desarrollo se convertirán en los máximos consumidores de energía debido a los aumentos de población que están experimentando y al crecimiento de sus economías" (Weber Saint-Gobain, 2011, p. 15).

La producción energética en Ecuador 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. En el año 2009 las emisiones de CO₂ per cápita fueron de 2,42ton, con una tendencia a la alza que llegará a un +89% para el 2050. (BID, 2014).

Ante esta situación, se podría decir que existe una creciente toma de conciencia a nivel mundial respecto a la urgente necesidad de transformar el modo en que se usa la energía, llevando a que muchos países pongan un mayor énfasis en el desarrollo de políticas y medidas que promuevan la eficiencia energética (International Energy Agency, 2015). 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 en el año 2007 la Unión Europea trazó como objetivo de ahorro del 20% de su consumo de energía para el año 2020 (Weber Saint-Gobain, 2011).

Estudios señalan que el sector de la construcción es uno de los mayores consumidores de energía nivel mundial, ya que consume alrededor del 40% de la energía primaria y es el responsable del 40% de emisiones de CO₂, además consume alrededor del 16% de agua dulce y el 25% de la madera de los bosques (Guillén & Quesada, 2014). En el caso de Ecuador, según el Balance Energético Nacional (2013), el sector residencial es el tercer consumidor de recursos energéticos, después del sector de transporte y del sector industrial. Los principales recursos que consume el sector residencial son: gas licuado de petróleo (GLP), con un 58,5%, y electricidad, con un 28,4%, lo restante proviene de otros recursos. Estos valores registran un incremento promedio anual del 2.5% y 5.1% respectivamente. En el 2012, el sector residencial consumió 942.062 miles kg de GLP y 5.624 GWh de electricidad (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013).

Alcanzar estándares eficientes de consumo en el sector residencial, a través de criterios de eficiencia energética, es una

estrategia que permite contrarrestar la crisis energética. La Agencia Internacional de Energía (IEA) define la eficiencia energética como aquella que busca ofrecer más servicios con la misma entrada de energía, o los mismos servicios por menos consumo de energía (Guillén V. , Quesada, López, Orellana, & Serrano, 2014).

Sin embargo, es importante que en la búsqueda por reducir el consumo energético y las emisiones de contaminantes al ambiente no afecten las condiciones de Calidad de Ambiente Interior (IEQ) en las edificaciones, sobre todo en las residenciales, para que las viviendas cubran las necesidades de habitar de las personas, así como los objetivos ambientales en condiciones óptimas de confort.

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. Si a esto se considera el costo energético del derribo y abatimiento de los residuos producidos por la construcción, se inclina aún más el balance a favor de la rehabilitación (Weber Saint-Gobain, 2011). 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" (Luxan, 2011, p. 7) y, por tanto: "no hay edificio más sostenible que el que ya está edificado. La conservación y aprovechamiento de cualquier estructura preexistente, sin importar su tamaño o época de construcción, siempre conllevará un ahorro energético y material" (Guerrero, 2015, p. 77).

A pesar del crecimiento y desarrollo inmobiliario, existe un gran número de inmuebles que conforman un preexistente residencial con potencial a ser mantenido, mejorado y/o rehabilitado y que incluso puede ser considerado como un recurso no renovable (Guerrero, 2015). En este grupo se encuentra una categoría de importancia que, más allá de su valor de uso o valor económico, posee un valor patrimonial (Rivera, 2012). La correcta gestión del patrimonio cultural arquitectónico es esencial en el contexto del desarrollo sostenible, la reducción de la contaminación y el consumo de recursos materiales más racionales (Elizondo & Esparza, 2016). Desde esta óptica, la sustentabilidad dirigida a la conservación del patrimonio edificado es importante, ya que promueve la utilización de edificaciones patrimoniales de manera óptima y cubre las necesidades de habitabilidad actual, mediante la revitalización de esas estructuras arquitectónicas que facilita la pervivencia del patrimonio edificado, y, por lo tanto, crea condiciones hacia su propia sustentabilidad.

La adaptación de los inmuebles a las necesidades habitacionales actuales representa dificultades y provoca, en muchos casos, el cambio de uso de los mismos o, incluso su

abandono, creando una problemática entre el uso y la habitabilidad del patrimonio edificado. Es aquí en donde la sustentabilidad plantea un gran desafío: probar que el patrimonio edificado ha sido sustentable en el pasado y puede seguir siéndolo en el presente y el futuro. Es decir, el reto de la sustentabilidad es llegar al equilibrio entre el respeto de la historia y los valores patrimoniales de los inmuebles, el uso adecuado por parte del habitante y el aprovechamiento eficiente, sin comprometer su habitabilidad para las futuras generaciones, ansiosas de conocer su historia (Elizondo & Esparza, 2016).

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.

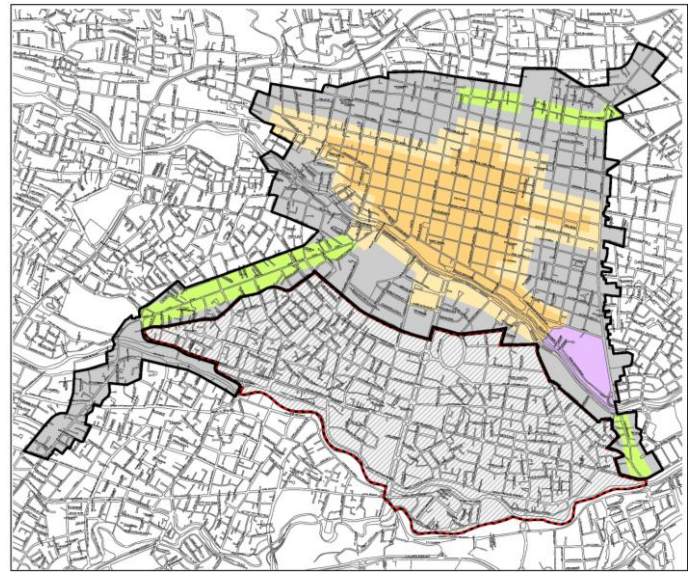
Sobre esta base, el presente estudio se enmarca dentro del proyecto de investigación denominado “Método de Certificación de la Construcción Sustentable de Viviendas”, que es impulsado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) y cuyo objetivo es la obtención de indicadores de sustentabilidad referentes a las viviendas de la ciudad de Cuenca, para calificar la calidad de los proyectos y la certificación de sus futuros desempeños. En este marco, se establecen parámetros, criterios e indicadores de eficiencia energética y confortabilidad en las edificaciones de la ciudad, y, ante la gran cantidad de patrimonio edificado del Centro Histórico de Cuenca (CHC), la presente investigación se centra en la obtención de estándares de sustentabilidad para mejorar la eficiencia energética y la confortabilidad de las viviendas patrimoniales del CHC con objeto de evaluar sus características y su calificación energética.

La obtención de estos parámetros permite conocer estándares válidos al momento de evaluar las condiciones de confort en las edificaciones patrimoniales, ya que éstas se caracterizan por: estar construidas a través de sistemas constructivos tradicionales, poseer una tipología arquitectónica singular y respetar sus valores patrimoniales al momento de intervenirlas. Las características antes descritas distinguen a las edificaciones patrimoniales del resto de construcciones de la ciudad.

1.1. Delimitación

El CHC fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 1999 (UNESCO, 2017). Su límite actual fue establecido por el GAD Municipal en el año 2010, por medio de la Ordenanza para la Gestión y Conservación de las Áreas Históricas y Patrimoniales, y abarca un área de 482,25 hectáreas, divididas en 492 manzanas que albergan 9932 predios. Esta área corresponde al 6,53% del límite urbano de la ciudad de Cuenca (Municipalidad de Cuenca, 2011).

Figura 01: Delimitación del Centro Histórico de Cuenca.



Del total de predios de esta área, el 34,03% poseen edificaciones con algún grado de valoración patrimonial (Municipio de Cuenca, 2011) que se caracterizan por ser muestras de arquitectura popular o vernácula. De acuerdo a los datos de inventario a nivel de registro de la Municipalidad de Cuenca (2010), del total de edificaciones, el 43,2% corresponde a fachadas de adobe y el 18,2% tiene como estructura muros de adobe (Achig & Zuñiga, 2013). En cuanto al estado de conservación, el 53,6% de los inmuebles patrimoniales se encuentra en buen estado de conservación, el 32,2% en estado regular y el 14,1% en mal estado de conservación (Municipio de Cuenca, 2011).

El CHC constituye el área mejor abastecida de servicios públicos y equipamientos en la ciudad, la cobertura de servicios básicos alcanza el 100% (Municipio de Cuenca, 2011).

El CHC alberga un total de 60173 habitantes, que representa el 18,13% de la población total de la ciudad, con una tendencia de decrecimiento poblacional negativa del -2,26% anual (Municipio de Cuenca, 2017). Este fenómeno se debe al proceso de despoblamiento que ha venido enfrentando esta área en las últimas décadas. Los principales factores que afectan la calidad de vida de los habitantes del CHC son: ruidos molestos, con el 20%, calidad de aire, con 15%, seguridad ciudadana, 14%, cambio climático, 10%, ingresos insuficientes, 9% y calidad de la vivienda, 4% (BID, 2014). En esta misma línea, y según estudios realizados por el GAD Municipal (2010), al 66% de la población de la ciudad no está interesada en vivir en el CHC, debido a factores como: ruido, con un 40%, tráfico, 27%, contaminación, 10%, intranquilidad, 8%, alto costo del suelo, 7%, inseguridad, 7%, disminución de la vivienda, 3%, escasez de áreas verdes, 1%, entre otros (Municipio de Cuenca, 2011). Varios de estos aspectos se encuentran directamente relacionados con la calidad del ambiente interior de las viviendas y sus condiciones de confortabilidad.



Mientras el CHC sufre un proceso de abandono de la vivienda, Cuenca crece rápidamente a un ritmo del 4.2% anual y se expande de una manera muy dispersa y desordenada, ocupando mucho espacio (BID, 2014). Sin embargo, se ha determinado que el 52% del área que rodea la ciudad está afectada por algún tipo de limitante, ya sea geográfico o legal que impide el crecimiento y, por lo tanto, se considera como territorio que debería ser protegido del proceso de urbanización (BID, 2014). En este contexto surge la importancia de trabajar en estrategias para la densificación de la ciudad, empezando por su núcleo central y aprovechar las características y cualidades que esta zona ya posee.

1.2. Eficiencia energética

En el país no se tiene establecido un sistema de certificación o de indicadores de mínimo consumo energético, sin embargo, desde el 2007, mediante Decreto Ejecutivo No.451A, se han determinado incentivos a través de subsidios a consumos energéticos a usuarios residenciales, cuyos consumos mensuales sean inferiores a 110kWh en la región Sierra y 130kWh en la Costa, Oriente y región Insular. También existe un subsidio del 50% para los ciudadanos de la tercera edad, siempre que no excedan los 120kWh (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016).

El Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) ha emitido la Norma NTE INEN 2506, sobre la que se basa la NEC-11, Capítulo 13: Eficiencia Energética en la construcción. Esta norma indica una serie de criterios acerca de factores, tales como: confort lumínico, consideraciones y exigencias del diseño, gestión de energía, limitaciones de la demanda energética, eficiencia de las instalaciones activas y de iluminación (MIDUVI, NEC-11, 2011).

Sin embargo, a nivel internacional existen métodos de evaluación de eficiencia energética, entre estos se encuentran: BREEAM, LEED, CASBEE, VERDE, QUALITEL, siendo BREEAM y LEED los que mayor importancia dan a la eficiencia energética (Quesada, 2014). No obstante, en países europeos no existe la exigencia de implementar estrategias de eficiencia energética en edificios patrimoniales, la Directiva 2012/27/UE incide sobre todos los edificios exceptuando los patrimoniales; a pesar de ello se está extendiendo progresivamente por Europa la opinión de que los edificios patrimoniales no pueden quedar al margen de la voluntad de adecuación a la sostenibilidad energética, lo que a menudo supone un conflicto entre los procedimientos contemporáneos para resolver estos requerimientos y la conservación de los valores patrimoniales. (González, Dotor, Morros, Olona, & Onecha, 2013)

1.3. Calidad del ambiente interior (IEQ)

La percepción de confort y la IEQ están estrechamente relacionados. La evaluación involucra: confort higrotérmico, calidad del aire interior, confort visual y confort auditivo

(Clausen & Wyon, 2008). LEED y BREEAM incorporan en sus evaluaciones parámetros relacionados con la IEQ, los mismos que aportan con un puntaje específico para contribuir con la valoración final (Kamaruzzaman S. , Egbu, Zawawi, Ali, & Che-Ani, 2011). Los métodos de evaluación proporcionan indicadores cuantitativos de desempeño para determinar el rendimiento de un edificio (Quesada, 2014), sin embargo, deben complementarse con indicadores cualitativos para obtener una visión más clara y adaptada al medio (Bustillos, 2017).

El confort higrotérmico se fundamenta en la ecuación del balance térmico de Fanger, representado en una escala de sensación térmica (°C) que va desde el nivel muy frío (-3) a muy caliente (+3) (Fanger, 1970), y la aplicación de tres variables principales: vestimenta, metabolismo y ambiente (Fanger, 1973). Con este modelo se puede desarrollar indicadores como: Voto Medio Previsto (PMV) y Porcentaje Previsto de Personas Insatisfechas (PPD) (Lai, Mui, Wong, & Law, 2009). El método adaptativo es una evolución de los estudios de Fanger, el que considera la interacción del usuario y su adaptación con el ambiente externo (Nicol & Humphreys, 2002). Varios estudios mencionan que el uso del método adaptativo trae consigo muchas ventajas para determinar límites más cercanos a la percepción de los usuarios (Singh, Mahapatra, & Teller, 2015; Nicol, 2004; Corngati, Filippi, & Viazzo, 2007). Los parámetros de confort higrotérmico se encuentran en la Norma ISO 7730, que establece un rango medio entre 22 y 24°C con $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ de variación (Norma ISO 7730, 2006), también se establece rangos de temperatura en las Normas ASHRAE 55 y EN15251 (ASHRAE 55-2010, 2013; Norma UNE 15251, 2008). La humedad relativa es un elemento que condiciona la temperatura y la calidad de aire interior (Bustillos, 2017).

La calidad del aire interior está basada en el análisis de la concentración de CO₂ en el ambiente. Un nivel aceptable es una concentración máxima de 1000ppm al interior o 650ppm con respecto al CO₂ del ambiente exterior (ASHRAE 62.1-2007, 2007). El confort visual se relaciona directamente con el nivel de iluminación interior, la distribución espacial y el deslumbramiento (Gylling, Knudstrup, Heiselberg, & Hansen, 2011); las normas mencionan que un porcentaje del 2-3% es aceptable para el Factor Luz Día (FLD) al interior de los espacios y un nivel de iluminación de 100lux en salas de estar (Norma UNE 12464-1, 2003) y entre 50 y 300lux en dormitorios (Quesada & Trebilcock, 2015).

Varias investigaciones respecto a la eficiencia energética y al IEQ han llegado a concluir que se debe adaptar o validar los estándares internacionales al medio local, ya que las condiciones varían según el lugar y el tiempo. Chappels y Shove (2005) mencionan: “personas de diferentes culturas manejan, valoran, mantienen condiciones interiores e interpretaciones de la comodidad muy diferentes”. En la tabla 01 se establecen los principales indicadores para en análisis de la IEQ.

Tabla 01: Estándares establecidos según normas nacionales e internacionales para la Calidad del Ambiente Interior.

IEQ	Norma	Categoría	Indicador
Confort higrotérmico	NEC-11, 2011	estándar	Temperatura mínima: 18°C Temperatura máxima: 26°C
	ASHRAE 55	PPD 20%	Temp. invierno: $T_n: 22^\circ\text{C}$ (var. 3.5°C) Temp. Verano: $T_n: 17,08^\circ\text{C} + 0,31T_m$ (var. 3.5°C)
		PPD 10%	Temp. Invierno: $T_n: 22^\circ\text{C}$ (var. 2.5°C) Temp. Verano: $T_n: 17,08^\circ\text{C} + 0,31T_m$ (var. 2.5°C)
	ISO 7730	PPD 20%	Temp. Invierno: $T_n: 22^\circ\text{C}$ (var. 3.5°C) Temp. Verano: $T_n: 24^\circ\text{C}$ (var. 3.5°C)
		PPD 10%	Temp. Invierno: $T_n: 22^\circ\text{C}$ (var. 23.5°C) Temp. Verano: $T_n: 24^\circ\text{C}$ (var. 32.5°C)
	EN 15251	PPD 20%	$T_n: 18,8^\circ\text{C} + 0,33 T_{m7}$ (var. $3,0^\circ\text{C}$)
		PPD 10%	$T_n: 18,8^\circ\text{C} + 0,33 T_{m7}$ (var. $2,0^\circ\text{C}$)
	NEC-11, 2011	estándar	Velocidad del aire: rango de 0,05 – 0,15m/s Humedad relativa: rango de 40 – 65%
	ISO 7730	estándar	Velocidad del aire: rango de 0,00 – 1,00m/s Humedad relativa: rango del 30 – 70%
	Calidad de aire	NEC-11, 2011	estándar
ASHRAE 62.1, 2007		estándar	Concentración CO ₂ : máx. 1000ppm al interior ó 650ppm sobre CO ₂ del exterior
EN 15251, 2007		I	Concentración CO ₂ : 350ppm sobre CO ₂ del exterior
		II	Concentración CO ₂ : 500ppm sobre CO ₂ del exterior
	III	Concentración CO ₂ : 800ppm sobre CO ₂ del exterior	
Confort visual	UNE-EN-12464-1	estándar	Nivel de iluminación. Salas 100lux
	NEC-11	estándar	FLD interiores $\geq 3\%$
	Quesada, Trebilcock, 2015	estándar	FLD interiores $\geq 2\%$
		estándar	Nivel de iluminación. dormitorios 100lux sala/comedor 50-300lux

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Metodología aplicada

En esta etapa se realizó una revisión bibliográfica de fuentes documentales, artículos científicos, estudios, normativas, legislación y métodos de evaluación relativos al IEQ y eficiencia energética, por ello se decidió utilizar una metodología que posee una estrategia de diseño multidimensional, la que generalmente involucra una variedad de enfoques cuantitativos y cualitativos (Quesada, 2015). En la actualidad es común que, además de las mediciones de campo y las opiniones de expertos, exista una retroalimentación por parte de los ocupantes de las viviendas para hacer una evaluación integral (Kamaruzzaman S. , 2010), en ese contexto, el enfoque cualitativo viene dado por la realización de encuestas y entrevistas aplicadas a los diferentes usuarios/ocupantes de las viviendas acerca de sus experiencias.

La IEQ de las viviendas se evaluó por mediciones in situ y toma de datos cuantitativos, en cambio, la percepción de sus ocupantes se analizó por medio de entrevistas en relación a sus

experiencias de confort, de esta manera, se obtienen dos tipos de conocimiento acerca del mismo tema. La combinación de esta información proporciona una visión holística del ambiente interior. (Brunsgaard, Heiselberg, Knudstrup, & Larsen, 2011). Existen algunas investigaciones previas que aplican esta metodología (Gylling, Knudstrup, Heiselberg, & Hansen, 2011) (Kamaruzzaman S. , Egbu, Zawawi, Ali, & Che-Ani, 2011).

Los indicadores referentes a eficiencia energética de las viviendas se evaluaron por metodologías cuantitativas, en las cuales se ejecutó la recolección de datos in situ que indicaron cuál es el consumo energético de las viviendas; por otra parte, también se empleó metodología cualitativa, la que trata de indicar el por qué mediante encuestas a los usuarios. (Brunsgaard, Heiselberg, Knudstrup, & Larsen, 2011).

El diseño metodológico fue de tipo no experimental longitudinal. La investigación se desarrolló en varias etapas, los datos obtenidos se evaluaron para definir estándares de confort locales, por medio de un estudio comparativo. Un resumen de esquema metodológico utilizado se muestra en la tabla 02.

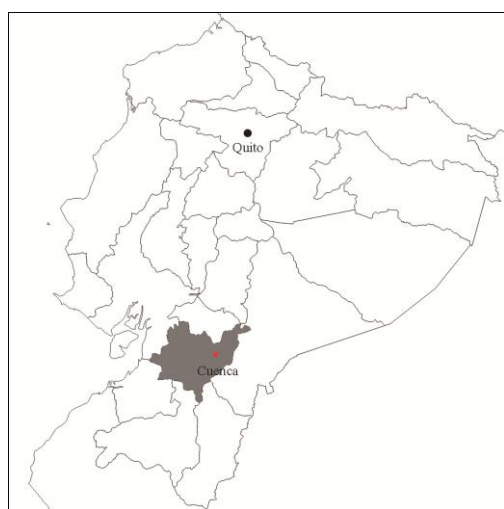
Figura 02: Esquema metodológico utilizado en la investigación.

Etapa	Objetivos	Herramientas	Resultados
Estado de Arte	Identificar los métodos de evaluación energética y certificación de viviendas patrimoniales, analizar los estándares de sostenibilidad y las condiciones de confort idóneas para las viviendas patrimoniales del CHC.	Revisión Bibliográfica - Artículos científicos - Estudios, estándares - Normativas y legislación - Métodos de evaluación	Determinación de las metodologías y herramientas a utilizar
Casos de Estudio	Identificar y analizar la demanda energética, las condiciones de calidad del ambiente interior y la percepción de los usuarios de las viviendas patrimoniales del CHC mediante análisis cuantitativos y cualitativos	- Medición de variables ambientales. - Medición de consumo energético real. - Aplicación de encuestas - Levantamientos y simulaciones.	Situación actual de la Calidad del Ambiente Interior y Eficiencia Energética en las viviendas del CHC.
Evaluación	Definir los indicadores que intervienen en el confort interior y eficiencia energética de las viviendas patrimoniales del CHC.	- Aplicación de métodos de evaluación de confort interior y eficiencia energética. - Aplicación de estándares locales, nacionales e internacionales.	Indicadores de confort térmico, calidad del aire interior, confort visual, confort acústico.
Propuesta	Determinar los estándares de eficiencia energética y calidad del ambiente interior para las viviendas patrimoniales del CHC.	- Estudio comparativo de condiciones físicas y percepción de usuarios.	Estándares de confort y eficiencia energética para las viviendas del CHC.

2.2. Materiales

Este estudio se llevó a cabo en la ciudad de Cuenca, Ecuador (figura 02), ubicada en la Cordillera de los Andes a una altura promedio de 2550msnm. Sus coordenadas geográficas en el sistema UTM son 17M-721817E-9679544S. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011, Cuenca se encuentra ubicada en la zona térmica 3 (ZT3) con un rango de temperatura de 14 a 18°C (MIDUVI, NEC-11, 2011).

Figura 02: Ubicación geográfica de la ciudad de Cuenca.



Los meses que registran temperaturas más bajas son: julio, agosto y septiembre, donde las temperaturas promedio alcanzan de 14 – 14.8°C, los meses cálidos son: enero, febrero y marzo con temperaturas promedio de 16.8 – 17.5°C. La humedad relativa anual fluctúa entre 52.5 y 66.8%, siendo junio el mes de registro más alto y noviembre el que presenta los promedios más bajos. El promedio anual de precipitaciones es de 69,98

mm/m², siendo los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo los que presentan mayores precipitaciones promedio 163.5mm/mes, y junio, agosto y septiembre los menores promedios 24.3mm/mes (Heras & Orellana, 2016). La dirección predominante de los vientos es al noreste y la velocidad promedio es de 9,29 km/h. Las horas de heliofanía registra porcentajes variables entre el 33% y 45 %, la radiación solar está cerca de los 4.350 Wh/m²/día y la nubosidad promedio mensual está entre 6 y 7 octavas. (Baquero M. T., 2013)

2.3. Etapa 1. Encuesta al sector residencial de Cuenca

Se aplicó una encuesta a los usuarios de 280 viviendas distribuidas en toda la zona urbana de Cuenca, 54 ubicadas dentro del área correspondiente al CHC (figura 03). 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 Huisinigh (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 interrogantes permitieron obtener datos cuantitativos sobre variables cualitativas de percepción de confort interior (iluminación, temperatura, confort auditivo, calidad de aire).

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

Figura 03: Distribución de las viviendas encuestadas, viviendas monitoreadas y estaciones meteorológicas en Cuenca.

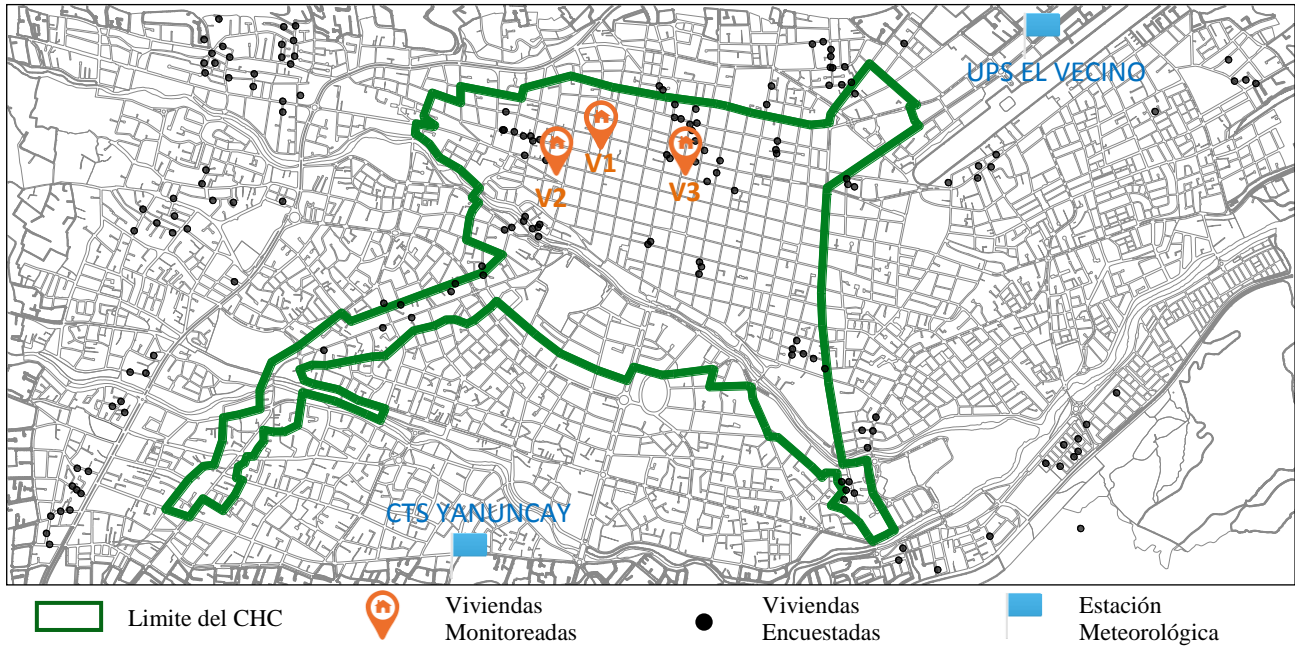


Figura 04: Viviendas seleccionadas para el monitoreo. (a)(b) Vivienda 1. (c)(d) Vivienda 2. (e)(f) Vivienda 3.



Tabla 03: Principales características de las viviendas seleccionadas para el monitoreo.

Vivienda	Nombre	Dirección	Orientación	Valoración	Antigüedad	Pisos	Área	Monitoreos
1	Casa Berzeueta	Gran Colombia 11-90	F: sur O: sur - norte	Valor VAR B	~ 60 – 80	2	632 m ²	AS: Comedor AD: Dormitorio ES: Sala de estar
2	Casa Benenaula	Simón Bolívar 13-28	F: sur O: sur - norte	Valor Ambiental (A)	~ 60 – 80	2	534 m ²	AS: Sala/Comedor AD: Dormitorio ES: Pasillo
3	Casa Villacís	Presidente Borrero 12-58	F: oeste O: oeste- este	Valor VAR A	>100	1	400 m ²	AS: Sala/Comedor AD: Dormitorio ES: Portal

F: Orientación fachada principal, O: Orientación del predio, AS: Área social, AD: Área de descanso, ES: Espacio semiabierto



2.4. Etapa 2. Casos de Estudio

En esta etapa se llevó a cabo el análisis de casos específicos. Otros estudios han centrado su análisis en una sola vivienda (Dili et al., 2010; Laverge et al., 2011; Taleb and Sharples, 2011), no obstante, autores como Brunsgaard, Heiselberg, Knudstrup, y Larsen (2011) y Molina y 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 CHC (figura 04), 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.

2.4.1. 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 observa similitudes en su tipología arquitectónica (lotes angostos desarrollados a través de patios) y materiales constructivos tradicionales propios de la región (adobe, bahareque, madera, teja). Esto ocurre debido a que las influencias republicanas de finales del siglo XIX e inicios del siglo XX se manifestaron principalmente en cambios en las fachadas de las edificaciones, conservándose sus características interiores.

a) Vivienda 1

Edificación vernácula de dos plantas desarrollados 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, entresijos y estructura de la cubierta, así como en sus carpinterías (ventanas, balaustres y puertas). La cubierta se encuentra revestida con teja artesanal. En 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 (figura 4a - 4b).

b) Vivienda 2

Constituye un ejemplo de la 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 el centro de la fachada. Actualmente cuenta con un zócalo de piedra natural. Los espacios interiores se desarrollan en torno a dos patios interiores y una huerta en la parte posterior. En ingreso se lo realiza por un zaguán lateral que comunica con el patio principal. Los muros son de adobe y bahareque, la carpintería es de madera y su cubierta es de teja (figura 4c - 4d).

c) Vivienda 3

El inmueble constituye un ejemplo de la arquitectura vernácula cuencana con influencia colonial. La escala y proporciones de su modesta fachada son claramente menores a las analizadas anteriormente y su carácter introvertido se manifiesta a través del uso mínimo de puertas y 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 se ubican 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 (figura 4e - 4f).

2.4.2. Mediciones cuantitativas

Para obtener información acerca de la IEQ se realizaron monitoreos a cada vivienda durante dos épocas en el año, correspondientes a los meses más fríos y calurosos. Los datos obtenidos fueron recopilados en una ficha de monitoreo ambiental para cada caso según el periodo de registro. En la tabla 03 se indican las características de cada vivienda seleccionada para el monitoreo.

Se instalaron 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 metros desde el suelo. Estos equipos fueron programados para registrar medidas continuas cada cinco minutos por el lapso de 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 para el mismo período de tiempo. Los equipos utilizados están descritos en la Tabla 04 y Figura 05.

Para obtener información acerca de la eficiencia energética de las viviendas, se realizó monitoreos conjuntamente en el mismo período que las mediciones de ambiente interior. Los datos obtenidos fueron recopilados en una ficha de monitoreo ambiental para cada caso. En cada vivienda se instalaron equipos contadores instantáneos de electricidad para la medición del consumo energético. 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 los circuitos de tomacorrientes de la caja de distribución de electricidad, esto con el fin de diferenciar del consumo por iluminación. Se realizó una comparación con las planillas de electricidad y el historial anual de consumo para contar con información integral acerca del uso de electricidad.

2.4.3. Mediciones cualitativas

Conjuntamente con el monitoreo de la variables ambientales y eléctricas, se realizó encuestas sobre percepción del ambiente interior a los jefes de hogar de cada vivienda estudiada. La encuesta presentó preguntas abiertas y de opción múltiple, en las que el entrevistado podía dar su opinión respecto a los temas analizados, esta encuesta se basó en la que emplea el Center for Built Environment de la Universidad de Berkeley (2015).

Para analizar el confort térmico se realizó una entrevista aplicada a los usuarios mayores de edad, durante los dos períodos de monitoreo. Esta entrevista se basa en "E1.Thermal Environment Point-In-Time Survey" que se indica en la Norma ASHRAE 55-2010 (2013). 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". Con los resultados obtenidos se elaboró fichas de confort térmico.

2.4.4. Levantamientos y simulaciones

Se realizó los levantamientos arquitectónicos de las viviendas, con el fin de determinar la tipología arquitectónica, la concepción estructural, la tecnología utilizada en la construcción, la concepción funcional y el porcentaje de vanos de puertas-ventanas.

También se realizó simulaciones en el software de Diseño de Construcción Sustentable Ecotect Analisis de Autodesk 2011, basado en el Método de las Admitancias, desarrollado por el Chatered Institute of Building Service Engineers (CIBSE), con lo cual se pudo obtener parámetros FLD y niveles de iluminación usando grillas de análisis.

2.5. Evaluación

Confort higrotérmico: Para aplicar el método adaptativo se verificó el cumplimiento de los requerimientos de las normas, previo a la determinación de la temperatura neutra (Tn). Para determinar el cumplimiento de la Norma ISO 7730 (2006) se estableció que la temperatura seca del aire fluctúe entre los 10 y 30°C, la actividad metabólica de 0,8 a 4,0met y el grado de vestimenta de 0 a 2clot. En cambio, para la Norma UNE 15251 (2008) se estableció otros datos que deben cumplirse con las condiciones de actividades sedentarias: de 1 a 1,3met, acceso a ventanas abatibles y que los usuarios puedan adaptar su vestimenta, de acuerdo a las condiciones ambientales del interior y exterior.

Tabla 04: Características de los equipos utilizados para el monitoreo de variables ambientales y el consumo energético.

Instrumento	Características	Datos
Caja de integración y procesamiento	Marca: Datalights Modelo: DL-Logger2015-mR	----
Sensor de Humedad relativa	Marca: Omega Modelo: HX71-V1	Humedad relativa del aire, HR %
Sensor de temperatura	Marca: Apogee Modelo: ST-100	Temperatura del aire, °C
Piranómetro	Marca: Apogee Modelo: Sp-212	Nivel de Radiación, W/m ²
Sensor de dióxido de carbono	Marca: Vernier Modelo: Carbondioxide gas sensor	Concentración de CO ₂ , ppm
Sensores de electricidad	Marca: Efergy Modelo: e2 Classic	Frecuencia: 433.5 MHz Intervalo transmisión: 6 - 18 seg. Precisión: > 90%

Figura 05: Equipos de monitoreo ambiental y cuantificación energética instalados en las viviendas estudiadas: (a)Caja de integración y procesamiento. (b) Sensores de humedad relativa, temperatura, radiación, concentración de CO₂. (c) Monitor inalámbrico y transmisor. (d) Transmisor y sensor de electricidad.



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.

Calidad del aire interior: Se evaluó mediante el registro continuo obtenido a través las mediciones de concentración de dióxido de carbono CO_2 . Los resultados se compararon con los índices de satisfacción de las encuestas realizadas y los niveles máximos de concentración de CO_2 que se establecen en diferentes normativas internacionales (ASHRAE 62.1-2007, 2007) y nacionales (MIDUVI, NEC-11, 2011).

Confort visual: Los factores de iluminación natural y deslumbramiento se analizaron en base a 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 a través de las simulaciones realizadas, y por medio de la percepción de confort de los ocupantes encuestados.

Confort auditivo: Por medio de las encuestas se determinó la percepción de los usuarios.

3. RESULTADOS

3.1. Resultados de encuestas al sector residencial

La aplicación de la encuesta general determinó los siguientes resultados:

IEQ y percepción de confort:

- El 65,6% de los usuarios menciona que ventilan la vivienda por medio de la apertura de ventanas, el 33,1% afirma que lo hace por medio de la apertura de puertas.
- El 92,5% de los usuarios aprovecha la luz natural exterior mediante la apertura cortinas. El 41,0% menciona que los ambientes de sus viviendas están correctamente iluminados.
- El 98,0% de viviendas no cuentan con sistemas de calefacción, el 87,0% considera que no es necesaria la implementación de un sistema de calefacción.
- El 65,0% de los usuarios considera que la temperatura interior de su vivienda es confortable. El 30,0% considera que tiende a ser fría y el 5,0% la considera calurosa.
- El 80,0% de los usuarios menciona que la calidad del ambiente interior de su vivienda es correcta.
- El 38,0% de los usuarios afirman que perciben molestos ruidos provenientes del exterior, el 28,0% menciona en cambio que perciben ruidos provenientes de departamentos o viviendas vecinas.

- El 41,0% de los usuarios considera que la vivienda no cumple con sus expectativas en cuanto a la disponibilidad de iluminación natural.

Electricidad y eficiencia energética:

- El 68,0% de los usuarios menciona que proceden a desconectar los artefactos eléctricos cuando no los usan.
- El 87,0% considera que es importante que los electrodomésticos presenten etiquetas de ahorro energético.
- El 41,0% de los encuestados posee refrigerador con etiqueta de eficiencia energética, y un 36,0% tiene un refrigerador con una antigüedad superior a 10 años.
- El 93,0% usa focos ahorradores, el 98,0% menciona que apaga las luces al salir de la habitación.
- El 32,0% considera que es muy importante y un 29,0% que es importante el ahorro de energía, agua y que el proceso de construcción y desechos causen el mínimo impacto.

3.2 Resultados del monitoreo IEQ

A continuación se muestra los respectivos resultados acerca del IEQ que fueron obtenidos luego de la toma de datos in situ.

3.2.1. Confort higrotérmico

a) Temperatura

En el primer período de monitoreo (figura 06), se constató que la temperatura interior en los ambientes interiores de las viviendas son inferiores con respecto a la temperatura 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 a la 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 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.

La tabla 05 indica los valores promedio de temperatura de los espacios de cada vivienda (interior y semiabierto) y la temperatura promedio del exterior.

Figura 06: Resultados de los monitoreos de temperatura (°C) en las viviendas estudiadas.

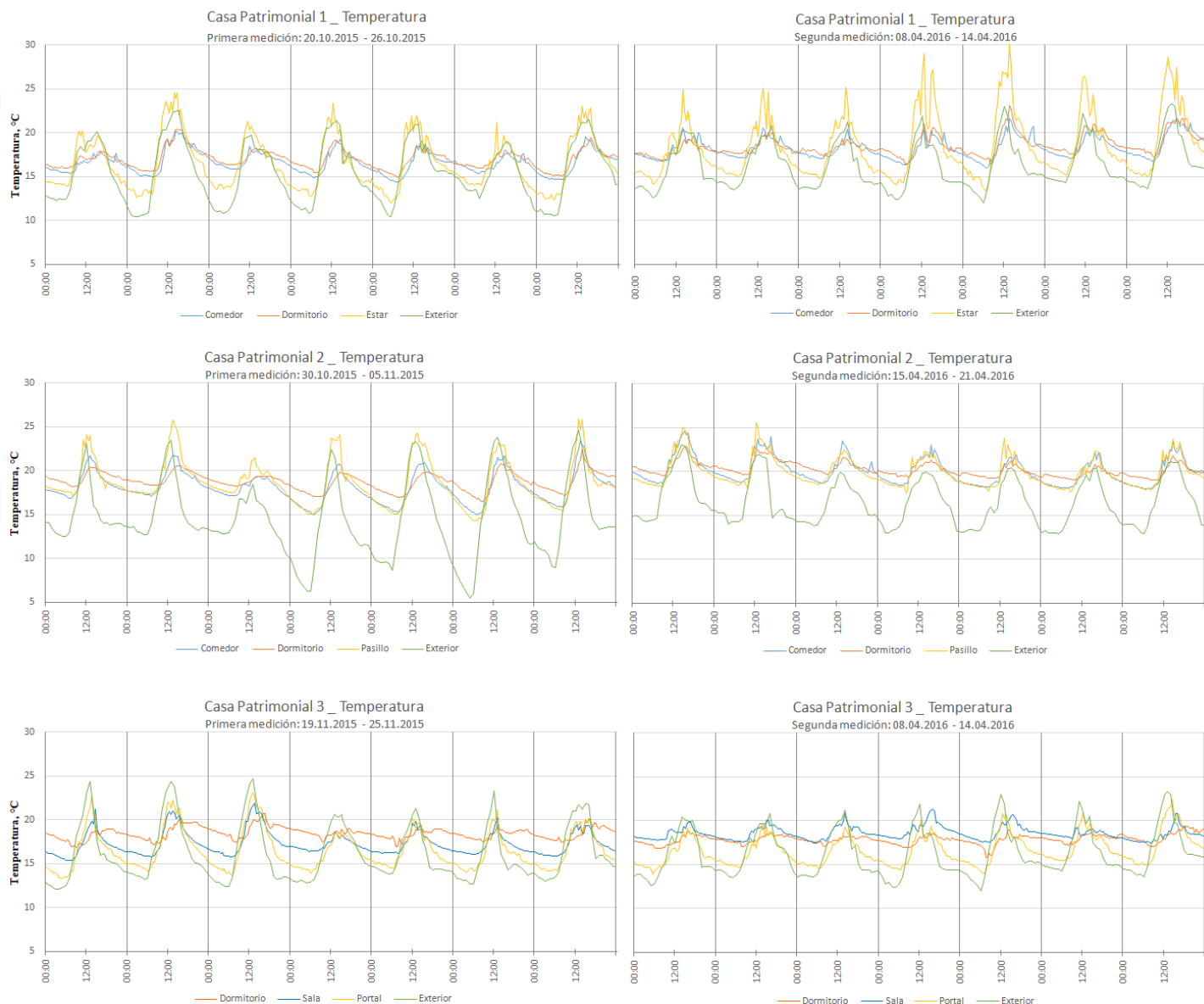


Tabla 05: Temperatura promedio (°C) de los espacios monitoreados de cada vivienda.

Medición	Vivienda 1				Vivienda 2				Vivienda 3			
	Com.	Dorm.	Estar	Ext.	Com.	Dorm.	Pasillo	Ext.	Sala	Dorm.	Portal	Ext.
1 ^{ra}	16.62	16.99	16.51	15.51	18.11	18.79	18.66	14.55	17.28	18.45	16.52	16.19
2 ^{da}	18.29	18.52	18.48	16.30	20.04	20.23	19.90	16.47	18.56	17.86	16.65	16.30

b) Humedad relativa

En el primer período de mediciones (figura 07), se constató que todas los espacios interiores presentaron promedios de humedad relativa que fluctuaron entre el 46,4% y el 59,1%. Igual comportamiento se registró en el segundo período de mediciones en el que se presentaron promedios que variaron entre el 51,1% y el 66,3%, es decir que para ambos períodos de mediciones 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, inclusive en algunos casos se ha llegado a sobrepasar el rango establecido en la norma.

La tabla 06 indica los valores promedio de humedad relativa de los espacios de cada vivienda y la humedad relativa promedio del exterior.

Figura 07: Resultados de los monitoreos de humedad relativa (%) en las viviendas estudiadas.

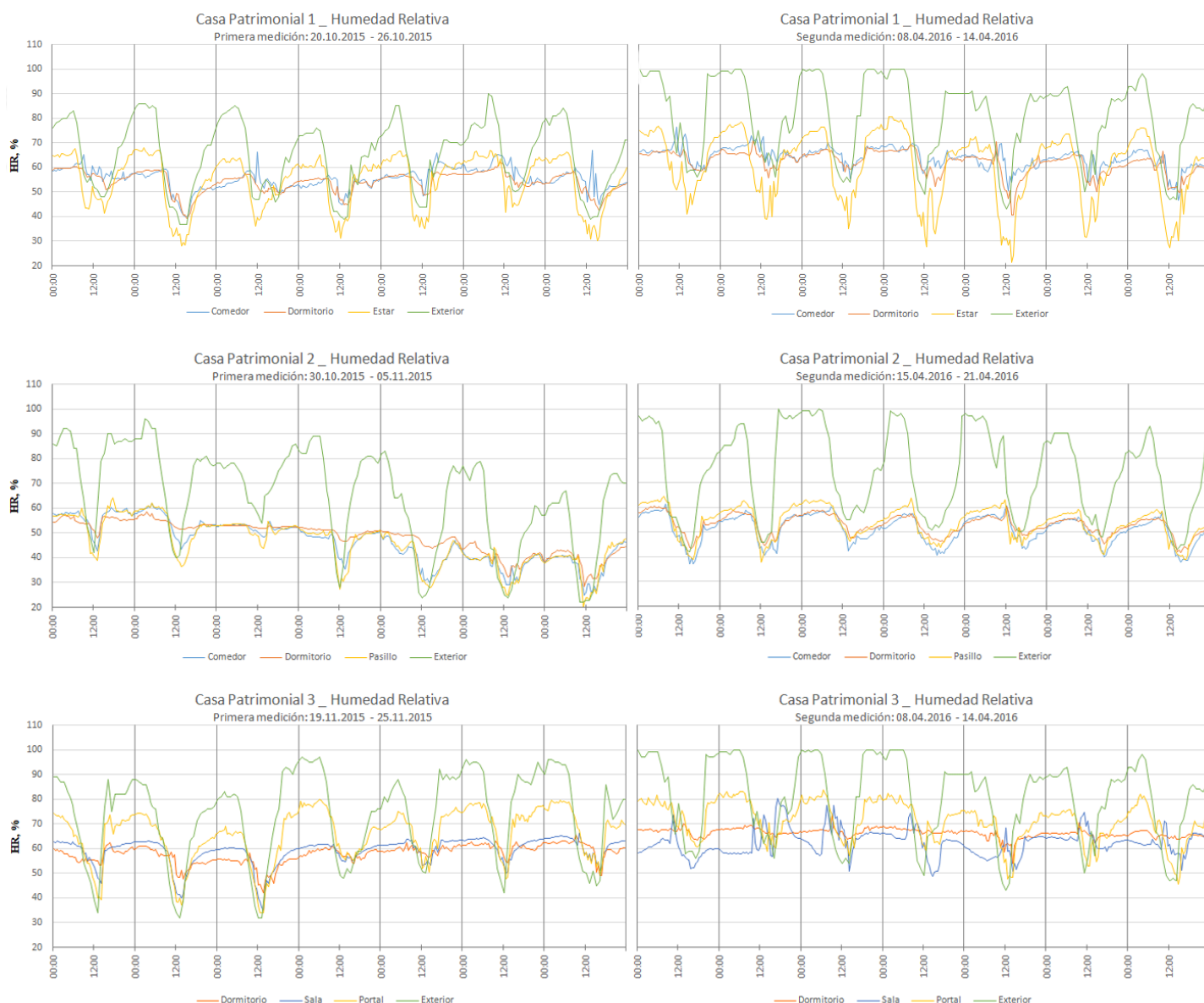


Tabla 06: Humedad relativa promedio (%) de los espacios monitoreados de cada vivienda.

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	65.80	73.54
2 ^{da}	63.99	62.03	60.77	80.80	51.16	52.98	53.85	74.26	62.38	66.32	71.21	80.80

c) Percepción de confort térmico y sensación térmica

Las encuestas fueron registradas en base a una escala de 7 grados bipolar que se basa en los rangos (+3) muy satisfecho, hasta (-3) muy insatisfecho (figura 08).

Los datos obtenidos muestran 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, espacios ubicados en zonas donde se han instalado cubiertas translúcidas.

En la tabla 07 se muestra un resumen de resultados de temperatura media interior para cada periodo de monitoreo. En el primer periodo se registró una temperatura media de 17,55°C, y un valor VST de 0.5. En el segundo periodo se registró una temperatura media de 18,63°C y un valor VST de 1.0.

Figura 08: Percepción de confort térmico de los usuarios de las viviendas monitoreadas.

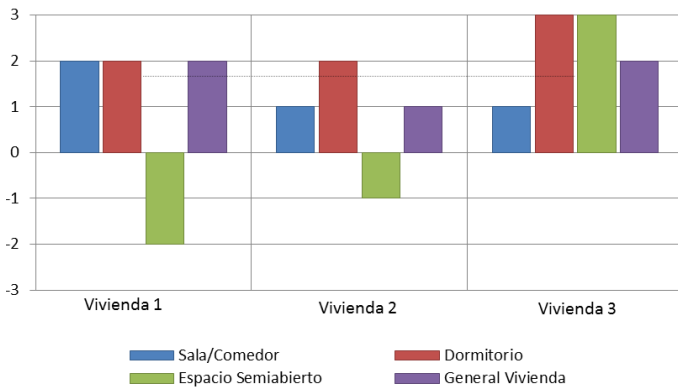


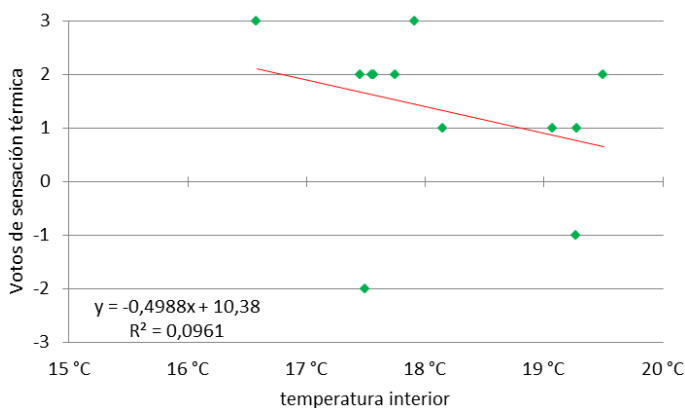
Tabla 07: Valores de los Votos de sensación térmica (VST) y temperatura operativa para ambos periodos de monitoreo.

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

d) Temperatura neutra y rango de confort térmico

La temperatura neutra (Tn) 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 periodos de monitoreo debido a que la variación de temperatura es de alrededor de 1°C. El valor resultante de Tn (figura 09) es de 18,14°C con un coeficiente de determinación R² de 0,0961, que se enmarca dentro de la expresión 0 ≤ R² ≤ 1.

Figura 09: Calculo de Tn mediante regresión lineal, en función de los valores VST y temperatura interior.



El rango de confort térmico se determina en base al modelo ASHRAE 55 que establece una variación de Tn 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 de Tn en ±2,5, lo que implica una temperatura que oscila entre 15,64 y 20,64°C. Para un porcentaje del 80% de usuarios satisfechos (PPD 20%) se establece una variación de Tn en ±3,5, lo que implica una temperatura que oscila entre 14,64 y 21,64°C (tabla 08).

Tabla 08: Resumen de valores de Tn y rango de confort térmico para PPD 10% y PPD 20%.

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

3.2.2. Calidad de aire interior

a) Monitoreo ambiental

En términos generales, los resultados obtenidos en las mediciones de concentración de CO₂ durante los dos períodos (figura 10) indican que los valores se mantienen por debajo de los límites establecidos por la ASHRAE 62.1 que es de 1000ppm, y la norma local NEC-11 que es de 650ppm, salvo algunos 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 113ppm con picos de hasta 769ppm. 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 1329ppm con picos máximos de hasta 1729ppm, excediendo de esta manera el estándar 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 97ppm y máximos de hasta 338ppm. En la segunda medición se mantuvo una similar tendencia, pero esta vez el comedor reveló un aumento, registrando un promedio de 584ppm. 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 las características constructivas inherentes de la vivienda.

La tabla 09 se muestra un resumen de resultados de concentración de CO₂ para cada periodo de monitoreo.

Figura 10: Resultados de los monitoreos de concentración de CO₂ (ppm) en las viviendas estudiadas.

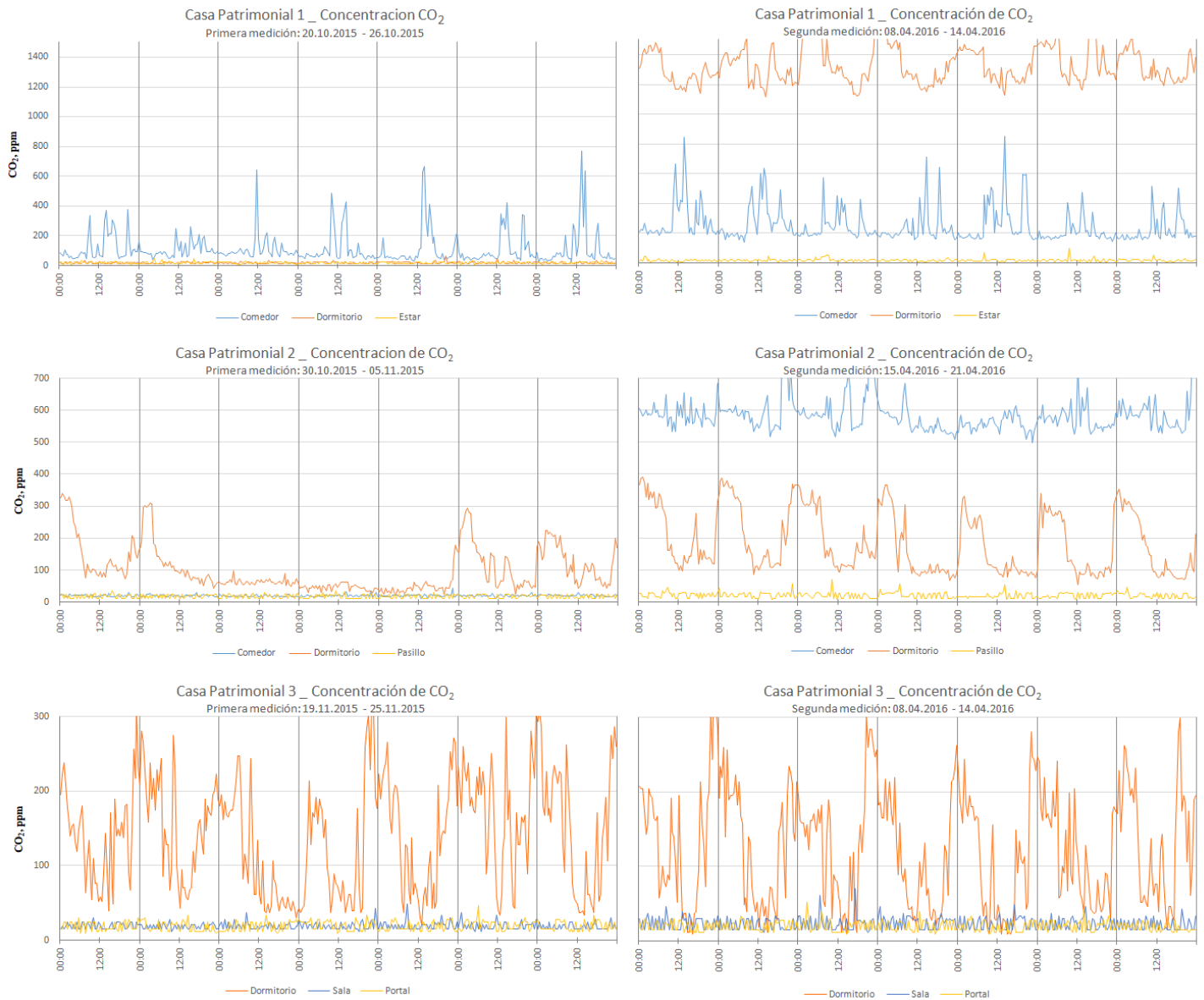


Tabla 09: Concentración de CO₂ promedio (ppm) de los espacios monitoreados de cada vivienda.

Medición	Vivienda 1			Vivienda 2			Vivienda 3		
	Comedor	Dormitorio	Estar	Comedor	Dormitorio	Pasillo	Sala	Dormitorio	Portal
1 ^{ra}	113.50	19.35	18.45	19.55	97.98	18.04	19.23	141.13	19.23
2 ^{da}	250.35	1329.00	18.27	584.32	185.73	21.39	23.24	124.46	19.84

b) 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, la percepción es favorable solo en el comedor, mientras que el resto de espacios presenta valoraciones desfavorables, las que otorgan una percepción general negativa a la vivienda (figura 11).

3.2.3. Iluminación natural

a) Simulaciones

Se realizaron simulaciones en el software Autodesk Ecotect Analysis 2011 (figuras 16-17) para determinar los parámetros del factor luz día (FLD) y el nivel de iluminación (lux) de los espacios de las viviendas evaluadas.

Comparando los valores del factor luz día obtenidos a través de las simulaciones (figura 12), 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 (2011). El valor más bajo registrado es el del dormitorio de la vivienda 2 (3.06%). Con respecto a los niveles de iluminación (figura 13), se evidenció que todos los espacios de las viviendas cumplen los requerimientos mínimos establecidos de 100lux por la norma UNE y de 300lux del método de evaluación de Quesada y Trebilcock. El valor más bajo registrado es el del dormitorio de la vivienda 2 (581.64 lux).

Figura 11: Percepción de la calidad de aire interior.

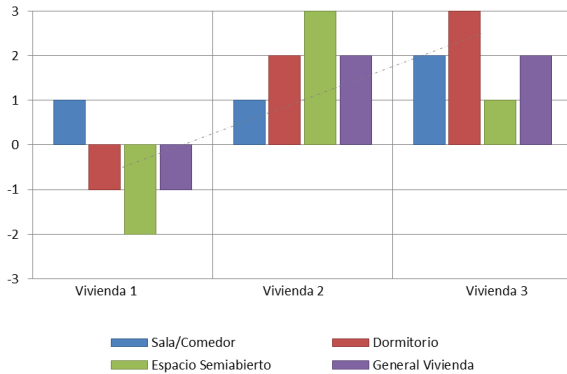


Figura 12: Valores del factor luz día (FLD).

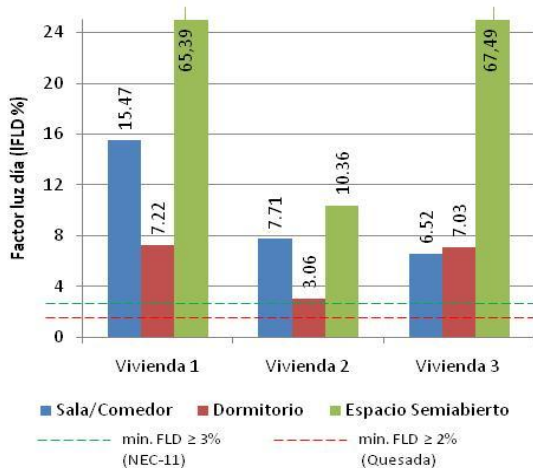
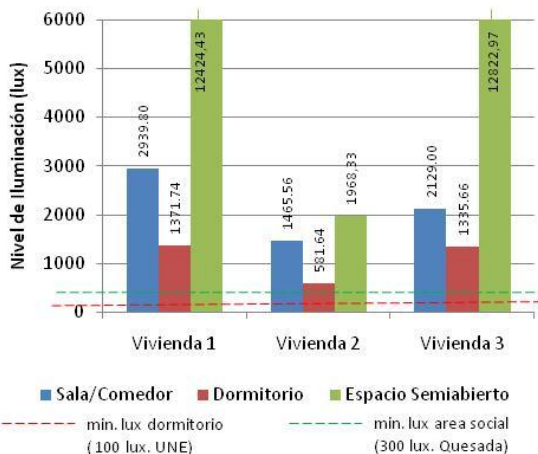


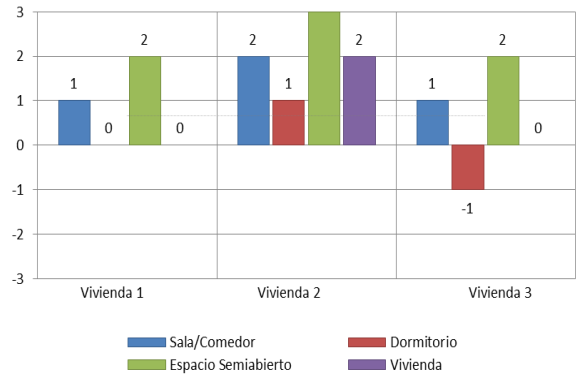
Figura 13: Niveles de iluminación (lux).



b) Percepción de confort de iluminación natural

Se determinó a través de encuestas sobre de la percepción del nivel de iluminación natural (figura 14). En general, 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.

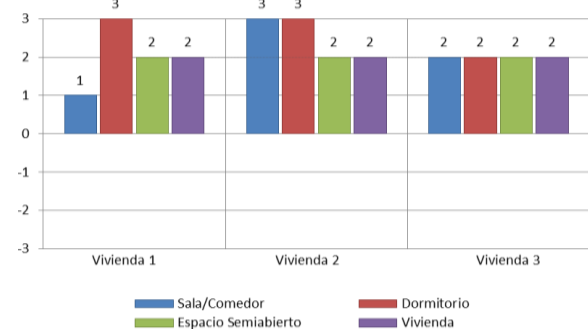
Figura 14: Satisfacción de confort de la iluminación natural.



3.2.4. Percepción de confort acústico

Los niveles de percepción del confort acústico fueron considerados con valoraciones satisfactorias en todos los casos (figura 15). 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 (BID, 2014).

Figura 15: Satisfacción de confort de la calidad acústica.



3.3. Resultados del monitoreo eficiencia energética

A continuación se presenta los resultados del consumo energético obtenidos luego de la toma de datos in situ.

3.3.1. Consumo energético

Para determinar el consumo energético, en primer lugar se realizó la diferenciación de los consumos eléctricos de cada vivienda, es decir, se verificó el consumo de tomacorrientes y el consumo de iluminación. Para ello se instaló un sensor, transmisor y monitor de consumo energético en la caja de distribución del contador de energía (medidor), en el circuito diferenciado de tomacorrientes.

Figura 16: Simulaciones en Ecotect realizadas en las vivienda analizadas.

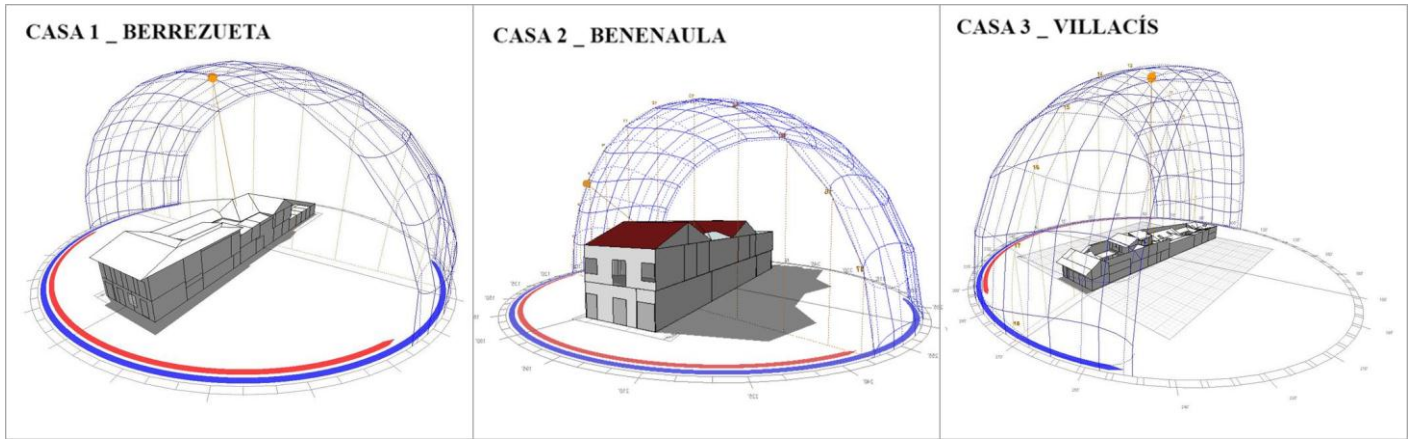
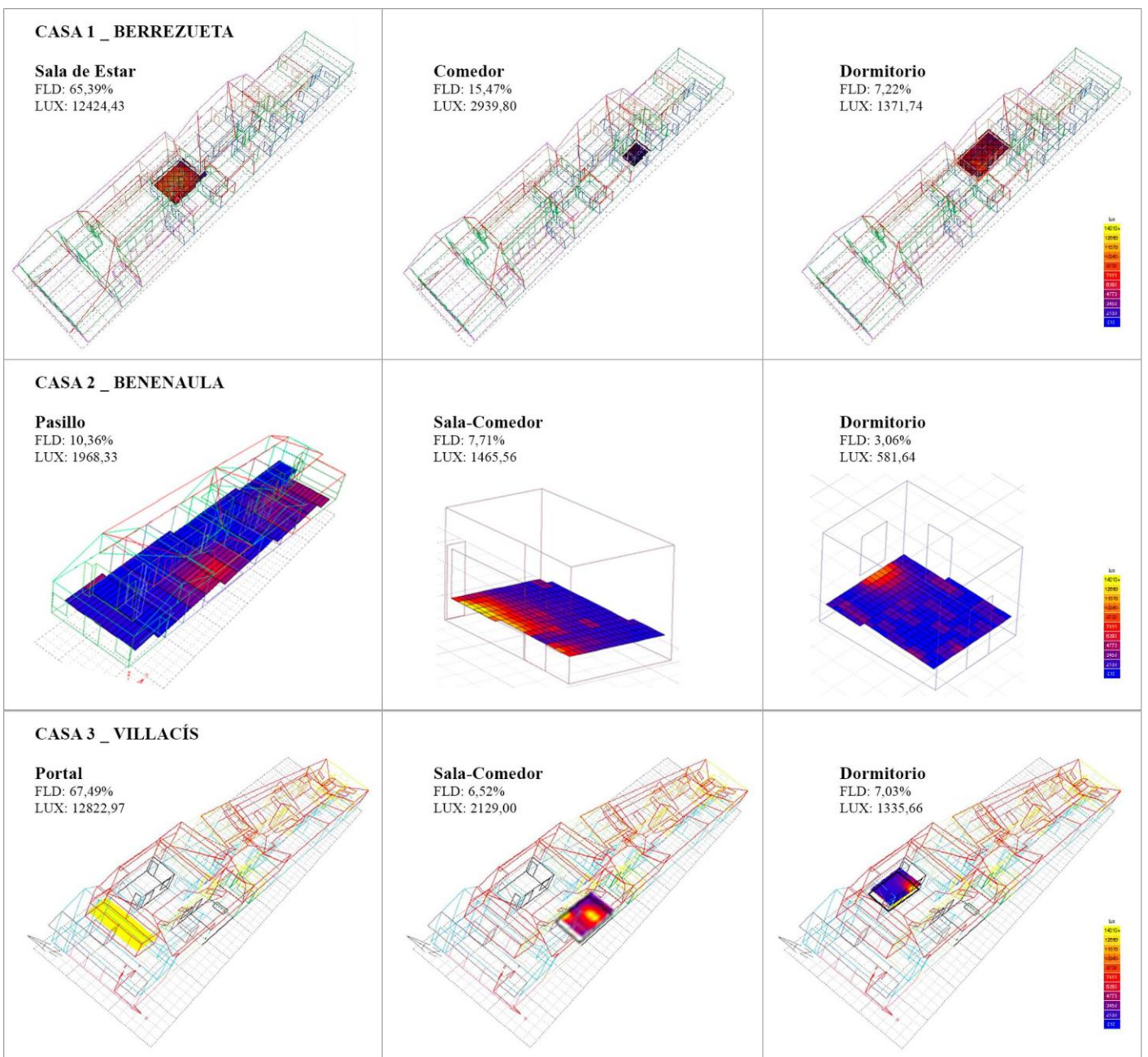


Figura 17: Obtención de valores de Factor luz día y Niveles de Iluminación.



El monitoreo se lo realizó durante una semana, y con este dato se realizó una proyección mensual y anual de consumo (tabla 10). Adicionalmente se contó con información del historial de consumo general de las viviendas registrado por parte de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (EERCS) que se emite a través de la planilla. En las figuras 18 y 19 se indican los consumos promedio mensuales y el porcentaje de uso de cada. 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.

Por otra parte, las encuestas revelaron que ninguna de las viviendas emplea algún tipo energía adicional a la eléctrica proporcionada por el sistema público, además los usuarios manifestaron que falta iluminación natural en algunos espacios de sus viviendas, sin embargo, controlan esta situación a través de la apertura manual de cortinas y/o persianas para proveer de iluminación natural a los espacios. También mencionaron que normalmente encienden las luminarias entre cuatro y cinco horas diarias, principalmente de 6:00 a 7:00am y de 18:00 hasta las 22:00pm, registrando un leve incremento durante los fines de semana. Además, en todos los casos los usuarios acostumbran 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, las viviendas 1 y 3 tienen refrigeradoras de una antigüedad superior a 10 años y la vivienda 2 dispone de una de más de 5 años, por lo que ninguna posee 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 también se realiza al aire libre.

Tabla 10: Consumo eléctrico diferenciado, mensual y anual de cada vivienda.

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

Figura 18: Consumo eléctrico mensual diferenciado.

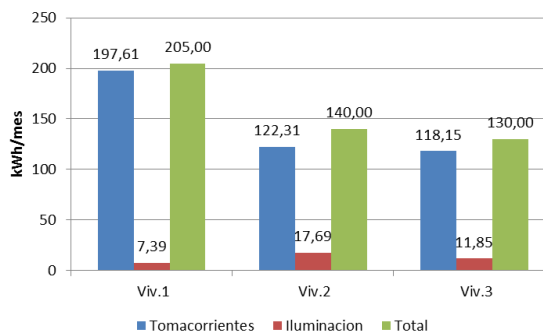


Figura 19: Porcentaje de uso de los circuitos.

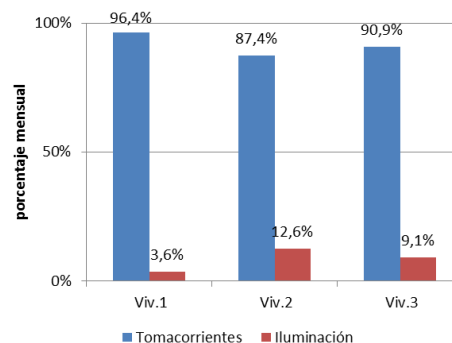
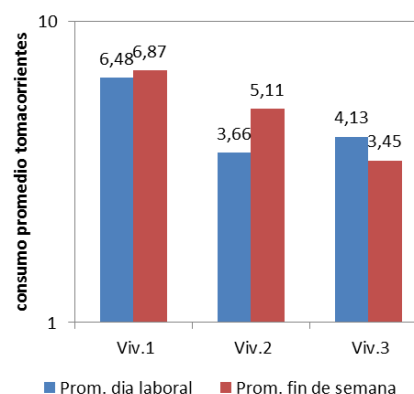


Figura 20: Promedio consumo días laborales / fin de semana.





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 11), 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, sin embargo obtienen mejores sensaciones por parte de sus usuarios.

Analizar de forma independiente cada uno de los aspectos que conforman la IEQ sirve para determinar que los usuarios muestran algún grado de satisfacción con los parámetros referentes a confort acústico, calidad del aire interior y temperatura interior de sus viviendas; en cambio la iluminación natural de las viviendas es el parámetro que genera mayor percepción de insatisfacción a los usuarios. De acuerdo a los monitoreos realizados y a la percepción de los habitantes de las viviendas estudiadas, se puede decir que en términos generales no se presentan valoraciones extremas de IEQ ya que se cumplen de manera total o parcial los estándares establecidos y en lo que respecta a la percepción de satisfacción no se presentan valoraciones extremas (-3 muy insatisfactorio). Esto se podría asociar a las condiciones climáticas propias de Cuenca, que se mantiene dentro de rangos de confort y no presenta fluctuaciones extremas.

4.1. Confort térmico

Se evidencia que la temperatura exterior media de las viviendas, en el primer periodo de monitoreo es de 15,41°C y en el segundo periodo de 16,36°C. Con respecto a la temperatura interior media de las viviendas, en el primer monitoreo es 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 periodos hay un incremento cercano a 1°C en la temperatura exterior, sin embargo el promedio de mediciones interiores con respecto al exterior demuestra un incremento de algo más de 2°C (2,13°C en el primer periodo y 2,36 en el segundo periodo).

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

Se determinó como estándar local, un valor de temperatura neutra $T_n = 18,14^\circ\text{C}$, 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 periodos 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 periodos 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, exceptuado el dormitorio de la vivienda 1 en el que se reporta un cierto grado de insatisfacción. De igual manera, en lo que respecta a las mediciones realizadas se concluye que todos los espacios se mantienen dentro de los límites establecidos por las normas, salvo el caso puntal del dormitorio de la vivienda 1 que en el primer periodo registró valores inusualmente bajos y en el segundo valores que van acorde al uso que se le da, sin embargo registra una concentración promedio de 1329ppm, lo que está por encima de los estándares.

Los valores de CO₂ registrados en el área social promedian un valor de 138,36ppm, en cambio la concentración en los dormitorios promedian un valor de 316,27ppm, valor más alto debido a que principalmente en horas de la noche este valor aumenta significativamente. En contraste, el valor promedio de los espacios semiabiertos es de 19,20ppm el cual guarda concordancia con la humedad relativa promedio del ambiente exterior. Tomando en cuenta todos los valores máximos obtenidos, exceptuando valores de los espacios semiabiertos, se establece como un valor óptimo de concentración de CO₂ de 508,37ppm para las condiciones locales.

4.3. Confort visual

La percepción de los usuarios con respecto al confort visual es mayormente positiva en todos los espacios, debido a los espacios abiertos interiores que se dispone y 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%, por tanto, se considera este valor FLD como el mínimo pero que no exceda el 5% ya que podrían generar problemas asociados a deslumbramientos o ganancias térmicas anómalas. En lo que se refiere a los niveles de iluminación (lux), la media aritmética de los valores registrados en los espacios interiores cumplen con los estándares, por consiguiente es correcto que este parámetro se mantenga en un mínimo de 300lux.

Tabla 11: Resumen de resultados obtenidos en mediciones y entrevistas de percepción.

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	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	CO2 máx: 1150 ppm	+	±	+	+	+	+	+	+	+
	ASHRAE 62.1, UNE 100011	CO2 máx: 1000 ppm	+ 1	± -1	+ -2	± 1	+ 2	+ 3	+ 2	+ 3	+ 1
	NEC-11	CO2 máx: 650 ppm	+	±	+	±	+	+	+	+	+
CV	NEC-11	FLD ≥ 3%	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	EVALUACION	FLD ≥ 2%	+ 1	+ 0	+ 2	+ 2	+ 1	+ 3	+ 1	+ -1	+ 2
	INEN 1152	Salas FLD ≥ 0,625% Dorm: 0,313%	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CA	EVALUACION	Salas 50-300 lux Dorm.100lux	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		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 higrotermico, CAI: Calidad del aire interior, CV: Confort visual, CA: Confort acústico.

4.4. Confort acústico

El presente estudio se enfocó únicamente en la percepción que manifiestan los usuarios con respecto al ruido como elemento que ocasiona insatisfacción y que provienen principalmente del tráfico que soporta el sector donde se ubican las viviendas, sin embargo, la percepción general es positiva debido principalmente a que el ruido exterior difícilmente llega con fuerza a los espacios habitados que 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 es de 158,33kWh, esto da como resultado un valor de 3,65kWh/m²/año (tabla 10) y permite comparar las viviendas, a pesar de que tipológica y constructivamente presentan ciertas similitudes, sin embargo hay diferencias en lo que respecta a factores como tamaño, altura, número de habitantes, nivel socioeconómico, que influyen en los hábitos de consumo energético.

Las mediciones reportan que el 91,5% del consumo eléctrico procede de la utilización de los tomacorrientes (figura 19). Por otra parte, el consumo promedio de iluminación representa un valor de 8,5%. Estos porcentajes dependen principalmente de los hábitos de uso-consumo de los usuarios de las viviendas, el tipo de instalación eléctrica, la potencia y el número de horas de uso de los electrodomésticos y luminarias.

El porcentaje total de consumo por tipo de electrodomésticos, el 53,98% es debido al refrigerador, un 17,54% se debe a la televisión, 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 que se produce un leve incremento en el consumo durante los fines de semana, es decir, una media de 48,06% en un día laboral y una media de 51,94% en fin de semana (figura 20).

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 utilizan algún sistema de apoyo para mejorar la temperatura interior, ya sea calefacción o ventilación. La percepción de confort visual trae consigo un grado de insatisfacción a los usuarios, esto se podría traducir a un uso más intensivo de iluminación artificial interna, sin embargo el consumo promedio por iluminación representa un 8,5% del consumo general.

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 M. T., 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% del consumo energético global.

Con la aplicación de estrategias de diseño bioclimático se logra conseguir una reducción en el consumo eléctrico de hasta el 50%. En cambio, al aplicar tecnologías domóticas, usar fuentes de energía renovable y aplicar un diseño que incluyan

consideraciones bioclimáticas se puede lograr una reducción de hasta el 70% para las edificaciones residenciales de Cuenca (Baquero M. T., 2016). Además el promedio de ahorro en la región es del 10% y establece que el consumo superior es de +70% y el peor escenario es del +147%

4.6. Definición de estándares de eficiencia energética

La tabla 12 indica un resumen de los estándares que se adoptan para cada aspecto que interviene en la IEQ, la tabla 13, en cambio, indica un resumen de los estándares de ahorro energético que se adoptan para las viviendas residenciales patrimoniales del centro histórico de Cuenca.

Tabla 12: Estándares de confort.

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

Tabla 13: Estándar de consumo energético.

	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

4.7. Definición de Estrategias

La búsqueda de estándares de sustentabilidad para mejorar la eficiencia energética y la confortabilidad de las viviendas patrimoniales del CHC requiere un equilibrio entre las consideraciones de eficiencia energética, la esencial y obligatoria conservación del patrimonio edificado y la satisfacción de las necesidades de los habitantes. En esta línea, las estrategias planteadas buscan establecer un diálogo entre las soluciones tecnológicas, los valores patrimoniales de los edificios y los requerimientos de confort de los usuarios, en base a los estándares definidos en este estudio.

Una estrategia general implica a más de un conocimiento profundo del comportamiento real de cada edificación, la comprensión de normas y criterios para la conservación del patrimonio, lo que ayuda a definir el nivel y tipo de intervención a seguir en cada caso. A pesar de que en los edificios patrimoniales no existe normativa específica de eficiencia energética para rehabilitarlos y poder reducir su consumo energético y mejorar las condiciones de IEQ, existen ciertas normas, criterios y principios de conservación que pueden emplearse en estos casos, como por ejemplo el principio de reversibilidad y la incorporación de añadidos que respeten los elementos de valor de los edificios. El objetivo es alcanzar un equilibrio entre estas dos necesidades. Se hará tanto como sea necesario y tan poco como sea posible (ICOMOS, 2011).

A continuación se mencionan algunas estrategias para mejorar las condiciones de IEQ y eficiencia energética y, elevarlas a un nivel de buenas prácticas. Estas estrategias pueden ser consideradas para el desarrollo de futuras investigaciones.

- Reducir o evitar la pérdida de calor de los espacios habitables interiores por efecto de infiltraciones de aire del exterior, mediante acciones de mantenimiento periódico y conservación de elementos como: puertas, ventanas, pisos, paredes y cubiertas.
- Implementar elementos removibles como exclusas en los accesos (zaguanes) de las viviendas, a fin de minimizar la pérdida de calor o frío de los ambientes interiores, a la vez que sirven como aislamiento acústico de los ruidos provenientes del exterior.
- Revisar el tratamiento de los patios interiores, repensando la materialidad con que estos se cubren para evitar el microclima efecto invernadero al interior. También puede estudiarse la factibilidad de incorporar paneles de vidrio en galerías y pasillos abiertos, lo que permitiría estabilizar la temperatura de estos ambientes sin alterar sus características tipológicas y espaciales.
- Dotar las cubiertas de claraboyas o captadores de luz solar con el objetivo de mejorar la iluminación interior y ganancia térmica.



- Impermeabilizar muros de zonas húmedas (cocinas y baños) con materiales y técnicas constructivas adecuadas con el fin de reducir la humedad y sensación de frío de los espacios.
- Emplear estrategias de ventilación cruzada en donde las corrientes de aire o el viento predominante incidan directamente en los lugares secos (dormitorios, áreas sociales).
- Dotar de equipos de extracción y renovación de aire en espacios que producen humedades, olores o compuestos volátiles, principalmente en cocina, baños y lavandería.
- Prever el reemplazo de electrodomésticos con más de 10 años de antigüedad por otros cuyas principales características sea un menor consumo y que posean un etiquetado de eficiencia energética clase A.
- Instalar luminarias de mayor ahorro y eficiencia (lm/w), de preferencia tipo led, incorporar sistemas de control de encendido y apagado y principalmente aprovechar, en medida de lo posible, las ventajas de iluminación natural por medio de las ventanas o claraboyas.
- Aplicar estrategias de domótica, para gestionar eficientemente aspectos como climatización, iluminación, agua caliente, procesos inteligentes para apertura y cerrado de cortinas/persianas, encendido y apagado automático de luces, regulación de calefacción y ventilación.
- Implementar sistemas de aprovechamiento de luz solar en cubiertas planas (terrazas) por medio de paneles fotovoltaicos para generar electricidad o por medio de calefones solares como método para dotar de agua caliente.

5. CONCLUSIONES

Se considera que es importante la determinación de estándares locales de confort para evaluar la calidad del ambiente interior y la eficiencia energética, estándares 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 el rango de confort se ve afectado debido a la insuficiente entrada de luz natural de la que disponen ciertos espacios.

La calidad de aire interior registra estándares de confort más altos que las normas analizadas, debido principalmente a que el CHC aun 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, sin embargo se debe reconocer que todos los casos guardan concordancia. Estos resultados son una primera aproximación a este tema y podrían ser objeto de refinamiento y perfeccionamiento tanto en la toma de mediciones in situ y encuestas de percepción como en el análisis y validación de los datos obtenidos.

Es importante implementar un método de certificación energética para viviendas patrimoniales, así como promover labores de concientización e información sobre buenos hábitos de consumo energético. También desarrollar estudios concernientes a la aplicación de estrategias tecnológicas, diseño bioclimático y aprovechamiento pasivo con el objetivo de mejorar las condiciones de confort y determinar la reducción real del consumo eléctrico.

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/o restauraciones de edificaciones residenciales que se llevan a cabo del Centro Histórico y de esta manera propender a su conservación y a mejorar la calidad de vida de sus ocupantes con edificaciones con un ambiente interior de alta calidad y con un ahorro importante de recursos energéticos.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación se desarrolló gracias al apoyo del Centro de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca y al Proyecto de Investigación “Método de Certificación de la Construcción Sustentable de Viviendas”.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Achig, M. C., & Zuñiga, M. (2013). Sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo en muros de adobe. *MASKANA*, págs. 71-84.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (s.f.). www.regulacionelectrica.gob.ec/tarifa-dignidad/. Recuperado el 2017, de Agencia de Regulación y Control de Electricidad: www.regulacionelectrica.gob.ec/tarifa-dignidad/
- ASHRAE 55-2010, S. (2013). *Thermal Environment Conditions for Human Occupancy*. www.ashrae.org.
- ASHRAE 62.1-2007, S. (2007). *Ventilation for acceptable indoor air quality*. www.ashrae.org.
- Baquero, M. T. (2013). *Diseño Bioclimático de Viviendas Multifamiliares en la Ciudad de Cuenca*. Cuenca: Tesis Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca.
- Baquero, M. T. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo*.
- Barr, S., Gilg, A., & 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., & Huisingh, D. (2015). Perceived 'Quality of Life' in eco-developments and in conventional residential settings: an explorative study. *Journal of Cleaner Production*, vol. 98, 253-262.
- BID. (2014). *Cuenca ciudad sostenible. Plan de acción: GAD Municipal del cantón Cuenca*. Quito: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Brunsgaard, C., Heiselberg, P., Knudstrup, M.-A., & Larsen, T. (2011). Evaluation of the Indoor Environment of Comfort Houses: Qualitative and Quantitative Approaches. *Indoor and Built Environment*, 1-20.
- Bustillos, D. (2017). Calidad del ambiente interior de las edificaciones residenciales urbanas de la ciudad de Cuenca: Determinación de estándares de confort. *UNiversidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo*.
- CBE, C. f. (2015). *Occupant Indoor Environmental Quality (IEQ) Survey*. Obtenido de Center for the Built Environment, Berkeley, U C: www.cbe.berkeley.edu/research/survey.htm
- Chappells, H., & Shove, E. (2005). Debating the future of comfort: environmental sustainability, energy, consumption and the indoor environment. 37-41.
- Chiang, C., & Lai, C. (2002). A study on the comprehensive indicator of indoor environment assessment for occupants' health in Taiwan. *Building and Environment* 37, 1831-1846.
- Clausen, G., & Wyon, D. (2008). The combined effects of many different indoor environmental factors on acceptability and office work performance. *HVAC & R Research*, vol 14, 103-113.
- Corgnati, S., Filippi, M., & Viazzo, S. (2007). Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. *Building and Environment*, vol 42, No. 2, 951-959.
- Elizondo Mata, M. F. (s.f.). www.academia.edu. Recuperado el 5 de Noviembre de 2016, de Reflexiones sobre la revitalización como factor detonante en el tránsito hacia la sustentabilidad del patrimonio edificado: www.academia.edu/1431299/
- Fanger, P. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *Occupational and Environmental Medicine*, vol 30, No 4, 313-324.
- Fanger, P. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environment engineering. *Copenhagen: Danish Technical Press*.
- González, J., Dotor, A., Morros, J., Olona, J., & Onecha, B. (2013). El difícil equilibrio entre eficiencia energética y conservación de los valores patrimoniales en edificios históricos. *Revista PH*, No. 84, 20-21.
- Guerrero, L. (2015). Sostenibilidad y conservación del patrimonio edificado. *Palapa*, 73-84.
- Guillén, V., & Quesada, F. (2014). Eficiencia energética en edificaciones residenciales. *Estoa*, 63-72.
- Gylling, G., Knudstrup, M., Heiselberg, P., & Hansen, K. (2011). Measuring sustainable homes - a Mixed Methods approach. *Media*, 20-24.
- Heras, J., & Orellana, V. (2016). *Evaluación y determinación de principios de confort en edificaciones patrimoniales en el Centro de Histórica de Cuenca con valoración VAR A – VAR B y uso de vivienda. Aplicación en casos de estudio*. Cuenca: Tesis Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca.
- ICOMOS. (2011). *Criterios de conservación del patrimonio arquitectónico del siglo XX, Documento de Madrid 2011*. Madrid.
- IEA. (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases esenciales para el establecimiento de políticas*. París: International Energy Agency.
- Ilustre Municipalidad de Cuenca. (2007). *Guía de arquitectura de Cuenca*. Cuenca: TF.



- INEC, I. E. (2015). *Censo Nacional 2010*. Recuperado el 2015, de Ecuador en Cifras: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- International Energy Agency. (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases esenciales para el establecimiento de políticas*. París.
- Kamaruzzaman, S., Egbu, C., Zawawi, E., Ali, A., & Che-Ani, A. (2011). The effect of indoor environmental quality on occupants' perception of performance: A case study of refurbished historic buildings in Malaysia. *Energy and Buildings*, vol. 43 , 407-413.
- Lai, A., Mui, L., Wong, L., & Law, L. (2009). An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. *Energy and Buildings*, Volume 41, Issue 9 , 930-936.
- Luxan, M. (2011). 01: Prólogo Margarita de Luxán Dra. Arquitecta, Catedrática U.P.M. Grupo de Investigación Arquitectura, Urbanismo y Sostenibilidad GIAU+S. En W. Saint-Gobain, *Manual de Rehabilitación y Habilitación Eficiente en Edificación* (págs. 2-9). Valencia, España.
- Luxan, M. (2009). *Foro para la edificación sostenible*. Valencia, España.
- Malmqvist, T. (2008). Environmental rating methods: selecting indoor environmental quality (IEQ) aspects and indicators. *Building Research & Information*, vol. 36 , 466-485.
- Martínez, P. E. (2010). *Usos finales de energía eléctrica y GLP en el cantón Cuenca. Escenarios al año 2015*. Cuenca: Tesis Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca.
- MIDUVI, NEC-11. (2011). *NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Cap 13. Eficiencia Energética en la Construcción de Ecuador*. Quito.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2013). *Balance energético nacional 2013 (año base 2012)*. Quito.
- Ministerio de Vivienda de Perú. (2017). Norma E.080. Diseño y construcción con tierra reforzada. *Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento* .
- Molina, C., & Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de la construcción*, vol. 12 , 27-38.
- Municipalidad de Cuenca. (2011). *Borrador del Plan Especial del Centro Histórico de Cuenca*. Cuenca.
- Municipalidad de Cuenca. (2010). *Ordenanza para la Gestión y Conservación de las Areas Históricas y Patrimoniales del Cantón Cuenca*. Cuenca.
- Municipio de Cuenca. (2017). *Borrador del Plan Especial del Centro Histórico 2016-2017*. Cuenca.
- Municipio de Cuenca. (2011). *Proyecto del Plan Especial del Centro Histórico de Cuenca*. Cuenca.
- Muñoz, J. (Julio de 2013). *Análisis de la matriz energética ecuatoriana*. Recuperado el 01 de Febrero de 2014, de <http://www.monografias.com/trabajos97/analisis-matriz-energetica-ecuatoriana/analisis-matriz-energetica-ecuatoriana2.shtml>
- Nicol, J. (2004). Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. *Energy and Buildings*, vol. 36, No. 7 , 628-637.
- Nicol, J., & Humphreys, M. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, vol. 34, no. 6 , 563-572.
- 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)*.
- Norma UNE 12464-1. (2003). *Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo interiores*.
- Norma UNE 15251, N. U. (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. (UNE 15251:2008)*.
- Oikonomou, A., & Bougiatioti, F. (2010). Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece. *Building and Environment* , 669-689.
- Paul, W., & Taylor, P. (28). A comparison of occupant comfort and satisfaction between a green building and a conventional building. *Building and Environment* 43 , 1858-1870.
- Quesada, F. (2014). Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales. *Habitat Sustentable* , 56-67.
- Quesada, F. (2015). *Protocolo proyecto de investigación*. Cuenca.
- Quesada, F., & 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 Bio-Bio, Chile*. Universidad del Bio-Bio.
- Rivera Narváez, I. (2012). *Desarrollo de un método de caracterización tipológica y morfológica en rehabilitación patrimonial con criterios de sustentabilidad y eficiencia energética en la arquitectura alemana en madera - sur de Chile*. Chile.
- Rivera, I. (2012). *Desarrollo de un método de caracterización tipológica y morfológica en rehabilitación patrimonial con criterios de sustentabilidad y eficiencia energética en la arquitectura alemana en madera - sur de Chile*. Chile.



Singh, M., Mahapatra, S., & Teller, J. (2015). Development of thermal comfort models for various climatic zones of North-East India. *Sustainable Cities and Society*, vol 14 , 455-469.

Sozen, M., & Gedik, G. (2011). Evaluation of traditional architecture in terms of building physics: old diyarbakir houses. *Building and Environment* , 669-689.

UNESCO. (s.f.). *Centro histórico de Santa Ana de los Ríos de Cuenca*. Recuperado el 27 de 05 de 2015, de whc.unesco.org: <http://whc.unesco.org/es/list/863>

Weber Saint-Gobain. *Manual de Rehabilitación y Habilitación Eficiente en Edificación*.

Weber Saint-Gobain. (2011). *Manual de Rehabilitación y Habilitación Eficiente en Edificación*. España.