

CODE 435

A THERMAL COMFORT ASSESSMENT IN A REHABILITATED RESIDENTIAL BUILDING OF THE CITY CENTER OF TEGUCIGALPA, HONDURAS

EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO EN UN EDIFICIO RESIDENCIAL REHABILITADO DEL CENTRO HISTÓRICO DE TEGUCIGALPA, HONDURAS

Gamero-Salinas, Juan Carlos^{1*}; Monge-Barrio, Aurora²; Sánchez-Ostiz, Ana³

1: University of Navarra (UNAV), School of Architecture, Department of Construction, Building Services and Structures

e-mail: jgamero@alumni.unav.es, web: <https://www.unav.edu/en/home>

2: University of Navarra (UNAV), School of Architecture, Department of Construction, Building Services and Structures

e-mail: amongeb@unav.es, web: <https://www.unav.edu/en/home>

3: University of Navarra (UNAV), School of Architecture, Department of Construction, Building Services and Structures

e-mail: aostiz@unav.es, web: <https://www.unav.edu/en/home>

RESUMEN

Este estudio desarrolla una evaluación de las condiciones de confort térmico interior en cinco viviendas tipo apartamento de un edificio rehabilitado, previamente en abandono, destinado ahora para uso residencial, el cual se ubica en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras, con un clima caliente tropical. Para el desarrollo del estudio se desarrolló una monitorización de las temperaturas interiores durante 41 días durante la temporada más caliente y seca del año. Dado que este proyecto piloto sin precedente alguno busca promover nuevos proyectos habitacionales en el centro histórico de Tegucigalpa, el objetivo de este estudio fue medir si la rehabilitación fue efectiva en términos de condiciones de habitabilidad térmica. La rehabilitación fue evaluada identificando las horas de excedencia por calor en el interior de las viviendas, siguiendo el enfoque de confort térmico adaptativo de la Norma ASHRAE 55. El estudio demuestra que la preservación de las medidas pasivas del diseño original (la protección solar en la fachada y el patio interior) ayudan a proveer de temperaturas interiores confortables durante el período más caluroso del año, con pocas horas de excedencia por calor, solamente en algunas viviendas durante horas de la tarde y noche. Dentro de los factores que influyen que algunas de las viviendas posean horas de excedencia por calor se incluye la poca ventilación natural, la orientación y el nivel en el edificio. Proyectos de rehabilitación pueden alcanzar el doble objetivo de preservar la identidad e imagen del edificio y del centro de la ciudad, y a su vez brindar condiciones térmicas saludables para los ocupantes.

PALABRAS CLAVE: rehabilitación; centro histórico; viviendas; confort térmico; sobrecalentamiento

1. INTRODUCCIÓN

Tras el azote del huracán Mitch en 1998, el Centro Histórico de Tegucigalpa y Comayagüela (CHTC) ha perdido residentes y en su lugar se observa una predominancia de usos comerciales y de servicios, en su gran mayoría solo activos durante el día. Este proceso ha elevado la inseguridad en el centro, y a su vez ha provocado el traslado de la población hacia bulevares transformados en nuevos centros mixtos desordenados [1].

El Plan de Desarrollo Municipal con Enfoque de Ordenamiento Territorial (PDM-OT) propone como macroproyecto la puesta en valor del Plan Maestro del Centro Histórico [2]. Esto supone retos que superar, entre ellos la fuga de población, la percepción de inseguridad y la escasez de zonas de aparcamiento. Hoy en día se registran 7 mil habitantes en los CHTC, 12% menos que en el 2001, y según la Gerencia del Centro Histórico de la Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC), 11% de los inmuebles se encuentran desocupados. En el Centro Histórico de Tegucigalpa el uso residencial abarca el 29%, 25% unifamiliar y 4% multifamiliar [3], como se muestra en la **Figura 1**. La mayoría de la población de Tegucigalpa no se siente segura en el Centro Histórico (77%) y las zonas que se perciben como más inseguras son los mercados, plazas y parques [1]. Todo lo anterior suma a que la población en la capital vea el CHTC un lugar poco atractivo para vivir.

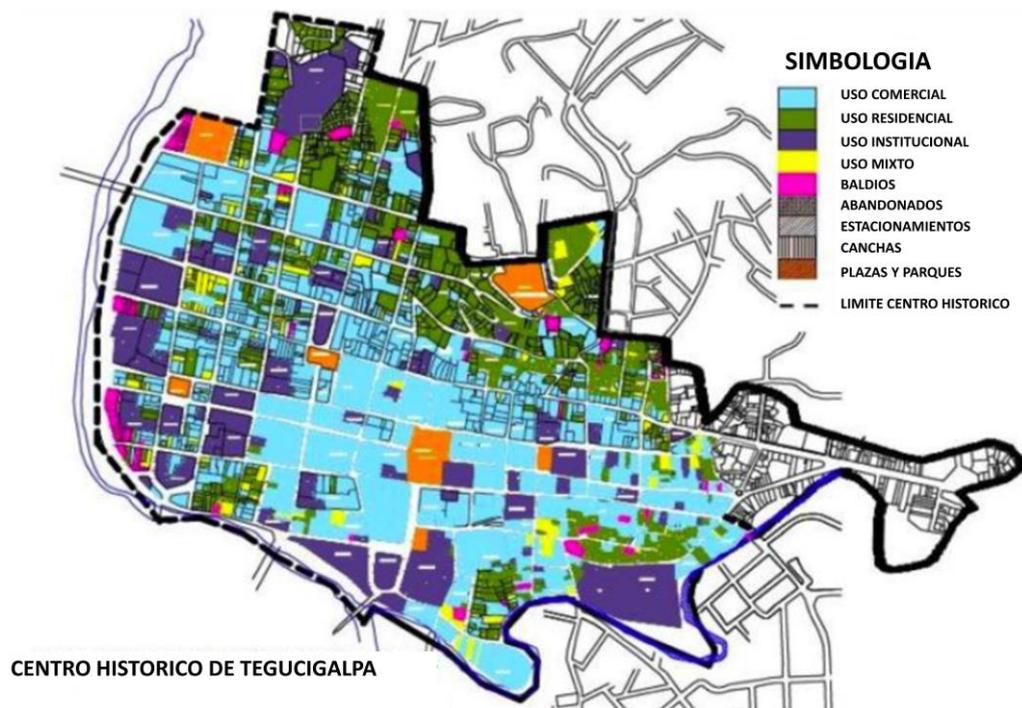


Figura 1: Plano de usos de suelo del Centro Histórico de Tegucigalpa. Fuente: Gerencia del Centro Histórico, Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC).

En el Centro Histórico de Tegucigalpa yacía un edificio que estuvo en completo abandono durante aproximadamente 20 años. Durante esos años el edificio fue foco de delincuencia e inseguridad. Este edificio con aproximadamente más de medio siglo de antigüedad funcionó durante muchísimos años como el Hotel La Ronda, que se vio obligado a cerrar tras el paso del huracán Mitch en 1998, por los daños que este ocasionó al Centro Histórico.

En el 2016 se empezó un proyecto de rehabilitación de este edificio, ubicado en el Barrio La Ronda del Centro Histórico de Tegucigalpa, el cual se utilizó como caso de estudio para este artículo. Este proyecto de rehabilitación denominado Condominios La Ronda forma parte de una iniciativa privada denominada "Vuelve al Centro", apoyada por la Gerencia del Centro Histórico del AMDC, para promover la revitalización del centro histórico de la ciudad. Junto a Condominios La Ronda otros proyectos se realizan actualmente, como el de la rehabilitación de la antigua Casa Quinchón, ahora convertida en un espacio que promueve el emprendimiento. El proyecto habitacional de Condominios La Ronda busca, juntos a los proyectos que se desarrollan paralelamente, que el Centro de Tegucigalpa sea atractivo de visitar y vivir.

La redensificación del Centro Histórico de Tegucigalpa es una propuesta que se discute en el PDM-OT y el Plan de Acción para Tegucigalpa y Comayagüela. La ciudad de Tegucigalpa se ha inclinado más por la expansión urbana frente a la densificación urbana. Proyectos, como el de la rehabilitación de Condominios La Ronda, apuestan por la recuperación de edificios existentes para promover así la ciudad compacta como medio para brindar una mejor calidad de vida a sus habitantes.

Dentro sus estrategias principales este proyecto buscó brindar condiciones interiores confortables preservando elementos de diseño pasivo que el diseño original del edificio ya incorporaba. Preservar esos elementos de diseño no solamente brindaría condiciones térmicas confortables en el interior del edificio sino también respetaría la identidad existente de la ciudad. En base a lo anterior, y dado que este proyecto piloto busca promover nuevos proyectos habitacionales en el centro histórico de Tegucigalpa, el objetivo de este estudio fue medir si la rehabilitación fue efectiva en términos de condiciones de habitabilidad térmica.

2. DESARROLLO

La rehabilitación del edificio del antiguo hotel, ahora Condominios La Ronda, tuvo como pilar fundamental principal preservar elementos del diseño original, como ser la protección solar en fachada y el patio central (ver **Figura 2**). Estos dos elementos del diseño ya funcionaban, previamente a que el edificio cayera en desuso, como elementos que permitían el control pasivo de los espacios interiores. Por un lado, la protección solar reduciendo la radiación solar directa y, por otro lado, el patio central promoviendo la ventilación natural y la disipación de calor.



Figura 2: Fachada y patio interior del edificio rehabilitado. Fuente: Condominios La Ronda

Para estudiar las condiciones interiores de confort térmico que el edificio rehabilitado proporciona, se monitorizaron, con dataloggers de temperatura de aire, cinco viviendas tipo apartamento: dos en el último nivel (bajo cubierta), y tres en niveles intermedios. En todas las viviendas se monitorizaron los salones de estar (S), pero solamente en las viviendas V1 y V2 se monitorizaron los dormitorios (D). La **Figura 3** muestra las plantas arquitectónicas de las viviendas estudiadas, y los espacios monitorizados.



Figura 3: Plantas arquitectónicas de las cinco viviendas monitorizadas, y su localización en el edificio.

El periodo de estudio por monitorización abarcó desde el 26 de marzo al 6 de mayo (41 días), época más caliente y seca del año, con bajos niveles de precipitación. Los dataloggers colocados en las viviendas mencionadas midieron la temperatura del aire interior en intervalos de 10 minutos durante todo el período. Dado que en estudio no se monitorizó la temperatura radiante media, a efectos de este estudio, las temperaturas del aire interior se consideraron como temperaturas operativas interiores (T_{OP}). Debido a las inconsistencias en los datos recogidos se descartaron las mediciones realizadas en los dormitorios de las viviendas V3, V4 y V5. Para complementar las mediciones realizadas con los dataloggers, se pidió a los residentes de las viviendas monitorizadas que respondieran algunas preguntas relacionadas a horas de ocupación y al comportamiento durante horas de calor (apertura de ventanas, beber agua, uso de ventiladores etc.)

Como metodología para estudiar el comportamiento térmico de las cinco viviendas monitorizadas del edificio rehabilitado se adoptó el enfoque de confort térmico adaptativo de la Norma ASHRAE 55 [5]. El enfoque que ASHRAE 55 propone solo se puede aplicar a espacios naturalmente, y clasifica las ecuaciones de las condiciones interiores aceptables en dos categorías: 80% y 90% de capacidad de aceptabilidad. Para este estudio, la temperatura de confort interior se determinó usando un 80% de aceptabilidad, y aplicando las siguientes fórmulas:

$$T_C = 0.31 * T_{RM} + 17.8^{\circ}C \quad (1)$$

donde T_{RM} es la temperatura media exterior predominante, y T_C es la temperatura interior de confort térmico.

Según el enfoque adaptativo la temperatura de confort interior está relacionada a la temperatura media exterior predominante:

$$T_{RM} = (1 - \alpha) * \{T_{ed-1} + \alpha * T_{ed-2} + \alpha^2 * T_{ed-3} \dots\} \quad (2)$$

donde T_{MAX} la temperatura máxima aceptable, T_{ed-1} la temperatura promedio exterior diaria del día anterior al día de estudio, T_{ed-2} la temperatura promedio exterior diaria de dos días atrás al día de estudio, y así consecutivamente, y α una constante entre 0 y 1 (en este estudio se utilizó 0.9 al ser clima tropical).

El límite superior de temperatura máxima aceptable (T_{MAX}) considerado para el análisis de las cinco viviendas fue el definido para la Categoría de 80% de aceptabilidad, como se muestra en la **Tabla 1**, para permitir en las viviendas un rango mayor de confort térmico.

Tabla 1: Temperatura máxima aceptable (T_{MAX}) según la Norma ASHRAE 55

Categoría	Ecuaciones para el límite superior de confort
80% de aceptabilidad (menor grado de confort térmico)	$T_{MAX} = 0.31 T_{RM} (^{\circ}C) + 17.8^{\circ}C + 3.5^{\circ}C$
90% de aceptabilidad (mayor grado de confort térmico)	$T_{MAX} = 0.31 T_{RM} (^{\circ}C) + 17.8^{\circ}C + 2.5^{\circ}C$

Para cada vivienda se determinó un número de horas de excedencia (HE), durante las cuales ΔT es igual o mayor que $1^{\circ}C$, y donde

$$\Delta T = T_{OP} - T_{MAX} \quad (3)$$

donde ΔT es la diferencia entre la temperatura máxima aceptable y la temperatura operativa interior.

3. RESULTADOS

Al analizar el conjunto de datos de temperatura interior recogidos para todas las viviendas monitorizadas se encontró que las temperaturas operativas (T_{OP}) interiores más altas se experimentaron durante las horas de la tarde, seguidas por las horas de la noche. De las cinco viviendas monitorizadas solamente dos viviendas mostraron horas de excedencia (H_E) en el periodo de estudio comprendido entre el 26 de marzo y el 6 de mayo, como se muestra en la **Figura 4**, estas son la vivienda V1 y vivienda V5. En estas dos viviendas las horas de excedencia se concentraban en las horas de la tarde, y las primeras horas de la noche, entre las 13:00 y las 22:00.

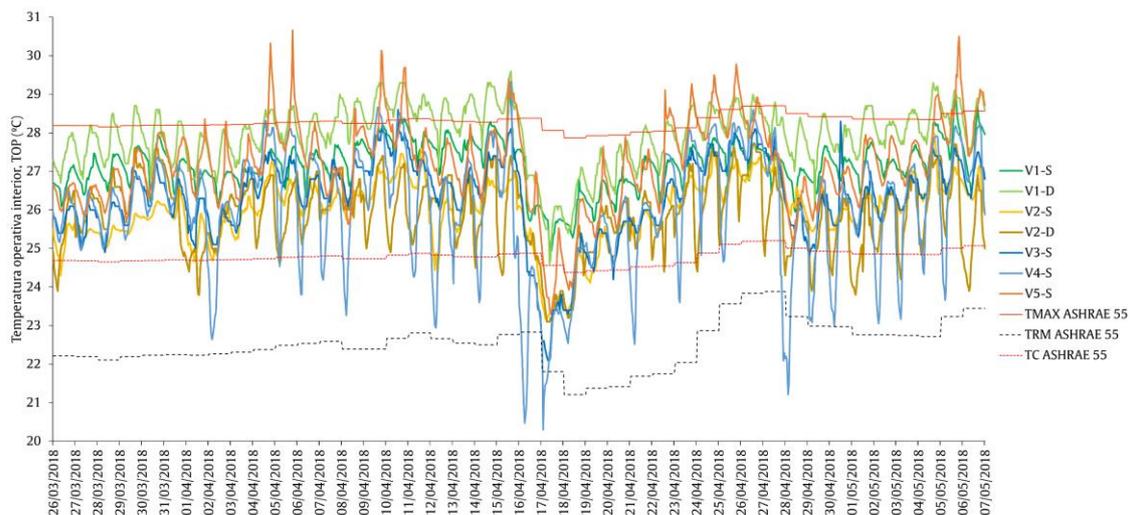


Figura 4: Temperatura operativa interior (T_{OP}) por vivienda en relación con el límite de temperatura máxima aceptable según ASHRAE 55 para el periodo de monitorización (26 de marzo -6 de mayo).

El dormitorio de la vivienda 1 (V1_D) ubicada en el segundo nivel y con orientación norte mostró durante los 41 días de monitorización 20 horas de excedencia (ver **Figura 5**). En cambio, el salón de la vivienda 1 (V1_S) orientado a oeste no mostró horas de excedencia, y es muy probable que se deba a la protección solar a pesar de recibir la radiación solar de la tarde. El residente respondió que generalmente no abre las ventanas como primera estrategia para reducir las temperaturas calientes sino solamente encender un ventilador portátil para sentirse mejor, lo cual puede explicar porque el dormitorio experimenta horas de excedencia al acumularse el calor internamente por falta de ventilación. Las 20 horas de excedencia vienen a ser 5.4% de las horas monitorizadas durante 41 días entre las 13:00 y 22:00 de la tarde.

Hora del día	Nivel intermedio				Último nivel		
	V1_S	V1_D	V2_S	V2_D	V3_S	V4_S	V5_S
00:00 – 01:00	0	0	0	0	0	0	0
01:00 – 02:00	0	0	0	0	0	0	0
02:00 – 03:00	0	0	0	0	0	0	0
03:00 – 04:00	0	0	0	0	0	0	0
04:00 – 05:00	0	0	0	0	0	0	0
05:00 – 06:00	0	0	0	0	0	0	0
06:00 – 07:00	0	0	0	0	0	0	0
07:00 – 08:00	0	0	0	0	0	0	0
08:00 – 09:00	0	0	0	0	0	0	0
09:00 – 10:00	0	0	0	0	0	0	0
10:00 – 11:00	0	0	0	0	0	0	0
11:00 – 12:00	0	0	0	0	0	0	0
12:00 – 13:00	0	0	0	0	0	0	0
13:00 – 14:00	0	1	0	0	0	0	1
14:00 – 15:00	0	2	0	0	0	0	1
15:00 – 16:00	0	3	0	0	0	0	0
16:00 – 17:00	0	4	0	0	0	0	0
17:00 – 18:00	0	3	0	0	0	0	1
18:00 – 19:00	0	2	0	0	0	0	3
19:00 – 20:00	0	2	0	0	0	0	8
20:00 – 21:00	0	2	0	0	0	0	7
21:00 – 22:00	0	1	0	0	0	0	4
22:00 – 23:00	0	0	0	0	0	0	0
23:00 – 00:00	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	20	0	0	0	0	25

Figura 5: Horas de excedencia (H_E) por vivienda durante el periodo de monitorización (26 de marzo -6 de mayo)

La vivienda 2 (V2_S y V2_D) contaba con sistema de aire acondicionado (AC) de manera que no se encontraron horas de excedencia muy probablemente porque los residentes de esta vivienda encendían el AC en las horas de calor

El salón de la vivienda 5 ubicada en la última planta, que posee solamente ventilación natural hacia el patio central (V5_S) mostró también 25 horas de excedencia (H_E) durante todo el período de monitorización. Muy probablemente los factores que inciden a tener horas de excedencia son su ubicación bajo cubierta y la poca ventilación natural, a pesar de que el espacio puede ventilar solamente al patio y que el ocupante respondió como primera estrategia a tomar al sentir calor abrir las ventanas. Las 25 horas de excedencia vienen a ser 6.8% de las horas monitorizadas durante 41 días entre las 13:00 y 22:00 de la tarde.

El rol que tiene la ventilación natural en la disipación de calor puede observarse en el comportamiento térmico del salón de la vivienda 4 (V4_S) que se muestra en la **Figura 4**, donde las temperaturas caen a pesar de estar elevadas durante algunos días. El ocupante de esta vivienda respondió abrir siempre las ventanas al sentir calor, y es muy probable que la ventilación natural está ayudando que la vivienda no cuente con horas de excedencia por calor.

4. DISCUSIÓN

Este artículo proporciona una evaluación a través de un estudio de monitorización, de las condiciones de confort térmico que el edificio de Condominios La Ronda brinda, para demostrar la efectividad de la rehabilitación en términos de condiciones ambientales interiores. El objetivo del estudio fue proporcionar una mejor comprensión de cómo la preservación de los elementos pasivos del diseño original del antiguo Hotel La Ronda ayudó a proveer de temperaturas confortables durante el período más caluroso del año, con horas de excedencia identificadas en algunas de las viviendas.

Dentro de los programas de mejora de vivienda del Centro Histórico, la Gerencia de la AMDC deberá considerar estrategias de diseño y construcción que brinden confort térmico a los ocupantes durante temporada de calor, entre ellas las mostradas en este estudio: el patio central como elemento no solo de medida pasiva para brindar confort térmico, como lo demuestran otros estudios en centros históricos [6], sino también como elemento característico que las viviendas coloniales del Centro Histórico de Tegucigalpa ya poseen y deben conservarse; y la protección solar, a través de la propia forma del edificio, o a través de elementos de protección (lamas, pantallas, etc.) como los mostrados en Condominios La Ronda, que tengan como propósito mantener o mejorar la identidad del Centro Histórico. Para ello el Plan Maestro para la Conservación del Centro Histórico del Distrito Central deberá también incorporar no solo directrices de cómo mantener y conservar las fachadas de los inmuebles residenciales, sino también estrategias para que las medidas que se adopten en las fachadas (y en todo el edificio) pueden crear condiciones interiores saludables para la habitabilidad humana, sin sacrificar el carácter histórico y estructural. Considerar estas medidas de diseño ayudarían a reducir el consumo de energía por aire acondicionado, y a su vez ayudarían a mejorar la imagen de la ciudad, evitando, por ejemplo, que los aparatos de condensación no dañen la imagen del Centro Histórico de la ciudad.

Los datos proporcionados por la estación meteorológica de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras muestran una oscilación de temperatura diaria promedio de aproximadamente 10°C, así también una temperatura mínima media de 16°C durante los 41 días de estudio. Esto último es una oportunidad que se puede aprovechar en los edificios residenciales, como se muestra en los datos del salón de la vivienda 4 (V4_S), pero para ello el diseño debe favorecer la ventilación natural para hacer uso del enfriamiento pasivo, principalmente en horas de la noche.

Las horas de excedencia encontradas en las viviendas 1 (V1_D) y la vivienda 5 (V5_S) de esta tipología habitacional representan entre 5 y 7% de las horas entre 13:00 y 22:00 (9 horas) en el período más caliente del año. A partir de las 17:00 de la tarde hay más riesgo de desconfort térmico dado que es a partir de esa hora que el 50% de los ocupantes respondieron estar en casa.

El proyecto de Condominios La Ronda va de la mano con los objetivos que el PMD-OT [2] y el Plan de Acción para Tegucigalpa y Comayagüela [1] sobre la redensificación del Centro Histórico de la capital hondureña. Además, sirve de proyecto piloto, sin precedente alguno, para futuros proyectos a desarrollarse que aprovechen edificios en estado de abandono para la realización de proyectos habitacionales que eviten la expansión acelerada de la mancha urbana. La redensificación del Centro Histórico puede ser una vía para enfrentar también el déficit de viviendas en Honduras, que ronda 1 millón de viviendas [7].

Un estudio más profundo en el edificio, abarcando una mayor muestra de viviendas, podría determinar, por un lado, el efecto directo de la protección solar en la reducción de temperaturas exteriores, y por otro lado el efecto del patio central como espacio disipador de calor, dado que este estudio se enfocó en realizar mediciones solamente en los espacios interiores de las viviendas, y no en los elementos de diseño pasivo. Futuros estudios podrían también estudiar el riesgo de sobrecalentamiento de los edificios del CHTC, en edificios residenciales para brindar de condiciones confortables a los ocupantes, por monitorización o simulación.

5. CONCLUSIONES

Los proyectos de rehabilitación que se ubiquen en centros históricos pueden adoptar estrategias de diseño pasivo que tengan el doble objetivo de preservar la identidad del edificio y ciudad, y a su vez brindar condiciones térmicas habitables y saludables para los ocupantes, como se demuestra en este estudio. Cabe recalcar que los elementos de diseño pasivo (protección solar en fachadas norte y oeste, y la ventilación cruzada que el patio central promueve), están ayudando a que el edificio no se sobrecaliente, con pocas horas de excedencia por calor en solo algunas de las viviendas monitorizadas. De cara a una redensificación del Centro Histórico de Tegucigalpa y Comayagüela (CHTC), la identidad de la ciudad deberá ir de la mano con medidas de diseño (como las planteadas en este artículo) y construcción que aseguren condiciones térmicas interiores confortables y saludables para los ocupantes en temporada caliente.

6. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Asociación de Amigos de la Universidad de Navarra (UNAV) por financiar este estudio. Un agradecimiento especial a las familias hondureñas y a los administradores de Condominios La Ronda, ya que aceptaron participar en el estudio y permitieron el acceso a las viviendas. Además, un agradecimiento especial al Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT) de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) por proporcionar datos meteorológicos de 2018 de Tegucigalpa.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Tegucigalpa y Comayagüela. Capital Sostenible, Segura y Abierta al Público, 2015; <https://webimages.iadb.org/PDF/Plan+de+Accion+-+Tegucigalpa.pdf>.
- [2] Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC). Plan de Desarrollo Municipal con Enfoque de Ordenamiento Territorial (PDM-OT), 2014
- [3] Banco Interamericano de Desarrollo (BID), IDOM, Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC). Estudios Base para Tegucigalpa, Honduras. Informe Final, 2015; http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/15268/mod_resource/content/0/Estudio%20detallado%20Centro%20Histo%CC%81rico.pdf
- [4] Castillo, Fernando. *Un recorrido y un grito de Guerra*, 2015; <http://vuelvealcentro.com/un-recorrido-y-un-grito-de-guerra/> (accessed: September 2019).
- [5] American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Thermal environmental conditions for human occupancy, 2017
- [6] A. Tablada, F. De Troyer, B. Blocken, J. Carmeliet, H. Verschure, On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments - the Old Havana case, *Build. Environ.*, 2009 44 (9), 1943–1958; doi:10.1016/j.buildenv.2009.01.008
- [7] Hábitat para la Humanidad Honduras, Barreras de Acceso a Suelo para Vivienda Social en Honduras, 2017; <http://www.habitathn.org/wp-content/uploads/2017/08/Barreras-de-Acceso-al-Suelo-para-Vivienda-Social-en-Honduras.pdf>.