

*Revista Electrónica Nova Scientia*

Calificación ambiental de la vivienda.  
Estrategias de adaptabilidad higrotérmica  
Environmental qualification of the housing.  
Hygrothermal strategies adaptability

**Carlos Alberto Fuentes Pérez**

---

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo  
Universidad Autónoma de Tamaulipas  
Campus Tampico-Madero

---

**México**

*Carlos Alberto Fuentes Pérez.* E-mail: [fuenper@hotmail.com](mailto:fuenper@hotmail.com)

## Resumen

La calificación ambiental térmica es el procedimiento mediante el cual se evalúan las consecuencias de la implantación, ampliación, modificación o traslado de las actividades y elementos al interior de la vivienda estudio de caso, para comprobar y determinar las medidas correctoras o precautorias necesarias para prevenir o compensar sus posibles efectos térmicos sobre los espacios. Donde se argumentará que la climatología urbana y el sistema constructivo establecen el ambiente higrotérmico. Se observa y monitorea los valores térmicos y su oscilación, de consigna fijada para invierno y verano. Con base en los resultados se determina el comportamiento anual de temperatura y humedad relativa medio mensual así como las estrategias de adaptabilidad y la clasificación higrotérmica. El trabajo metodológicamente es una investigación experimental aplicada, donde los diferentes métodos se apoyan en varios tipos como el documental, de campo y descriptivo. El objetivo de la presente investigación es determinar la calificación ambiental térmica únicamente de temperatura y humedad relativa, al interior de la vivienda común en Tampico, México.

**Palabras clave:** Adaptabilidad climática; características constructivas; zona constante

Recepción: 30-06-2015

Aceptación: 23-11-2015

## Abstract

Thermal environmental rating is the process by which the consequences of the implementation, expansion, modification or removal of activities and elements within the housing case study, to try and determine the corrective or precautionary measures necessary to prevent or evaluated compensate possible thermal effects on the spaces. Where it will argue that urban climatology and establish constructive system hygrothermal environment. It observes and monitors the thermal and values your swing, setpoint set for winter and summer. Based on the results of the annual performance average monthly temperature and relative humidity as well as strategies of adaptability and hygrothermal rating is determined. The experimental work is methodologically applied research, where different methods rely on various types as the documentary field and descriptive. The objective of this research is to determine the thermal environmental qualification only temperature and relative humidity inside the common housing in Tampico, Mexico.

**Keywords:** Climatic adaptability; building characteristics; constant zone.

## Introducción

Se reconoce de acuerdo a la Norma ISO 7730:2005 (2005), que viene a ser la referencia a aplicar para evaluaciones de comodidad térmica, y que, contribuye a la sensación de comodidad, consecuentemente enuncia, “el comportamiento térmico es definido como la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente”.

A decir de Krüeger et al (2014), dicha satisfacción ambiental se entiende como el grado de adaptabilidad higrotérmica, que es “la realización de cualquier actividad normal en la vivienda y en donde no intervienen los mecanismos termoreguladores del usuario”.

El estudio de la calificación ambiental térmica reúne los principios de la arquitectura, dando sentido a aquellas interacciones de los elementos básicos del usuario de la vivienda con su entorno y explicando el qué de cada diferente situación en que se puedan encontrar estos elementos, basada en conceptos de las leyes de la termodinámica que viene a ser la dinámica del calor, y la cual es una de las ramas de la física que estudia los efectos de los cambios de magnitudes de temperatura y humedad relativa ambiental.

Para el presente trabajo la hipótesis de investigación es, si se realiza la valoración climática se comprobará que el sistema constructivo y emplazamiento de la vivienda común, determina la calificación ambiental térmica al interior de la misma en Tampico, México. Siendo por lo tanto, la variable independiente el sistema constructivo y emplazamiento de la vivienda común; y la variable dependiente la calificación ambiental térmica. Los valores de observación son la temperatura del aire y humedad relativa, para lograr una arquitectura de opción pasiva.

Existen varias definiciones acerca de lo que es un sistema pasivo. En sí, el término pasivo, se empieza a aplicar hace sólo unos cuantos años a aquellos sistemas de climatización ambiental que, en contraste con los complejos y sofisticados equipos de aire acondicionado o calefacción modernos, resultan muy simples, tanto en concepto como en funcionamiento y mantenimiento. De hecho, tratan de ser lo menos dependiente posible de equipos auxiliares convencionales de apoyo, bombas, ventiladores y condensadores siendo, en la mayoría de los casos, totalmente independientes de éstos.

En consecuencia, los sistemas pasivos de climatización se caracterizan por la nula dependencia de energéticos convencionales como los de origen fósil, contribuyendo de manera contundente al ahorro y uso eficiente de los recursos renovables. Los sistemas pasivos se determinan por formar parte de la estructura misma de la vivienda común, aunque incorporados de tal manera a las características del ambiente, que pueden captar, bloquear, transferir, almacenar o descargar energía en forma natural y casi siempre autorregulable, según el proceso de climatización implicado.

Existen tres opciones cuando menos de adecuar la vivienda al clima para Staines (2007), opción pasiva, activa y la híbrida o convencional. En primera instancia se ubica la opción pasiva, que se fundamenta en la no utilización de energías tradicionales, se empieza con la búsqueda de otras fuentes alternas como la utilización de ventanas adecuadas para dar respuesta al clima, fuentes o deshumidificadores del aire o torres de ventilación.

La opción activa, se refiere al modelo tecnológico y se sustenta sobre la base del derroche energético, un sin número de aditamentos mecánicos, eléctricos y digitales de alto consumo y bajo rendimiento como los aparatos de aire acondicionado y de calefacción, estos se hacen necesarios cuando los materiales y procedimientos constructivos son antagónicos al clima.

Y por último se ubica la opción híbrida o convencional, que viene a ser la combinación de los dos modelos anteriores de manera racional retomando lo mejor de cada propuesta y adecuando en el caso de la opción pasiva a las condiciones si estas así lo requieren. En esta propuesta híbrida se considera el uso de la energía solar pasiva, activa y convencional como la electricidad y el gas de manera que el gasto sea racional, mínimo. Además de incorporar los aparatos que la tecnología descubra y que sean más eficientes con el entorno, al mismo tiempo una correcta orientación al momento de proyectar la vivienda, para minimizar costos de energía a emplear, si en su caso se requiere.

### **Desarrollo Temático**

Toda medición de los factores ambientales interiores y exteriores, se contrastan con los valores recomendados por diversos autores, con el objeto de determinar los rangos de comodidad en que se ubica la vivienda y de este modo se puede establecer la calificación ambiental térmica y sus estrategias de adaptabilidad higrotérmica de la vivienda a estudiar.

### *Estudios de monitoreo y tipificación*

Indica Kolaitis et al (2013), que los estudios de monitoreo térmico se realizan de dos maneras: el teórico mediante simulación, y el que se realiza en condiciones reales de funcionamiento mediante experimentación científica, con instrumentos confiables.

De los factores ambientales térmicos a monitorear al interior, expresan Karagiozis y Salonvaara (2011), la temperatura ( $T$ ) es el parámetro básico para la evaluación térmica de la vivienda como elemento del clima, es el parámetro que determina la transmisión de calor de un cuerpo a otro en forma comparativa por medio de una escala. Se utilizan, en general, tres tipos de escalas termométricas: los grados Centígrados, los grados Kelvin y los grados Fahrenheit.

La temperatura media radiante para Sulaiman y Olsina (2014), es el promedio de las temperaturas de las superficies interiores del local y es tan importante como la  $T$  por la magnitud del intercambio de radiación infrarroja. En general, la  $T_{mr}$  suele ser similar a la del aire interior, pero si hay algunas superficies relativamente calientes como las losas en verano o frías como los muros en invierno, donde complementan Li et al (2014), que conviene calcular la  $T_{mr}$  ponderada, según la temperatura neutral ( $T_n$ ).

De igual manera la humedad relativa (HR) para Tariku et al (2011), suele ser el factor sin influencias aparentes con valores entre el 40.00% y el 60.00%. Cuando los factores personales y ambientales son moderados opinan Taylor et al (2014), que se considera satisfactorio el intervalo entre el 30.00% y el 70.00% de humedad relativa.

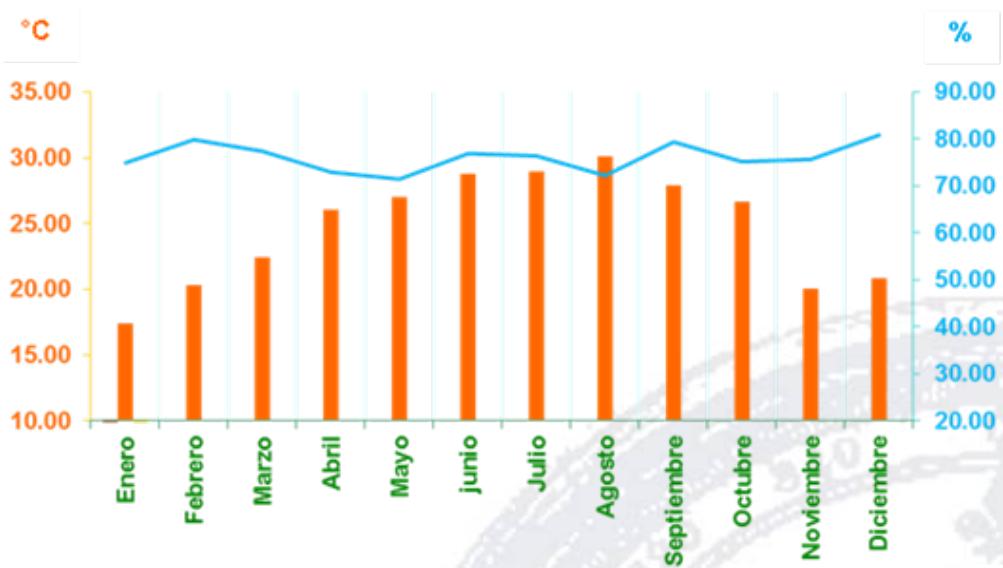
Para el análisis e interpretación del comportamiento higrotérmico de la vivienda, existen diversas formas de analizar los factores ambientales y sus interrelaciones; a indicar de Marique et al (2014), entre los más conocidos están la hora-grado con mediciones a cada hora al interior y exterior de la vivienda de temperatura y humedad relativa.

Bajo dichas propuestas la zona de comodidad térmica local queda determinada y a partir de estos valores térmicos, Anlauf et al (2013), emiten que toda temperatura media que esté arriba del límite superior tiene requerimientos de enfriamiento por demasía, restando los grados que rebasan el límite. Mientras que toda temperatura media mensual, que quede abajo del límite inferior de la zona de comodidad térmica local, tiene requerimientos de

calentamiento por pérdida, determinados por el número de días-grado del mes analizado. Para lo cual Ioannou e Itard (2015), posteriormente se pasa a los gráficos y diagramas de adaptabilidad para determinar el comportamiento higrotérmico del espacio monitoreado en horas-grado y determinar su clasificación.

Las mediciones monitoreadas de la vivienda se tienen que recabar, ordenar y analizar en una bitácora de monitoreo para su futura interpretación mediante gráficas higrotérmicas y los diagramas adaptativos a emplear en el presente trabajo, por lo tanto, la valoración climática de temperatura y humedad media mensual de 2014, que es cuando se realiza el trabajo de investigación, ver gráfico N° 1.

**Gráfico N° 1  
Temperatura del aire y humedad relativa media mensual 2014**



**FUENTE:** Elaboración Propia. Valores Térmicos Hobo's Pro v2.

El mes con temperatura más baja media es **enero**

17.40°C **Mes Crítico**

El mes con temperatura más alta media es **agosto**

30.10°C **Mes Crítico**

### *Modelos Adaptativos de comodidad térmica*

A continuación una vez analizada la valoración climática, se describen algunos de los principales modelos para evaluar el comportamiento térmico de la vivienda estudio de caso que se conocen hasta ahora, y que interesan como referencia teórica para el desenvolvimiento de la investigación, y el entendimiento de la zona de comodidad que se propone plantear en el presente trabajo. Dichos modelos se presentan en estudios precedentes de investigación como el de Chávez del Valle (2002), Gómez-Azpeitia et al (2007) y los de González y Bravo (2009).

Los modelos de comportamiento conforman los requerimientos térmicos, y el arquitecto debe diseñar estrategias de adaptabilidad higrotérmica para que los espacios cumplan con valores admisibles de estos modelos. Asimismo los modelos del comportamiento térmico adaptativos, admiten Van Hooff et al (2015), en cierta manera las variaciones en el clima exterior, para determinar las preferencias térmicas con base a sus oscilaciones, y con límites horarios constantes para la temperatura y la humedad relativa.

### *Modelo de comportamiento térmico de Humphreys, M.A.*

Humphreys (1997), hace una revisión de los datos de estudios de campo, en la que encuentra una fuerte dependencia estadística de las neutralidades térmicas ( $T_n$ ), o temperaturas en las que un mínimo estrés es reportado en escalas verbales, en niveles medios de temperatura del aire, o temperatura de globo ( $T_i$ ), experimentadas por los encuestados en interior o exterior, en un periodo de aproximadamente de un mes. Se encuentra que el valor de  $T_n$  oscila unos 13.0°C, esto es, entre 17.0°C y 30.0°C y aplica la siguiente ecuación:

$$T_n = 2.56 + 0.83 \cdot T_i \quad (1)$$

Un posterior análisis realizado por Humphreys y Nicol (2001), sustituyendo la temperatura interior por la media exterior ( $T_m$ ), produce resultados similares en viviendas sin sistemas de acondicionamiento mecánico del aire:

$$T_n = 11.9 + 0.534 \cdot T_m \quad (2)$$

*Modelo de comportamiento térmico de Auliciems, A.*

Correlaciones muy similares son encontradas posteriormente por Auliciems (1997), usando una extensa base de datos; incluyendo ambos tipos de viviendas, con sistemas mecánicos de acondicionamiento de aire y sin él, es encontrando la siguiente expresión para  $T_n$ , que es válida entre 18.0°C y 28.0°C:

$$T_n = 17.6 + 0.31 \cdot TMm \quad (3)$$

*Modelo de comportamiento térmico de Griffiths*

Basado en el estudio de Griffiths (1991), de edificios europeos con sistemas pasivos, la regresión es prácticamente la misma que la de Humphreys:

$$T_n = 12.1 + 0.534 \cdot Tm \quad (4)$$

*Modelo de comportamiento térmico de Nicol, Fergus*

Nicol, Fergus (1996), realiza estudios más recientes en Pakistán, Nicol y Roaf donde encuentran que:

$$T_n = 17.0 + 0.38 \cdot Tm \quad (5)$$

Un modelo adaptativo desarrollado por Auliciems, adapta los datos de sensación, basados en investigaciones de campo de comportamiento térmico en Australia, abarcando distintos climas, usando la siguiente ecuación:

$$T_n = 9.22 + 0.48 \cdot Ta + 0.14 \cdot Tm \quad (6)$$

Una vez determinado el modelo adaptativo, dependiendo del clima de la región donde se encuentra la vivienda estudio de caso es necesario determinar la zona de comodidad térmica ( $T_n$ ).

Estos modelos manifiestan Gómez-Azpeitia et al (2007), que han servido de base a otros procedimientos para la determinación de la temperatura de diseño óptima, como el de la ANSI-ASHRAE standard 55, 2004 y el de la ISO 7730:1995, para la determinación del Voto

Medio Previsto (PMV) y del Porcentaje Previsto de Personas Insatisfechas (PPD) siglas en inglés, de los índices y especificaciones de las condiciones de confort térmico.

#### *Zona de comodidad térmica, con límites constantes*

El ancho de la franja de comodidad o tolerancia con límites constantes, como se ha mencionado por Nicol y Humphreys (2002), consideran una anchura directamente proporcional a la posibilidad de los usuarios de realizar acciones adaptativas, en dicho caso la zona de comodidad térmica puede ser considerablemente más ancha que  $\pm 2.00^{\circ}\text{C}$  en torno a la temperatura media preferida de los usuarios de realizar acciones adaptativas, en dicho caso la zona de comodidad térmica puede ser considerablemente más ancha que  $\pm 2.50^{\circ}\text{C}$ .

#### *La psicometría en Arquitectura*

Entendiendo a la psicometría para, O 'Kelly et al (2014), como la rama de la ciencia que trata de las propiedades de la T y HR sobre los materiales entre otras, pero en el vigente trabajo se pretende determinar solamente la comodidad higrotérmica. Se presenta mediante el diagrama psicométrico o ábaco, el cual se le utiliza en Arquitectura en la aplicación de estrategias de adaptabilidad higrotérmica para las mejoras en soluciones constructivas y empleo de materiales dependiendo de su inercia térmica, tanto al interior como al exterior de la vivienda.

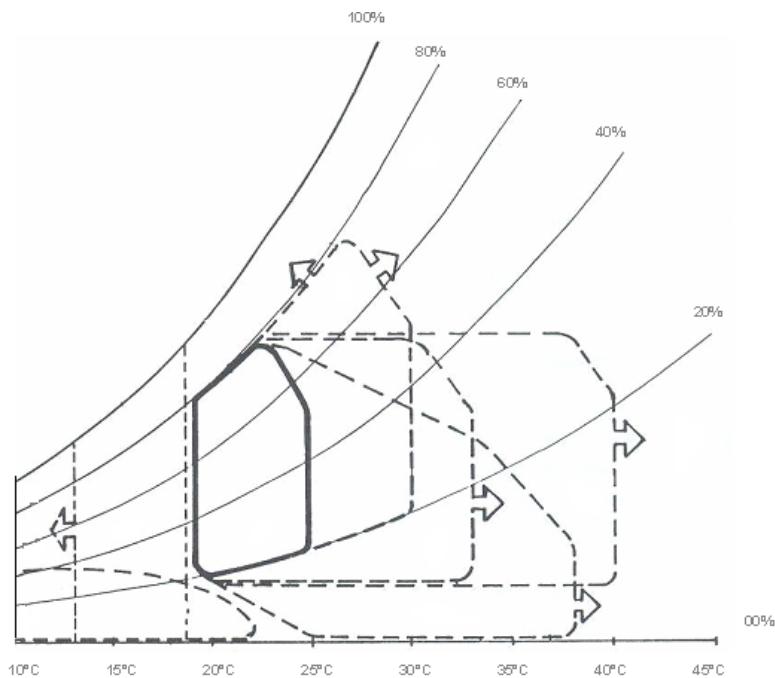
En consecuencia, para poder ejercer un control sobre el ambiente térmico, emiten Candanedo et al (2015), se hace mediante soluciones de diseño arquitectónico, constructivo o tecnológico, es necesario dominar los fundamentos físicos del calor y sus mecanismos de transmisión por diferentes medios, como son la radiación de superficies, la conducción y acumulación en sólidos, la convección en el aire y la evaporación del agua.

#### *Adaptabilidad higrotérmica*

Sin embargo, nuevas investigaciones como es el caso de Lechner (2001), en su libro, "Métodos de diseño para arquitectos", profiere claramente que el clima es universal y no tiene frontera alguna, y por lo cual diseña su diagrama psicométrico y con el cual se pueden determinar estrategias de adaptabilidad higrotérmica, para el interior de la vivienda o espacio monitoreado por T y HR. Para cualquier clima dependiendo de su latitud y longitud con respecto al meridiano de Greenwich.

Este diagrama psicométrico sobresale en la actualidad en las investigaciones ya que considera todo tipo de clima. Es una representación tal que cada espacio del mismo define determinadas condiciones atmosféricas dadas por la temperatura ambiente y las condiciones de humedad relativa, se observa en el gráfico N° 2.

Gráfico N° 2  
Diagrama Psicométrico



FUENTE: Diagrama: Lechner (2001).

### Clasificación higrotérmica

Al realizar la valoración higrotérmica al interior de los espacios para el clima de Tampico, México arroja como resultado a qué tipo de clasificación climática pertenece, según los gráficos adaptativos de temperatura y humedad relativa, y su ubicación. Para lo que el investigador del presente trabajo adapta el diagrama psicométrico de Lechner (2001), y por lo tanto, es de los pioneros en determinar la calificación ambiental térmica de la vivienda con exactitud, en México.

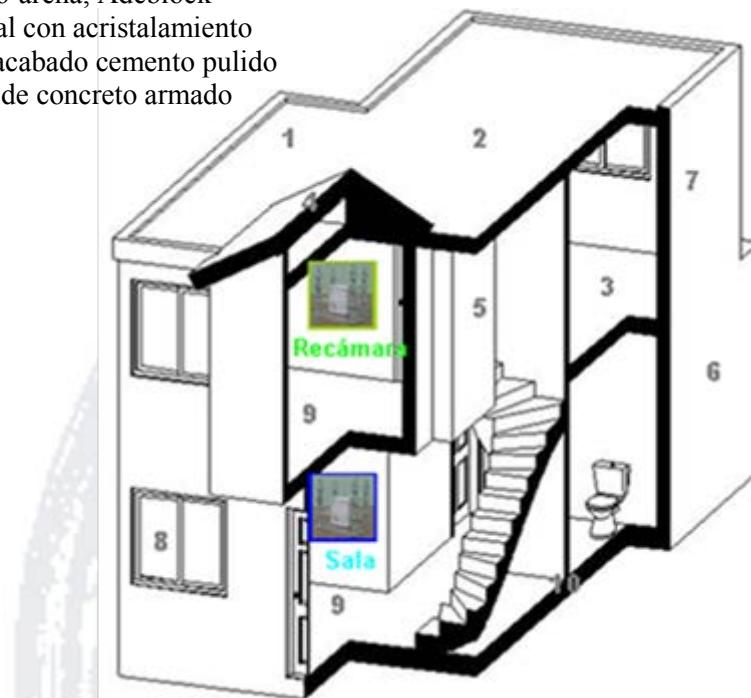
*Características constructivas de la vivienda común en Tampico, México*

La tecnología de la vivienda común, es la producción masiva de la arquitectura, y por lo tanto, es la vivienda industrializada y estandarizada para la población en general, construida de 1980 a 2014 en Tampico, México, similar a las producidas en la República Mexicana.

La vivienda común típica, contempla en sus medidas promedio, alturas interiores de piso a cielorraso de 2.40 m; con un volumen total interior de 200.00 m<sup>3</sup>; un área de losa de 42.00 m<sup>2</sup>; un área de la envolvente sin losa de 161.80 m<sup>2</sup>; con un área de aberturas en la envolvente de 15.00 m<sup>2</sup>; dando en total un porcentaje de aberturas en la envolvente de 09.00%, ver gráficos N° 3 del isométrico de las soluciones constructivas y el N° 4 de las plantas arquitectónicas de la vivienda estudio de caso.

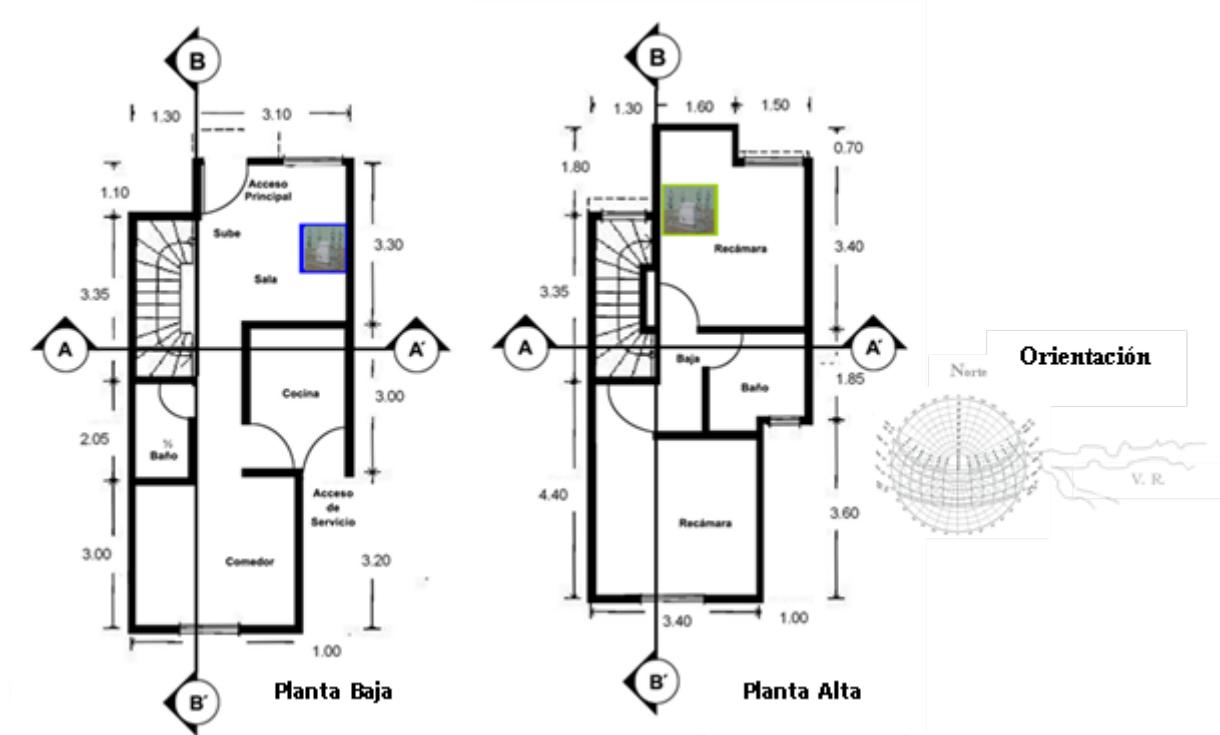
**Gráfico N° 3  
Isométrico de soluciones constructivas de la vivienda común en Tampico, México**

- |    |   |
|----|---|
| 1  | Impermeabilizante a base de resinas acrílicas         |
| 2  | Losa aligerado con vigueta y bovedilla o casetón      |
| 3  | Entrepiso aligerado con vigueta y bovedilla o casetón |
| 4  | Pretiles de Bloque ligero de 0.15 x 0.20 x 0.40 m     |
| 5  | Aplanado interior de yeso, Adeblock o estuco          |
| 6  | Muro de Bloque pesado de 0.15 x 0.20 x 0.40 m         |
| 7  | Aplanado exterior de cemento-arena, Adeblock          |
| 8  | Cancelería de aluminio natural con acristalamiento    |
| 9  | Pisos de loseta vitrificada, o acabado cemento pulido |
| 10 | Losa de cimentación de capa de concreto armado        |



**FUENTE:** Elaboración Propia.

**Gráfico N° 4**  
**Plantas Arquitectónicas típicas de la vivienda común**



**FUENTE:** Elaboración Propia.

El clima en Tampico, México, refiere Sánchez (2011), es de tipo tropical, subhúmedo, cálido y extremoso. Sus coordenadas son Latitud Norte  $22^{\circ} 12' 00''$  y  $97^{\circ} 51' 22''$  longitud Oeste del meridiano de Greenwich, se eleva solamente unos 12 metros sobre el nivel del mar.

### Fundamentos metodológicos

La investigación es un procedimiento que permite centrar la atención en la comodidad térmica de la vivienda común como estudio de caso, para obtener información amplia y profunda, para contrastarla térmicamente. Se utiliza la entrevista, la observación, el análisis de documentos y la medición térmica. Por lo tanto, es una investigación experimental aplicada realizada en el año 2014 para identificar patrones de temperatura (T) y humedad relativa (HR) solamente, no realizados con anterioridad en este tipo de viviendas en Tampico, México.

La metodología a implementar es de tipo multimodal y por triangulación, ya que los diferentes métodos aplicados ofrecen el acercamiento cuantitativo y cualitativo del objetivo facilitando el análisis del estudio de caso y así poder evaluarlo. Al mismo tiempo, la presente

investigación se apoya en varios tipos de estudio para lograr resultados idóneos como el descriptivo, bibliográfico y de campo. La investigación permite desmembrar, con base en la hipótesis de trabajo, toda una idea, con el propósito de determinar en el ambiente interior oscilaciones temporales de temperatura y humedad relativa de la vivienda común, estableciendo el grado de adaptabilidad higrotérmica.

El comportamiento térmico es el hilo conductor de la investigación, por medio de los factores que influyen en la comodidad interior de la vivienda, por la tendencia del microclima que viene a ser el efecto de la isla de calor urbano y sus variaciones en Tampico, México.

Por ser el presente trabajo una investigación experimental aplicada, se establece tipificar en el documento, el comportamiento térmico de la vivienda estudio de caso considerando la que no emplea climatización artificial de opción pasiva, habitada, y en la que se realizan sus funciones habituales para no interferir en el monitoreo puntual de temperatura y humedad relativa.

#### *Instrumentos de medición*

Las mediciones al interior de la vivienda común se realizan con los Hobo's U10-003 el cual, es un instrumento electrónico confiable capaz de medir temperatura del aire y humedad relativa. Dichas mediciones son por espacio de un año en la vivienda estudio de caso, con intervalos de monitoreo cada hora, las 24 horas. Las mediciones de los valores térmicos interiores se contrastan con los exteriores monitoreados estos, con los Hobo's U23 ProV2.

#### *Especificaciones de los Hobo's U10-003 y U23 ProV2.*

|                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| Precisión en temperatura:      | ± 04.0°C              |
| Rango de humedad relativa:     | 25.0% a 95.0%         |
| Precisión en humedad relativa: | ± 04.0%               |
| Capacidad:                     | 64K bytes             |
| Duración de la batería:        | 1 año aproximadamente |

Los instrumentos son de lo más confiable y exactos, pero es imprescindible antes de su colocación una serie de verificaciones previas a su instalación final. Se hacen varias pruebas de revisión con lo que respecta a su hora exacta, en la cual tienen que coincidir todos los instrumentos sin variación inicial alguna. Los Hobo's son instrumentos confiables aceptados en proyectos de investigación con las Normas ISO 7730 y la EN-27730.

Para el experimento se ubican los Hobo's, únicamente en dos espacios bien definidos al interior de la vivienda estudio de caso, en un área social como lo es la sala y una área íntima como lo es la recámara principal, ya que las mediciones de temperatura de aire y humedad relativa de ambos espacios varían según actividades del usuario, y al exterior en un lugar a una altura de 4.50 m, varía de acuerdo a los diversos factores y actividades que influyen en el día y la noche.

Las mediciones que presenta cada Hobo U10-003 y U23 Pro v2 de Tmr de los espacios internos y del exterior, para Langmans et al (2012), se exportan a una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel por medio de un Hoboware software y de la estación base óptica U-4, donde se realiza una tabla con las mediciones íntegras de temperatura del aire en °C y de la humedad relativa expresada en %.

*Evaluación de la adaptabilidad higrotérmica por medio de gráficos con zona de comodidad térmica constante de la vivienda estudio de caso*

Se realiza principalmente en las estaciones con sus meses críticos, que son las que determinan los días de comodidad, demasia y pérdida con respecto a la variable de la temperatura, se obtienen a partir de considerar la temperatura de neutralidad de acuerdo al modelo adaptativo de comodidad térmica de Humphreys y Nicol (2001).

$$Tn = 11.9 + 0.534 \cdot Tm \text{ } ^\circ\text{C} =$$

Límites constantes en °C

$$\text{Límite Superior=} \quad +2.50^\circ\text{C}$$

$$\text{Límite Inferior=} \quad -2.50^\circ\text{C}$$

También se realiza en las estaciones con sus meses críticos, que son las que determinan los días de comodidad, demasia y pérdida con respecto a la variable de humedad relativa, considera lo estipulado en la Norma ISO 7730:2005, que la ubica idealmente en 50.00% y se determinan de la siguiente manera:

$$HRn= \quad 50.00\%$$

$$\text{Límite Superior=} \quad 60.00\%$$

$$\text{Límite Inferior=} \quad 40.00\%$$

### *Gráficos higrotérmicos y su calificación ambiental térmica*

Los gráficos de T del aire y HR de la vivienda para Moradias et al (2012), deben ser con base a los valores medios diarios proporcionados por los Hobo's U10-003 para el interior y para el exterior los proporcionados por los Hobo's U23 Pro V2, considerando los meses de enero y agosto estimados por la investigación, y elaborados con una zona de comodidad constante, mediante elaboración propia. Proporcionan la calificación térmica del comportamiento anual de T y HR media mensual, 2014.

Con este tipo de gráfico se determina la resultante de la *Tn*-límites superior e inferior-días de comodidad, demasia y pérdida térmica y la *HRc*-límites superior e inferior-días de comodidad, demasia y pérdida térmica de HR.

Concebido a los días de comodidad, como aquellos que se encuentran dentro de la franja o zona de comodidad térmica de temperatura o humedad relativa.

Los días de demasia como los diferenciales máximos que vienen a ser los días-grado por arriba del límite superior de las zonas de comodidad térmica constante de T o HR.

Los días de pérdida térmica, vienen a ser los mínimos que son la sumatoria de los días-grado acumuladas por debajo del límite inferior de la zona de comodidad térmica de T o HR.

### *Estrategias de adaptabilidad higrotérmica*

El diagrama de adaptabilidad higrotérmica contrasta sus resultados con los gráficos higrotérmicos. Se logra saber mediante el ajuste de la línea climática, que representa las condiciones climáticas del lugar de estudio para un mes determinado.

Los valores requeridos son: media de las temperaturas mínimas diarias ( $T_{mmín}$ ); media de las temperaturas máximas diarias ( $T_{mmáx}$ ); y la media de la humedad relativa correspondiente a cada una de las temperaturas.

El ábaco de Lechner (2001) está compuesto por las zonas siguientes: 1. Zona de comodidad en invierno; 2. Zona de comodidad en verano; 3. Zona de comodidad con ventilación cruzada, expresa las mismas condiciones que en la zona de comodidad pero admitiendo utilizar ventilación; 4. Zona de mayor inercia térmica, capaz de promediar en su interior las

temperaturas extremas del exterior; 5. Zona de mayor inercia térmica con ventilación nocturna; 6. Zona para refrescar por evaporación; 7. Zona de humidificación; 8. Zona de ganancia interna, donde la vivienda es capaz de mantenerse en comodidad, tan sólo por la propia actividad de los usuarios al interior de la vivienda, materiales y soluciones constructivas empleadas; 9. Zona de calentamiento solar pasivo y activo; 10. Zona de deshumidificación, en esta zona es necesario realizar una climatización pasiva o híbrida de enfriamiento con deshumidificación del aire.

### *Clasificación higrotérmica del espacio*

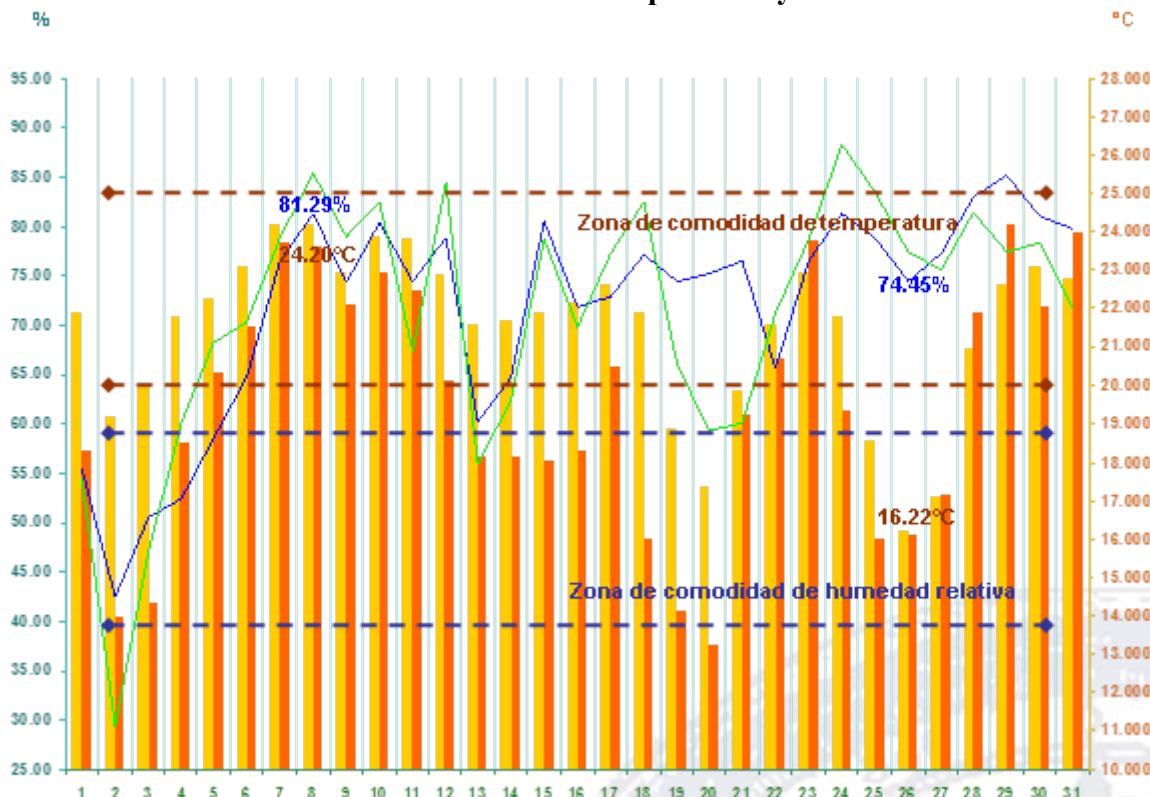
Con estos diagramas se logran los resultados de las estrategias de adaptabilidad higrotérmica interior por medio de su línea climática da la posición exacta de cada espacio y tiempo analizado para poder estar en condiciones finalmente de corroborar la calificación ambiental térmica de T y HR vertida por las resultantes de los gráficos de adaptabilidad higrotérmica, que exponen si el espacio o área analizada en el experimento científico en realidad es *moderado*, o sea un espacio que produce comodidad durante parte del año; *cálido seco*, es el espacio que produce calor sofocante por falta de mayor inercia térmica; *cálido húmedo*, espacio que produce calor sofocante pero a mayor humedad relativa al interior más caliente se percibe la vivienda; *caliente seco*, espacio que produce calor que no es agobiante, es soportable; *caliente húmedo*, espacio que produce calor pero a mayor humedad relativa al interior se refresca la vivienda; *húmedo*, espacio que produce sofocación por el aire viciado causado por las actividades cotidianas hasta los contaminantes despedidos por los materiales de construcción; o *frío*, espacio que provoca escalofríos por falta de ventilación idónea, empleo de materiales inadecuados a la región y mala integración al entorno en su concepción y forma, en determinado mes o día del año.

## Resultados

Se presentan con base al experimento científico con datos duros, concentrados en los siguientes gráficos higrotérmicos y su calificación ambiental térmica, así como los diagramas adaptativos y su clasificación ambiental térmica interior.

### *Análisis higrotérmico de la vivienda común en la sala en enero, 2014*

Gráfico N° 5  
Zonas de comodidad constante de temperatura y humedad relativa



FUENTE: Gráfico: Elaboración Propia. Valores interiores Hobo U10 y Valores exteriores U23.

Temperatura interior  
Temperatura Exterior

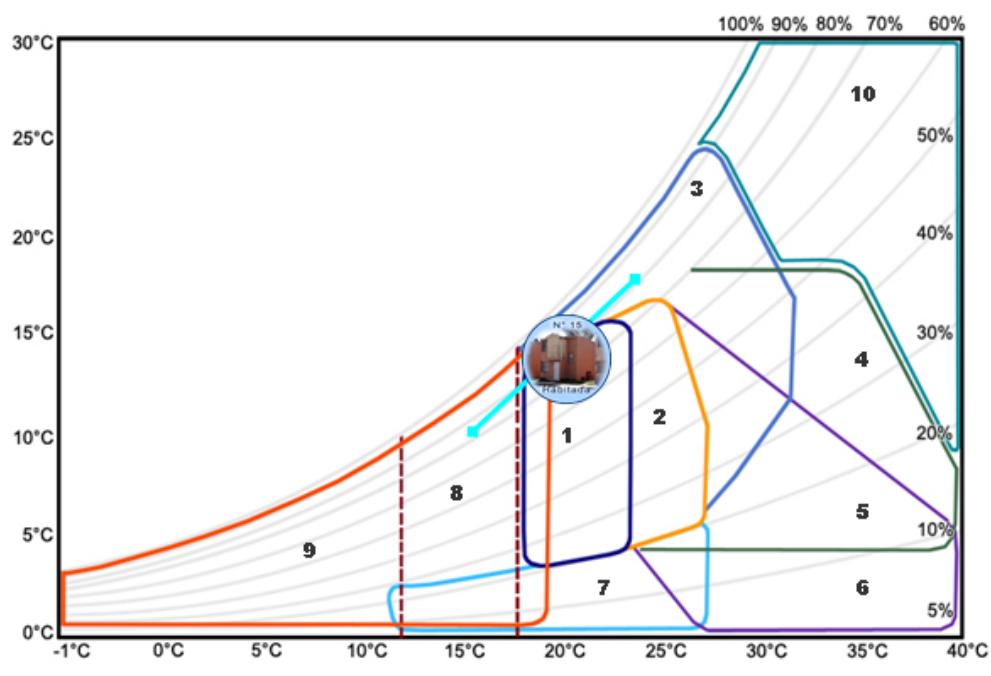
Humedad relativa interior  
Humedad relativa exterior

### *Calificación ambiental térmica*

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Días comodidad de temperatura      | 25 |
| Días demasiía de temperatura       | 0  |
| Días pérdida de temperatura        | 6  |
| Días comodidad de humedad relativa | 5  |
| Días demasiía de humedad relativa  | 26 |
| Días pérdida de humedad relativa   | 0  |

Gráfico N° 6

### Diagrama de adaptabilidad higrotérmica



**FUENTE:** Gráfico adaptativo: Elaboración Propia. Diagrama de Lechner, Norbert. (2001).

### Estrategias de adaptabilidad higrotérmica interior

T. Mínima con su correspondiente H. R.

16.22°C – 74.45%

Estrategias de habitabilidad térmica

Zona de comodidad en invierno

Zona de comodidad en verano

Ventilación cruzada

Mayor inercia térmica

Mayor inercia térmica con ventilación nocturna

Refrescar por evaporación

Humidificación

Ganancia interna

Calentamiento solar activo y pasivo

Deshumidificación

T. Máxima con su correspondiente H. R.

24.20°C – 81.29%

1

2

3

4

5

6

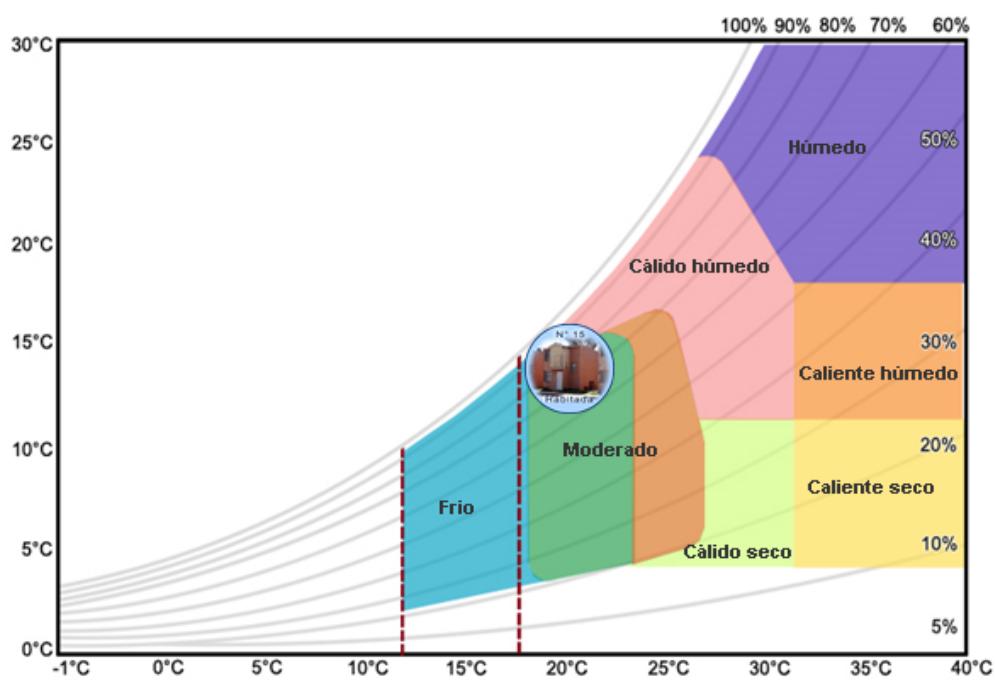
7

8

9

10

Gráfico N° 7  
Clasificación higrotérmica



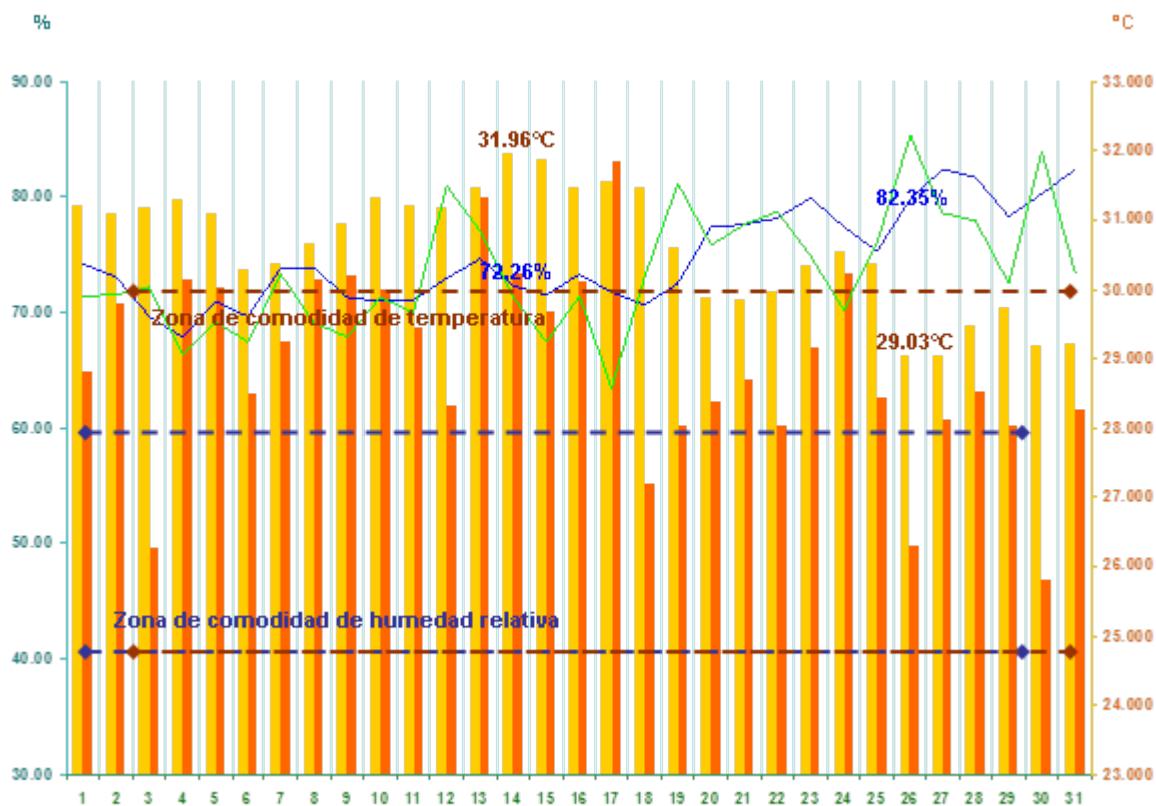
**FUENTE:** Gráfico adaptativo: Elaboración Propia. Diagrama de Lechner, Norbert. (2001).

### Clasificación higrotérmica interior

|                         |          |
|-------------------------|----------|
| Enero                   | Moderado |
| Clasificación climática |          |
| Moderado                |          |
| Cálido Húmedo           |          |
| Húmedo                  |          |
| Caliente húmedo         |          |
| Caliente seco           |          |
| Cálido seco             |          |
| Frío                    |          |

*Análisis higrotérmico de la vivienda común en la sala en agosto, 2014*

Gráfico N° 8  
Zonas de comodidad constante de temperatura y humedad relativa



FUENTE: Gráfico: Elaboración Propia. Valores interiores Hobo U10 y Valores exteriores U23.

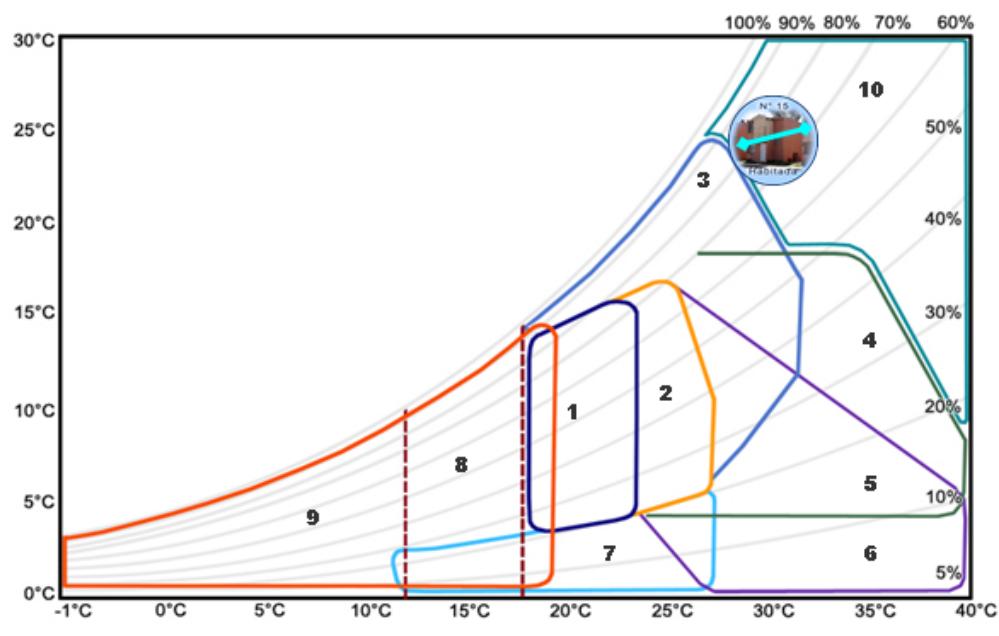
Temperatura interior  
Temperatura Exterior

Humedad relativa interior  
Humedad relativa exterior

*Calificación ambiental térmica*

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Días comodidad de temperatura      | 6  |
| Días demasiía de temperatura       | 25 |
| Días pérdida de temperatura        | 0  |
| Días comodidad de humedad relativa | 0  |
| Días demasiía de humedad relativa  | 31 |
| Días pérdida de humedad relativa   | 0  |

**Gráfico N° 9**  
**Diagrama de adaptabilidad higrotérmica**



**FUENTE:** Gráfico adaptativo: Elaboración Propia. Diagrama de Lechner, Norbert. (2001).

### *Estrategias de adaptabilidad higrotérmica interior*

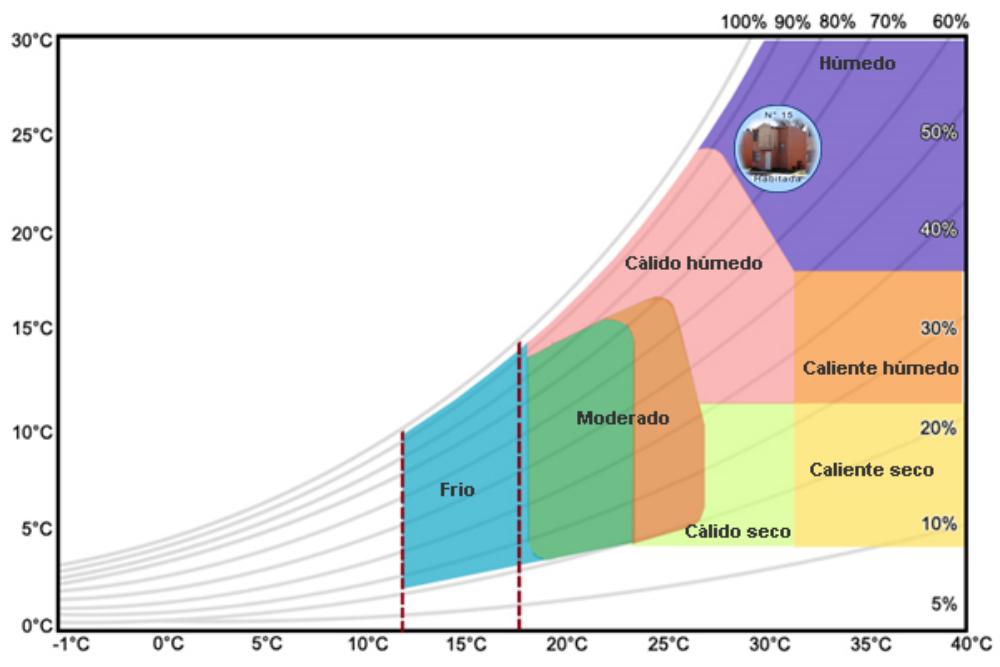
T. Mínima con su correspondiente H. R.  
 $29.03^{\circ}\text{C} - 82.35\%$

- Estrategias de habitabilidad térmica
- Zona de comodidad en invierno
  - Zona de comodidad en verano
  - Ventilación cruzada
  - Mayor inercia térmica
  - Mayor inercia térmica con ventilación nocturna
  - Refrescar por evaporación
  - Humidificación
  - Ganancia interna
  - Calentamiento solar activo y pasivo
  - Deshumidificación

T. Máxima con su correspondiente H. R.  
 $31.96^{\circ}\text{C} - 72.26\%$

- |    |
|----|
| 1  |
| 2  |
| 3  |
| 4  |
| 5  |
| 6  |
| 7  |
| 8  |
| 9  |
| 10 |

Gráfico N° 10  
Clasificación higrotérmica



FUENTE: Gráfico adaptativo: Elaboración Propia. Diagrama de Lechner, Norbert. (2001).

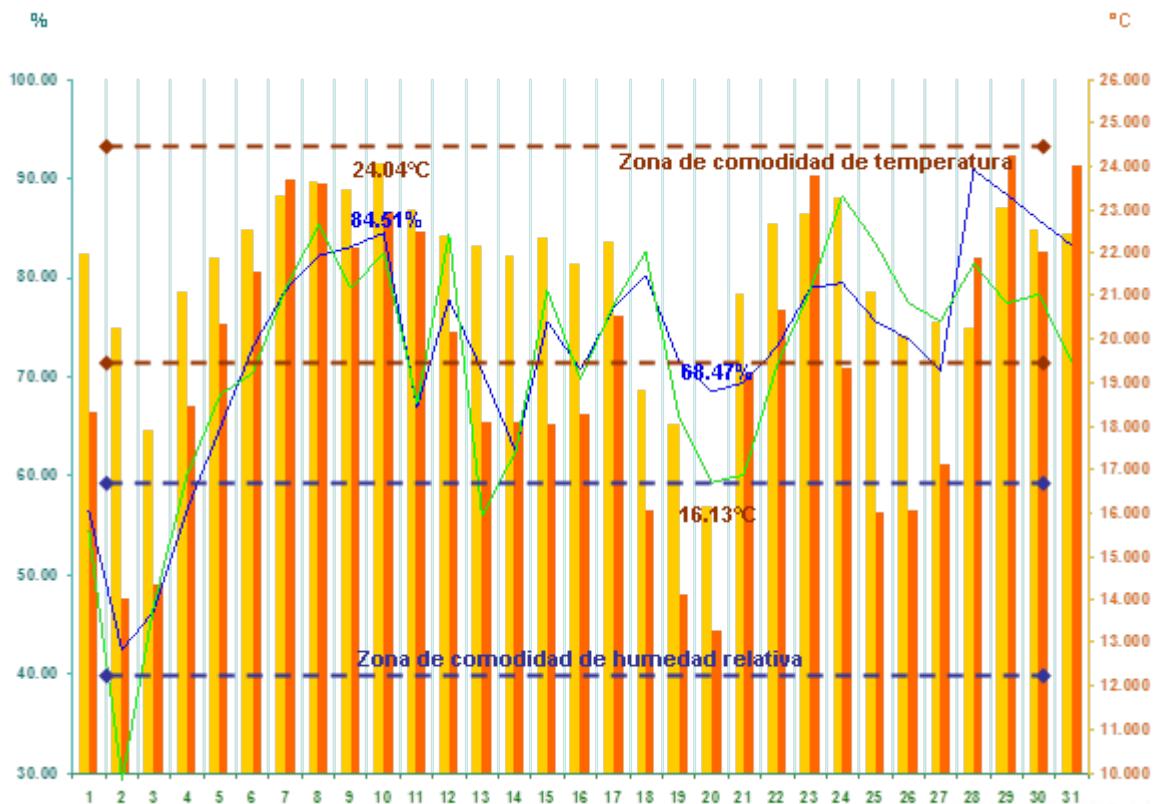
### *Clasificación higrotérmica interior*

Agosto  
Clasificación climática  
Moderado  
Cálido Húmedo  
Húmedo  
Caliente húmedo  
Caliente seco  
Cálido seco  
Frío

Húmedo

**Análisis higrotérmico de la vivienda común en la recámara en enero, 2014**

Gráfico N° 11  
Zonas de comodidad constante de temperatura y humedad relativa



FUENTE: Gráfico: Elaboración Propia. Valores interiores Hobo U10 y Valores exteriores U23.

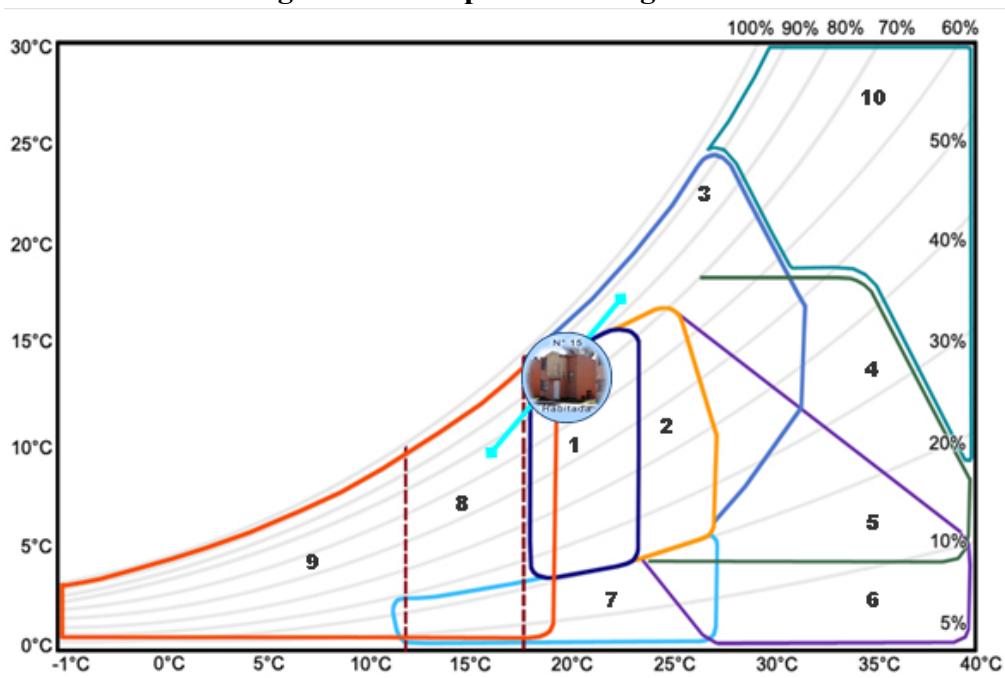
Temperatura interior  
Temperatura Exterior

Humedad relativa interior  
Humedad relativa exterior

**Calificación ambiental térmica**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Días comodidad de temperatura      | 27 |
| Días demasiía de temperatura       | 0  |
| Días pérdida de temperatura        | 4  |
| Días comodidad de humedad relativa | 4  |
| Días demasiía de humedad relativa  | 27 |
| Días pérdida de humedad relativa   | 0  |

Gráfico N° 12  
Diagrama de adaptabilidad higrotérmica



FUENTE: Gráfico adaptativo: Elaboración Propia. Diagrama de Lechner, Norbert. (2001).

### *Estrategias de adaptabilidad higrotérmica interior*

T. Mínima con su correspondiente H. R.

16.13°C – 68.47%

Estrategias de habitabilidad térmica

Zona de comodidad en invierno

Zona de comodidad en verano

Ventilación cruzada

Mayor inercia térmica

Mayor inercia térmica con ventilación nocturna

Refrescar por evaporación

Humidificación

Ganancia interna

Calentamiento solar activo y pasivo

Deshumidificación

T. Máxima con su correspondiente H.

24.04°C – 84.51%

1

2

3

4

5

6

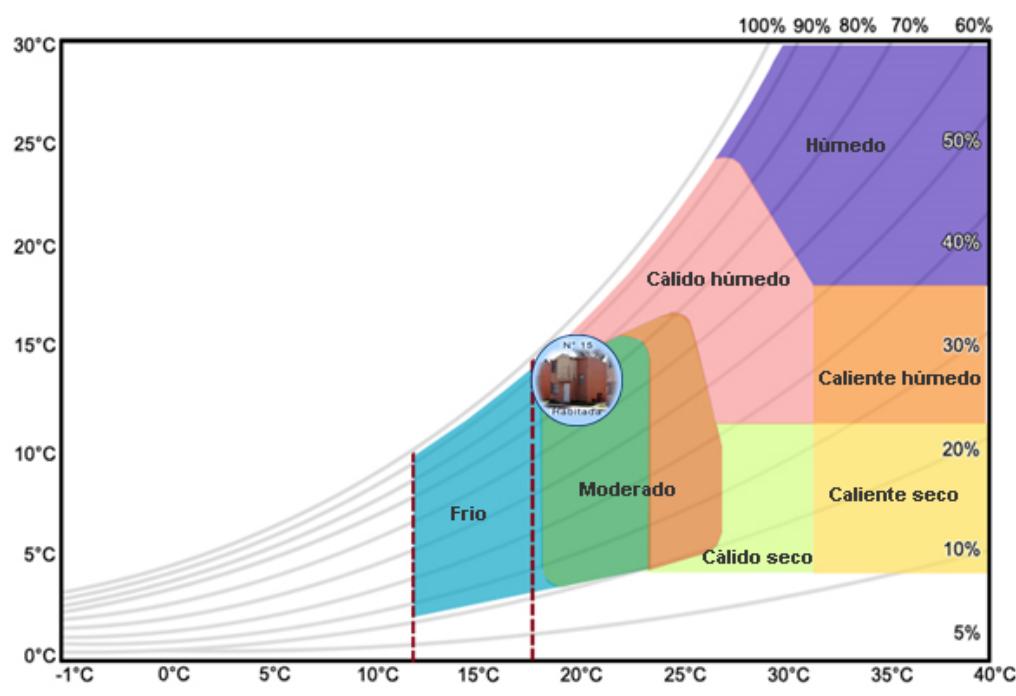
7

8

9

10

Gráfico N° 13  
Clasificación higrotérmica



FUENTE: Gráfico adaptativo: Elaboración Propia. Diagrama de Lechner, Norbert. (2001).

#### *Clasificación higrotérmica interior*

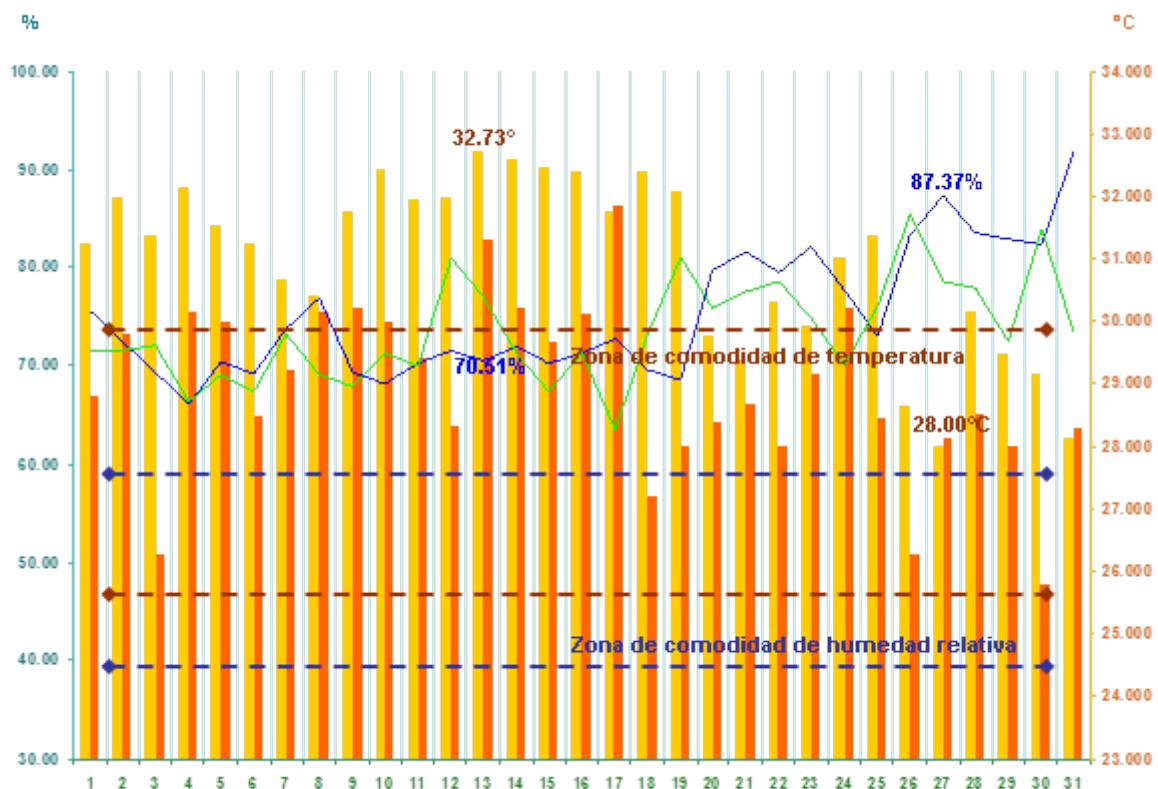
- Enero
- Clasificación climática
- Moderado
- Cálido Húmedo
- Húmedo
- Caliente húmedo
- Caliente seco
- Cálido seco
- Frío

Moderado



*Análisis higrotérmico de la vivienda común en la recámara en agosto, 2014*

Gráfico N° 14  
Zonas de comodidad constante de temperatura y humedad relativa



FUENTE: Gráfico: Elaboración Propia. Valores interiores Hobo U10 y Valores exteriores U23.

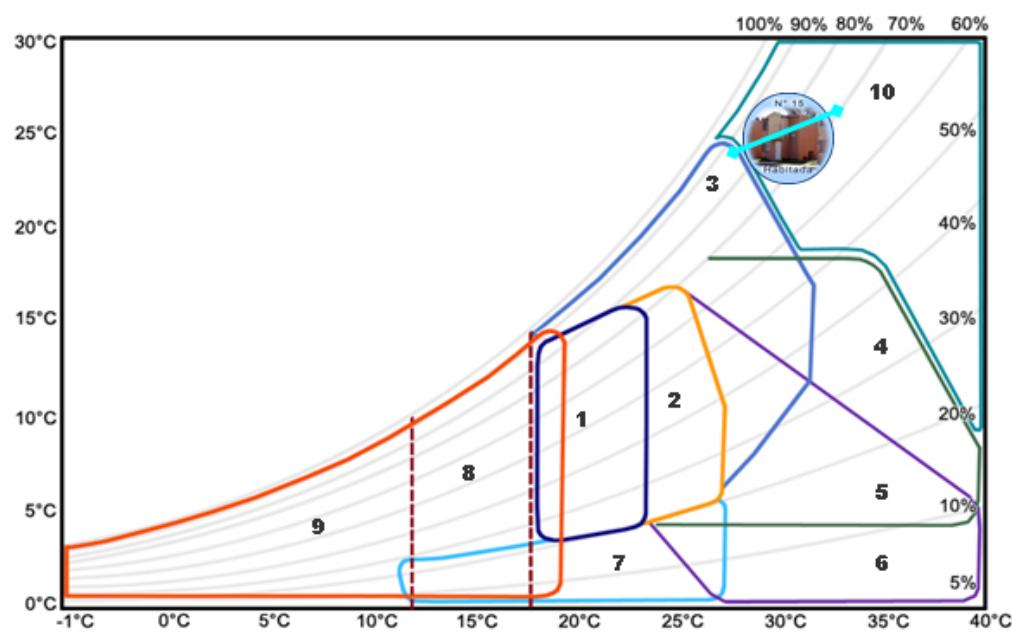
Temperatura interior  
Temperatura Exterior

Humedad relativa interior  
Humedad relativa exterior

*Calificación ambiental térmica*

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Días comodidad de temperatura      | 7  |
| Días demasiía de temperatura       | 24 |
| Días pérdida de temperatura        | 0  |
| Días comodidad de humedad relativa | 0  |
| Días demasiía de humedad relativa  | 31 |
| Días pérdida de humedad relativa   | 0  |

Gráfico N° 15  
Diagrama de adaptabilidad higrotérmica



FUENTE: Gráfico adaptativo: Elaboración Propia. Diagrama de Lechner, Norbert. (2001).

### Estrategias de adaptabilidad higrotérmica interior

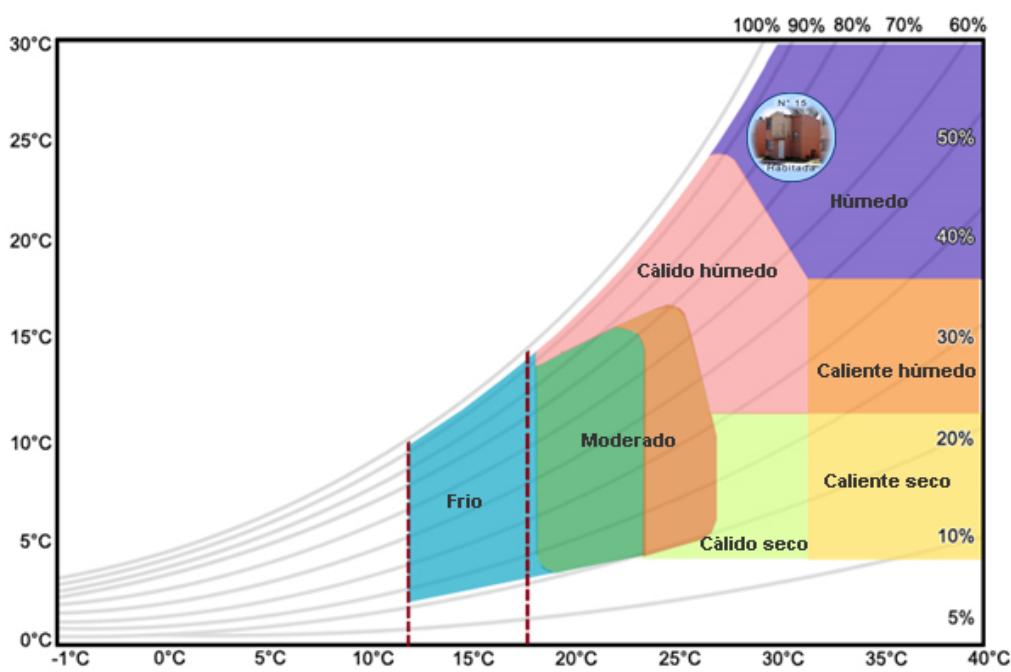
T. Mínima con su correspondiente H. R.  
28.00°C – 87.37%

- Estrategias de habitabilidad térmica
- Zona de comodidad en invierno
  - Zona de comodidad en verano
  - Ventilación cruzada
  - Mayor inercia térmica
  - Mayor inercia térmica con ventilación nocturna
  - Refrescar por evaporación
  - Humidificación
  - Ganancia interna
  - Calentamiento solar activo y pasivo
  - Deshumidificación

T. Máxima con su correspondiente H.  
32.73°C – 70.51%

- |    |
|----|
| 1  |
| 2  |
| 3  |
| 4  |
| 5  |
| 6  |
| 7  |
| 8  |
| 9  |
| 10 |

Gráfico N° 16  
Clasificación higrotérmica



FUENTE: Gráfico adaptativo: Elaboración Propia. Diagrama de Lechner, Norbert. (2001).

### *Clasificación higrotérmica interior*

Agosto  
Clasificación climática  
Moderado  
Cálido Húmedo  
Húmedo  
Caliente húmedo  
Caliente seco  
Cálido seco  
Frío

Húmedo

## Conclusiones

Son las emanadas del trabajo de investigación, de los gráficos higrotérmicos para determinar la calificación ambiental térmica de la vivienda común, contrastada con los diagramas de adaptabilidad y los de la clasificación higrotérmica:

### *La calificación ambiental térmica de la vivienda común*

*La vivienda común en la sala*, tiene un volumen total de 25.00 m<sup>3</sup> no climatizada artificialmente, su comportamiento anual de temperatura media mensual en la zona de comodidad constante, presenta 19 días de comodidad que representa un 60.00%, 11 días de demasia con un 36.00%, y 1 días de pérdida de temperatura con el 4.00%. El comportamiento anual de humedad relativa media mensual, presenta 3 días de comodidad que representa un 10.00%, 27 días de demasia con un 90.00%, y 1 día de pérdida de humedad relativa con el 0.00%.

*La vivienda común en la recámara*, tiene un volumen total de 31.00 m<sup>3</sup> no climatizada artificialmente, su comportamiento anual de temperatura media mensual en la zona de comodidad constante, presenta 18 días de comodidad que representa un 58.00%, 11 días de demasia con un 37.00%, y 2 días de pérdida de temperatura con el 4.00%. El comportamiento anual de humedad relativa media mensual, presenta 2 días de comodidad que representa un 6.00%, 29 días de demasia con un 94.00%, y 0 días de pérdida de humedad relativa con el 0.00%.

*Se concluye de la calificación ambiental térmica en el 2014 lo siguiente:*

*La vivienda común en la sala*, el comportamiento anual de temperatura media mensual en zona de comodidad constante, despliega 221 días en comodidad. El comportamiento de anual de humedad relativa media mensual establece 36 días en comodidad.

*La vivienda común en la recámara*, el comportamiento anual de temperatura media mensual en zona de comodidad constante, indica 214 días en comodidad. Con respecto al comportamiento de anual de humedad relativa media mensual establece 21 días en comodidad.

### *Las estrategias de adaptabilidad higrotérmica de la vivienda común*

La vivienda común estudio de caso presenta plantas arquitectónicas de dos niveles con buena distribución espacial y formal, los espacios son mínimos pero considerables para las funciones esenciales de los usuarios, pero con la desventaja de no presentar aberturas en sus fachadas Este-Oeste, descuidando con ello la dirección de los vientos reinantes y por lo tanto no permite la aireación.

La vivienda común, en la planta alta el porcentaje de desventaja térmica es mayor que en la planta baja, por estar en contacto con la losa de azotea y logrando una conducción térmica al interior de las recámaras por radiación solar directa.

*La vivienda común en la sala, ofrece una arquitectura de opción pasiva, se encuentra en la zona de comodidad sólo en invierno y precisa de una buena ventilación cruzada. La clasificación higrotérmica media anual de la sala es de un espacio cálido húmedo.*

*La vivienda común que en la recámara, que también manifiesta una arquitectura de opción pasiva, se encuentra en la zona de comodidad sólo en invierno, demanda una ventilación cruzada e insta una buena deshumidificación del espacio. La clasificación higrotérmica media anual de la recámara es de un espacio cálido húmedo.*

*Es importante señalar que mediante el diagrama de las estrategias de adaptabilidad higrotérmica se determina correctamente las decisiones a tomar en el diseño estratégico de adaptación bioclimática de la vivienda para responder adecuadamente al contexto desde el punto de vista higrotérmico y poder elevar la calificación ambiental térmica, a lograr más días de comodidad.*

*Se concluye del análisis climático de 2014, de las estrategias de adaptabilidad y la clasificación higrotérmica de la vivienda estudio de caso lo siguiente:*

Cabe hacer hincapié que en la vivienda común en todo el año, según las estrategias de adaptabilidad higrotérmica requiere en la sala y recámara la ventilación cruzada, pero sólo en las recámaras demanda deshumidificación durante todo el año, en la sala no. De la vivienda estudio de caso evaluado se deduce, que su principal aspecto negativo es que revela una elevada acumulación de humedad relativa, impidiendo la deshumidificación de las mismas.

*Por lo tanto, se manifiestan como espacios cálidos húmedos que vienen a ser aquellos que producen calor sofocante, pero a mayor humedad relativa al interior más caliente se percibe el espacio.*

*Con lo expuesto, se comprueba que por la valoración climática, el sistema constructivo y emplazamiento de la vivienda común, se determina la calificación ambiental térmica al interior de la misma en Tampico, México.*

## Referencias

- Anlauf, Eva; Meinholt, Uwe; Wagner, Moritz; Wenzel, Urs. (2013). the energy optimised renovation of Nuremberg: Designing for energy and climate using hygrothermal building simulation. *Bauphysik*. Volumen: 35. (4). 266-279.
- Auliciems, A. (1997). *Human Bioclimatology*. Springer.
- Auliciems, A. y Szokolay, S. (1997). Thermal comfort. Notes of passive and low energy architecture international, en Brisbane, núm. 3, plea-university of Queensland.
- ANSI-ASHRAE, 55. (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta, E.U.A.
- Candanedo, Jose A.; Dehkordi, Vahid R.; Saberi-Derakhtenjani, Ali; Athienitis, Andreas K. (2015). Near-optimal transition between temperature setpoints for peak load reduction in small buildings. *Energy and Buildings*. Volumen: 87. 123-133.
- Chávez Del Valle, Francisco Javier. (2002). Zona variable de confort térmico. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Gómez-Azpeitia, Gabriel; Bojórquez Morales, Gonzalo; Ruiz Torres, Raúl Pável. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. *Revista Palapa*. Volumen: 2. (1) 45-57. Universidad de Colima. Colima. México.

González Cruz, Eduardo Manuel y Bravo Morales, Gaudy Claret. (2009). Sobre el confort térmico: temperaturas neutrales en el trópico húmedo. Revista Palapa. Volumen: 4. (1) 33-38. Universidad de Colima. Colima. México.

Griffiths, R.C. (1991). The two-locus ancestral graph. In: Basawa I.V. and Taylor, R.L. (Eds.), Selected Proceedings of the Symposium on Applied Probability, Sheffield, 1989. IMS Lecture Notes - Monograph Series, Volume: 18. Institute of Mathematical Statistics, Hayward, California. 100-117.

Humphreys, M.A. (1997). Thermal comfort. Notes passive and low energy architecture international. Queensland.

Humphreys, M. A. and Nicol, F. (2001). The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards Into the 21 st Century. Windsor - UK.

Ioannou, A e Itard, L. C. M. (2015). Energy performance and comfort in residential buildings: Sensitivity for building parameters and occupancy. Energy and Buildings. Volumen: 92. 216-233.

ISO, International Organization for Standardization. (2005). ISO 7730:2005 (E) Ergonomics of the thermal environment-analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Ginebra: Edición de Autor.

Karagiozis, A. y Salonvaara, M. (2011). Hygrothermal system-performance of a whole building. Building and Environment. Volumen: 36 (6). 779-787.

Kolaitis, Dionysis I.; Malliotakis, Emmanouil; Kontogeorgos, Dimos A.; Mandilaras, Ioannis; Katsourinis, Dimitrios I.; Founti, Maria A. (2013). Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. Energy and Buildings. Volumen: 64. 123-131.

Krüeger, E. L.; Minella, F. O.; Matzarakis, A. (2014). Comparison of different methods of estimating the mean radiant temperature in outdoor thermal comfort studies. International Journal of B Meteorology. Volumen: 58. 1727-1737.

Langmans, Jelle; Klein, Ralf; Roels, Staf. (2012). Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls: A laboratory investigation. Building and Environment. Volumen: 56. 192-202.

Lechner, Norbert. (2001). Heating, cooling, lighting. Desing methods for architects. John Wiley & Sons, Inc. Second edition. New York, New York. United States of America.

Li, Yanling; Babcock, Roger W., Jr. (2014). Green roofs against pollution and climate change. Agronomy for Sustainable Development. Volumen: 34. 695-705.

Marique, Anne-Francoise; de Meester, Tatiana; De Herde, Andre; Reiter, Sigrid. (2014). an online interactive tool to assess energy consumption in residential buildings and for daily mobility. Energy and Buildings. Volumen: 78. 50-58.

Moradias, P. A.; Silva, Pedro D.; Castro-Gomes, J. P.; Salazar, M. V.; Pires, L. (2012). Experimental study on hygrothermal behaviour of retrofit solutions applied to old building walls. Construction and Building Materials. Volumen: 35. 864-873.

Nicol, Fergus. (1996). International standards don't fit tropical buildings: what can we do About It? Conferencia internacional sobre confort y comportamiento térmico de UK.

Nicol, F.; Humphreys, M. A. (2002). The Validity of ISO-PMV for Predicting Comfort Votes in Everyday Thermal Environments. Energy and Buildings, Lausanne. Volumen: 34. 667-684.

O 'Kelly, Matthew; Walter, Mark E.; Rowland, James R. (2014). Simulated hygrothermal performance of a Passivhaus in a mixed humid climate under dynamic load. Energy and Buildings. Volumen: 81. 211-218.

Sánchez González, Diego. (2011). Peligrosidad y exposición a los ciclones tropicales en ciudades del Golfo de México. El caso de Tampico, Revista de Geografía Norte Grande, Número: 50. 151-170.

Staines Orozco, Elidé. (2007). Opciones de adecuación al clima. Editorial Cigome. S.A. de C.V. Toluca, Estado de México. México.

Sulaiman, Halimi y Olsina, Fernando. (2014). Comfort reliability evaluation of building designs by stochastic hygrothermal simulation. Renewable & Sustainable Energy Reviews. Volumen: 40. 171-184.

Szokolay, Steven V. (2008). Introduction to Architectural Science. The basis of sustainable design. Second edition. Architectural Press. Elsevier.

Tariku, Fitsum; Kumaran, Kumar; Fazio, Paul. (2011). Determination of indoor humidity profile using a whole-building hygrothermal model. Building Simulation. Volumen: 4. (1). 61-78.

Taylor, J.; Davies, M; Mavrogianni, A; Chalabi, Z; Biddulph, P; Oikonomou, E; Das, P; Jones, B. (2014). The relative importance of input weather data for indoor overheating risk assessment in dwellings. Building and Environment. Volumen: 76. 81-91.

Van Hooff, T.; Blocken, B.; Hensen, J. L. M.; Timmermans, H. J. P. (2015). On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. Building and Environment. Volumen: 83. 142-158.