



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ARQUITECTURA

**Evaluación del desempeño térmico y lumínico de  
Casa-UNAM: Prototipo de vivienda diseñada bajo  
criterios de aprovechamiento de energía de forma  
pasiva en la Ciudad de México**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Arquitecto**

**PRESENTA**

**José Joel Barajas Flores**

**Director de tesis:**

**Dra. Adriana Lira Oliver**

**Asesores:**

**Dr. Ronan Bolaños Linares**

**Arq. Luis de la Torre Zatarain**



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

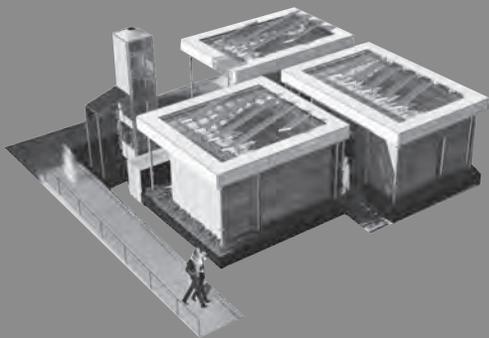
EVALUACIÓN DEL  
DESEMPEÑO TÉRMICO Y  
LUMÍNICO DE CASA-UNAM:  
PROTOTIPO DE VIVIENDA  
DISEÑADA BAJO CRITERIOS  
DE APROVECHAMIENTO DE  
ENERGÍA DE FORMA PASIVA  
EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Tesis que para obtener el título de arquitecto  
presenta:

José Joel Barajas Flores

Director de tesis | Dra. Adriana Lira Oliver  
Asesores | Dr. Ronan Bolaños Linares  
Arq. Luis de la Torre Zatarain

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Arquitectura  
Taller Arq. Jorge González Reyna  
Laboratorio de Edificación Sostenible  
Laboratorio de Arquitectura + Diseño y Tecnología E.





EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO Y LUMÍNICO DE CASA-UNAM:  
PROTOTIPO DE VIVIENDA DISEÑADA BAJO CRITERIOS DE APROVECHAMIENTO  
DE ENERGÍA DE FORMA PASIVA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

JOSÉ JOEL BARAJAS FLORES

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

# Agradecimientos

Agradezco profundamente a todas aquellas personas que creyeron en mí, principalmente a la dra. Adriana Lira Oliver quien fué parte activa, por su entusiasmo y dedicación, y quien creyó desde el primer momento en mis habilidades y en este proyecto de investigación; al dr. Ronan Bolaños L., que sin su ayuda y propuesta del caso de estudio esta tesis no hubiera sido lo que es; al arq. Luis de la Torre Z. que sin cuestionamientos apoyó la propuesta del presente trabajo y el día de hoy pudo ser realidad.

Agradezco también a todas aquellas personas que directa o indirectamente me apoyaron en esta travesía nada sencilla, a todos los autores de los trabajos que consulté por hacerme el camino más “fácil”, como el dr. Gonzalo Bojórquez quien fue un gran asesor en una parte importante de este trabajo, el m. en ing. Rodolfo Vilchis y especialmente, a todos aquellos arquitectos e investigadores que lo largo de mi trayectoria académica fueron mi fuente de inspiración y despertaron en mí la pasión por el diseño bioclimático

A mi familia por su paciencia y apoyo incondicional, que vivieron conmigo día a día el tiempo de esta etapa de mi vida y aquellas noches interminables...

El presente trabajo se logró gracias a los siguientes programas:

- CONACyT-SENER no. 260155
- UNAM-DGAPA-PAPIIT IN404618

# ÍNDICE

Introducción.....	11-13
-------------------	-------

## Planteamiento de la investigación

Planteamiento del problema .....	16
Fundamentación.....	17
Preguntas de investigación.....	18
Hipótesis .....	18
Objetivos y metas.....	19
Alcances y limitaciones.....	20

## I. Primera parte | Marco Teórico

### 1 | Energía

1   1 ¿Qué es la energía?.....	22
1   2 Fuentes de energía .....	23
1   3 Demanda y consumo de energía en las edificaciones .....	23
1   4 Energía térmica o calor .....	26
1   4.1 Calor sensible y calor latente .....	26
1   4.2 Medición de calor en el medio ambiente .....	27
1   5 Energía visible o luz .....	30
1   5.1 Características físicas de la luz .....	31
1   5.2 Unidades de medición de la luz .....	31

### 2 | Condiciones de confort y el hombre

2   1 Condiciones para el confort higrotérmico.....	37
2   1.1 Procesos de termorregulación .....	37
2   1.2 Condiciones térmicas críticas para el cuerpo .....	39
2   1.3 Factores de confort.....	40
2   1.4 Factores ambientales .....	41
2   2 Condiciones para el confort visual y percepción.....	43
2   2.1 Factores y campo de la visión en el hombre .....	43
2   2.2 Percepción del color.....	44
2   2.3 Confort visual .....	44

### 3 | Confort higrotérmico

3   1	Adaptación térmica en el hombre .....	47
3   1.1	Adaptación fisiológica.....	47
3   1.2	Adaptación psicológica.....	47
3   2	Sensación térmica percibida .....	49
3   3	Estudios de confort higrotérmico.....	50
3   3.1	Enfoque y modelos de predicción (cuantitativo) .....	50
3   3.2	Enfoque y modelos de adaptación (cualitativo).....	54

### 4 | Ambiente térmico y visual

4   1	Ambientes exteriores.....	62
4   1.1	Fuentes de calor .....	62
4   1.2	Fuentes de luz .....	72
4   2	Ambientes interiores .....	79
4   2.1	Fuentes de calor internas en espacios .....	79
4   2.2	Fuentes de luz.....	91

### 5 | Condiciones de frontera

5   1	Vestimenta .....	113
5   1.1	Estimación del aislamiento térmico de la ropa .....	113
5   1.2	Conjuntos de vestimeta .....	117
5   2	Envolvente arquitectónica .....	119
5   2.1	Sección opaca .....	120
5   2.2	Sección transparente .....	121

### 6 | Procesos de intercambio de energía

6   1	Intercambio de calor .....	125
6   1.1	Conducción .....	126
6   1.2	Convección .....	129
6   1.1	Radiación .....	135

## II. Segunda parte | Caso de estudio

### 7 | Requerimientos de confort

7   1	Antecedentes del Decatlón Solar.....	144
7   2	Bases de diseño y prototipo Casa UNAM.....	145

7 3	Exhibición de la Casa UNAM en la Ciudad de México .....	151
-----	---	-----

## 8 | Descripción de Casa UNAM

8 1	Emplazamiento .....	155
8 1.1	Ubicación geográfica .....	155
8 1.2	Ubicación de conjunto .....	155
8 2	Descripción de los habitáculos .....	159
8 2.1	Bedroom.....	159
8 2.2	Kitchen.....	160
8 2.3	Community.....	161
8 3	Contexto climático.....	162
8 3.1	Bioclima de la Ciudad de México .....	163

## 9 | Metodología de estudio

9 1	Requerimientos de confort.....	175
9 1.1	Elección de enfoque y del modelo de confort térmico.....	175
9 1.2	Requerimientos de confort.....	181
9 1.3	Confort visual y cantidad de iluminación.....	185
9 2	Metodología cuantitativa .....	190
9 2.1	Monitoreo térmico de CASA.....	190
9 2.2	Base de datos climáticos del sitio .....	191
9 2.3	Simulación energética de CASA.....	192
9 3	Metodología cuantitativa .....	194
9 3.1	Escalas de juicio subjetivo.....	194
9 3.2	Cuestionario de evaluación ambiental.....	197
9 3.3	Correlación de escalas cualitativas con mediciones cuantitativas .....	198

## 10 | Resultados

10 1	Análisis y comprobación del confort térmico .....	203
10 1.1	Resultados del monitoreo .....	203
10 1.2	Resultados de la simulación energética.....	204
10 1.3	Comparación de resultados de la simulación con monitoreo .....	204
10 1.4	Resultados cualitativos.....	235

10   1.5 Comparación de resultados cuantitativo y cualitativo.....	245
10   2 Análisis y comprobación del confort visual .....	248
10   2.1 Comparación de los resultados con los criterios del SDE.....	248
10   3 Recomendaciones de acondicionamiento .....	254
10   3.1 Acondicionamiento térmico .....	254
10   3.2 Acondicionamiento de iluminación natural.....	255
<b>Conclusiones .....</b>	<b>260</b>
 <b>Apéndices</b>	
Apéndice A   Planos Casa UNAM.....	269
Apéndice B   Propiedades térmicas de la envolvente de Casa UNAM.....	273
Apéndice C   Manual de encuesta y formato del cuestionario.....	275
 <b>Bibliografía.....</b>	 <b>279</b>

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

# **INTRODUCCIÓN**

La demanda de suelo para una diversidad de actividades y funciones ha convertido a México en un país urbano; el 72.3% de la población vive en 384 ciudades de más de 15,000 habitantes que integran el Sistema Urbano Nacional (SUN). Es preocupante que a nivel nacional persista la desvinculación entre el crecimiento poblacional y la expansión excesiva de las áreas urbanas. En términos generales, la población en las zonas urbanas de México se ha duplicado en los últimos treinta años, mientras que la extensión de las áreas urbanas ha crecido, en promedio, diez veces. Este crecimiento desmedido de las zonas urbanas representa un incremento importante en el efecto de las islas urbanas de calor tan importantes en la contribución al cambio climático y al calentamiento global. También ha contribuido a la aceleración del incremento del consumo energético por parte de las ciudades para su operación y mantenimiento.

Es indudable que para que una edificación sea sostenible debe poder proporcionar a sus ocupantes condiciones de confort térmicas, visuales y psicofisiológicas a los menores costos energéticos posibles. El llegar a condiciones confortables al interior de una edificación implica gestionar estratégicamente la energía presente tanto en el medio ambiente interior como exterior. Ésto está estrechamente ligado a la cantidad de radiación solar incidente en una región, a la interacción de ésta con la envolvente del edificio y al clima.

Por varias razones, México es un país donde la cantidad de radiación solar es abundante. Por tanto, el estudio de la interacción de ésta con los materiales que conforman la envolvente de una edificación, es crucial. Para poder establecer mecanismos de ventilación, termalización e iluminación interior en forma pasiva, es necesario estudiar las propiedades ópticas y térmicas de los materiales constructivos. Una vez conocidas las propiedades térmicas y ópticas

de los materiales, se puede estudiar con un mejor entendimiento los procesos físicos entre la energía presente en el medio y el sistema constructivo de la envolvente. La envolvente de un espacio es la frontera entre el medio ambiente exterior y el medio ambiente interior. Es en la envolvente en donde se da el intercambio de energía. Por tanto, una elección estratégica de materiales, así como su combinación, permite modular la cantidad de energía intercambiada de tal forma que la que traspa hacia el medio ambiente interior llegue en las cantidades necesarias y óptimas para la provisión de condiciones de confort. Por tanto, el diseño de la envolvente de una edificación es sumamente importante para que un espacio provea al usuario de condiciones confortables, además de saludables, con el aprovechamiento de la energía presente en el medio y sin la producción de energía de forma artificial.

Aproximadamente, la mitad del territorio de la República Mexicana presenta un clima en donde la provisión de condiciones confortables al interior de las edificaciones puede realizarse de manera pasiva; es decir, que la estructura misma de una edificación puede ser diseñada con materiales, sistemas constructivos, y geometría adecuados para el aprovechamiento de la energía presente en el ambiente inmediato, sin la necesidad de utilizar sistemas activos basados en sistemas mecánicos y que utilicen energías de origen fósil.

En los últimas tres décadas, ha habido una preocupación a nivel global por reducir el consumo de energías de origen fósil y por incrementar el aprovechamiento de las energías consideradas como renovables. La quema de combustibles fósiles de manera indiscriminada ha provocado que las fuentes de éstas se hayan reducido grandemente en el último siglo, y que las emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente se hayan incrementado drásticamente con

todas las consecuencias negativas al medio ambiente que esto conlleva, así como las repercusiones sociales y económicas negativas.

Como respuesta a estos problemas se ha hecho incapié a nivel global que el desarrollo del hombre sea sostenible; es decir, que el desarrollo de las generaciones del presente no ponga en riesgo al desarrollo de las generaciones futuras. Para esto, el concepto de sostenibilidad debe de ser aplicado en todas las disciplinas, y la Arquitectura no es la excepción.

Dentro del área de la construcción y la Arquitectura, se han desarrollado diversas estrategias para introducir y desarrollar la sostenibilidad. En el ámbito profesional, se implementan sistemas de certificación para edificaciones sostenibles. Algunos de los sistemas de certificación creados por los países nórdicos, como LEED y BREEAM, han sido importados a México para ser implementados en el país. La implementación de estos sistemas ha traído ventajas y desventajas en el momento de operar los edificios. Estos sistemas de certificación de la edificación sostenible se basan en normas del país de origen, los cuales tienen condiciones climáticas y económicas muy distintas a la de México y, por tanto, no aplican completamente a nuestro país y llegan a ser contraproducentes.

Un ejemplo de cómo estos sistemas han llegado a ser contraproducentes es la importación indiscriminada de materiales térmicamente aislantes. Los aislantes térmicos son necesarios en climas extremos: muy cálidos o muy fríos, donde la provisión de confort térmico de forma pasiva es difícil, y por tanto, donde los sistemas mecánicos de climatización son necesarios. Sin embargo, cuando es posible utilizar sistemas pasivos de climatización, como es el caso de gran parte de la República Mexicana, los aislantes térmicos no son la mejor opción, ya que carecen de

propiedades de masa térmica. Por tanto, el uso de aislantes térmicos sin la implementación de sistemas mecánicos de climatización no es lo mejor y se verá reflejado en un desempeño térmico inadecuado de la edificación.

En el ámbito docente, se ha creado una competencia a nivel internacional en donde estudiantes de diferentes disciplinas diseñan y construyen un prototipo de vivienda basado en principios de sostenibilidad. Este concurso es llamado Decatlón Solar y en éste, los estudiantes proponen nuevas estrategias de diseño para que una vivienda sea sostenible.

En el 2014, la UNAM participó por primera vez en este concurso, ganándose varios premios. Sin embargo, su evaluación en cuanto a su desempeño térmico fue bajo. El prototipo está actualmente montado en el museo UNIVERSUM de la UNAM como muestra de lo que es una vivienda sostenible y los trabajos a futuro pretenden convertirla en un laboratorio viviente para poder estudiar nuevas estrategias de diseño y mejorar las condiciones de sostenibilidad.

El presente trabajo se enfoca en evaluar el prototipo de vivienda, CASA UNAM, como un primer acercamiento en cuanto a entender en donde está la deficiencia en su desempeño térmico y que genere información útil para trabajos a futuro enfocados en propuestas de mejoramiento. Además, el presente trabajo ayudará a la comprensión sobre que tan posible es acondicionar un espacio térmicamente y de forma pasiva en la Ciudad México.

La tesis está conformada por dos partes: la primera parte se centra en el marco teórico necesario para el entendimiento del estudio, y la segunda parte se centra en el caso de estudio, CASA-UNAM.

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

# **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

Establecer un planteamiento claro para la siguiente investigación permitirá identificar la validez y relevancia de los temas que aquí se estudien. Los apartados se desarrollan con base en una problemática general sobre los temas principales, para después abordar las problemáticas particulares del objeto de estudio (proyecto CASA).

Esto permitirá sustentar una hipótesis a partir de un supuesto y al final de la investigación podremos responder de manera afirmativa o negativa, demostrado a partir de la construcción del conocimiento generado a lo largo del proyecto.

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## General

Actualmente, existen normas en México que atienden el uso eficiente de energía en edificaciones como las normas NOM-008-ENER-2001 y la NMX-AA-164-SCFI-2013. Sin embargo, no se han incluido normas que aborden el uso eficiente de energía en edificaciones de forma pasiva y cuantitativamente. Por otro lado, parte de estas normas se han basado en normas internacionales, donde la propiedad de aislamiento térmico en las envolventes de las edificaciones es la más importante para eficientizar la energía consumida por sistemas activos de climatización. En los países de origen de estas normas internacionales (i.e. E.U.A, Unión Europea), el aprovechamiento de la energía de forma pasiva a lo largo de todo el año es difícil y la climatización al interior de los edificios se tiene que dar mayormente de manera artificial mediante sistemas activos, los cuales implican emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente de forma indirecta.

En el presente, la evaluación de la sustentabilidad de un edificio en México se realiza mayormente con base en sistemas de evaluación extranjeros como son LEED y BREEAM. Estos sistemas de evaluación de la edificación sustentable se basan en normatividades de E.U.A y del Reino Unido, favoreciendo nuevamente el aislamiento térmico en las envolventes de las edificaciones y por tanto, dando preferencia al uso de sistemas activos de climatización. Sin embargo, en gran parte del territorio de la República Mexicana, es posible aprovechar la energía natural presente en el medio ambiente de forma pasiva para la climatización interior de los espacios en los edificios.

## Objeto de estudio: Casa UNAM

En el año 2014, la UNAM tuvo su primera participación en la competición internacional conocida como Solar Decathlon Europe (SDE) edición Versalles. El objetivo principal de esta competencia es diseñar, construir y operar una casa autosuficiente energéticamente, utilizando la energía solar como principal fuente y equiparla con todas las tecnologías que permitan la máxima eficiencia energética. Para completar las diez categorías (razón por la cual se denomina decatlón) también se toman en cuenta el diseño urbano, funcionamiento arquitectónico, las condiciones de confort, etc. Por tanto, la UNAM construyó un prototipo diseñado bajo estas características; el ahora denominado proyecto "CASA" es exhibida hoy en día en el museo UNIVERSUM.

Como objeto de estudio, aquí se analizará el comportamiento de CASA con base en las condiciones interiores higrotérmicas e iluminación natural para proveer las condiciones de confort necesarias por las cuales fue proyectada inicialmente y se propondrán...

Si bien la obra goza de una alta eficiencia en

generación y consumo energético, no tuvo el mejor desempeño para las condiciones de confort en general durante la competición, principalmente por dos factores.

El prototipo inicial para la Ciudad de México, no consideraba en su diseño el uso de masa térmica para poder construirse sobre edificaciones ya existentes. Por esta necesidad de ser ligera, se dio preferencia al uso de materiales ligeros y sistemas constructivos que ocupan aislamiento térmico. Sin embargo allá en Versalles por motivos logísticos parte de la envolvente que si incluía la masa térmica no pudo ser instalada durante la competición.

El segundo factor, se relaciona con las condiciones atípicas manifestadas durante el tiempo de competición (muchísima humedad ambiental).

## FUNDAMENTACIÓN

Cualquier equipo que funcione con energía eléctrica genera emisiones de CO<sub>2</sub> indirectamente, pues como se mostrara más adelante, en México la fuente principal para producir energía eléctrica es a base de energías no renovables de tipo fósil.

Como arquitectos, es importante aprender y comprender qué aspectos considerar durante la etapas de diseño y operación de las edificaciones. Para esto se requieren de métodos de evaluación cuantitativos de los espacios arquitectónicos, tomando en cuenta, además de las condiciones climáticas del lugar, los hábitos y las actividades en función de las características fisiológicas de los ocupantes para crear espacios sustentables funcionalmente.

Para el presente trabajo nos interesa estudiar las características del bioclima del sur de la ciudad de México, ubicación actual de nuestro objeto de

estudio. En esta tesis, el caso de interés principal es el desempeño térmico, pero sin dejar de lado otro aspecto importante: la iluminación natural.

La luz y el calor están íntimamente ligados (proviene de la misma fuente: es radiación electromagnética proveniente del Sol) debido a que son dos formas de energía directamente sensibles a nuestros sentidos, pueden aprovecharse de manera natural y tienen un alto impacto para la salud y el bienestar humano, ambas proveen sensaciones de confort físico-psicológicas a nuestro cuerpo. En el desarrollo del trabajo se pretende demostrar los beneficios de diseñar con sistemas pasivos de aprovechamiento de energía natural, su beneficio económico y ambiental en relación con los sistemas que retiran artificialmente la energía aprovechable de los espacios interiores.

La exposición de la CASA-UNAM abierta al público es una oportunidad para la enseñanza y sensibilización hacia una cultura concientizada del uso y aprovechamiento de las energías renovables, la importancia de la bioclimática en el diseño arquitectónico y la calidad ambiental en interiores.

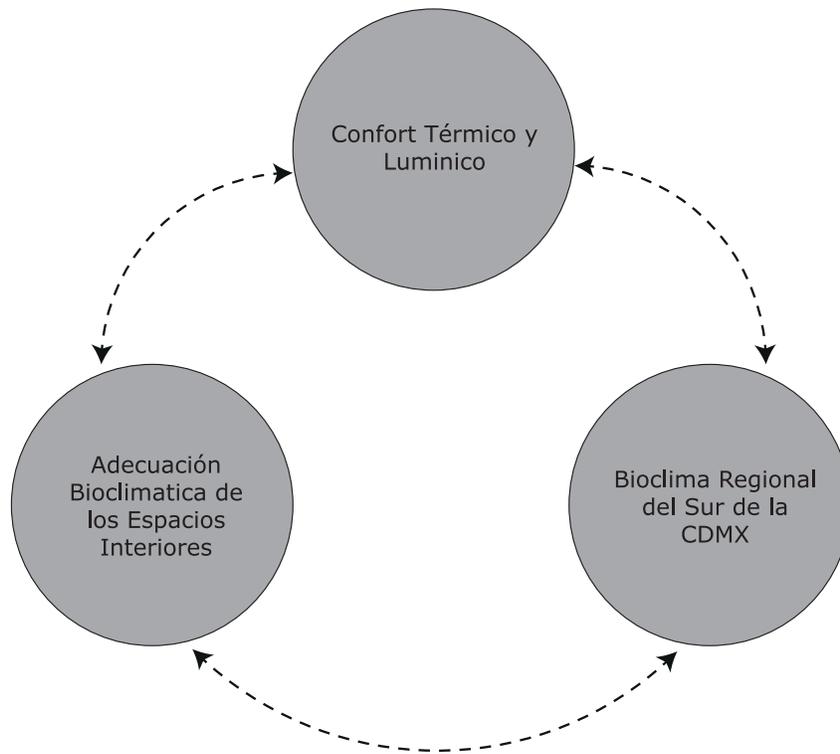


Fig. 1 Aspectos de confort, clima y diseño

---

## PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de esta tesis tomaremos como punto de partida las siguientes preguntas:

### Pregunta principal

¿Es suficiente la implementación de estrategias pasivas de diseño para el aprovechamiento de la energía presente en el ambiente para la climatización interior de las edificaciones en la Ciudad de México con condiciones de confort térmico y visual?

### Preguntas secundarias

1) ¿Cuáles son las estrategias pasivas de diseño arquitectónico necesarias para lograr las condiciones de confort térmicas y visuales en la Ciudad de México?

2) ¿Es la envolvente de la edificación el factor más importante para proveer las condiciones de confort o se deben plantear estrategias secundarias?, por ejemplo: la ventilación nocturna, humidificación, etc.

3) ¿Qué rangos de mínimos y máximos de temperatura hay que atender para lograr la sensación de confort con base en la aclimatación de las personas?.

## HIPÓTESIS

“La hipótesis de esta tesis es que la implementación de estrategias de diseño pasivas para la climatización de los espacios interiores en las edificaciones de la Ciudad de México es suficiente para proveer las condiciones de confort humano con base a un modelo de confort”.

De cualquier manera, existe la necesidad de estudiar

el efecto de las variables por periodo climático en rangos mensuales. Los periodos más importantes a estudiar son:

- I. Mes más cálido: durante el día la radiación solar y la temperatura del aire son altas, por tanto son el principal factor de discomfort para los usuarios.
- II. Mes más frío: durante la noche y parte del día la temperatura del aire es baja, esto combinado con la velocidad del aire son los principales factores de discomfort.

## OBJETIVOS Y METAS

Para poder comprobar o refutar la hipótesis planteada se proponen objetivos y metas. Éstos son los siguientes:

### 1.5.1 Objetivos

Basándome en los resultados de la investigación:

- Realizar una propuesta de re-acondicionamiento térmico y lumínico para Casa UNAM, en caso de no cumplir con las condiciones de confort.
- Si las condiciones se cumplen, describir las razones por las cuales las que si se llegaron a los parámetros de confort propuestos.

### 1.5.2 Metas

- Comparar diferencias en el comportamiento termo-energético entre la simulación energética por computadora con los resultados del monitoreo en el sitio.
- Medir si las condiciones de confort en iluminación e higrotérmico se cumplen.

## ALCANCES Y LIMITACIONES

Los alcances de la presente investigación están delimitados por el estudio de las condiciones de la sensación higrotérmica percibida de confort y de confort visual, con base en los espacios interiores de casa UNAM, la ubicación regional y su microclima inmediato.

Algunas de las variables que se estudiarán son la temperatura de bulbo seco, temperatura media radiante, humedad relativa, humedad absoluta, velocidad del viento, radiación e iluminación natural.

Los periodos climáticos a estudiar serán en función del mes más cálido y el mes más frío del año según las normales climatológicas publicadas por el Sistema Meteorológico Nacional.

Las limitaciones de esta investigación están dadas por los tiempos del desarrollo del estudio y cualquier problema técnico de aplicación o de logística por parte de autoridades ajenas al seminario de titulación.

Los instrumentos a utilizar serán seleccionados en función de su disponibilidad y/o capacidad económica de adquisición, con las características sugeridas por las normas nacionales e internacionales para estudios de temperatura, iluminación y confort higrotérmico.

# **I. PRIMERA PARTE | MARCO TEÓRICO**

# 1 |

# ENERGÍA

- 1 | 1 ¿Qué es la energía?
- 1 | 2 Fuentes de energía
- 1 | 3 Demanda y consumo de energía en las edificaciones
- 1 | 4 Energía térmica ó calor
  - 1 | 4.1 Calor sensible y calor latente
  - 1 | 4.2 Medición del calor en el medio ambiente
- 1 | 5 Energía visible o luz
  - 1 | 5.1 Características físicas de la luz
  - 1 | 5.2 Unidades de medición de la luz

# 1 | ¿Qué es la energía?

En sentido general, la literatura científica define a la energía como “la capacidad para realizar un trabajo” ó “la capacidad para producir un cambio (químico, físico, cinético, etc.)”. Por tanto, un cuerpo o sistema posee energía cuando puede producir cambios o transformaciones en otros cuerpos o en sí mismo, pero esta definición sugiere que después de que cesa el cambio o la transformación, los cuerpos o sistemas ya no contienen energía.

Sin embargo, La Primera Ley de la Termodinámica determina que los cuerpos o sistemas siempre contienen o conservan energía, aun cuando esa energía haya perdido su capacidad para realizar trabajo o movimiento. Esto quiere decir que en un proceso cualquiera donde se aplique energía para realizar un trabajo, no toda la energía se aprovechará de la manera deseada (trabajo útil) sino que puede “degradarse” y convertirse en otro tipo de energía. La medida de degradación viene dada por el incremento de una propiedad termodinámica conocida como entropía. Para una mejor comprensión, se presenta el siguiente ejemplo.

La energía química potencial contenida en la gasolina (hidrocarburo) es utilizada para hacer funcionar un motor (se convierte energía mecánica), para que un automóvil se desplace a una velocidad “x”. Paralelamente, parte de la energía inicial se transforma en forma de calor elevando la temperatura del motor debido a la misma combustión y a la fricción de las partes que lo componen. Por tanto, las diferentes formas de energías en que se transforma la energía química del combustible son: la energía cinética (movimiento), la energía térmica (calor) y la energía de los residuos de la combustión. La suma de éstas tres equivale a la total contenida inicialmente en el combustible. De esta forma, la

energía se conserva, aunque de formas diferentes.

Sin embargo, en este caso la energía térmica generada no puede ser aprovechada para realizar trabajo y finalmente se transfiere al medio ambiente. Entonces la definición clásica de energía como “capacidad de hacer trabajo” no se cumple para todos los casos.

La energía se comprende de una magnitud, se puede medir con la ayuda de instrumentos para asignarle un valor numérico y la magnitud de este valor dependerá de las características particulares del sistema analizado en un tiempo determinado.

Cabe mencionar que la palabra “energía” es también empleada para describir el objeto u objetos donde se encuentra almacenado un tipo de energía. Por ejemplo, el término “energía eólica” se refiere a la energía cinética presente en el viento; “energía química”, a la energía contenida en los enlaces moleculares de la materia; “energía interna”, a la suma de todas las formas de energía que puedan existir dentro de un sistema.

Vemos entonces que el concepto de energía tiene una doble acepción que hace que siempre de una manera u otra lo usemos en combinación con algún otro término, ya sea para designar un tipo específico de energía perfectamente medible (cinética, eléctrica) o para indicar la naturaleza de donde se almacenan diferentes tipos de energía (solar, geotérmica, etc.)

Por tanto, para el presente trabajo limitaremos el concepto al estudio de la “energía térmica” y la “energía visible” fundamentalmente; lo que el hombre percibe como calor y luz. La importancia de su estudio radica por ser el factor más importante para el diseño de sistemas de climatización e iluminación pasiva, activa o mixta.

## 1|2 Fuentes de energía

La energía térmica (calor), la energía eléctrica (para aparatos) y la luz (lámparas) son las principales formas de consumo final que usamos los habitantes en las edificaciones; es importante recordar de donde se obtienen las fuentes de energía que requieren la transformación y el transporte antes de llegar a nosotros en la forma que necesitamos. La manera más práctica para clasificar a la energía es según su fuente: **renovables** (fig. 2.1) y **no renovables** (fig. 2.2)

## 1|3 Demanda y consumos de energía

Muchos de los sistemas vigentes de producción de energía son poco eficientes técnicamente (grandes pérdidas en la producción y transporte), algunos altamente contaminantes para el planeta y



a) Fotovoltaica



b) Geotérmica



c) Hidroeléctrica



d) Biomasa



e) Eólica

Fig. 2.1 (a-e) Energías Renovables. Aquellas fuentes cuya disponibilidad es relativamente indefinida.

la distribución per cápita no es equitativa: 1/5 de la población mundial consume más del 70% de la energía producida globalmente<sup>1</sup>. Este fenómeno está directamente vinculado al estilo de vida en términos materiales (alimentación, vivienda, salud, educación, servicios) donde los países más desarrollados económica y tecnológicamente tienen acceso a más formas y sistemas de consumo de energía para su bienestar y recreación.

Para tener una mejor idea de lo anterior, en la gráfica 1 se muestra una comparativa de México con países más desarrollados y por tanto, su consumo energético es más alto.

Comparativa de consumo energético per cápita en kWh (2012).

1. Estados Unidos: 12 954.15
2. Australia 10 398.2
3. Japón: 7 752.49
4. Alemania: 7 270.15
5. México: 2 074.24



a) Petróleo



b) Gas

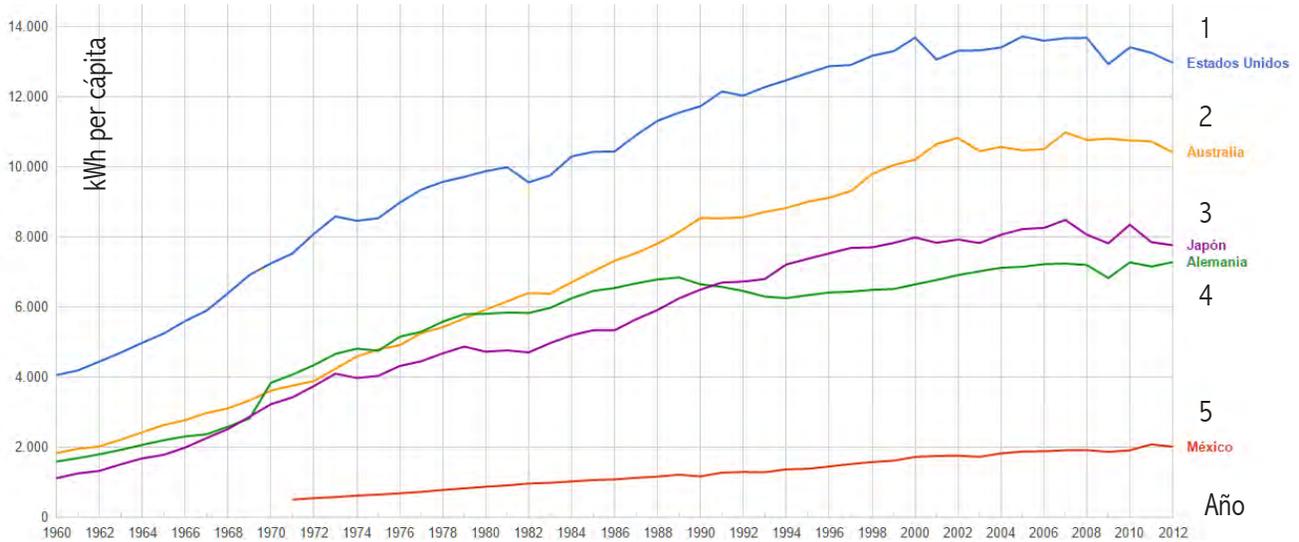


c) Carbón



d) Nuclear

Fig. 2.2 (a-e) Energías No Renovables. Aquellas fuentes cuya disponibilidad es limitada y no pueden producirse.



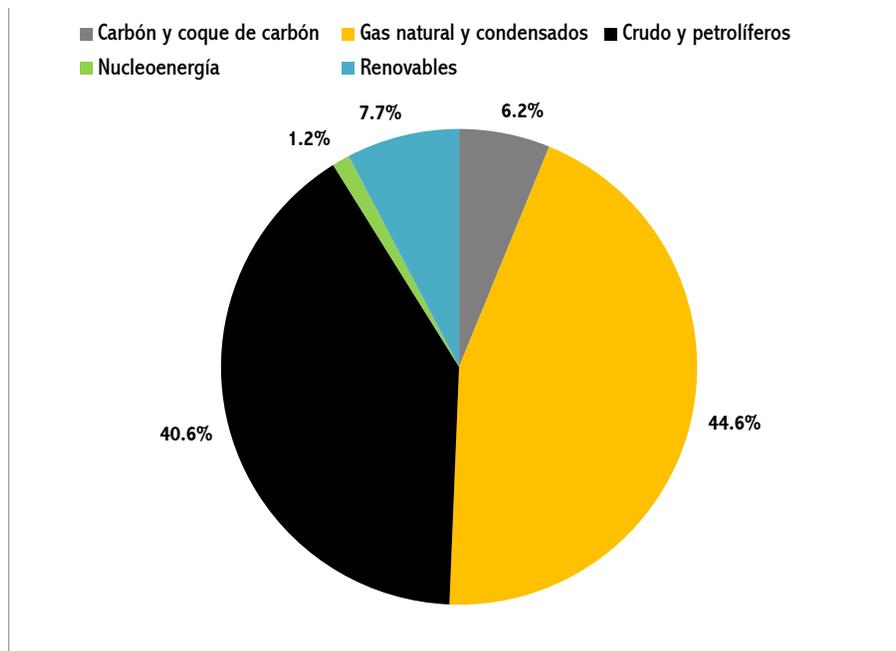
Gráfica 1. Comparativa de consumo de energía eléctrica per cápita en kWh, hasta el año 2012<sup>2</sup>

La diferencia entre México y los otros países anteriormente citados es muy marcada; sin embargo, México es uno de los países dentro del top 20 mundial que demanda más energía. El problema en si, no es la cantidad de energía que se consume si no las fuentes que se ocupan.

La gráfica 2 muestra la producción bruta de energía por tipo a nivel nacional. En ésta se puede observar

que aproximadamente el 93% proviene de fuentes no renovables.

Los datos anteriormente presentados muestran la importancia del uso de energías renovables y de la eficiencia en el consumo final; para la vida diaria del hombre y la incorporación en sus ambientes, es decir, todas las edificaciones construidas por él mismo y que cumplan con estándares de calidad ambiental.



Gráfica 2. Producción bruta de energía por tipo. Fuente: Balance nacional de energía 2014<sup>3</sup>

# 1|4 Energía térmica o Calor

La palabra “calor” al igual que “energía” se maneja de manera informal dentro del lenguaje coloquial entre la gente, por lo tanto se presentan algunas definiciones técnicas tomadas de la literatura especializada para una mejor comprensión.

- “Calor: Energía en transición a través de la frontera de un sistema, que no se puede identificar con una fuerza mecánica y que actúa a lo largo de una distancia”<sup>4</sup>.

- “Es la forma o manifestación de la energía propia de los movimientos a que están sujetas las moléculas que constituyen los cuerpos. Al calentarse un cuerpo aumenta la energía cinética de las moléculas, produciéndose choques más o menos violentos según la cantidad de calor entregada; en el proceso de enfriamiento ocurre lo contrario”<sup>5</sup>.

- “Energía que se manifiesta por un aumento de temperatura y procede de la transformación de otras energías; es originada por los movimientos vibratorios de los átomos y las moléculas que forman los cuerpos”<sup>6</sup>.

Estas definiciones describen al calor como una forma de energía que se manifiesta cuando hay una diferencia de temperatura entre una entidad o sistema con el ambiente que lo rodea. El flujo de la energía siempre será hacia la zona de menor temperatura, es decir, de una zona con mayor contenido energético a una zona con menor contenido energético. El calor se disipará cuando el sistema o entidad está más “caliente” que sus alrededores; al contrario si está a menor temperatura, el calor entrará a este. Tal vez, el flujo de energía se deba a la “naturaleza” del universo que tiende a distribuir la energía uniformemente por el espacio, como lo cita la ley de la conservación de la energía.

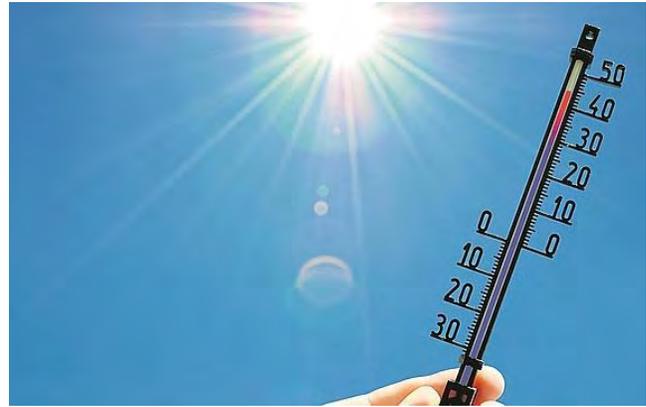


Fig. 3. El sol principal fuente de energía de la Tierra.

## 1|4.1 Calor sensible y calor latente

### 1|4.1.1 Calor sensible

Es la energía térmica que recibe un cuerpo o un sistema que hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado. Generalmente, se ha observado experimentalmente que la cantidad de calor necesaria para calentar o enfriar un cuerpo es directamente proporcional a la masa del cuerpo y a la diferencia de temperaturas<sup>7</sup>. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de calor específico. Entonces según el enunciado anterior podemos deducir la siguiente expresión matemática:

$$Q_s = C_e \times P \times (t_1 - t_2)$$

Unidades:

$$[\text{Kcal}] = [\text{Kcal} / \text{Kg } ^\circ\text{C}] \times [\text{Kg}] \times [^\circ\text{C}]$$

$$[\text{Kjoule}] = [\text{Kjoule}/\text{Kg K}] \times [\text{Kg}] \times [\text{K}]$$

$$[\text{W}] = [\text{W}/\text{Kg } ^\circ\text{C}] \times [\text{Kg}] \times [^\circ\text{C}]$$

Donde:

$Q_s$  es la cantidad de calor sensible agregado o

sustraído de una sustancia.

Ce es el calor específico de la sustancia, en [J/kg K] o [kcal / kg °C].

P es el peso de la sustancia en [Kg].

(t1 - t2) es el salto térmico o diferencia de temperatura que sufre la sustancia, en K ó °C.

### 1|4.1.2 Calor latente

Es la energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). Hay que tener en cuenta que esta energía térmica es utilizada para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura (no hay salto térmico). Su expresión matemática es la siguiente:

$$Ql = Clv \times P \times (t1-t2)$$

Unidades:

$$[Kcal.] = [Kcal/Kg] [Kg]$$

$$[Kjoule] = [Kjoule/Kg] [Kg]$$

$$[W] = [W/Kg] [Kg]$$

Dónde:

Ql es la cantidad de calor latente agregado o sustraído de una sustancia para transformar su estado.

Clv es el calor latente de vaporización o fusión, según el cambio físico de la sustancia [W / kg], [kcal / kg].

P = Es el peso de la sustancia en [Kg].

Para abordar el concepto de energía en forma de calor, tenemos que asociarla a magnitudes conmensurables dentro del campo de la termodinámica. En este trabajo, utilizaremos principalmente el Sistema Métrico Decimal de unidades.

## 1|4.2 Medición de calor en el medio ambiente

### 1|4.2.1 Sistema Métrico Decimal

- Grado Celsius (°C). Es la unidad termométrica cuyo 0 se ubica 0.01 grados por debajo del punto triple del agua (el punto donde el estado sólido, el líquido y el gaseoso están en equilibrio). Pertenece al SMD con carácter de unidad accesoria, a diferencia del Kelvin, que es la unidad básica de temperatura en el Sistema Métrico Internacional. Su escala está basada en los puntos de ebullición (100 °C) y congelación del agua (0 °C), razón por la cual es la más usada en los instrumentos de medición. La conversión del grado Kelvin al grado Celcius es la siguiente:

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273.15$$

### Unidades derivadas

Se denominan así, a aquellas unidades utilizadas para expresar magnitudes físicas que son resultado de combinar magnitudes físicas básicas (longitud (m), masa (kg), tiempo (s), intensidad de corriente eléctrica (A), temperatura (°C), cantidad de sustancia (Mol) o intensidad luminosa (cd)).

A lo largo de este trabajo se utilizarán magnitudes más complejas para expresar la energía en diferentes tipos o situaciones que pueden ser aprovechadas para un caso específico como la potencia, por ejemplo.

- Joule o Julio (J). Unidad utilizada para medir energía, trabajo y calor. Como unidad de trabajo, se define como la cantidad de trabajo realizado por una fuerza constante de un newton durante un metro de longitud en la misma dirección de la fuerza. Su fórmula asociada es la siguiente:

$$J = N \cdot m = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$$

- Watt o vatio (W). Unidad de potencia que da lugar a una producción de energía igual a 1 julio por segundo. En términos eléctricos, un watt es la potencia producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio.

$$W = \frac{J}{s} = V \cdot A = \frac{m^2 \cdot kg}{s^3}$$

- Calor específico o capacidad calorífica. Es la cantidad de calor, medida en joules, que, en un cuerpo homogéneo de una masa de 1 kilogramo, produce una elevación de temperatura termodinámica de 1 kelvin. Las unidades asociadas son:

$$\frac{J}{kg \cdot K} = \frac{m^2}{s^2 \cdot K}$$

- Caloría (cal) y Kilocaloría (Kcal): unidad de energía en el sistema técnico de unidades basada en el calor específico del agua; esta se define como la cantidad de energía calorífica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua pura en 1 °C a una presión normal de una atmósfera. Una caloría (cal) equivale a 4.1868 joules (J) o 1J=0.24 cal, mientras que una kilocaloría (kcal) son 4,186.8 julios (J). Esta unidad aún es usada para expresar el poder energético de los alimentos a pesar de que en el SI la unidad básica de energía es el Joule, se hace referencia a esta unidad por la probabilidad de ser manejada o mencionada en temas posteriores.

### 1|4.2.2 Sistema Inglés

Dentro del sistema anglosajón de unidades debemos tener en cuenta las siguientes unidades: Grados Fahrenheit (°F) para medir temperatura y la unidad

llamada BTU para medir energía en forma de calor, usadas principalmente en los Estados Unidos.

- Escala Fahrenheit (°F). Esta escala establece como las temperaturas de congelación y ebullición del agua, 32 °F y 212 °F, respectivamente. El método de definición es similar al utilizado para el grado Celsius (°C) aunque existen varias teorías de como el propio Fahrenheit estableció los puntos para esta escala con la intención de abolir las temperaturas negativas. Las conversiones posibles con las otras escalas son:

De Fahrenheit a Celsius:

$$C = (F - 32)/1.8$$

De Celsius a Fahrenheit:

$$F = 1.8 C + 32$$

De Fahrenheit a Kelvin:

$$K = (F - 32)/1.80 + 273,15 = (F + 459,67)/1,8$$

- BTU (british thermal unit). Representa la cantidad de energía requerida para elevar en un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua en condiciones atmosféricas normales (1 atm); equivale a 1,055,056 joules, 252 calorías y para equipos de A/C 12, 000 BTU/h = 1 tonelada de refrigeración = 3000 frigorías/h . Cabe mencionar que esta unidad de medida sigue siendo usada para equipos de aire acondicionado, calefacción y generación de vapor principalmente debido a que los BTUs también son usados para expresar el poder calorífico (contenido energético) de los combustibles. Por tanto, es primordial conocer las conversiones entre unidades de potencia, kilocalorías y energía del SI.

Las unidades antepuestas, serán las unidades principales de medición de energía térmica que manejaremos para el desarrollo del presente

trabajo, más aquellas que se vayan presentando por la necesidad de describir el aprovechamiento, utilización, almacenamiento o transportación de otros tipos de energía para fines de diseño bioclimático.

### 1|4.2.3 Medición de variables térmicas

#### Temperatura de bulbo seco (TBS)

Es el valor de la temperatura ambiente del aire sin considerar factores como la radiación, la humedad o el movimiento del aire, los cuales tienen el potencial de afectar significativamente la sensación térmica. Es utilizada en la valoración del bienestar térmico, en la determinación de la humedad y en psicrometría para el cálculo y estudio de las transformaciones del aire húmedo por su fácil medición.

El instrumento más usado para dicho propósito es el termómetro de mercurio, el cual consiste en un delgado tubo de vidrio cuya base, con forma de bulbo, contiene este metal semilíquido. El termómetro se expone directamente al aire, pero se protege de la humedad y de la radiación solar. Debido a que el mercurio es de color blanco brillante, se considera lo suficientemente reflejante para evitar casi por completo la absorción del calor radiado por los elementos del entorno. Cumpliendo con estas condiciones se considera que el termómetro mide de manera con buena precisión la cantidad de calor presente en el ambiente.

Otro instrumento para medir calor sensible es el termómetro de globo, el cual mide la temperatura radiante media. Consta de un termómetro que consta de un termopar dentro de una esfera pintada de color negro. Dicha esfera absorbe la radiación proveniente de los objetos circundantes que están más calientes que el aire y que emiten radiación hacia los más fríos. La temperatura radiante promedio de los objetos y superficies del entorno es, por tanto, la temperatura media radiante.

#### Húmedad relativa (HR)

La humedad relativa (HR) es el porcentaje de saturación de un volumen específico de aire a una temperatura específica. La HR del aire depende de la temperatura y de la presión del volumen de aire analizado. La HR no tiene unidades, ya que representa un porcentaje, por lo que sus valores varían entre 0% (aire completamente seco) y 100% (aire saturado).

#### Temperatura de bulbo húmedo (TBH) o Temperatura húmeda natural (THN)

Es un valor de temperatura que toma en cuenta el efecto de la humedad ambiental y el correspondiente potencial de evaporación. Para esta medición, se toma en cuenta la interacción entre un gas (en



Fig. 4.1 Termómetro de bulbo seco



Fig. 4.2 Termómetro de globo

este caso el aire) y un vapor (en este caso el vapor de agua).

Cuando el aire se encuentra por debajo del nivel de saturación, es decir, cuando la humedad relativa es inferior al 100%, la temperatura de bulbo húmedo siempre es menor a la temperatura de bulbo seco. En ese sentido la TBH expresa de manera indirecta la humedad ambiental, ya que mientras menor es la humedad relativa del aire más fácilmente se evapora el agua y más intensos son los procesos de pérdida de calor.

El uso de equipos de medición directa de TBH se aplica regularmente en ambientes cálido húmedos, para cálculo de índices de confort como el “Wet-Bulb Globe Temperature” (WBGT index), conocido en español como “Temperatura de Globo de Bulbo Húmedo”.



5.1 T. de pared



5.2 Tipo sonda

Fig. 5. Termómetros de bulbo húmedo

## 1|5 Energía visible o luz

La luz es energía electromagnética cuyas longitudes de onda están comprendidas entre los 380 nm y 780 nm (nanómetros), que es el rango perceptible para el sentido de la vista del hombre. Todas las ondas electromagnéticas están clasificadas y ordenadas de manera creciente en función de la longitud de onda y la frecuencia.

Una fuente como el Sol, emite ondas dentro del espectro ultravioleta (UV), visible e infrarrojo (IR), pero gracias a la atmósfera se absorben la mayor parte de la banda de ondas cortas, y sólo parte de las radiaciones ultravioleta nos llegan a la Tierra.

El espectro electromagnético emitido por el Sol, está compuesto de ondas tales como: rayos Gamma, rayos X, rayos UV y los Infrarrojos (Fig. 6); estos últimos los percibimos en forma de calor y también son objeto de estudio en esta tesis. Tanto los rayos infrarrojos (radiación térmica) como la energía visible (luz), son tipos de energía importantes para el diseño arquitectónico ya que estos atraviesan la atmósfera e inciden directamente sobre las personas y la envolvente arquitectónica (planos horizontales, inclinados y verticales).

Así como sucede con la energía térmica, la luz artificial también puede ser emitida a partir de fuentes naturales, de origen vegetal (aceites) y animal (grasas). Estas sustancias emiten luz (ondas visibles) y calor (ondas infrarrojas) a la vez. Existen también otras fuentes artificiales creadas específicamente por el hombre, conocidas genéricamente como “lámparas”, las cuales funcionan por medio de energía eléctrica. Éstas han permitido el desarrollo del hombre sin importar la hora del día o el tipo de ambiente.

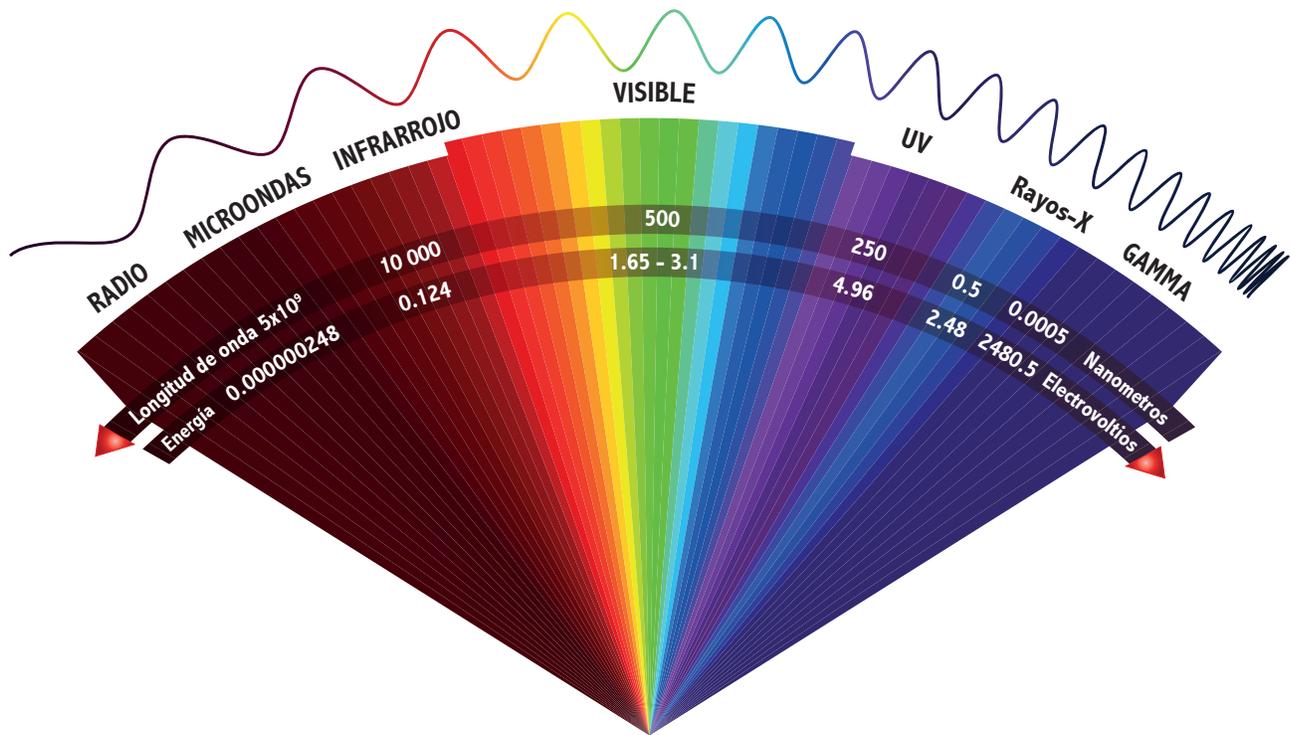


Fig. 6. Espectro electromagnético

### 1|5.1 Características físicas de la luz

**Velocidad.** Es de aproximadamente de 300 000 km/s (o de 186 000 millas/s). Se representa con la letra “c”. La luz viaja más rápidamente en el vacío, y se mueve más lentamente en materiales como agua o vidrio.

**Longitud de onda.** Comprenden un estrecho rango del espectro completo, aproximadamente de 380 nm a 780 nm. Estas longitudes de onda son capaces de estimular las células sensoriales en los ojos que permiten la visión.

La luz roja tiene longitudes de onda relativamente largas, de aproximadamente 700 nm de largo. La luz azul y la luz morada tienen ondas cortas, de aproximadamente 400 nm. Las ondas más cortas viajan a mayores frecuencias, y tienen energías más elevadas (ver figura 6).

**Frecuencia.** En términos de frecuencia, ésta

corresponde a una banda en el campo de valores entre 450 y 750 Tera Hertz.

### 1|5.2 Unidades de medición de la luz

En el campo de la iluminación se manejan habitualmente varias magnitudes. Básicamente son

Características de la luz de color		
Color	Longitud de onda	Frecuencia
Rojo	625-740 nm	480-405 THz
Naranja	590-625 nm	510-480 THz
Amarillo	565-590 nm	530-510 THz
Verde	520-565 nm	580-530 THz
Azul	450-500 nm	670-600 THz
Añil	430-450 nm	700-670 THz
Violeta	380-430 nm	790-700 THz

Tabla 1. Características de la luz de color

las siguientes:

**Flujo luminoso:** energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Unidad: lumen (lm).

**Intensidad luminosa:** flujo luminoso emitido en una dirección determinada por una luz que no tiene una distribución uniforme. Unidad: candela (cd).

**Nivel de iluminación:** cantidad de luz equivalente a un lumen que recibe una superficie de un metro cuadrado. Unidad: lux = lm/m<sup>2</sup>.

**Luminancia o brillo fotométrico:** definida para una superficie en una dirección determinada, es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por un observador situado en la misma dirección (superficie aparente). Unidad: cd/m<sup>2</sup>.

**Reflectancia:** proporción de la luz que es reflejada por una superficie. Es una cantidad no dimensional. Su valor varía entre 0 y 1.

**Contraste:** es el resultado de la diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno, o entre diferentes fracciones de la misma superficie de un objeto.

## Referencias bibliográficas

- (1) D.Melendi. Energía. Consultada en Marzo del 2016. <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/terminos/Energ.htm>
- (2) Agencia Internacional de la Energía (AIE). “Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)”. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2012&locations=US-AU-JP-DE-MX&start=1960>
- (3) Secretaría de Energía. Balance Nacional de Energía, 2014. Pág. 31
- (4) Rolle, K. C., Termodinámica, 6a. Ed., Pearson Educación, México (2006). Pág. 91
- (5) Díaz, V.C. y Barreneche, R.O. Acondicionamiento térmico de edificios, 9
- (6) Spanish Oxford Living Dictionaries. Consultada en noviembre del 2016. <http://www.oxforddictionaries.com/es-definicion/espanol/calor>
- (7) Wikipedia. Consultada en Marzo del 2016. [https://es.wikipedia.org/wiki/Calor\\_sensible](https://es.wikipedia.org/wiki/Calor_sensible).

## Referencias imágenes

Fig. 1. Elaboración propia

Fig. 2.1, a). <https://www.cleanenergyconservatives.com/north-carolina-church-powered-solar-energy/>

Fig. 2.1, b). <http://vaporenergia.com.br/servicos/modulo-de-negocios/>

Fig. 2.1, c). <https://www.triphobo.com/tours/itaipu-dam-brazilian-side>

Fig. 2.1, d). <http://biomassmagazine.com/articles/6130/d-c-clean-energy-investor-calls-biomass-secure-solution>

Fig. 2.1, e). <https://theecologist.org/2016/may/06/renewable-energy-can-keep-lights-heres-how>

Fig. 2.2, a). <https://bravosnews.com/images/home/Herramientas/Pemex/12.jpg>

Fig. 2.2, b). <http://petroleumag.com/wp-content/uploads/2018/01/gas-natural-1280x640.jpg>

Fig. 2.2, c). [http://interactivo.eluniversal.com.mx/2017/venta-minas-mexico/carbon\\_coahuila.html](http://interactivo.eluniversal.com.mx/2017/venta-minas-mexico/carbon_coahuila.html)

Fig. 2.1, d). <https://irp-cdn.multiscreensite.com/61dd7bce/import/base/img.MTU0MzQzNTM3NA.jpeg>

Fig. 3 <https://es.dreamstime.com/photos-images/term%C3%B3metro-en-el-sol.html>

Fig. 4.1 <https://www.jplennard.com/air-thermometer-75-x-380mm.html>

Fig. 4.2 [https://www.pce-instruments.com/espanol/slot/4/artimg/normal/pce-instruments-term\\_metro-pce-wb-20sd-1899914\\_832405.jpg](https://www.pce-instruments.com/espanol/slot/4/artimg/normal/pce-instruments-term_metro-pce-wb-20sd-1899914_832405.jpg)

Fig. 5.1 <http://senior.stpauls.br/resource.aspx?id=3626>

Fig. 5.2 [https://lh3.googleusercontent.com/CGvROMO3BN-8N8V\\_x6QvjEltz4x205zElmJeHfFPTmUKbkHJWawPIeXTG9x-ZKsww-Lvpclal=s85](https://lh3.googleusercontent.com/CGvROMO3BN-8N8V_x6QvjEltz4x205zElmJeHfFPTmUKbkHJWawPIeXTG9x-ZKsww-Lvpclal=s85)

Fig. 6 Elaboración propia

## **2| CONDICIONES DE CONFORT Y EL HOMBRE**

### 2 | 1 Condiciones para el confort higrotérmico

2 | 1.1 Procesos de termoregulación

2 | 1.2 Condiciones térmicas críticas para el cuerpo

2 | 1.3 Factores de confort

2 | 1.4 Factores ambientales

### 2 | 2 Condiciones para el confort visual y percepción

2 | 2.1 Factores y campo de la visión en el hombre

2 | 2.2 Percepción del color

2 | 2.3 Confort visual

El estilo de vida occidental europeo y estadounidense ha conseguido una gran proliferación en casi todos los países de América Latina: la forma de vestir, las tecnologías en la construcción de edificios y el avance de las instalaciones para el control artificial de los microclimas. Esto nos ha llevado a la homogeneización de los ambientes interiores sin importar la ubicación geográfica.

Si bien estos adelantos tecnológicos que son promovidos por el capitalismo y el mercado mundial sólo han mejorado la calidad de vida de unos cuantos, al final lo que se ha conseguido es que el hombre esté adaptado a un rango más estrecho de condiciones climáticas.

Para lograr un buen diseño arquitectónico que tome en cuenta el bioclima del lugar y el desarrollo integral del hombre, como arquitectos y diseñadores debemos estudiar con mayor detenimiento la capacidad de adaptación de la especie humana para hacer frente a los cambios climáticos con un enfoque sustentable a largo plazo.

Como meta principal, los diseños deben proveer condiciones confortables para el hombre, porque aun logrando las condiciones mínimas de habitabilidad, está científicamente demostrado que el desempeño físico y mental del hombre se desarrolla mejor cuando las condiciones ambientales oscilan dentro de un rango determinado de confort.

Estamos a tiempo para reconsiderar nuestro estilo de vida y las condiciones humanas para el siglo XXI; **en la naturaleza las especies mejor adaptadas son las que permanecen.**

## 2|1 Condiciones para el confort higrotérmico

Para desarrollar el tema es preciso citar algunas **definiciones sobre confort higrotérmico:**

I. “Equilibrio armonioso entre la reducción al mínimo de las respuestas fisiológicas y la maximización de aclimatación; es el estado que interpretamos subjetivamente como “comodidad” térmica”<sup>8</sup>.

Personalmente, considero que ésta es la definición más precisa por su desarrollo conceptual.

II. “Sensación de comodidad termofísica en relación con el ambiente que nos rodea; puede ser al exterior o al interior”<sup>9</sup>.

Esta definición nos hace pensar más allá de la tercera piel, los espacios exteriores y su importancia de acondicionamiento para que no caigan en la subutilización.

III. “Es la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”<sup>10</sup>.

Es la definición más general, pero hace hincapié en que el juicio de confort es un proceso cognitivo que involucra aspectos físicos, psicológicos y fisiológicos.

### 2|1.1 Procesos de termorregulación

El cuerpo humano es un **sistema homeotermo**; esto significa que debe mantener una temperatura interna constante dentro de ciertos límites sin importar las condiciones exteriores a éste.

La temperatura corporal interna se estima en 37°C promedio y la temperatura exterior de la piel en contacto con el ambiente varía desde los 31°C a los 34°C, dependiendo de la zona (cabeza, tronco

y extremidades), de la ropa (ligera o pesada) y el trabajo muscular al que se someta (flujo sanguíneo).

Queda claro que el hombre es una forma de bomba de calor constante empezando por factores propios. En todo momento, el calor generado en exceso debe ser eliminado para mantener su cualidad homeotérmica y gracias a la evolución biológica, el cuerpo ha desarrollado sus propios mecanismos de autorregulación higrótérmica dependiendo de las condiciones ambientales.

### Mecanismos de pérdida de calor en el hombre

Si la temperatura aumenta demasiado, el cuerpo responde con el primer mecanismo denominado **vasodilatación** (fig. 10.1), en el cual los vasos sanguíneos subcutáneos se expanden y aumentan el riego sanguíneo debajo de la piel lo que conlleva a un aumento de la disipación de calor.

Si con lo anterior no se restaura el equilibrio térmico, las glándulas sudoríparas se activan y ocurre la **transpiración**. El agua exudada por los poros toma calor en forma de energía latente de la piel para cambiar de estado líquido a gaseoso bajando la temperatura de ésta, lo que se percibe como una sensación fría y refrescante. A este proceso se le

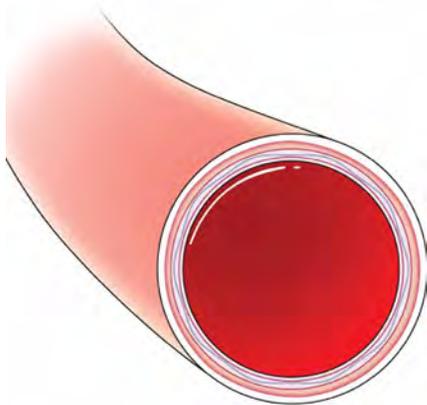


Fig. 7.1 Vasodilatación

denomina como **enfriamiento evaporativo**.

Estos mecanismos son reacciones involuntarias.

### Sudor

El sudor es un líquido transparente que segregan las glándulas sudoríparas de la piel (fig. 10.2) y que se expulsa a través de los poros; está formado por agua, sales minerales y toxinas (sustancias de desecho), de modo que su composición es similar a la de la orina.

El cuerpo puede producir sudor por periodos cortos a una tasa máxima de 4 L/h, pero a esa velocidad el organismo se fatiga rápidamente. La tasa sostenible para el cuerpo es de 1 L/h. La evaporación es un proceso endotérmico, que absorbe el calor a un ritmo de algunos 2.4 MJ/L lo que es igual a 666 Wh/L.

### Mecanismos de conservación del calor

Cuando la temperatura desciende durante la noche o en los periodos fríos del año, la respuesta fisiológica es la **vasoconstricción**. Ésta consiste en la reducción de la circulación sanguínea en los vasos (como una estrangulación) provocando una disminución de la

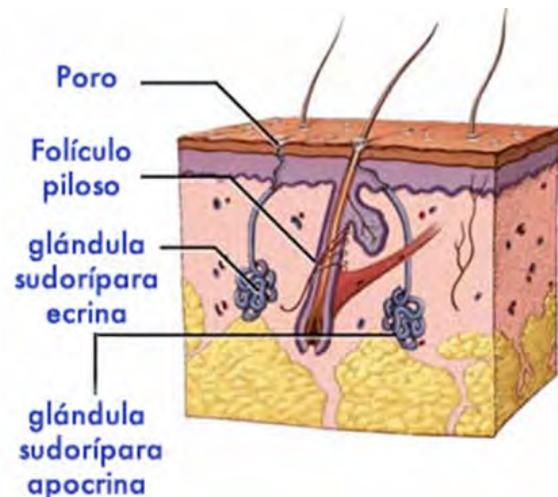


Fig. 7.2 Glándulas sudoríparas

temperatura de la piel y por tanto la reducción de la tasa de disipación de calor. Este fenómeno junto con la piloerección se puede observar como palidez en la piel, a lo que llamamos comúnmente como “piel de gallina”.

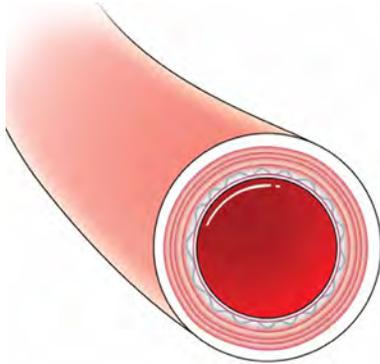


Fig. 8.1 Vasoconstricción



Fig. 8.2 Piloerección

### Mecanismos de producción de calor

Si las medidas anteriores no logran restaurar el equilibrio térmico ocurrirá un proceso llamado **termogénesis** que puede llevarse a cabo de dos maneras: mediante un movimiento tiritante conocido como “temblores” o mediante un proceso de carácter metabólico en la grasa subcutánea del cuerpo, ésta como principal fuente de calor adicional. Este mecanismo es de carácter adaptativo.

La cantidad de calor perdida o ganada durante estos mecanismos varía considerablemente según las condiciones atmosféricas.

## 2|1.2 Condiciones térmicas críticas para el cuerpo

Ahora bien, para tener una mejor idea de los efectos y consecuencias que conlleva la exposición del cuerpo a condiciones ambientales no confortables o extremas (tabla 2), vale la pena mencionar los efectos que sobre la salud éstos tienen:

### Calor

Cuando los mecanismos de evacuación de calor no pueden restablecer las condiciones de equilibrio y el aumento de temperatura del organismo es inevitable, se producirá la hipertermia. Se presenta cuando la temperatura corporal interior alcanza aproximadamente 40°C, conocido también como “golpe de calor”.

Se trata de una insuficiencia circulatoria (el retorno venoso al corazón se reduce) dando lugar a desmayos. Los primeros síntomas son: fatiga, dolor de cabeza, mareos al ponerse de pie, náuseas, vómitos, dificultad para respirar, enrojecimiento de la cara y el cuello, pulso rápido (hasta 150 pulsaciones/min), así como trastornos mentales, tales como la falta de juicio, la apatía o irritabilidad.

En un golpe de calor, la temperatura se eleva rápidamente a más de 41°C porque se detiene la sudoración; se entra en estado de coma y puede llegar a la muerte. Si una persona logra salvarse en este punto, el cerebro puede sufrir daños irreparables. Aproximadamente a 42°C la muerte es casi inminente.

### Frío

Cuando los mecanismos de conservación de calor no pueden restablecer las condiciones de equilibrio y el enfriamiento del organismo es inevitable, se

producirá la **hipotermia**. Se da cuando la temperatura corporal profunda cae por debajo de los 35°C.

Se considera hipotermia leve cuando la temperatura corporal se sitúa entre 33 °C y 35 °C (91.4 °F y 95 °F), y va acompañada de temblores, confusión mental y torpeza de movimientos. Entre 30 °C y 33 °C (86 °F y 91.4 °F) se considera hipotermia moderada y a los síntomas anteriores se suman la desorientación, estado de semiinconsciencia y pérdida de memoria.

Una hipotermia grave se considera entre 30 °C y 25 °C donde la muerte es casi inminente (excepto bajo condiciones controladas médicamente).

No obstante y por lo general, los ambientes de

temperaturas altas son más peligrosos que los fríos, pues resulta más fácil protegerse del frío que del calor. En otras palabras, resulta más fácil aislarse para evitar pérdidas de calor que implementar mecanismos para perder calor.

## 2|1.3 Factores de confort

Los factores que intervienen en el intercambio de calor se pueden clasificar en:

**I. Ambientales:** Temperatura del aire, velocidad del aire, humedad del aire, radiación directa y radiación indirecta proveniente de superficies cercanas. Esta última se mide con la temperatura media radiante (TMR).

Temperaturas (T) críticas para el cuerpo			
T. piel	T. corporal profunda	Efecto o Ajuste fisiológico	Consecuencia
45 °C	± 42 °C		Muerte
	T = 40 °C	Hipertermia	Golpe de calor, pérdida del conocimiento
	T ≥ 39 °C	Transpiración/Sudoración	Aumento de humedad en la piel, evaporación del sudor, mareo
		Vasodilatación	Aumento del flujo sanguíneo
31 - 34 °C	± 37 °C		Confort Neutralidad térmica
	T ≥ 36 °C	Vasoconstricción	Disminución del flujo sanguíneo, piloerección
		Termogénesis	Movimientos involuntarios, tiriteo, escalofríos
	T = 35 °C	Hipotermia	Golpe de frío o enfriamiento, entumecimiento de las extremidades
10 °C	± 25 °C		Muerte por congelamiento (frosbite)

Tabla 2. Temperaturas críticas para el cuerpo<sup>11</sup>

**II. De carácter operativo:** vestimenta y tipo de actividad.

**III. Contribuyentes individuales:** alimentos y bebidas, área corporal, grasa parda, edad, género y estado de salud.

Todos los factores afectan al hombre de forma simultánea. Unos son menos determinantes que otros por su cantidad de aporte energético; en cambio, otros crean una sensación de bienestar rápidamente como los alimentos y la vestimenta. En este apartado examinaremos los primeros.

## 2|1.4 Factores Ambientales

**Temperatura del aire seco** ó temperatura de bulbo seco (**TBS**): es el factor más importante y se mide con un termómetro de bulbo seco. Su valor

determinará la velocidad a la cual se pierde o se gana calor por convección principalmente. Cuando la temperatura del aire está por encima de los 37 °C, es decir, por arriba de la temperatura corporal, el calor fluye en dirección al cuerpo humano y éste no podrá disipar el calor pasivamente.

El rango de confort empírico para la mayoría de las personas se estima en 20 °C para invierno y en 25 °C para verano.

**Velocidad del aire (Va):** se mide en metros sobre segundo (m/s). Afecta directamente la tasa de perdida de calor por convección y evaporación, por lo que tiene un efecto muy pronunciado en la disipación del calor (Tabla 3). También incide en la evaporación de la humedad de la piel, siendo determinante en la sensación de enfriamiento por evaporación.

Velocidad del aire y confort térmico						
Velocidad del aire				Reducción equivalente de temperatura*		Efectos en el confort
Sistema inglés		Sistema internacional		°F	°C	
ft3/min	mi/h	m/s	km/h			
10	0.1	0.05	0.2	0	0	Aire estancado, ligeramente en disconfort
40	0.5	0.2	0.8	2	1.1	Apenas notable pero confortable
50	0.6	0.25	1	2.4	1.3	Velocidad de diseño para salidas de ventilación cercanas a los ocupantes
80	1	0.4	1.6	3.5	1.9	Notable y confortable
160	2	0.8	3.2	5	2.8	Muy notable pero aceptable en ciertas áreas de alta actividad si el aire es cálido
200	2.3	1	3.7	6	3.3	Límite superior para espacios con aire acondicionado
100	4.5	2	7.2	7	3.9	Buena velocidad de aire para ventilación natural en climas cálidos y secos
900	10	4.5	16	9	5	Buena velocidad de aire para ventilación natural en climas cálidos y húmedos
						Considerado una brisa suave cuando se siente en exteriores

\* Los valores en esta columna son el número de grados que la temperatura debería haber descendido para generar el mismo efecto de enfriamiento que la velocidad de aire dada

Tabla 3. Velocidad del aire y Confort térmico<sup>12</sup>

El rango empírico de velocidad confortable es de 0.1 a 0.3 m/s. Por encima de los 0.9 m/s empieza a sentirse como molesto al interior de los espacios y es perjudicial para la salud en temporadas frías. La Tabla 3 muestra una descripción más detallada de cómo afecta a la sensación de confort.

**Humedad del aire:** es la cantidad de agua en forma de vapor contenida en el aire. Su cantidad y efectos pueden medirse de las siguientes maneras: humedad relativa (HR, en %), porcentaje de agua saturada en el aire; humedad absoluta (HA, en grs/Kg) cantidad de vapor de agua por cada kilo de aire en el ambiente; y en presión de vapor (P, en kPa), fuerza que ejerce el vapor de agua sobre una superficie cualquiera. Este último factor también afecta la velocidad de evaporación.

El aire seco absorbe fácilmente la humedad de la piel y da como resultado una rápida evaporación enfriándose eficazmente un cuerpo.

**Radiación directa (QR):** tipo de radiación electromagnética que llega a una superficie sin haber sufrido cambio en su trayectoria lineal desde una fuente principal (fig. 12). La fuente principal de radiación térmica es el Sol, pero también puede recibirse por otras fuentes como una chimenea encendida.

Un cuerpo es capaz de transformar parte de su contenido energético en calor radiante, emitiéndolo en forma de ondas infrarrojas (no visibles) hacia todas las direcciones en sentido radial, ondas que son absorbidas por otros cuerpos, las cuales se reciben en forma de calor sensible.

La radiación térmica es un factor importante para proveer sensaciones de confort aun cuando las condiciones del ambiente térmico no es el adecuado. Por ejemplo, en invierno cuando estamos expuestos al aire frío (perdida convectiva) y a la humedad

(pérdida por evaporación), pero recibiendo los rayos directos del sol logramos calentarnos para balancear las pérdidas de calor.

**Temperatura media radiante (TMR):** es el promedio de la radiación térmica emitida por conjunto de superficies hacia un punto, es decir, aquella ganancia de calor estimada que toma en cuenta la suma de las temperaturas de los elementos circundantes respecto a un cuerpo u objeto. En arquitectura serán todos aquellos que constituyen la envolvente arquitectónica: piso, muros y techo.

Esta variable térmica se mide de manera indirecta, a partir de la TBS, la temperatura de globo y la velocidad relativa del aire. Cuando este parámetro se calcula como parte de las condiciones ambientales generalmente se asume como referencia el punto central del lugar.

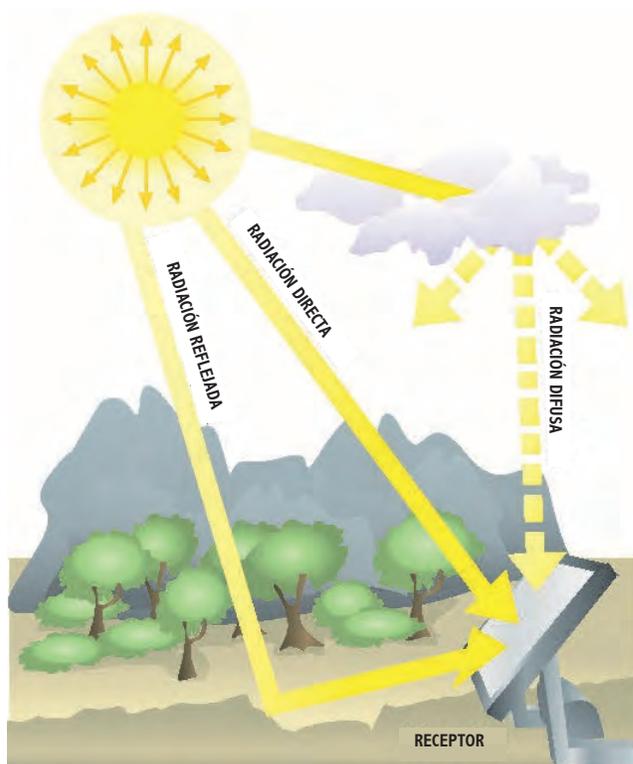


Fig. 9 Radiación solar global

## 2|2 Condiciones para el confort visual y percepción

El ojo humano (Fig. 7) capta la luz a través de la pupila y los lentes ajustan la percepción de la luz para enfocar los objetos según la distancia requerida. La cornea concentra la luz en la retina por medio de refracción, lo que se conoce como acomodación.

Los conos y los bastones, son las células sensoriales del ojo localizadas en la retina; los primeros funcionan para luz de alta intensidad, para la percepción del color y los detalles; los segundos, para iluminación de baja intensidad, es decir, para la visión nocturna o escotópica. Estas células transducen la luz en impulsos nerviosos que viajan por el nervio óptico de la retina para enviarlos la corteza visual en el cerebro donde son interpretados.

### 2|2.1 Factores y campos de la visión en el hombre

**Acomodación visual:** es la capacidad del ojo para enfocar a diferentes distancias.

**Adaptación visual:** proceso que sucede en el ojo cuando hay un ajuste de la cantidad de luz que entra por la pupila (dilatación o contracción). Como su nombre lo dice es un mecanismo de adaptación de la vista a distintos niveles de luminosidad. Es más rápida cuando hay una transición de niveles de iluminación bajos a niveles más altos, que viceversa.

Para ayudar a la transición, el diseñador debe considerar sistemas y estrategias de iluminación arquitectónicos que proporcionen niveles de luz que no contrasten mucho con el exterior, en el caso de espacios como vestíbulos, recepciones, etc. Caso contrario, en horas de la tarde-noche los niveles de iluminación deben bajar en los accesos de los

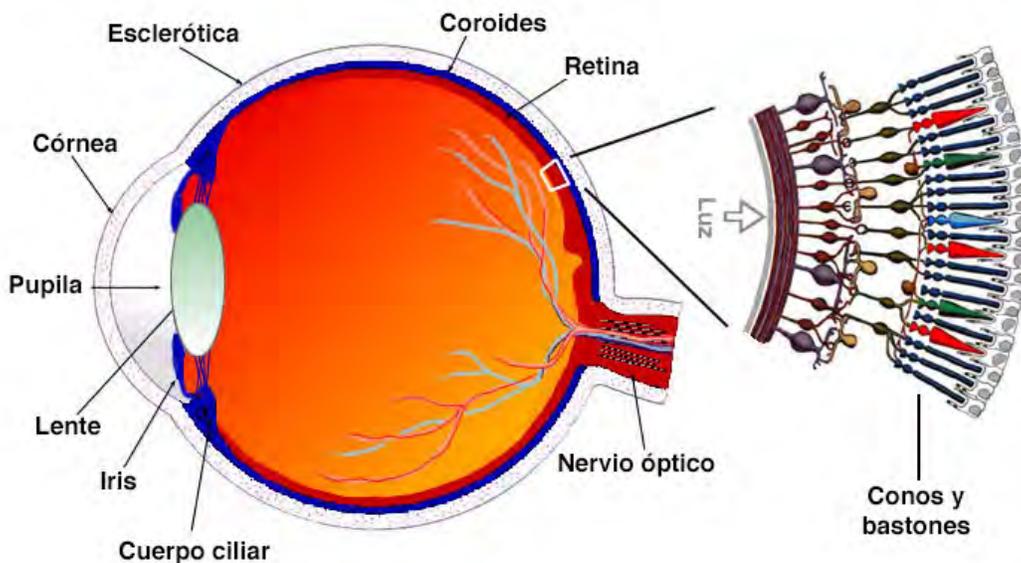


Fig. 10 Anatomía del ojo humano

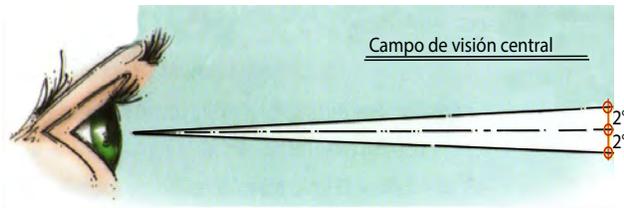


Fig. 11 Campo de visión central<sup>13</sup>

edificios para reducir el contraste entre el exterior y el interior, para después ir aumentando conforme vamos avanzando hacia los espacios interiores.

**Agudeza visual:** capacidad de percibir y distinguir visualmente los detalles más pequeños.

### 2|2.1.1 Campo de visión del ojo

El campo visual es la porción del espacio que el ojo es capaz de ver. El campo visual normal se extiende aproximadamente desde 60° hacia dentro de la nariz hasta 100° hacia afuera en cada ojo, y unos 60° por encima y 75° por debajo de la horizontal. La luz incidente que este dentro de cualquiera de estos rangos provoca el deslumbramiento

**Campo central:** es el campo que abarca dos grados arriba y dos grados tanto abajo como por encima de la línea recta de visión en las cuatro direcciones, fig. 4. Para iluminar una superficie de trabajo se debe colocar la fuente de luz en el campo central de la vista.

**Campo perimetral:** es el área fuera del campo central en cualquier dirección (abajo, arriba, izquierda, derecha).

## 2|2.2 Percepción del color

La longitud de onda de la luz es la que determina el color que percibimos. El rango de estos diferentes colores es bastante amplio y extenso, habiendo numerosos colores entre los cuales nos es posible

distinguir. Los límites del espectro de luz visible terminan en la luz ultravioleta y en los infrarrojos.

Teóricamente, podemos decir que en las últimas longitudes en donde termina un color ya se está formando el siguiente. Existe un debate entre varios estudiosos del tema sobre cuales son los rangos de las longitudes de onda y su color correspondiente, ya que es difícil calcular con precisión en dónde comienza y dónde termina cada color; esto se debe a que los límites de los colores se aproximan a medida que los mismos se van mezclando unos con los otros, gracias a la síntesis aditiva de color (fig. 9).

Por otra parte, los colores sin saturar como el rosa, o variaciones del púrpura como el magenta no pueden reproducirse con una sola longitud de onda.

**Color y longitud de onda.** En la tabla 1, se muestra la relación del color que percibimos con las características físicas de las ondas que conforman el espectro visible.

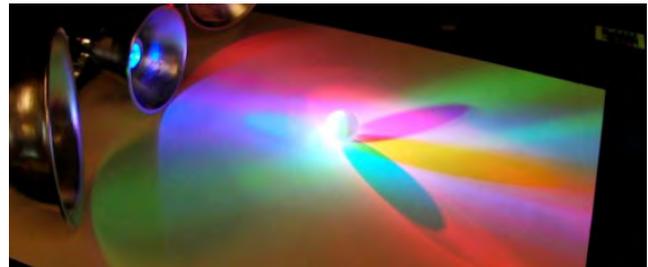


Fig. 12 Mezcla aditiva del color de la luz

## 2|2.3 Confort Visual

Es la sensación de bienestar o el grado de satisfacción derivada de la iluminación en un ambiente. En este intervienen una gran cantidad de variables que están relacionadas con la naturaleza, la estabilidad del flujo luminoso y la cantidad de luz.

Los **requisitos** para una **iluminación confortable** son:

- Nivel de iluminación uniforme en el plano
- Luminancia óptima
- Ausencia de brillos deslumbrantes (directos o reflejados).
- Condiciones de contraste adecuadas (luminancia).
- Colores correctos (índice de reproducción cromática)
- Ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscópicos.

Los deslumbramientos son casos límite de desequilibrio luminotécnico. Se producen cuando la cantidad de luz procedente de uno o varios objetos que aparecen en el campo visual es muy elevada.

## Referencias

- (8) Auliciems, Andris, and S. V. Szokolay. PLEA 3 Thermal Comfort, 3
- (9) Yarke, eduardo. Ventilación Natural de Edificios, 21
- (10) ASHRAE Handbook Fundamentals, 2009, 9.1
- (11) Auliciems, Andris, and S. V. Szokolay. PLEA 3 Thermal Comfort, 7
- (12) Lechner, Norbert. Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects, 307
- (13) Winchip, Susan M. Fundamentals of lighting, 14

## Referencias imágenes

Fig. 7.1 <https://alokbains.blogspot.com/2017/12/vasodilators.html>

Fig. 7.2 <https://www.marchasyrutas.es/blog/sudor-necesitas-saber-cuando-transpiras/>

Fig. 8.1 <https://alokbains.blogspot.com/2017/12/vasodilators.html>

Fig. 8.2 <https://supercurioso.com/por-que-se-nos-pone-la-piel-de-gallina/>

Fig. 9 Elaboración propia

Fig. 10 [http://www.blueconemonochromacy.org/wp-content/uploads/2011/02/1\\_ES.jpg](http://www.blueconemonochromacy.org/wp-content/uploads/2011/02/1_ES.jpg)

Fig. 12 <https://prolux.cl/mezcla-de-color-aditiva/>

# 3|

# CONFORT HIGROTÉRMICO

3 | 1 Adaptación térmica en el hombre

3 | 1.1 Adaptación fisiológica: Aclimatación

3 | 1.2 Adaptación psicológica: Entorno sociocultural

3 | 2 Sensación térmica percibida

3 | 3 Estudios de confort higrotérmico

3 | 3.1 Enfoque y modelos de predicción

3 | 3.2 Enfoque y modelos de adaptación

## 3|1 Adaptación térmica en el Hombre

Se le considera adaptación térmica a “el decremento gradual de respuesta del organismo a repetidas exposiciones a estímulos que se reciben de un medio ambiente específico”. La sensación de confort higrotérmico, se da por la percepción del usuario según su grado de adaptación y las variables que lo influyen con respecto al espacio, según los autores Nikolopoulou y Steemers (2003).

El concepto de la adaptación térmica es la base de los modelos de confort usados para el diseño bioclimático, llamados “modelos adaptativos”. Dichos modelos toman en cuenta de manera implícita las posibilidades de un individuo para adaptarse psico-fisiológicamente a un ambiente térmico. Por esa razón, son los más usados para el diseño de edificaciones que funcionan por sistemas pasivos de climatización.

La adaptación térmica se puede dividir en dos tipos: fisiológica y psicológica; para el presente trabajo describiremos solo aquellos que se consideraron más significativos y se presentan en la tabla 4.

### 3|1.1 Adaptación fisiológica: Aclimatación

En el contexto de los ambientes térmicos, es el proceso por el cual un organismo se adapta fisiológicamente a los cambios de su medio ambiente. Generalmente, tiene relación directa con el clima y la ubicación geográfica. En el caso del hombre, implica cambios en las respuestas de la termorregulación corporal.

Los mecanismos de termorregulación humana se

dan en respuesta a estímulos físicos diferentes del ambiente térmico (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar, temperatura media radiante por la envolvente), los cuales varían en tipo e intensidad constantemente. Cuando los mecanismos de termorregulación disminuyen gradualmente, entonces se comienza a dar el proceso de aclimatación.

Cuando el organismo se expone a actividades físicas consecutivas y similares en un ambiente térmico determinado, se generan ajustes entre los primeros cuatro y siete días, en los mecanismos psicológicos y fisiológicos de termorregulación. Mondelo et al., (2001), afirman que la aclimatación en climas cálidos pueden variar de siete a 14 días.

Con base en lo anterior, podemos considerar la **aclimatación** como el **mecanismo final** de respuesta a largo plazo, que implica un conjunto de respuestas como: los cambios en las tasas de producción de calor metabólico basal, el aumento de la cantidad de sangre en el cuerpo (que permite una vasodilatación más eficiente), el incremento de la capacidad de las glándulas sudoríficas e incluso, cambios de pigmentación (melanina) en la piel, un proceso de evolución biológica que ha permitido al ser humano adaptarse a casi todas las zonas climáticas del planeta.

### 3|1.2 Adaptación psicológica: Entorno sociocultural

Se refiere al conjunto de condiciones relacionadas al modo de vida (tipo de actividades, horarios y tiempo de uso de los espacios), al conocimiento empírico del clima (el uso y tipo de vestimenta en el lugar o región, tipo de construcciones del lugar, hasta las formas de convivencia social), y la forma que influyen en la expectativa de sensación térmica.

Tabla 2. Variables de la adaptación higrotérmica en espacios interiores

Variables de la adaptación térmica	Descripción
<b>Adaptación Fisiológica</b>	
Aclimatación	La intensidad de respuesta de los mecanismos de regulación higrotérmica del cuerpo provocados por los estímulos del ambiente térmico disminuye: menor cantidad de sudoración, estabilización de la presión sanguínea., etc.
	A largo plazo: aumento o disminución de la cantidad de sangre en el cuerpo, cambios de pigmentación en la piel.
	Cuando las condiciones térmicas del ambiente son casi constantes, la aclimatación se logra en periodos más cortos, provocando un decremento gradual de respuesta fisiológica acelerado.
<b>Adaptación Psicológica</b>	
Experiencia y expectativa térmica	Experiencia térmica: efectos de la memoria basados en sensaciones y vivencias previas de espacios conocidos que se superponen a la expectativa de “nuevos espacios”. Expectativa térmica: lo que el usuario supone que el ambiente térmico debería ser, basándose en experiencias previas de espacios conocidos.
	Hay una aproximación en la expectativa y la realidad debido a que la memoria relaciona espacios similares con condiciones similares
Tiempo de exposición	Una exposición al discomfort puede ser tolerada sí el individuo se anticipa a la situación que se expondrá y controla los tiempos de exposición a la misma. Los tiempos de exposición pueden ser establecidos con base en la actividad a realizar o a las consecuencias en la salud, por ejemplo.
Conducta reactiva	Cambios que forman parte de la conducta personal como: tipo de ropa, postura y posición física o alteraciones metabólicas mediante el consumo de bebidas calientes o frías.
Conducta interactiva	Acciones en las que los usuarios toman decisiones para modificar el ambiente térmico para conseguir condiciones de confort térmico, ejemplo: abrir o cerrar las ventanas de un espacio.
Entorno sociocultural	El modo de vida y las costumbres locales basados en el conocimiento empírico del clima determinan implícitamente los tipos de construcción de las localidades, la alimentación, la vestimenta y las actividades de convivencia. La combinación de todos los factores influye directamente en el grado de tolerancia térmica que los habitantes de una localidad están dispuestos a sobrellevar.
Basado en Bojórquez, 2010 (elaborada con base en Nikolopoulou y Steemers, 2003).	

Tabla 4. Variables de la adaptación térmica<sup>14</sup>

### Hábitos y preferencias

De tipo más personal, varía en función del tipo de actividad (sedentaria o intensa), la forma de vestir de cada individuo y hasta los hábitos alimenticios (consumo de alimentos y bebidas según la época del año, por ejemplo). Esto quiere decir que cada persona utiliza los factores de carácter operativo

según sus necesidades fisiológicas, el estado de ánimo y su expectativa con base en el estado del tiempo en ese momento o la época del año, pues en las épocas con menos horas de sol la gente tiende a sentir depresión, entonces es importante el asoleamiento en estas épocas.

## 3|2 Sensación térmica percibida

La sensación térmica percibida (STP) es el proceso de interpretación psicológica y fisiológica de las variables que rigen los estímulos físicos del ambiente térmico, después de haber sido percibidos por los sistemas sensoriales de cuerpo, para posteriormente iniciarse el proceso de termorregulación o lograr un estado de neutralidad.

Givoni (1969) definió la sensación térmica como la percepción del calor o frío del ambiente a partir de la actividad neurálgica originada en los nervios de la piel que actúan como receptores térmicos. A su vez, la percepción de las condiciones meteorológicas se ve afectada por los procesos fisiológicos, el vestuario

y la actividad de los individuos.

En la figura 13, se muestra un esquema del proceso de percepción de la sensación térmica elaborada a partir de Nikolopoulou y Steemers, 2000 y Auliciems y Szokolay, 1997.

La sensación térmica varía en relación con una serie de parámetros de diversos tipos, los cuales pueden clasificarse en seis grupos (tabla 4). La variación de cada parámetro afecta la percepción del ambiente térmico, por lo que la sensación térmica de confort dependen de ellos. Además existe una interrelación entre cada tipo de parámetro y su influencia en otros parámetros del mismo u otro tipo, que en su conjunto afectan la sensación térmica percibida. (Bojórquez, 2010)

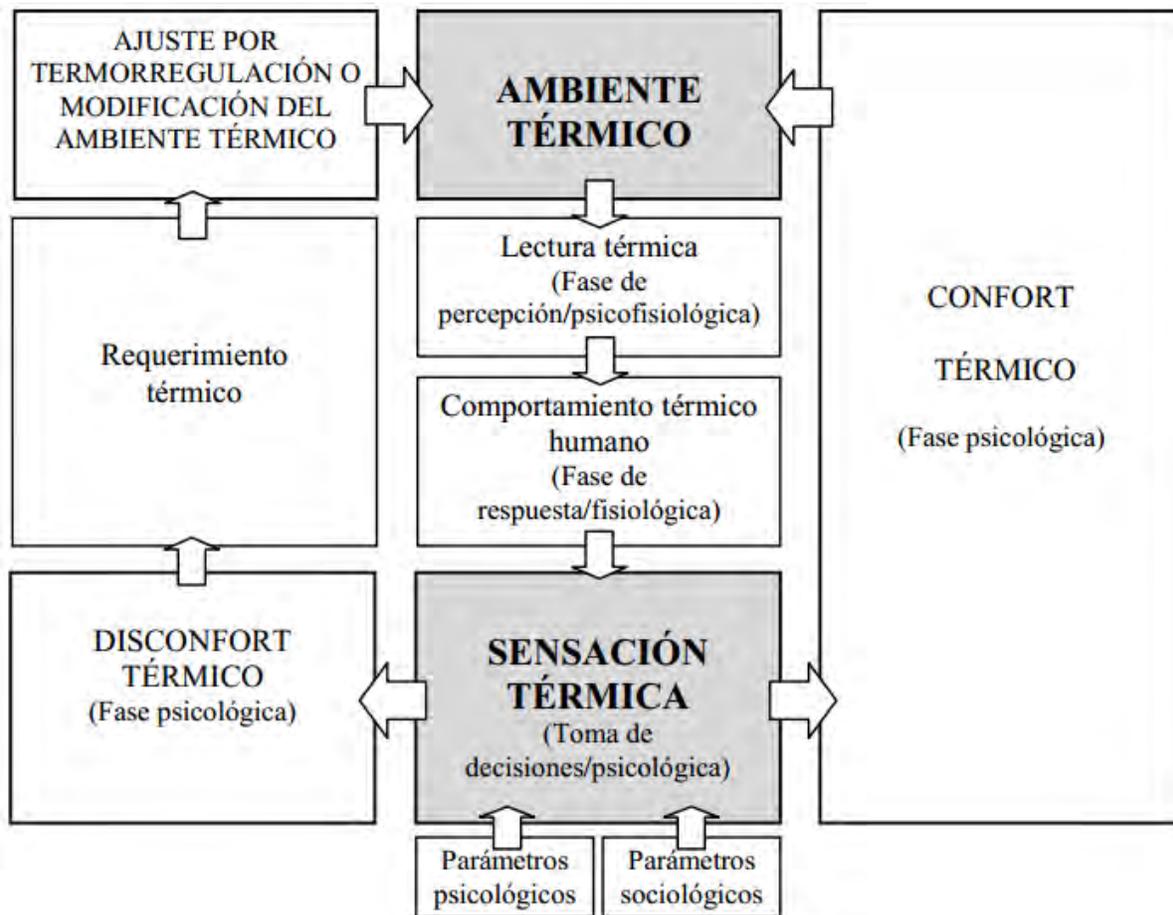


Fig. 13 Proceso de percepción de la sensación térmica<sup>15</sup>

Tipo de parámetro	Componentes
Meteorológicos	Temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y radiación infrarroja.
Espacio construido	Materiales, colores, texturas, climatización artificial, adecuación al clima, vegetación.
o natural	Materiales, colores, texturas, climatización artificial, adecuación al clima, vegetación.
Circunstanciales	Actividad (relación metabólica), vestimenta, estado de salud, aclimatación, tiempo de permanencia en el ambiente térmico, ingesta.
Fisiológicos	Sexo, edad, complexión física (peso y estatura: área de piel, índice de masa corporal), metabolismo basal, metabolismo global.
Psicológicos	Hábitos y preferencias personales (conducta), expectativa y experiencia, control de la fuente de incomodidad, estimulación del medio, adaptación reactiva (conductual), adaptación interactiva (conductual).
Sociológicos	Entorno cultural, entorno social, modo de vida, costumbres, tipo de alimentación, condición social, nacionalidad.

Elaborada a partir de Szokolay, 2003.

Tabla 5. Parámetros de la sensación térmica percibida<sup>16</sup>

Algunos modelos de confort térmico consideran **sólo la parte fisiológica** de la STP, mientras que otros basados, en el **enfoque de adaptación**, incluyen, de forma inherente aunque no explícita, aspectos psicofisiológicos.

Existen índices simples que intentan a partir de dos variables, estimar la STP. Otros en cambio, que son más complejos e incluyen en su análisis desde el metabolismo, el aislamiento dado por ropa y además, hasta cinco de algunas variables propias de un ambiente térmico.

La **selección** de un **modelo de confort térmico** depende del objetivo del estudio; sin embargo, si la información necesaria para su aplicación no está

disponible o es complejo de usar, se propicia el uso de modelos más simples.

### 3|3 Estudios de confort higrotérmico

Su principio es conocer los aspectos de tipo general del mismo, que permiten identificar los enfoques de estudio, sus modelos teóricos-conceptuales, además de sus ventajas y desventajas.

#### 3|3.1 Enfoque de predicción (cuantitativo)

Este modelo considera a todos los seres humanos

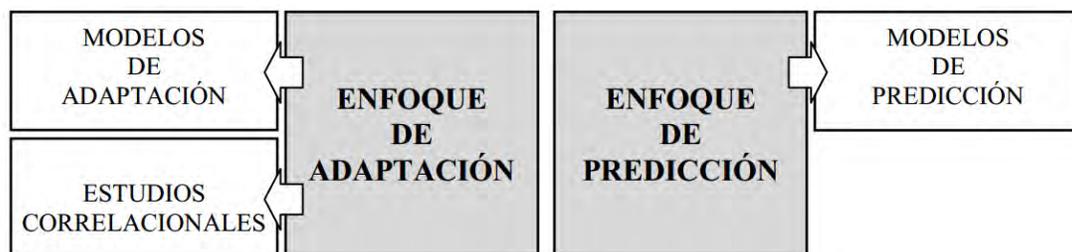


Fig. 14 Estudio general del confort térmico<sup>17</sup>

iguales desde el punto de vista biológico como físico-químico, es decir, que busca hacer equivalente la sensación de confort de todas las personas, y en consecuencia también sus parámetros, independientemente del ambiente térmico donde se desenvuelvan.

Los índices propuestos procuran demostrar principios que sean universalmente aceptados; estos son ampliamente utilizados por los especialistas en la climatización artificial. Para ésto, los investigadores han desarrollado modelos matemáticos o cuantitativos, que buscan establecer estándares de condiciones de ambientes térmicos considerados confortables para el ser humano.

El modelo conceptual del enfoque de predicción de confort térmico establece que la explicación operativa del confort se reduce a un estado de equilibrio resultante del **balance de las cargas**

**térmicas** que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato, debido al proceso químico del metabolismo y al proceso fisiológico de termorregulación en respuesta a los elementos externos del clima: radiación solar, temperatura de bulbo seco, humedad relativa y velocidad del viento, como elementos principales (Critchfield, 1974).

Según este enfoque, cuando el **balance térmico genera un valor igual cero** (el cuerpo humano no gana ni cede calor), y las personas experimentan objetivamente una **sensación térmica de confort**. En cambio, cuando el resultado es diferente a cero, el enfoque plantea que el sujeto experimenta una sensación objetiva de incomodidad, que puede ser representada en diferentes grados con base en una escala numérica.

El modelo conceptual del enfoque predictivo se presenta en la figura 15.

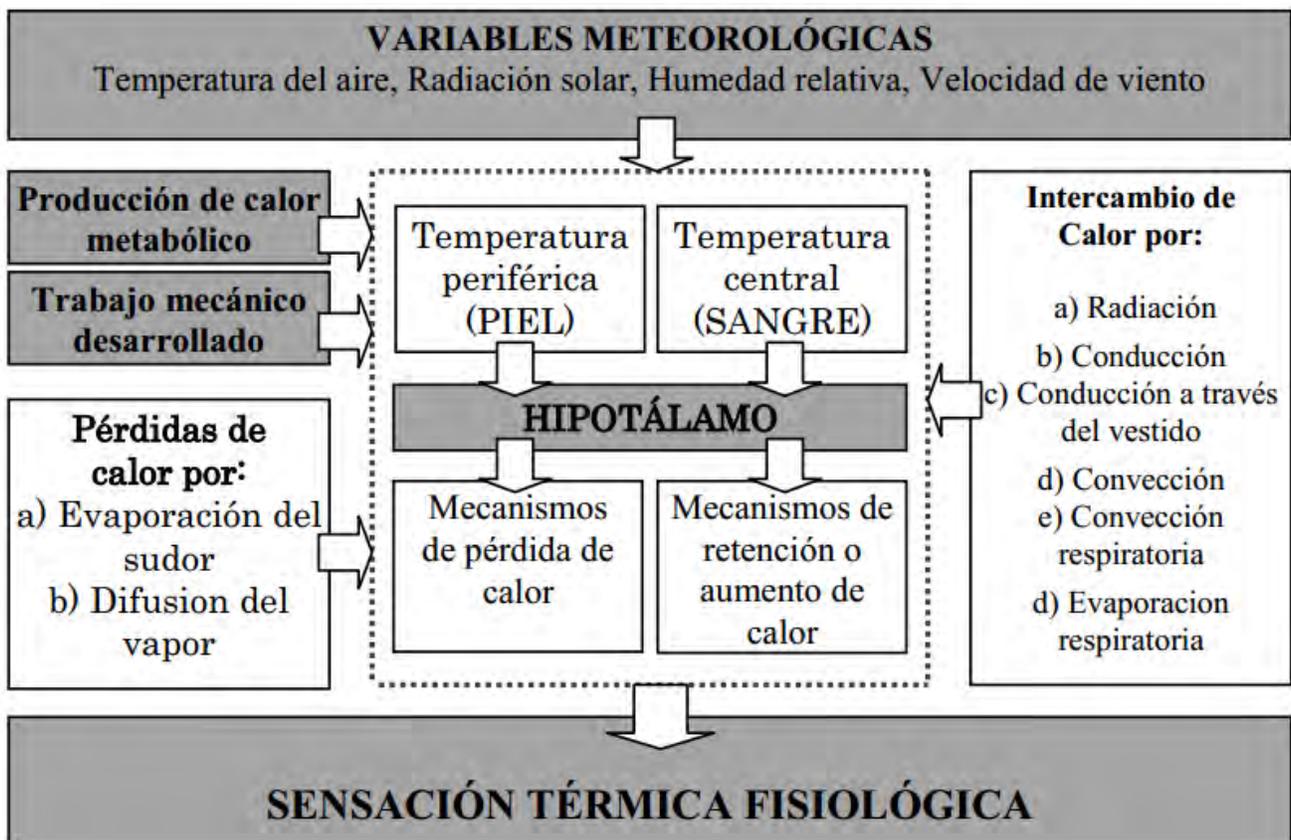


Fig. 15 Modelo conceptual de la sensación térmica fisiológica, según el enfoque de predicción<sup>18</sup>

Las variables climatológicas son importantes en el proceso de la STP para este tipo de enfoque, pues de éstas dependen las temperaturas periférica y central del cuerpo. La mayoría de estos modelos de confort térmicos están diseñados para espacios interiores y considera sólo la temperatura media radiante (TMR) por el ambiente térmico de estudio. Solamente en los modelos para espacios exteriores se considera el valor de radiación solar directa.

### Modelos de predicción

La base teórica de los modelos de confort con enfoque de predicción está fundamentada principalmente en los trabajos de:

**Houghton y Yaglou (1923).** Idearon la primera idea sobre confort térmico a la que denominaron Escala de Temperatura Efectiva (Effective Temperature, ET).

Este índice está apoyado por un número considerable de datos de experimentos realizados con voluntarios en una cámara de condiciones climáticas controladas. Se logró determinar que la temperatura de la piel es un indicador de la sensación de confort térmico para sujetos en ambientes fríos. En cambio la humedad de la piel lo es para sujetos en ambientes cálidos

donde el sudor es un fenómeno más observable que los cambios de temperatura epidérmica (Auliciems, 1981).

**Bedford (1936) y ASHRAE.** Crearon una escala para predecir la sensación de confort térmico. Ésta consta de siete puntos en la cual los sujetos elegían la que más ajustaba a su sensación del ambiente térmico. La comparación semántica entre ambas, así como la respectiva traducción se muestra en la tabla 15.

### Modelo de los dos nodos (Two-Node model, 1970).

Desarrollado en la Universidad de Yale, este modelo caracteriza al cuerpo humano como un conjunto de dos cilindros concéntricos, uno central (interior del cuerpo) y otro periférico (la piel); la vestimenta y el sudor son asumidos como distribuidos uniformemente sobre la superficie del cilindro periférico que se expone inicialmente a un ambiente uniforme. Después de un tiempo especificado, la temperatura final es de la superficies de los cilindros son usadas para calcular la temperatura efectiva (TE).

El estudio fue hecho en una cámara climática que considera el metabolismo para actividad pasiva, moderada e intensa, con vestimenta de ligera a muy arropado, para espacios exteriores e interiores de

Escala de valoración térmica			
Valor	ASHRAE-55	Bedford	Apreciación o "voto"
3	Hot	Much too warm	Muy caluroso
2	Warm	Too warm	Caluroso
1	Sightly warm	Comfortably warm	Ligeramente caluroso (agradable/tolerable)
0	Neutral	Comfortable neither warm nor cool	Confortable (neutral)
-1	Sightly cool	Comfortably cool	Ligeramente fresco (agradable/tolerable)
-2	Cool	Too cool	Frio (fresco)
-3	Cold	Much too cool	Muy frío

Elaborada a partir de Fanger, 1972.

Tabla 6. Escalas de valoración térmica (comparación verbal)

climas cálido y frío.

Las **variables incluidas** en el modelo son: temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad de viento, radiación solar, temperatura media radiante y presión de vapor.

Fanger y el “**Predicted Mean Vote (PMV)**”, 1972. Conocido por su traducción al español como “Voto Medio Previsto”, es un valor de temperatura de confort térmico que define dicho estado en términos del estado físico de las personas, y no en términos de las condiciones del ambiente térmico, basado en los estudios hechos por Bedford en 1936.

Fanger registró las temperaturas de la piel y las pérdidas de calor por evaporación, experimentadas por varios sujetos en pruebas en una cámara climática, y luego las trató mediante análisis de regresión estadística, como funciones de la tasa metabólica. Estas regresiones estadísticas se insertaron en una ecuación general de balance térmico humano que se conoce como la Ecuación de Confort de Fanger.

Fanger no se limitó a establecer un procedimiento de balance térmico que resultara en una magnitud de energía expresada en unidades térmicas (caloría, BTU, joule, etc.), sino un valor expresado en unidades adimensionales que “predice” lo que un individuo promedio con vestimenta regular y en actividad determinada podría opinar sobre su sensación térmica. Así se iniciaron los modelos que se han denominado de predicción, pues supuestamente son **capaces de predecir lo que las personas sentirían ante un ambiente térmico específico.**

Basándose también en una escala numérica de siete puntos (tabla 6), llamo “votos” a los índices de dicha escala y considero al confort térmico como el conjunto de condiciones bajo las que las personas eligen **las tres categorías centrales de la escala** y

no sólo la neutral, es decir que pueden estar entre lo “ligeramente fresco” y lo “ligeramente caluroso”, con la intención de absorber posibles desajustes entre la realidad objetiva y la opinión subjetiva de las personas.

Después, el mismo Fanger comparando los resultados de otros estudios similares desarrollados en otros países, derivó otro índice más, “el Porcentaje Previsto de Personas Insatisfechas (**Predicted Percentage Dissatisfied, PPD**) que complementa el resultado: cuando el PMV se aleja del valor neutral, el PPD se incrementa.

### **Ventajas de los modelos con enfoque de predicción**

- 1) Aplicación “universal”: las diferencias de los usuarios o sujetos de estudio por motivos de nacionalidad, sexo, edad y hora del día, no son significativas. Por este motivo, los índices se han usado en muchos estudios.
- 2) Trabajar con un modelo matemático de balance térmico permite tener una base teórica sustentada en los procesos de transferencia de calor (Ley de Fourier, la Ecuación de Enfriamiento de Newton y la Ley de Stefan-Boltzmann, principalmente).
- 3) Este enfoque ha servido de base para determinar la temperatura de “diseño” óptima en las edificaciones, tomado en cuenta en normativas internacionales como la American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers ANSI/ASHRAE Standard 55 y International Organization for Standardization (ISO 7730).

Desventajas de los modelos con enfoque de predicción

- 1) Este modelo está dirigido básicamente a usuarios que utilizan sistemas de climatización artificial de forma continua, por tanto, resulta inadecuado para

valorar la sensación térmica de las personas que habitan edificios naturalmente ventilados

2) Sólo se aplica a personas expuestas a periodos en condiciones constantes cuyas variables deben ser medidas con exactitud, por ejemplo el aislamiento de la ropa y la tasa metabólica. Tal necesidad de precisión hace impráctica su aplicación, por lo que puede volver subjetivo la suposición de valores para dichas variables

3) Se ha observado que tienen una subestimación de la capacidad de adaptación, particularmente en climas extremos donde las componentes geográfica y socioeconómica si tienen participación activa sobre las preferencias higrotérmicas.

### 3|3.2 Enfoque y modelos de adaptación (cualitativo)

Este modelo conceptual deja de lado el intercambio térmico entre el cuerpo y el entorno, y se basa en la existencia de una serie de acciones que el ser humano puede realizar para alcanzar el confort térmico (Nicol y Humphreys, 2002)

A diferencia del enfoque de predicción, el enfoque de adaptación no generaliza los resultados, ya que toma en consideración que los individuos prefieren diferentes temperaturas de acuerdo a la temperatura exterior. En este caso tiene que ver con el concepto de aclimatación térmica y está estrechamente relacionado con el tiempo de permanencia que pasa el individuo en determinado lugar, con un nivel de actividad y un tipo de clima específico (Nicol y Humphreys, 2002).

En el estudio de este enfoque no se interviene ni se controlan los parámetros físicos que afectan la preferencia térmica de las personas. Como consecuencia, las personas pueden encontrar formas de adaptarse a cualquier temperatura con base en el tiempo y sus recursos.

La temperatura de confort es un resultado de la interacción entre los sujetos y su ambiente térmico. Las opciones de las que hacen uso los individuos para reaccionar reflejan su situación fisiológica, psicológica subjetiva y psicológica volitiva. En ese sentido será menos probable que sufran incomodidad aquéllos con más oportunidades de adaptarse al ambiente o de adaptarlo a sus requerimientos (Fountain, Brager y de Dear, 1996; Humphreys y Nicol, 2001; Brager, Paliaga y de Dear, 2004).

Las acciones que pueden realizarse para alcanzar el estado de confort se pueden agrupar en cuatro

categorías según Humphreys, 1981 (fig. 16).

Con este principio se han realizado estudios de campo desarrollados en una gama amplia de ambientes para deducir sus inferencias de confort térmico. Los resultados han reforzado la tesis inicial de Humphreys (1978), sobre la correlación entre la sensación térmica de los individuos y la temperatura ambiente promedio a que están habituados.

De esta manera se han desarrollado modelos que determinan la temperatura de neutralidad como función de la temperatura media exterior de cada sitio en particular. Aunque en algunos casos se han desarrollado modelos de regresión exponencial como el de Nicol y Roaf (1996), por lo regular se obtienen a partir de procesos de **regresión lineal**,

por lo que suelen tener la forma de la ecuación de las rectas (Ec. 1).

$$Y = mx + b \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Y es la variable dependiente

m es la pendiente de la recta

x es la variable independiente

b es el término independiente

Los modelos de aplicación generalizada obtenidos de los reportes de estudios evaluados para diferentes climas y culturas resultaron similares independientemente del lugar de estudio (Tabla 7).

ACCIÓN	ACTIVIDAD
MODIFICAR LA GENERACIÓN INTERNA DE CALOR	Esto puede ser logrado inconscientemente con la acumulación de tensión muscular o tiritando en una situación extrema; y conscientemente mediante movimientos rápidos que aumentan la producción de calor metabólico, como saltar o correr, para contrarrestar el frío o dormir que reduce la producción de energía para reducir el calor.
MODIFICAR LA TASA DE PÉRDIDA DE CALOR DEL CUERPO HUMANO	Se logra inconscientemente a través de la vasoconstricción o la sudoración, y conscientemente por acciones como cambiar de ropa, abrazarse a otro cuerpo que genere calor o tomar una bebida caliente o fría.
MODIFICAR EL AMBIENTE TÉRMICO	Encender una hoguera, abrir una ventana, encender el equipo de aire acondicionado, activar un ventilador, o en un plazo más amplio aislar térmicamente la envolvente del edificio.
CAMBIAR DE AMBIENTE TÉRMICO	Desplazarse a un ambiente diferente, dentro de un mismo espacio acercándose al fuego o captar la brisa de una ventana, o bien entre espacios de un mismo edificio con temperaturas diferentes.

Fuente: Humphreys, 1981.

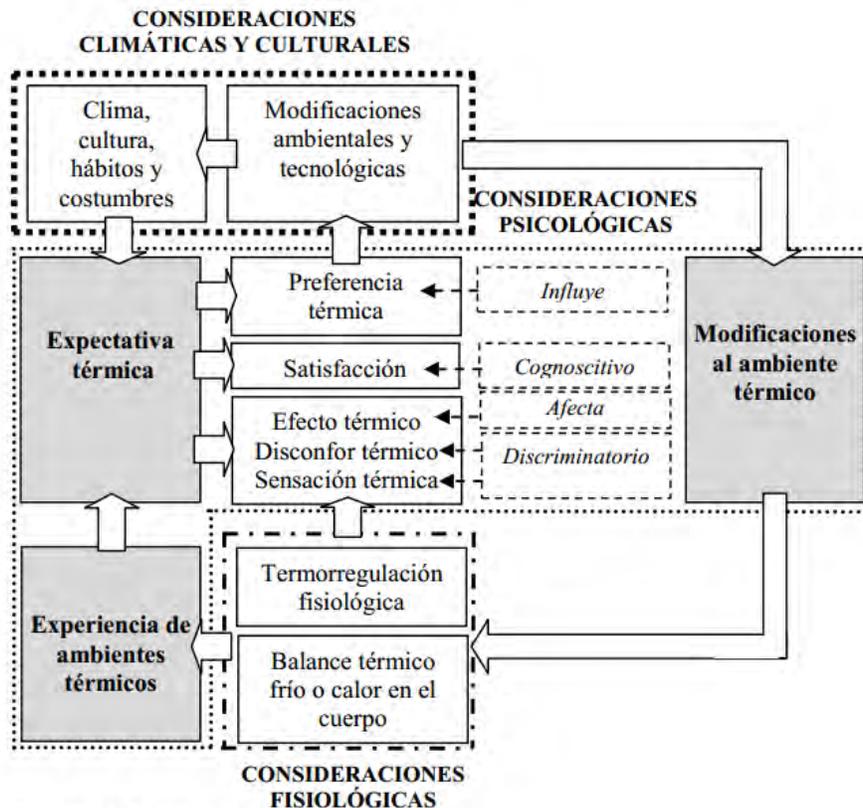
Fig. 16 Tipos de acciones para alcanzar el confort térmico, de acuerdo al enfoque adaptativo<sup>19</sup>

Autor	b	m
Humphreys (1976)	11.9	0.534
Auliciems (1981)	17.6	0.310
Griffiths (1990)	12.1	0.534
Nicol et al. (1993)	17.0	0.380
Brager /de Dear (1998)	17.8	0.310
Humphreys / Nicol (2000)	13.5	0.540

Fuente: Gómez-Azpeitia et al., 2007

Tabla 7. Valores de “b” y “m” para la construcción de modelos de CT, según distintos investigadores<sup>20</sup>

Auliciems (1981) definió un modelo psicofisiológico de la percepción térmica, basado en el enfoque de adaptación, el esquema conceptual se presenta en la figura 17. El modelo propuesto, presenta tres tipos de consideraciones: 1) Climáticas y culturales, 2) Psicológicas y 3) Fisiológicas.



Fuente: Auliciems y Szokolay, 1997.

Aunque aún faltan muchos sitios de ser evaluados bajo este enfoque, los resultados ya han hecho evidente que la noción de un ambiente térmico estático, no es más que una hipótesis que no concuerda con la realidad cambiante y adaptable (Bojórquez, 2010).

### Modelos de adaptación

Los modelos con este enfoque han demostrado ser útiles para la toma de decisiones en los procesos de diseño en función del ahorro de energía en los edificios, como lo demuestran los trabajos de Auliciems y Szokolay (1997) y de Dear y Brager (1998), cuya particularidad es que se enfocaban de manera clara hacia el diseño arquitectónico.

En la tabla 8, se presenta un resumen de algunos modelos adaptativos de confort más relevantes y por orden cronológico:

Fig. 17 Modelo conceptual de la percepción térmica, según el enfoque de adaptación<sup>21</sup>

Año	Nombre	Autor	Descripción
1936	Temperatura neutral (Tn)	Bedford	Este modelo es la base teórica del enfoque de adaptación.
			Es un índice de temperatura percibida basado en encuestas.
			Considera el efecto metabólico, con niveles de actividades de moderada a intensa y arropamiento de tipo ligero a muy arropado.
			Los espacios donde se realizaron los estudios eran áreas industriales en espacios interiores, el clima de la zona de estudio es de tipo frío. Las variables incluidas en el modelo son: temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad de viento y temperatura media radiante (Auliciems y Szokolay, 1997).
1975-76	Temperatura neutral de Humpreys (Tn-Humpreys)	Michael Humpreys	Representa el nacimiento del enfoque cualitativo.
			Descubrió una dependencia estadística de neutralidades térmicas; es decir, qué temperatura le corresponde a una sensación térmica "neutral" o "confortable" (Auliciems, 1998).
			Considera el efecto metabólico, con niveles de actividad de pasiva a intensa y arropamiento de tipo ligero a muy arropado (Humpreys, 1976; Auliciems y Szokolay, 1997).
			Los espacios donde se realizaron los estudios eran oficinas, escuelas, vivienda y áreas industriales en espacios interiores, los climas de la zonas de estudios fueron: cálido seco y húmedo, templado y frío.
1981	Temperatura neutral de Auliciems (Tn-Auliciems)	Andris Auliciems	Uno de los trabajos más relevantes del enfoque de adaptación.
			En un índice de temperatura percibida
			Considera el efecto metabólico, con niveles de actividades de pasiva a intensa con arropamiento de tipo ligero a muy arropado (Auliciems, 1981a, Auliciems y Szokolay, 1997; Inglés, 2004; Gómez-Azpeitia et al., 2007).
			Los espacios donde se realizaron los estudios eran áreas industriales en espacios interiores, los climas de la zonas de estudios son: cálido seco y húmedo, cálido subhúmedo, templado y frío.
1998	Temperatura neutral ANSI/ASHRAE 55	Dear et al.	Las variables incluidas en el modelo son: temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad de viento y temperatura de globo negro (de Dear et al., 1998; Humpreys et al., 2007).

Tabla 8. Modelos adaptativos de confort térmico<sup>22</sup>

## Ventajas

- Los proyectos de investigación pueden llevarse a cabo mediante presupuestos modestos, puesto que no implican la construcción, el equipamiento y la operación de cámaras de clima controlado.
- Por su economía, las investigaciones pueden extenderse a lo largo del tiempo, y obtener así mayor cantidad de datos en un contexto diverso de parámetros climáticos, lo que permite integrar y abastecer una base de datos global.
- Hoy en día representan la opción más avanzada para la determinación del confort térmico variable, según el clima de cada localidad,

Gracias a la aceptación de los resultados de los estudios bajo este enfoque, los estándares basados en el enfoque de predicción han tenido que ajustar sus procedimientos, debiendo aceptar así algunos de los preceptos de la adaptabilidad humana.

Como ejemplos se puede mencionar: a la norma ISO 7730: 2005, en donde Fanger (2001, 2002) propone un factor de expectativa “e” para ser multiplicado por el valor original del índice a fin de obtener la sensación térmica en edificios sin aire acondicionado en climas cálidos; la norma ISO 10551: 1995 especifica un método subjetivo para la evaluación de condiciones de confort térmico con base en estudios de campo, y en la ANSI/ASHRAE 55 por su parte incluye un estándar de confort adaptativo (Adaptive Comfort Standard ACS) para edificaciones ventiladas naturalmente durante el verano.

## Desventajas

Según Gómez-Azpetia et al., (2007), las críticas y sus respectivas oportunidades de investigación se han concentrado en cinco grupos:

- Subjetividad. Para los defensores del enfoque de predicción, los modelos adaptativos son empíricos y consideran que la mayoría de sus fundamentos son especulativos y basados en suposiciones (TAREB, 2004).
- Determinación de la temperatura de neutralidad. Esta no es puntual, ya que los usuarios pueden sentir confort en condiciones cercanas a las temperaturas de neutralidad calculadas. Determinar la magnitud del rango de confort es una de las tareas que se deben trabajar los investigadores.
- Participación del usuario. Falta mucho por identificar el papel activo de las personas en el proceso de adaptación, para formular un modelo innovador que explique los requerimientos de confort y considere la variación de las condiciones dentro del espacio y las posibilidades de los usuarios de aprovechar dicha variabilidad.
- Cambio climático. Los efectos que este fenómeno ejercerá sobre la percepción térmica de las personas no han sido suficientemente previstos, para los escenarios que los especialistas han vislumbrado para el presente siglo.

El mayor reto mediano y largo plazo de los modelos de enfoque de adaptación, es trabajar en la construcción de escenarios de confort térmico donde las personas tendrán que adaptarse a las condiciones cambiantes, por lo que los estándares reconocidos hasta la fecha tendrán que modificarse.

## Referencias

- (14) Bojórquez M., Gonzalo. Confort Térmico En Exteriores: Actividades En Espacios Recreativos, En Clima Cálido Seco Extremo, 91
- (15) Bojórquez M., Gonzalo. Confort Térmico En Exteriores: Actividades En Espacios Recreativos, En Clima Cálido Seco Extremo, 93
- (16) Bojórquez M., Gonzalo. Confort Térmico En Exteriores: Actividades En Espacios Recreativos, En Clima Cálido Seco Extremo, 94
- (17) Bojórquez M., Gonzalo. Confort Térmico En Exteriores: Actividades En Espacios Recreativos, En Clima Cálido Seco Extremo, 95
- (18) Bojórquez M., Gonzalo. Confort Térmico En Exteriores: Actividades En Espacios Recreativos, En Clima Cálido Seco Extremo, 97
- (19) Bojórquez M., Gonzalo. Confort Térmico En Exteriores: Actividades En Espacios Recreativos, En Clima Cálido Seco Extremo, 108
- (20) Bojórquez M., Gonzalo. Confort Térmico En Exteriores: Actividades En Espacios Recreativos, En Clima Cálido Seco Extremo, 111
- (21) Bojórquez M., Gonzalo. Confort Térmico En Exteriores: Actividades En Espacios Recreativos, En Clima Cálido Seco Extremo, 110
- (22) Bojórquez M., Gonzalo. Confort Térmico En Exteriores: Actividades En Espacios Recreativos, En Clima Cálido Seco Extremo, 130-135

# 4|

# AMBIENTE TÉRMICO Y VISUAL

4 | 1 Ambientes exteriores

4 | 1.1 Fuentes de calor

4 | 1.2 Fuentes de luz

4 | 2 Ambientes interiores

4 | 2.1 Fuentes de calor internas en espacios

4 | 2.2 Fuentes de luz

## Definición de ambiente

Según la definición de Lois Goffi (199), “medio Ambiente es el sistema dinámico definido por las interrelaciones físicas, biológicas y culturales, percibidas o no, entre el hombre y los seres vivos y todos los elementos del medio, ya sean naturales, transformados o creados por el hombre, en un lugar y tiempo determinados”<sup>23</sup>.

Podemos ver en la definición anterior, que el concepto “medio ambiente” o “ambiente” puede ser tan amplio como se requiera estudiar, abarcando aspectos que van más allá de lo físico y del hombre.

Como arquitectos, nos ocupa el estudio del medio físico artificial, principalmente de los espacios que se viven al interior, es decir, que están aislados del medio físico natural para protegernos de las inclemencias del clima.

A los arquitectos enfocados en el diseño bioclimático nos interesa estudiar detalladamente ambos medios, y como partidarios de los sistemas pasivos de acondicionamiento es nuestro trabajo implementar aquellos que sean lo más ambiental, social, energética y económicamente sustentables, pero si estas soluciones NO son confortables o saludables (confort = bienestar = salud), prácticamente dejan de ser viables por no ser aptos para el desarrollo sano del hombre.

### Ambiente térmico

Para delimitar este trabajo y orientarlo hacia el tema de estudio, debemos referir concretamente que tipo de ambiente estudiaremos. En confort térmico el ambiente que nos interesa es el “**ambiente térmico**” (**AT**). En términos propios lo defino de la siguiente forma:

“Aquel ambiente circundante al hombre, delimitado o no, donde se estudia principalmente los factores que se relacionan con el canal de percepción sensorial relacionado al confort térmico”.

El AT puede ser exterior (hombre y clima) o interior (hombre, arquitectura y clima).

Nuestro canal sensorial es el órgano llamado piel, que todo el tiempo está recibiendo estímulos del ambiente y envía la información a una zona del encéfalo llamada hipotálamo; éste se encarga de controlar los cambios internos del cuerpo, regular la presión sanguínea y la temperatura corporal.

Ahora bien, el AT al ser un sistema dinámico compuesto por la interrelación del hombre, la arquitectura y el clima, está compuesto por factores específicos para su estudio.

- Cuantitativos: 1) temperatura del aire, 2) humedad relativa, 3) velocidad del viento y 4) temperatura media radiante; cada una representa una magnitud medible.

- Cualitativos: 1) sensación térmica percibida (calor, neutralidad y frío), 2) experiencia y 3) preferencia; medibles por medio del uso de escalas subjetivas.

### Ambiente visual

El segundo tema y estudio de campo es el canal visual, que también forma parte del confort ambiental del hombre. En este trabajo se evaluará por medio de la iluminación natural con el criterio del factor de luz de día (daylight factor), según las reglas y criterios del SDE. En términos propios defino el **ambiente visual** (**AV**) de la siguiente forma:

“Aquel ambiente circundante, delimitado o no, donde se estudia principalmente aquellos factores que intervienen en el canal de percepción sensorial relacionado con el confort visual”.

El **canal sensorial receptor** de este ambiente dinámico es el **ojo**, que manda la información al sistema nervioso donde se interpreta una por la corteza visual.

Las interrelaciones que componen al AV son el hombre, fuente(s) de luz primarias y fuente(s) de luz secundarias; los factores que se estudiarán son:

- **Cuantitativos:** 1) Factor de luz de día que se compone de tres elementos: componente cielo, componente reflejada exterior y componente reflejada interior, 2) nivel de iluminación (en luxes) al centroide del espacio.
- **Cualitativos:** 1) percepción subjetiva del nivel de iluminación, 2) disconfort por deslumbramiento y 3) preferencia del nivel de iluminación (medibles por medio de cuestionarios).

## 4|1 Ambientes exteriores

### 4|1.1 Fuentes de calor

#### a) Radiación Solar infrarroja

El Sol es la principal fuente de energía de nuestro planeta y todo el tiempo está emitiendo energía electromagnética principalmente como rayos Ultravioleta (UV), rayos visibles (luz) y rayos infrarrojos (calor). Los rayos infrarrojos abarcan longitudes de onda entre los 780 nm y los 1000 μm (1mm) pero suelen subdividirse en tres categorías.

Ondas infrarrojas	
Subcategoría	Longitud (nm)
Infrarrojo cercano (IR-A)	$760 \leq \lambda < 1\ 400$
Infrarrojo medio (IR-B)	$1\ 400 \leq \lambda < 3\ 000$
Infrarrojo lejano (IR-C)	$3\ 000 \leq \lambda < 1\ 000\ 000$

Fuente: ISO-21348

Tabla 9. Espectro electromagnético infrarrojo

La radiación solar tiene dos componentes principales: la **radiación directa** y la **radiación difusa**; la suma algebraica de ambas dan como resultado la cantidad de **radiación solar global** que llega a un punto de la superficie de la Tierra. El primer componente juega un importante papel en el comportamiento termodinámico de los edificios, pues representa la carga térmica principal para las envolventes arquitectónicas. Éstas reciben y absorben parte de la radiación durante el día, pero dependiendo de sus propiedades térmicas y ópticas pueden emitir y reflejar la energía de vuelta al exterior (materiales altamente reflejantes y emisores, también llamados superficies frescas), emitirla hacia el interior con un tiempo de retardo (materiales con propiedades de masa térmica) o transmitirla casi instantáneamente (cuerpos traslúcidos). En las figuras 18.1-18.3, se ilustran algunos ejemplos de la interacción entre la

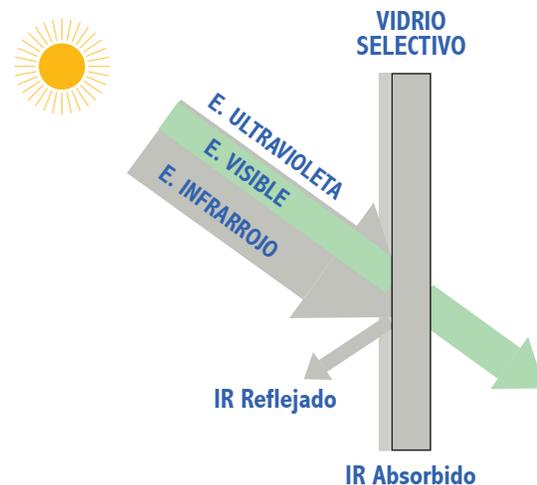


Fig. 18.1 Vidrio selectivo



Fig. 18.2 Almacenamiento de calor en masa térmica

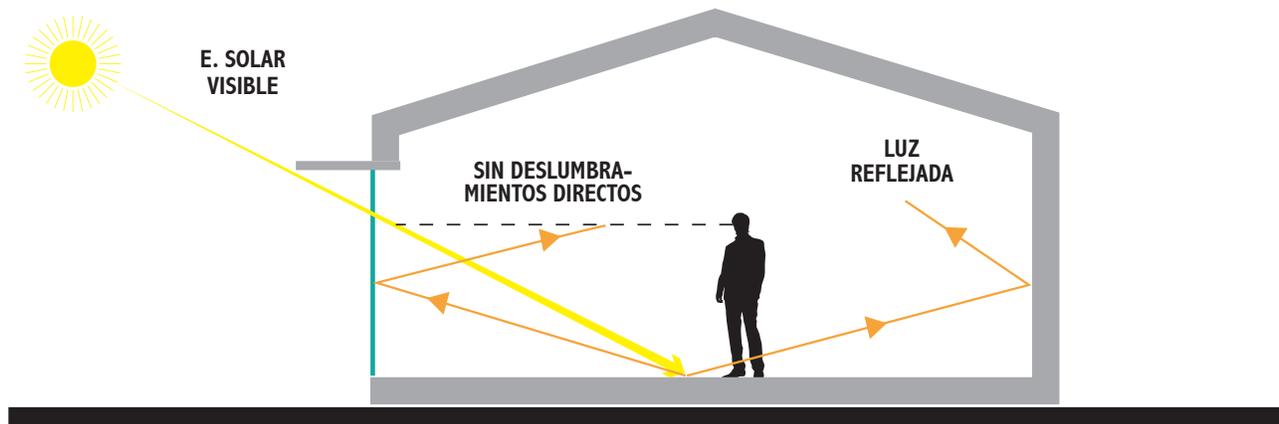


Fig. 18.3 Espectro Visible y control de incidencia

radiación y los materiales que forman la envolvente.

En el diseño bioclimático es de interés conocer la cantidad de radiación que incide sobre la superficie de la envolvente del edificio en diferentes épocas y horas del año. La unidad para medir la cantidad de radiación sobre metro cuadrado se le conoce como **irradiación** ( $W/m^2$ ). Existen mapas de irradiación donde es posible consultar los promedios anuales de irradiación ( $kWh/m^2$ ); ver figura 19.

La radiación que reciben los planos de la envolvente depende de la inclinación con la que incide el sol y los rayos del Sol (altitud) y del ángulo respecto al norte (azimut), por lo que habrá partes de la envolvente

que reciban más energía que otras en diferentes épocas del año.

Conociendo las horas efectivas de la radiación del sol es posible diseñar eficientemente las estrategias de control solar adecuadas y calcular la cantidad de energía solar disponible para la implementación de sistemas de energías renovables, como calentadores de agua, fotovoltaicos, etc.

Es importante considerar la nubosidad ya que este factor meteorológico afecta directamente las horas efectivas de sol u horas sol pico, medidas en  $Wh/m^2$ .

## Irradiación Global Horizontal

México

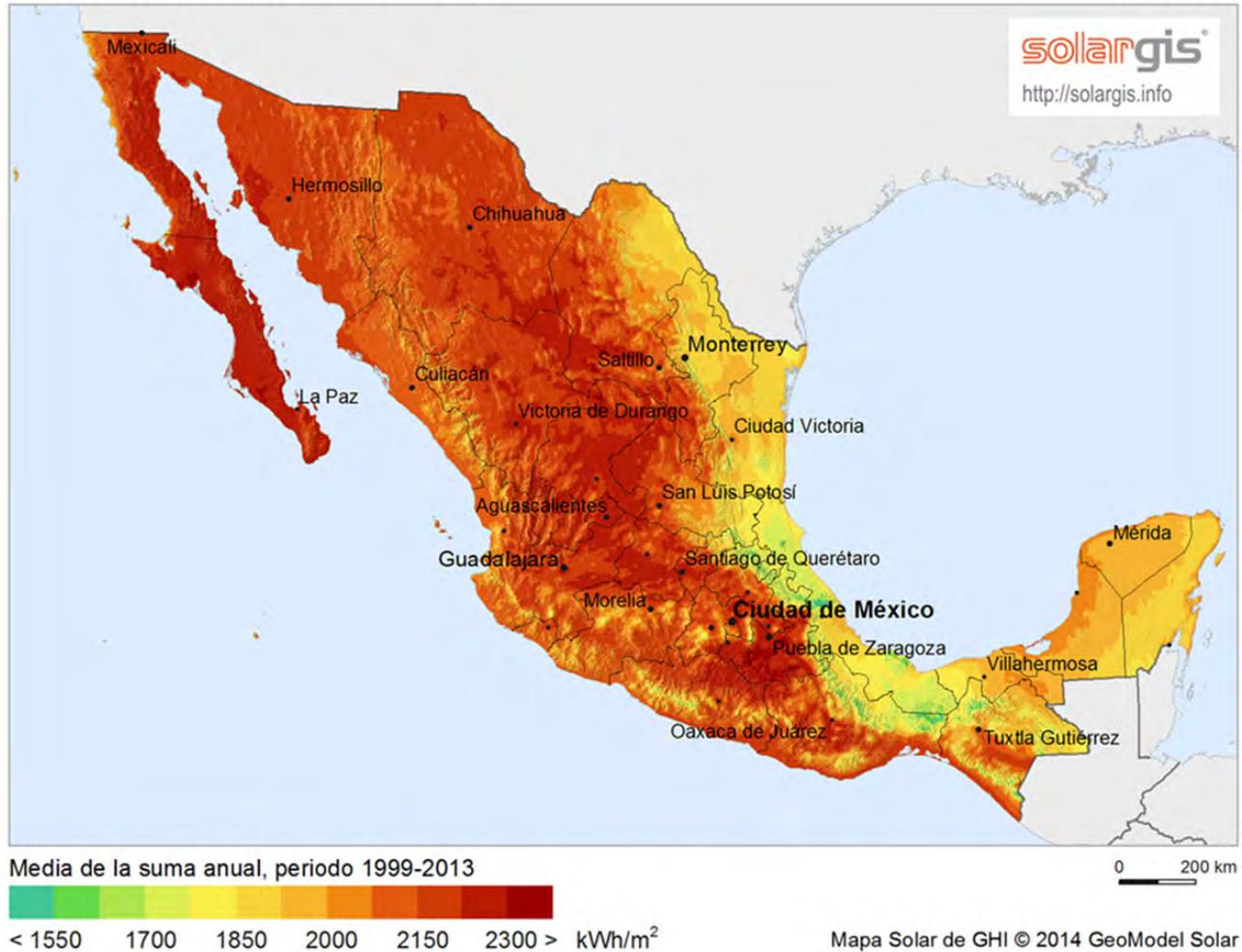


Fig. 19 Mapa de irradiación global horizontal de México<sup>24</sup>

### b) Viento

El viento es el movimiento del aire respecto a un punto fijo y su velocidad se estima sobre una fracción de tiempo. Dependiendo de la temperatura de éste se puede interpretar como una carga térmica positiva o negativa, tanto al exterior como al interior del AT.

Nos interesa estudiar al viento con propósitos de ventilación natural, estrategia que tiene dos enfoques: como medio para proveer condiciones de confort térmico y para mantener una calidad de aire optima, a través de las renovaciones de volumen por unidad de tiempo. En este trabajo nos enfocaremos especialmente en conceptos y criterios para confort

térmico como recurso de enfriamiento pasivo en condiciones de temperaturas ambiente cálidas.

En el diseño térmico, nos interesa conocer las cualidades de los vientos dominantes (velocidad, dirección y temperatura) para trazar la orientación del eje térmico del terreno respecto al norte geográfico (fig. 20). Esto ayudará a evitar las corrientes en épocas frías, o aprovecharlas como una estrategia pasiva de enfriamiento en épocas cálidas, siempre y cuando la orientación y zonificación de los espacios lo favorezca.

Para las edificaciones se requiere usar unidades más acordes a la escala. Cuando queremos

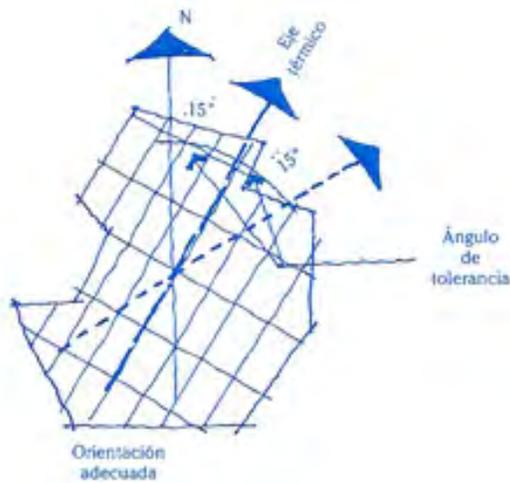


Fig. 20 Trazo de un eje térmico con base a los vientos dominantes (ángulo de tolerancia recomendado de 15°)

Existen diversas unidades y escalas para medir la velocidad del viento. En el sistema internacional lo más común es encontrar los datos meteorológicos en kilómetros por hora (Km/h); aunque cabe decir, que dicha unidad es más utilizada para registrar datos por promedio a nivel regional o en espacios exteriores donde los caudales son más grandes y rápidos.

medir o calcular el movimiento del aire al interior, regularmente se emplean los metros por segundo (m/s). Este valor facilita hacer una diferenciación para velocidades relativamente más bajas.

Otra forma de representar los valores promedio es a través de gráficas de vientos dominantes (rosas de viento), las cuales integran un valor de frecuencia, es decir, identifican las direcciones del viento más frecuentes durante un periodo determinado (anual o mensual). A continuación, se muestra una gráfica anual hecha a partir de las estadísticas del viento por la estación del aeropuerto de la ciudad de México (fig. 21).

Como información complementaria y para interpretar con mayor exactitud la incidencia del viento de acuerdo a los puntos cardinales, se muestra en la **tabla 10** los valores en grados.

**Gradiente de presión.** En términos sencillos es “la diferencia de presión entre dos puntos”; generada por diferencias de calentamiento en el suelo entre

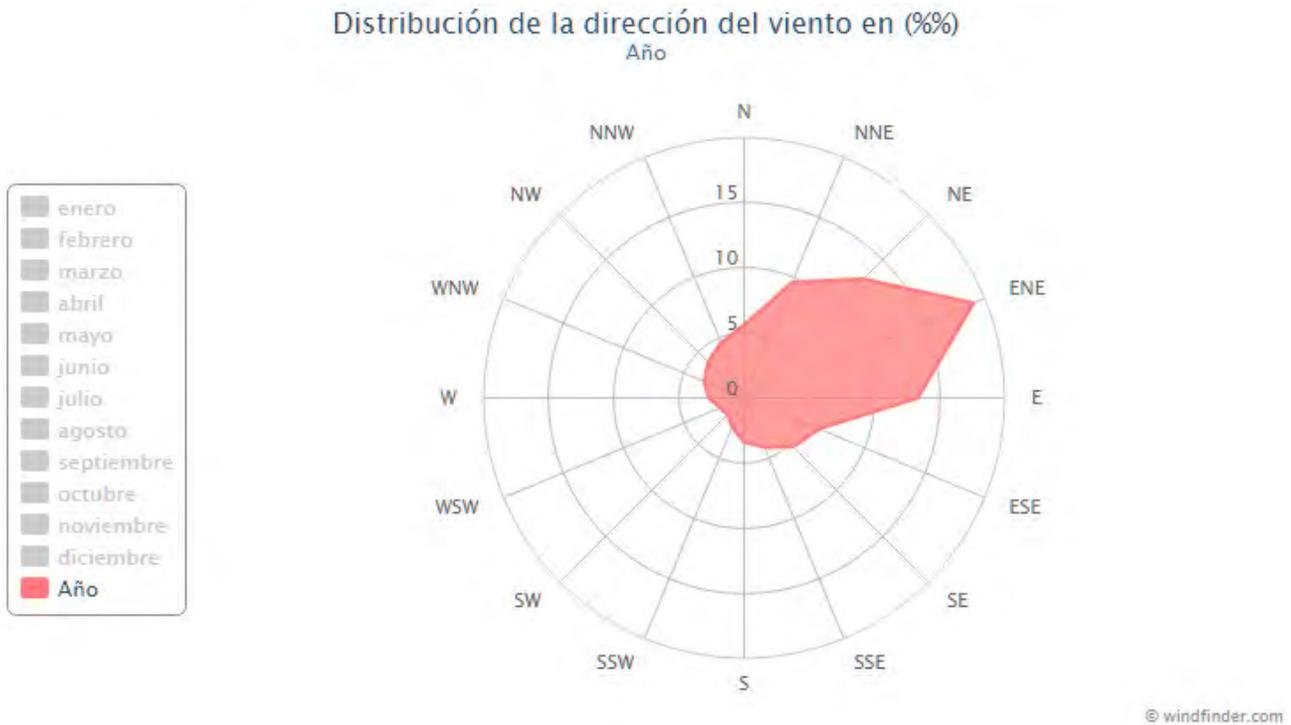


Fig. 21 Gráfica de vientos dominantes CDMX<sup>25</sup>

dos puntos que se encuentran sobre la superficie de la Tierra.

Estos valores de presión se suelen identificar en los mapas por medio de **isobaras** (fig. 22), que unen lugares con la misma presión atmosférica sobre un mapa. Mientras más cercanas estén las isobaras el gradiente de presión será más alto, lo que se traduce en vientos más rápidos.

**Fuerza de Coriolis.** Es la desviación inercial provocada por la rotación de la Tierra. En el hemisferio Norte la desviación será hacia la derecha y en el hemisferio sur a la izquierda; esta desviación actúa sobre todos los cuerpos en movimiento alrededor de la Tierra, incluidos los vientos (fig. 23).

**Fricción superficial.** Por encima de los 1000 metros el viento se puede considerar perpendicular a las isobaras, pero en alturas más bajas actúa la fricción superficial debida a la rugosidad del suelo. Dicha fricción causa dos efectos en el viento: 1) reducción

en su magnitud 2) desviación hacia las bajas presiones.

El grado de desviación va variando con la altura estableciéndose un perfil vertical del viento en las capas bajas de la atmósfera, mientras que la intensidad del viento aumenta con la altura.

El segundo mecanismo que determina el movimiento del aire es el efecto debido a los gradientes de temperatura entre el aire exterior e interior (fuerza térmica). Los efectos más importantes a considerar son:

1) **El efecto Stack.** Este sucede cuando las diferencias de temperaturas provocan diferencias de densidad en el aire, provocando diferencias de presión entre el interior y el exterior.

Cuando la temperatura interior del edificio es mayor que la externa, la distribución de presiones sobre la edificación puede tomar las siguientes formas

Abreviatura	Dirección del viento	Grados
N	Norte	0°
NNE	Norte-Nordeste	22.5°
NE	Nordeste	45°
ENE	Este-Nordeste	67.5°
E	este	90°
ESE	Este-Sudeste	112.5°
SE	Sudeste	135°
SSE	Sur-Sudeste	157.5°
S	sur	180°
SSO	Sur-suroeste	202.5°
SO	suroeste	225°
O	Oeste	270°
ONW	Oeste-Noroeste	292.5°
NO	noroeste	315°
NNO	Norte-Noroeste	337.5°

Tabla 10. Ángulos de las orientaciones de los puntos cardinales

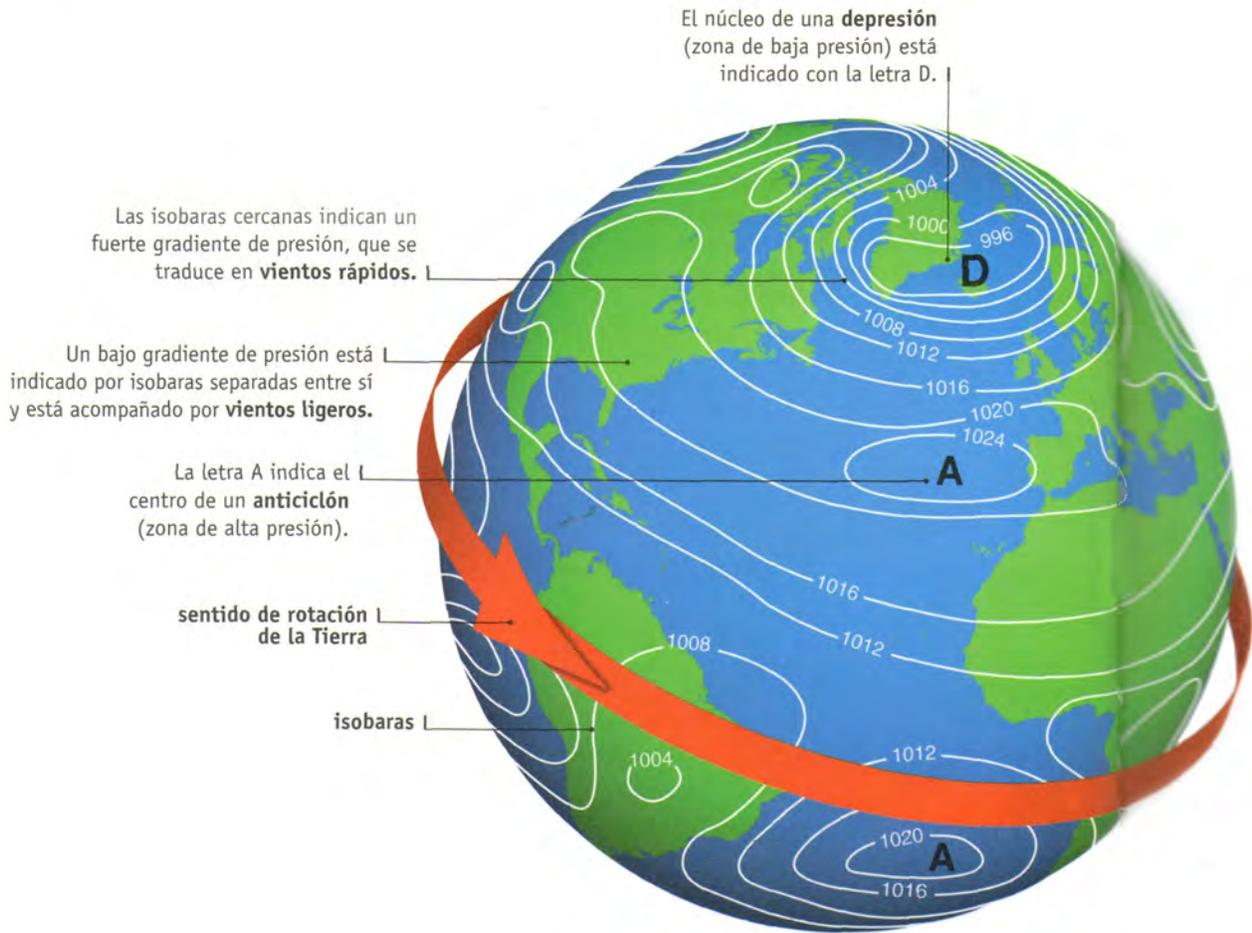


Fig. 22 Gradientes de presión e isobaras<sup>26</sup>

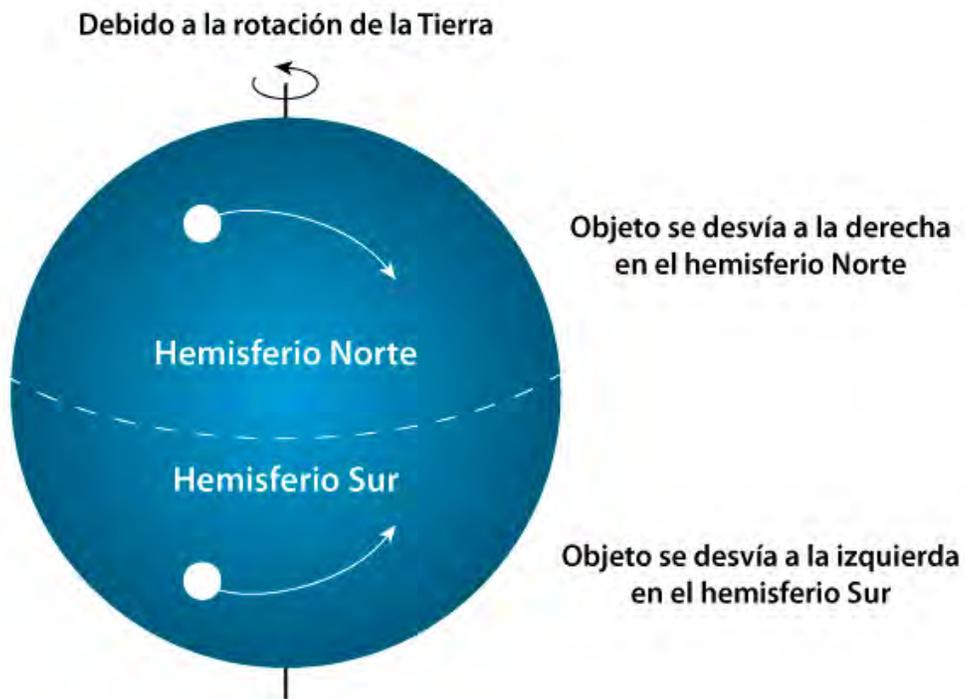


Fig. 23 Fuerza de Coriolis<sup>27</sup>

mostradas en la figura 24. En estos casos el aire fluye hacia dentro a través de las aberturas por debajo del nivel neutral de presión (NPL) y hacia fuera por encima de él.

2) **Efecto JET.** Es el flujo unidireccional de aire pasando a través de una abertura. Las líneas de flujo se curvan cerca del borde de la abertura y el área efectiva de la abertura es menor que la geométrica, debido a la contracción de las líneas de flujo.

En resumen, la ventilación natural suele basarse en dos estrategias básicas: la captación y aprovechamiento de los vientos del sitio, y la generación de fenómenos convectivos en pequeña escala, a los que podemos llamar vientos interiores (Fig. 25). Existen sistemas de ventilación natural que emplean ambas estrategias de manera simultánea o alternada. Las fuerzas que determinan el flujo externo del viento son:

### Limitaciones

Como cualquier mecanismo pasivo, el viento tendrá sus ventajas, desventajas y limitaciones de aplicación. Acondicionar un espacio por ventilación “natural” puede significar un comportamiento aleatorio, porque los fenómenos físicos que rigen la velocidad y dirección del viento se vuelven complejos a la hora de pretender simular el posible comportamiento de un sistema de ventilación por la

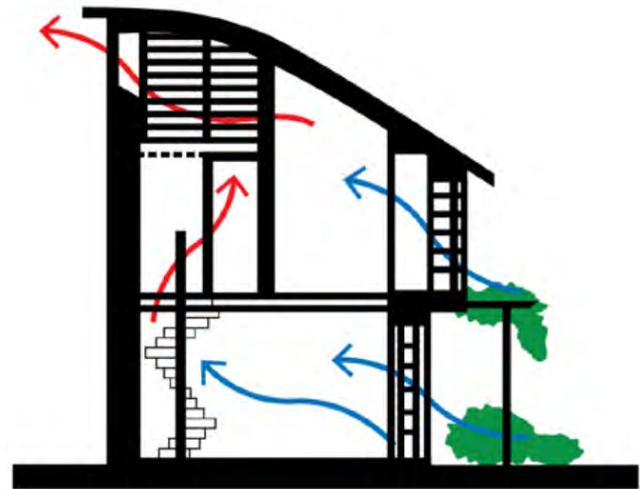


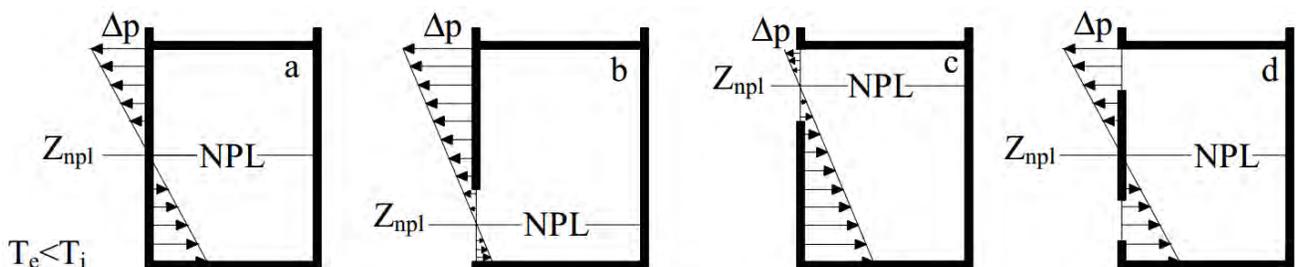
Fig. 25 Vientos interiores

cantidad de variables que intervienen.

Algunos de los factores a tener en cuenta que limitan el uso del viento como estrategia pasiva son:

a. **Calidad ambiental del aire.** En áreas urbanas la concentración de contaminantes y partículas suspendidas puede alcanzar niveles nocivos, sobre todo de fuentes cercanas como fábricas, basureros, etc.

Por tanto, el ingreso del aire exterior puede ocasionar problemas en la salud y en estos casos es preferible utilizar sistemas mecánicos de ventilación con filtros mecánicos o químicos. Es conveniente tomar muestras de aire en el sitio de emplazamiento del proyecto si se va a ventilar naturalmente al 100%.



Diferencia de presión ( $\Delta p$ ) y posición del nivel neutral de presión (NPL, neutral pressure level) para diferentes configuraciones de aberturas (en ausencia del viento).

Fig. 24 Distribución de la diferencia de presiones por efecto Stack<sup>28</sup>

b. **Ruido.** Hay que tener en cuenta las fuentes de ruido, sobre todo si el proyecto se levanta sobre una avenida principal. La eficiencia de los sistemas de ventilación natural dependen mucho de las obstrucciones del flujo de aire, lo que implica muy poca atenuación del ruido exterior.

Aún si se opta por instalar ventanas con reductores de sonido, implica una resistencia al flujo de aire y debe hacerse un balance entre estas dos estrategias opuestas.

c. **Vientos fuertes y lluvia.** Se deben evitar las ráfagas fuertes y al mismo tiempo mantener los caudales de aire suficientes; otro inconveniente es el ingreso de lluvia. Se requiere de un diseño cuidadoso para que los usuarios puedan controlar las aberturas según sus necesidades, las ventanas con múltiples aberturas es de una de las soluciones más implementadas.

d. **Seguridad.** La reducción del tamaño de las aberturas y/o ventanas para impedir el ingreso de intrusos, reduce el flujo y la velocidad del viento, sobre todo en las plantas inferiores. Para este problema lo ideal es instalar un sistema de control automático o contar con un operador.

### c) Agua y humedad

El agua es un factor trascendente en la regulación de la temperatura ambiente de un sitio, de tal manera que puede generar microclimas dentro de un clima extremo (fig. 26). La presencia de cuerpos de agua alteran dos factores ambientales: la humedad y la temperatura.

El agua es un material excepcional cuando se trata de almacenar y transportar energía térmica. Ésta posee capacidades térmicas muy particulares que pueden ser aprovechadas en la arquitectura y de esta forma, se puede utilizar como material de refrigeración en estrategias de enfriamiento evaporativo o como masa térmica para el almacenamiento y retardamiento del calor.



Fig. 26. Laguna de Huacachina, Perú

La cualidad más impresionante del agua es que la podemos hallar en los tres estados físicos de la materia a temperatura ambiente. El agua líquida por ejemplo, tiene elevados puntos de cambio de fase (fusión y ebullición) comparados con otras sustancias de peso molecular semejante.

El “secreto” de este comportamiento es la alta cohesión entre las moléculas de agua provocada

los puentes de hidrógeno (fig. 27). El agua líquida está formada por agrupaciones de moléculas cuyos enlaces de hidrógeno se están rompiendo y formando continuamente. Al aumentar la temperatura, el movimiento y las vibraciones de las moléculas se aceleran y se rompen más puentes de hidrógeno, hasta que se alcanza el punto de ebullición y las moléculas de agua se liberan una de otra, pasando al estado de vapor (Fig 28.1 y 28.2).

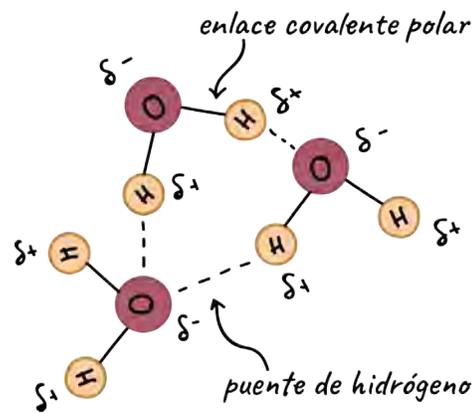


Fig. 27 Puentes de hidrógeno del agua

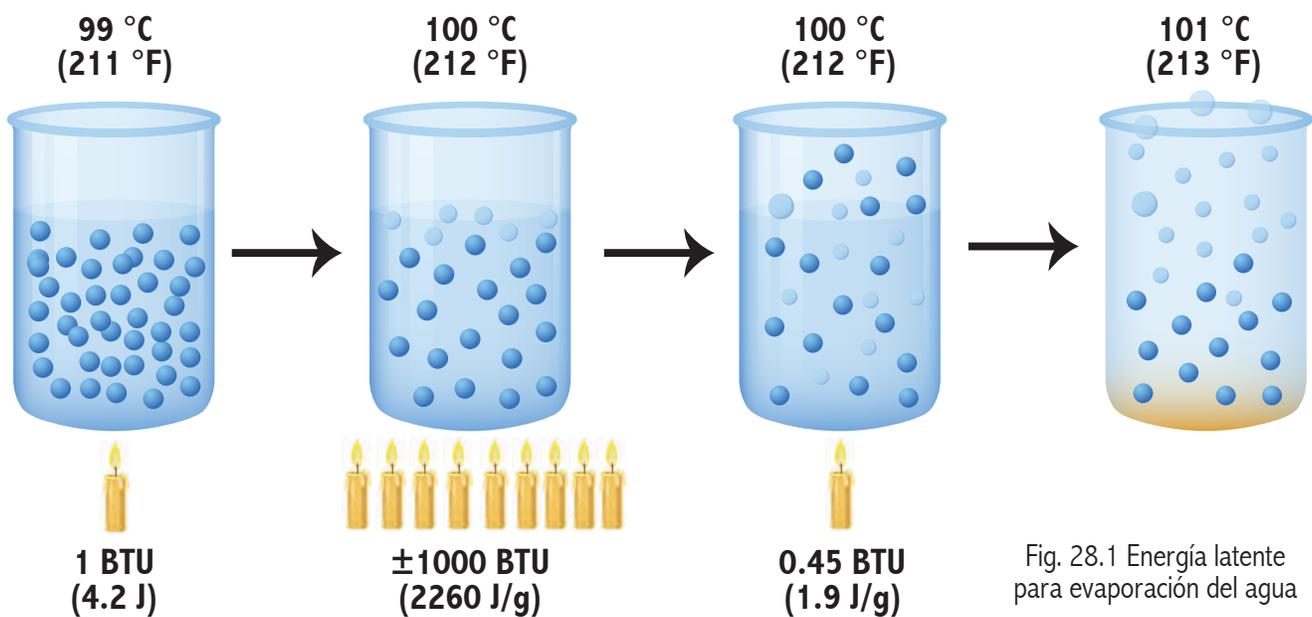


Fig. 28.1 Energía latente para evaporación del agua

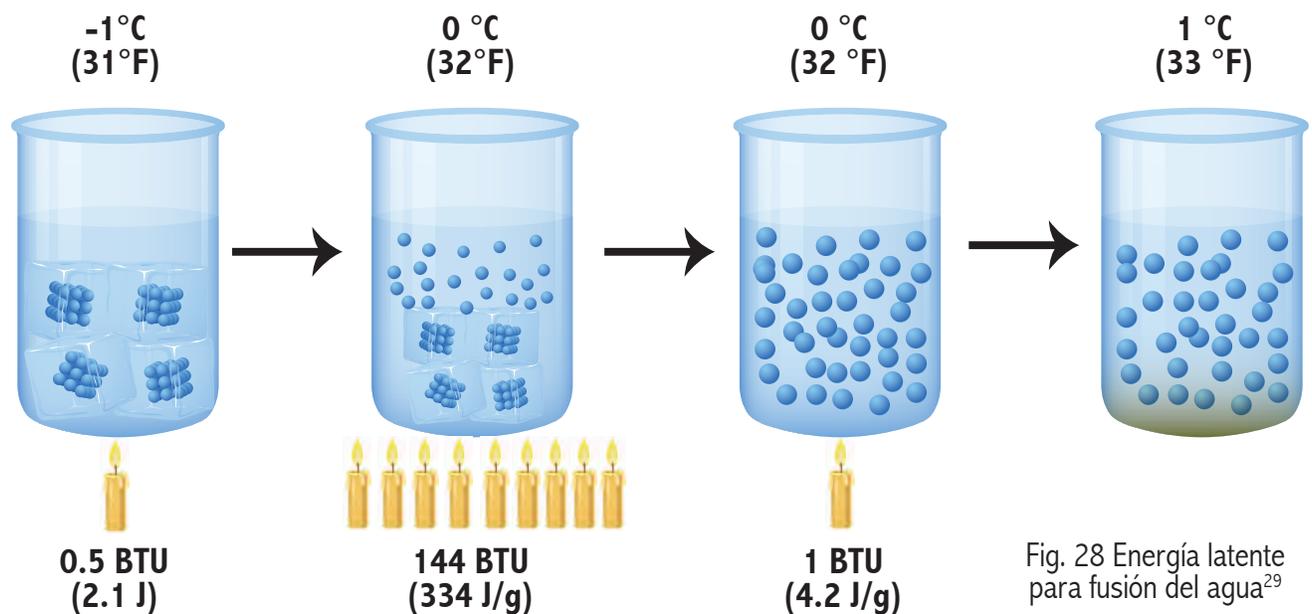


Fig. 28 Energía latente para fusión del agua<sup>29</sup>

El calor latente en el agua es la causante de que el agua actúe como modulador eficaz de la temperatura ambiente y como regulador térmico de los seres vivos, pues comparado con al aire, esta tiene una elevada capacidad de almacenamiento de calor. Dicha capacidad calorífica del agua, acoplada con el elevado contenido de agua en la mayoría de los organismos, ayuda a mantener la temperatura interna del organismo (fig. 29).

Con el estado gaseoso hay interacción prácticamente todo el tiempo: el vapor de agua disuelto en el aire que respiramos y exhalamos, en el sudor que excretamos cuando aumenta nuestra temperatura corporal. La pérdida de calor por evaporación puede representar aproximadamente el 20 % del calor total generado por el metabolismo celular.

El mar, lagos y estanques funcionan como reguladores térmicos gracias a la inercia de las masas de agua (fig. 30). Los ríos, cascadas y fuentes en cambio, producen un enfriamiento del

aire a la vez de aumentar la humedad relativa. Los humedales producen un aumento de la humedad relativa del aire principalmente.

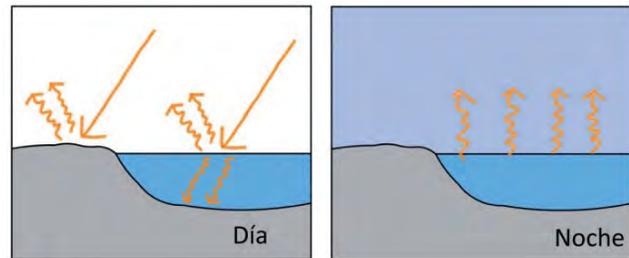


Fig. 30 Regulación térmica por masa de agua

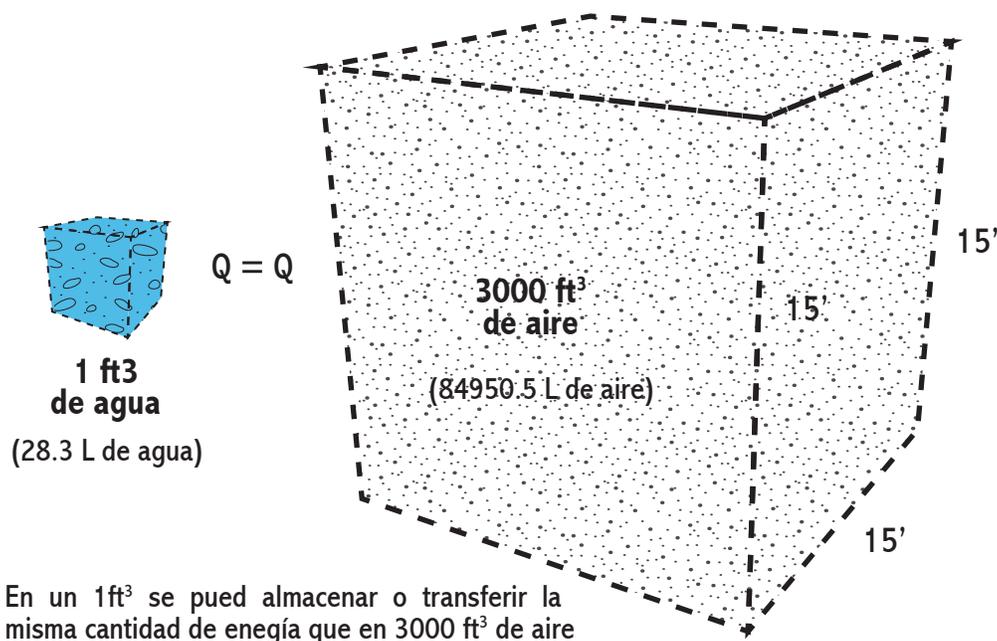


Fig. 29 Capacidad relativa de transferencia de calor de agua y aire<sup>30</sup>

## 4|1.2 Fuentes de luz

La iluminación natural, es un factor importante en el diseño bioclimático para la implementación de sistemas pasivos que puede poner en un dilema al diseñador. Por una parte, el Sol es nuestra fuente de luz, pero también es nuestra fuente principal de calor.

Con base en lo anterior, podemos deducir que una **entrada directa** de luz durante un tiempo prolongado implicaría recibir una ganancia térmica elevada, además de aumentar la probabilidad de sufrir deslumbramientos directos. A continuación, se hace un breve repaso de los componentes que integran la luz natural:

### Luz directa solar

Se puede considerar como radiación directa solar (LDS) a toda la energía visible irradiada por el Sol que llega en línea recta a una superficie con un ángulo de incidencia " $\alpha$ ". A este componente directo de luz también se le conoce con el término en inglés "sunlight", en el diseño de iluminación es importante no confundirlo con otros conceptos como "daylight" (componente global) y "skylight" (componente difuso).

La cantidad de LDS depende en gran medida de las condiciones de cielo. La manera más práctica de expresar el valor de este componente es con valores de iluminancia absoluta, en Kilolux (Klx). Este valor toma en cuenta el tiempo (hora, mes, estación), la orientación y las condiciones del cielo. En la figuras 31.1-2, se muestran un par de mapas de iluminancia para la República Mexicana

La LDS no suele ser una alternativa sana para la mayoría de los casos debido a su alta intensidad. Para tareas visuales agudas causa diferencias de luminancia excesivas entre el plano de trabajo y el

entorno. En condiciones de cielo despejado, un rayo solar directo puede alcanzar valores de iluminancia de hasta 100,000 lx (IESNA, 2000) provocando deslumbramientos y fatiga visual.

Para casos especiales donde el acceso a la luz natural es limitado y se requiera aprovechar la LDS, se necesita un control minucioso. Estos controles pueden llegar a ser sistemas integrales también llamados "Daylight Systems", encargados de captar y distribuir la luz hacia el interior (fig. 32.1-4).

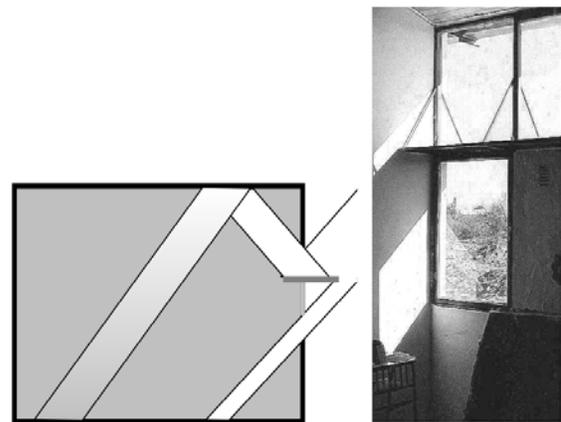


Fig. 32.1 Estante o bandeja reflectora horizontal<sup>31</sup>

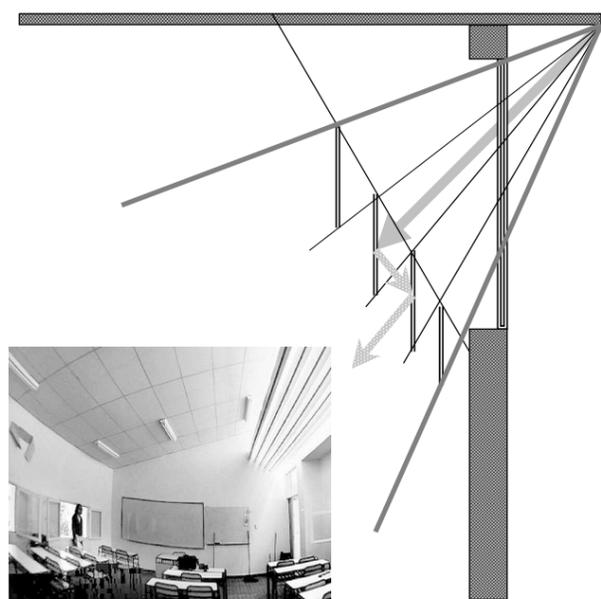


Fig. 32.2 Estante o bandeja reflectora vertical<sup>31</sup>

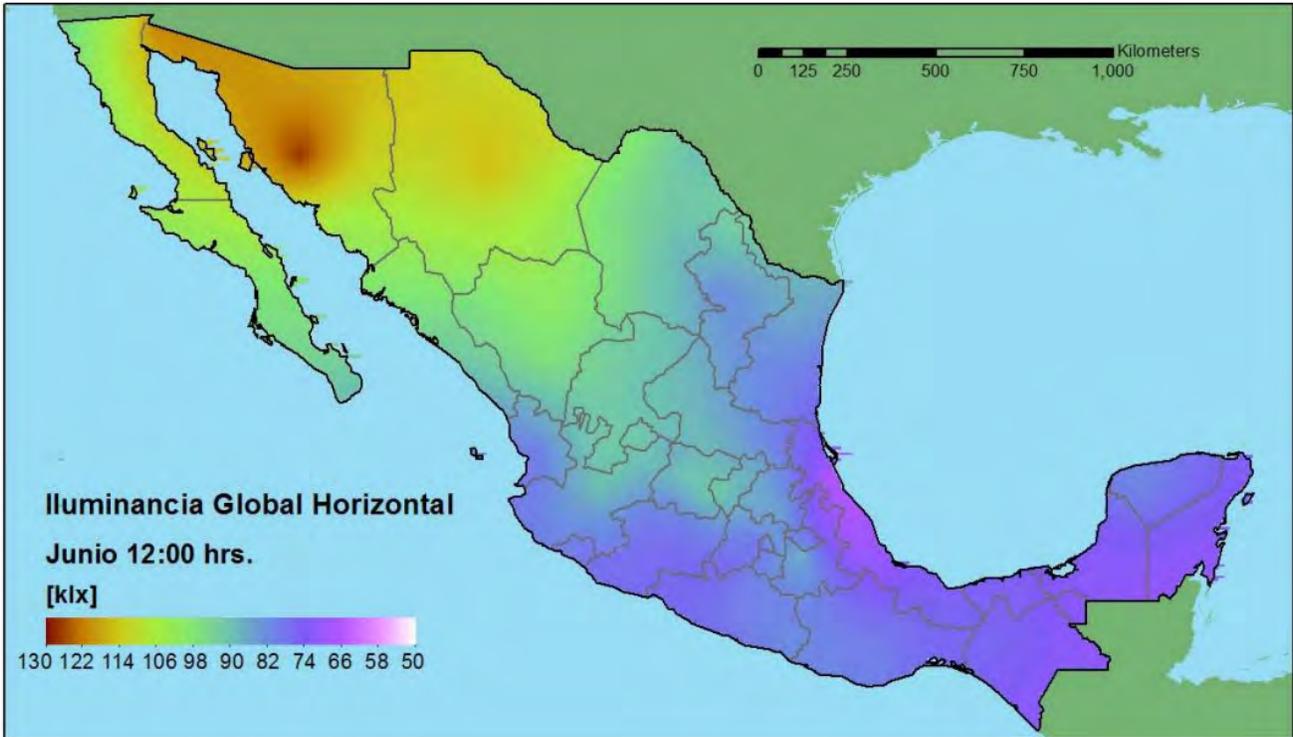


Fig. 31.1 Distribución geográfica del promedio mensual de la iluminancia horaria a las 12:00 h del mes de junio<sup>32</sup>

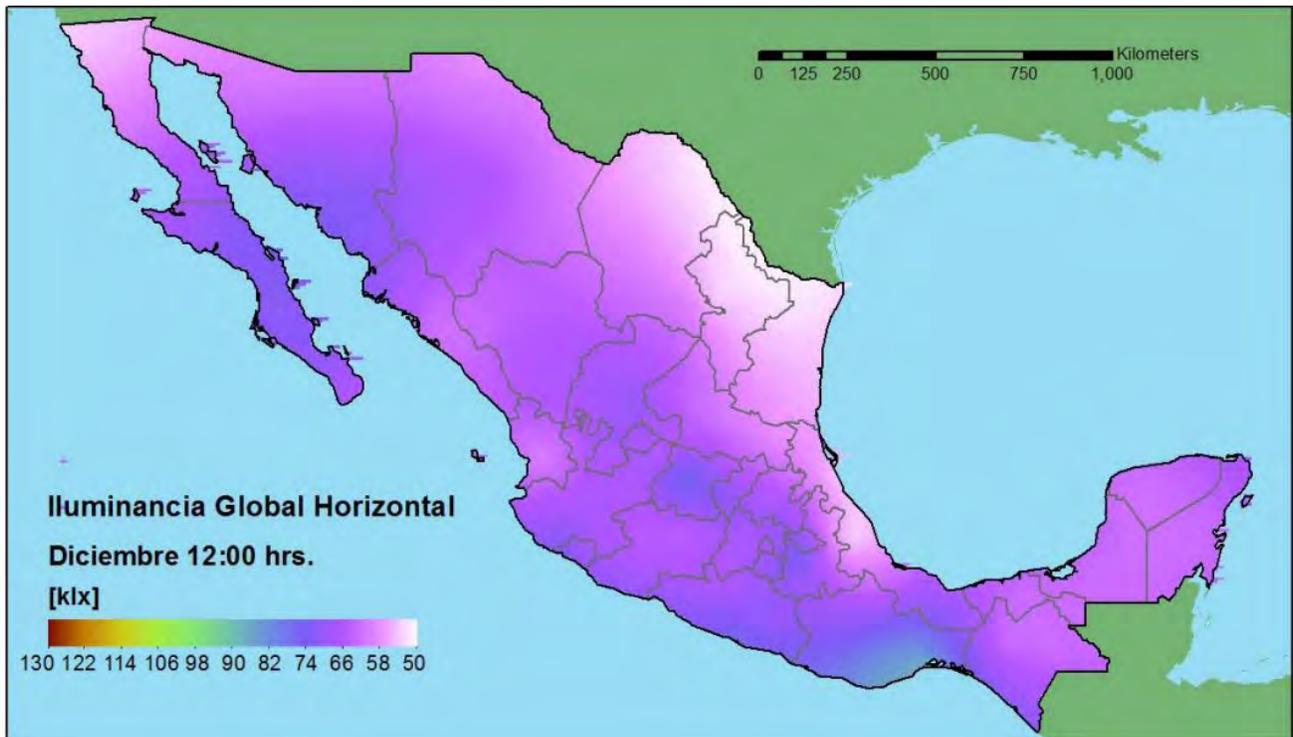


Fig. 31.2 Distribución geográfica del promedio mensual de la iluminancia horaria a las 12:00 h del mes de diciembre<sup>33</sup>

Como se puede observar en la fig. #, estos sistemas pueden ser simples paneles con una inclinación calculada, hasta complejos sistemas transportadores de luz. El mejor criterio para seleccionar estos sistemas sería de acuerdo a la orientación del emplazamiento y su acceso directo al Sol, ya que estos sistemas alcanzan su máximo rendimiento cuando el cielo está despejado y libres de obstrucciones artificiales (otros edificios, vegetación, etc.).

### Ventajas

- Con la captación de la LDS se pueden lograr los niveles de iluminancia más altos, lo que se refleja en un gran ahorro de energía en los sistemas de iluminación eléctricos.
- La luz natural garantiza la mejor reproducción cromática de los colores comparado con fuentes artificiales.
- Con el diseño adecuado (orientación, estrategias, etc.), se puede captar gran cantidad luz con poca área de fenestración.

### Desventajas

- La LDS provoca un rápido deterioro sobre los materiales, sobre todo en las fibras naturales y los alimentos.
- Sin protección adecuada provoca deslumbramientos directos y ganancias de calor elevadas.

### **Luz difusa (LDF) y la bóveda celeste**

Convencionalmente, sólo se le considera luz difusa al espectro visible reflejado desde el cielo (“**skylight**”, en inglés); esta luz se dispersa uniformemente gracias a partículas suspendidas. A este fenómeno de dispersión se le conoce como **efecto Rayleigh**.



Fig. 32.3 Tubo transportador de luz Solatube®

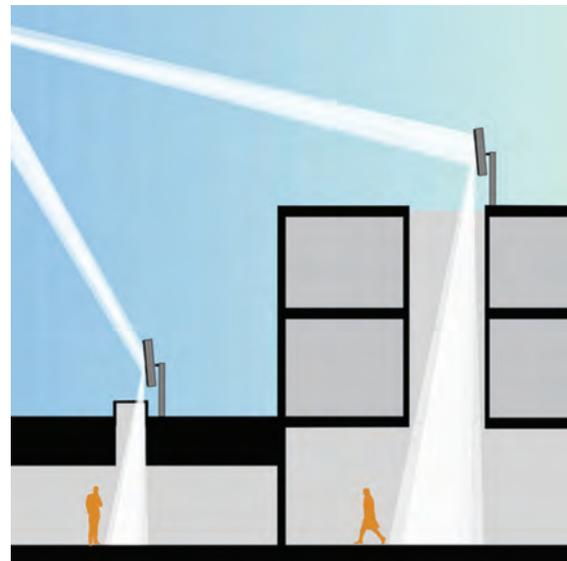


Fig. 32.4 Sistema Deplosun® (heliostato)

Los rayos refractados chocan con las numerosas moléculas que conforman la atmósfera, rebotando, y desviándose por todas direcciones en el cielo; razón por la cual lo percibimos de color azul durante la mayor parte del día (fig. 33).

Para que este fenómeno suceda, las partículas en suspensión deben tener un tamaño igual o menor que la longitud de onda. Por eso, entre más pequeña sea la longitud de la onda, mayor será la probabilidad de que esta sea dispersada. Caso contrario, cuando las partículas son más grandes que la longitud de onda, la luz no se dispersará, un ejemplo cuando la luz pasa por las nubes (vapor de agua).

Habiendo explicado el efecto Rayleigh, podemos deducir porque la luz difusa que entra al interior es de color azul durante la mayor parte de las horas del día.

Una de las mejores cualidades de la LDF es que requiere de menor protección y control que la

LDS, ya que es uniforme, degrada en menor grado los materiales y no provoca deslumbramientos directos. El aprovechamiento de la LDF se enfoca principalmente a los ambientes que ocupan sólo sistemas de iluminación general, sobre todo en aquellos espacios que no requieren de tareas visuales de precisión como circulaciones, recreación, descanso, etc.

Una de las estrategias mas utilizadas para captar y aprovechar la LDF es orientar y dosificar las aberturas de espalda al recorrido del Sol, en la dirección norte (hemisferio norte). La cantidad de luz captada dependerá esencialmente de la porción de cielo que abramos hacia el exterior, es decir, la proporción de vano-macizo en la envolvente arquitectónica (Figura 34.1, 2).

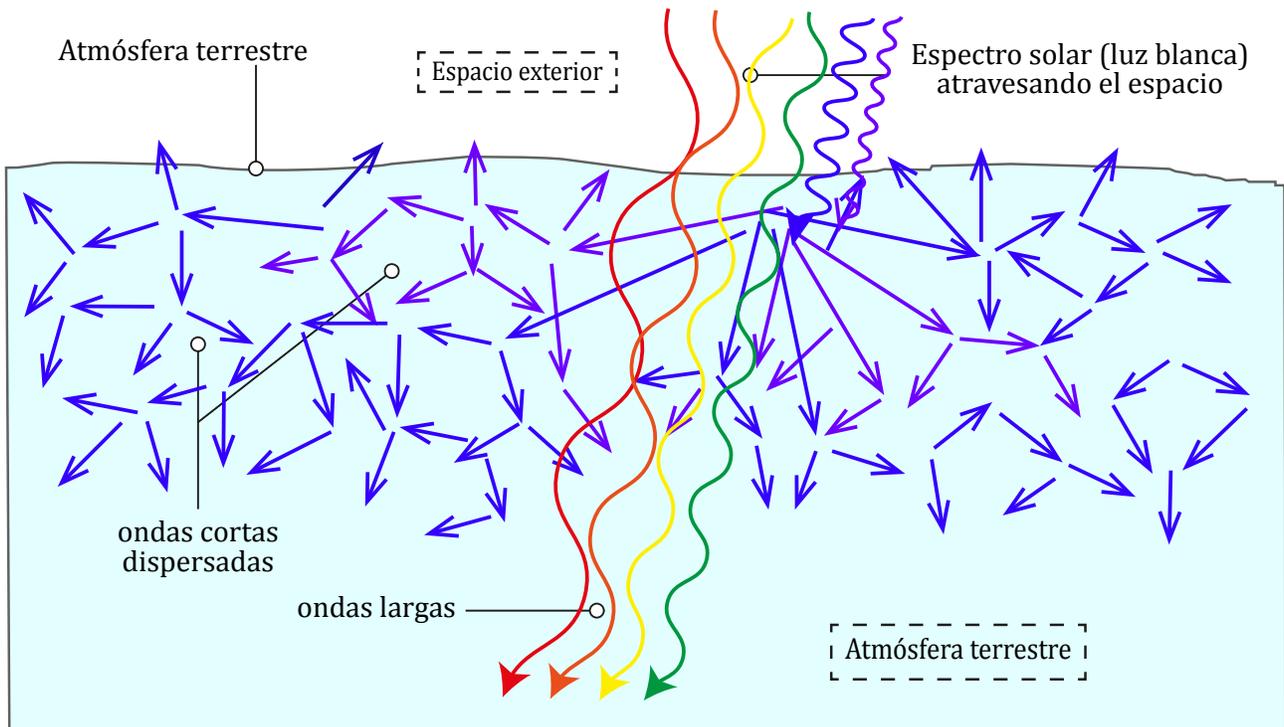


Fig. 33 Dispersión de Rayleigh

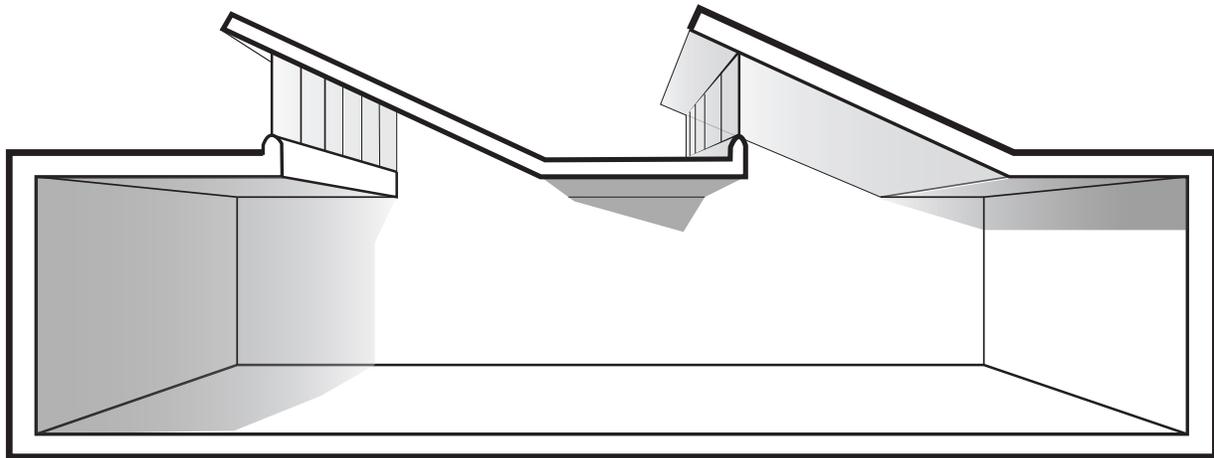


Fig. 34 Dientes de sierra corte arquitectónico (tipología)



Fig. 34.2 MUCA Facultad de Arquitectura, UNAM

### Ventajas

- Al ser una fuente de luz más uniforme, crea menos contrastes de iluminancia.
- Requiere de menor protección para ser aprovechada.

### Desventajas

- Se requiere de más área para lograr niveles altos de iluminación.
- Es necesario que al menos un lado del terreno tenga una orientación adecuada (menor cantidad de colindancias).

### **Bóveda celeste**

Se le llama bóveda celeste a la semiesfera imaginaria que se proyecta si nos situamos en un punto fijo sobre la Tierra y proyectamos una línea horizontal imaginaria de 360°, mejor conocida como línea de horizonte. En el campo de la iluminación, esta “bóveda” se comporta como una fuente de luz natural gracias al “efecto de Rayleigh” anteriormente descrito.

Ahora bien, si vemos pasar los 365 días del año desde el mismo punto (el emplazamiento), se crea el efecto del movimiento aparente del sol. Ésto da la impresión de que es el Sol es el que se mueve alrededor de la Tierra y no al revés (fig. 35). Existen diferentes maneras de representar el recorrido aparente del Sol, entre los cuales están los métodos analíticos (modelos matemáticos), los métodos gráficos (diagramas y proyecciones), métodos físicos (heliódón y maquetas) y los métodos informáticos (simulaciones).

### **Condiciones de cielo<sup>35</sup>**

La manera en que se distribuye la cantidad de energía lumínica en el cielo va a depender en gran medida de la cantidad de nubes y partículas suspendidas en

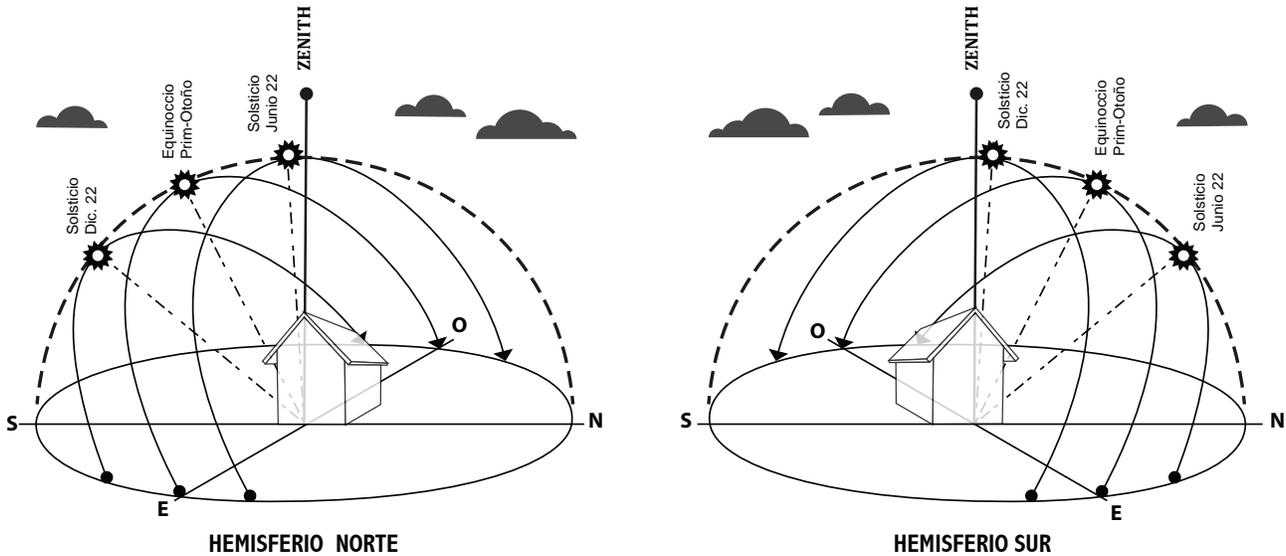


Fig 35 Variación de la trayectoria aparente del sol<sup>34</sup>

la bóveda celeste. Entre más nublado esté el cielo más uniforme será la distribución de la luz sobre la superficie (o el terreno). Comúnmente se hace una clasificación de los tipos de cielo de acuerdo al porcentaje de nubes presentes:

1. **Cielo nublado.** Porcentaje de nubes mayor o igual al 70%. Esta condición hace que prácticamente no se proyecten sombras y la penetración de la luz solar es indirecta. Luminancia promedio : 6000 cd/m<sup>2</sup>.

2. **Cielo parcialmente nublado.** El porcentaje de nubes es del 31-69%. Es el más difícil de estimar y podría variar demasiado en épocas marcadas del año, como en la temporada de lluvias.

3. **Cielo despejado o limpio.** Porcentaje de nubes menor o igual al 30%. La luz solar no es obstruida por las nubes hacia el interior, por lo que la penetración solar es directa. Luminancia promedio: 4000 cd/m<sup>2</sup>.

Ventajas

- Al ser una fuente de luz más uniforme, crea menos contrastes de iluminancia.

- Requiere de menor protección para ser aprovechada.

Desventajas

- Se requiere de más área para lograr niveles altos de iluminación.
- Es necesario que al menos un lado del terreno tenga una orientación adecuada (menor cantidad de colindancias). **Luz reflejada y transmitida por materiales difusos**

La manera en la que la luz interactúa con los materiales puede ser de diferentes maneras: esta energía puede ser reflejada, transmitida y/o absorbida, entre otras maneras más. En este apartado, nos ocupan las primeras dos propiedades conocidas como transmitancia y reflectancia.

La transmisión se refiere al paso de la luz a través de un material; al valor cuantificable de la de esta propiedad se le conoce como transmitancia, que se expresa como el porcentaje (%) del total incidente que consigue pasar a través del material.

A los materiales con altos valores de transmitancia

( $0.80 \geq$ ) se les conoce como materiales transparentes; permiten casi todo el paso de la luz y se puede ver con nitidez a través de ellos como el vidrio claro (fig. 36.1), el policarbonato, el PET y el agua.

Otro tipo de materiales transmisores son los materiales translúcidos (fig. 36.2-3), su principal característica es la de dispersar los rayos de luz en su interior, difuminando la imagen hacia el otro lado. El valor de transmisión es  $< 0.80$  aproximadamente. Algunos ejemplos son el vidrio esmerilado, acrílicos semitransparentes y algunos textiles.

La aplicación de estos materiales y las estrategias compatibles dependerán en gran medida del componente de luz que se quiera captar. Si las vistas son deseables o no y de la cantidad de radiación

infrarroja que necesitemos. En la figura 37 podemos ver una incorporación de ambos materiales para diferentes propósitos:

Mientras el vidrio claro permite la entrada de la luz y la apreciación del paisaje exterior; los paneles translúcidos de policarbonato transmiten y dispersan la luz a la vez que ayudan a controlar los deslumbramientos.

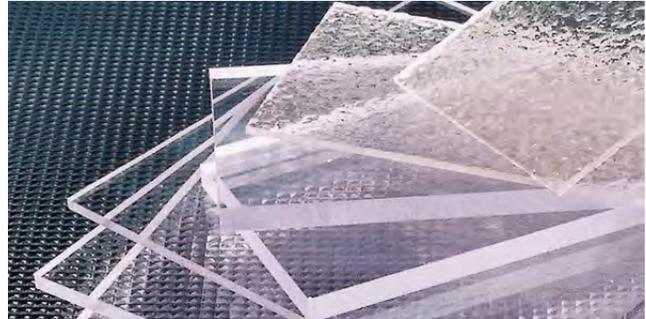


Fig. 36.3 Muestras de materiales translúcidos



Fig. 36.1 Vidrio claro



Fig. 36.2 Vidrio translúcido



Fig. 37 Integración de materiales transparentes

## Referencias

- (23) Goffin, Louis. La Problematique de l'environnement, Bruselas, F.U.L. 1984
- (24) SOLARGIS. Consultada en octubre del 2016. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/mexico>
- (25) WINDFINDER. Consultada en agosto del 2016. [https://www.windfinder.com/windstatistics/mexico\\_city](https://www.windfinder.com/windstatistics/mexico_city)
- (26) Fortin, Jacques. Para comprender el clima y el medio ambiente, 14-15
- (27) Rey Sapo Kite & Surf Club. Consultada en Agosto del 2016. <http://www.kitesurf.com.uy/que-es-el-viento/coriolis/#prettyPhoto>
- (28) Mermet, Alejandro G., and Eduardo Yarke. Ventilación Natural en Edificios, 70
- (29) Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects, 51
- (30) Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects, 53
- (31) Pattini, Andrea. Luz Natural e Iluminación de Interiores. Capitulo 11, 16
- (32) Preciado Olvera, Oscar. Potencial estimado de la iluminación natural en México, 59
- (33) Preciado Olvera, Oscar. Potencial estimado de la iluminación natural en México, 62
- (34) Basado en: S. V. Szokolay. PLEA 1 Solar Geometry, 8
- (35) Rea, Mark S. The IESNA lighting handbook : reference & application, 342

## Referencias imágenes

- Fig. 18.1 Elaboración propia.
- Fig. 18.2 Elaboración propia.
- Fig. 18.3 Elaboración propia.
- Fig. 20 Elaboración propia.
- Fig. 25 <http://www.bvsde.ops-oms.org/arquitectura/clase43/clase43.htm>
- Fig. 26 <http://www.avidabloga.com/2012/04/os-oasis-mais-bonitos-do-mundo.html>
- Fig. 27 <https://es.khanacademy.org/science/biology/water-acids-and-bases/hydrogen-bonding-in-water/a/hydrogen-bonding-in-water>.
- Fig. 30 [https://lh3.googleusercontent.com/\\_30djZ2kyqW2P-7WBlwQvWkCY84An8az\\_IrWxsDwUhc7tZJkjkT\\_aAipB3Tjhi-U6PsGA=s170](https://lh3.googleusercontent.com/_30djZ2kyqW2P-7WBlwQvWkCY84An8az_IrWxsDwUhc7tZJkjkT_aAipB3Tjhi-U6PsGA=s170)
- Fig. 32.3 <https://ecoinventos.com/solatube-luz-natural/>
- Fig. 32.4 [http://www.socodren.com/portfolio\\_page/deploun-patios-de-luz-heliostato/](http://www.socodren.com/portfolio_page/deploun-patios-de-luz-heliostato/)
- Fig. 33 Elaboración propia.
- Fig. 34.1 Elaboración propia.
- Fig. 34.2 [https://workshopcdmx.wordpress.com/2014/09/11/los-espacios-del-workshop-cdmx-museo-universitario-de-ciencias-y-artes-ciudad-universitaria-unam/img\\_0435/](https://workshopcdmx.wordpress.com/2014/09/11/los-espacios-del-workshop-cdmx-museo-universitario-de-ciencias-y-artes-ciudad-universitaria-unam/img_0435/)
- Fig. 36.1 <https://piersdy.wordpress.com/2011/02/09/sort-of/>
- Fig. 36.2 <http://www.decoreglass.com.br/decoreglass/produto/14/vidros-acusticos>
- Fig. 36.3 <https://feedyeti.com/hashtag.php?q=material-estransparentes>
- Fig. 37 <https://ciudadonlinea.com/cubiertas-y-remodelaciones-acricenter-133534/fotos/cubierta-semicurva-1408>

## 4|2 Ambientes interiores

### 4|2.1 Fuentes de calor internas en espacios

El objetivo general del diseño térmico (activo o pasivo) es proveer confort térmico al hombre, tratando de tomar en consideración la mayor cantidad de variables térmicas a través de modelos de confort (fórmulas analíticas). Entre las variables que se toman en cuenta para hacer un balance térmico están las fuentes de calor internas, denominadas también como cargas térmicas internas.

La energía térmica presente en los espacios proviene de distintas fuentes, pueden ser climáticas-ambientales (medios pasivos), artificiales (medios activos) y antrópicas (cuerpo humano). En este apartado se exponen sólo las fuentes de calor que ocurren al interior de los espacios.

#### Unidades de medida de magnitudes térmicas metabólicas

Los valores para medir la energía metabólica se expresan en unidades de energía y potencia: joule (j), caloría (cal) y watt (W). Las proporciones equivalentes entre estas son las siguientes:

Tabla 11.1 Joule					
1 J	=	0.239 cal	1 kJ	=	1000 W/s
1 J	=	1 W/s	1 kJ	=	0.27 Wh
1 kJ	=	239 cal	1 KJ	=	0.95 Btu
1 kJ	=	0.239 kcal			
Tabla 11.2 Caloría (cal)					
1 cal	=	4.18 J	1 kcal	=	4186 W/s
1 cal	=	4.18 W/s	1 kcal	=	1.16 Wh
1 kcal	=	4186 J	1 kcal	=	3.96 Btu
1 kcal	=	4.18 kJ			

Tabla 11.3 BTU*					
1 Btu	=	1055.9 J	1 Btu	=	0.29 Wh
1 Btu	=	252 cal	1 Btu	=	1055.9 W/s
1 Btu	=	1055.9 W/s	1 Btu	=	1.05 kJ
1 Btu	=	0.252 kcal			

\* El BTU (british thermal unit) es una unidad de energía del sistema imperial que se usa principalmente en los Estados Unidos, su equivalente en el Sistema Internacional de Unidades es el joule.

Tabla 11.4 Watt					
1 W/s	=	1 J	1 Wh	=	3.6 kJ
1 W/s	=	0.239 cal	1 Wh	=	860 cal
1 W/s	=	0.0009 Btu	1 Wh	=	0.86 kcal
1 Wh	=	3600 J	1 Wh	=	3600 W/s
1 Wh	=	3.40 Btu	1 kWh	=	860 kcal/h

Tabla 11.1-4 Equivalencias de unidades metabólicas

El **watt** (W) es una medida que se utiliza para cuantificar tasas de transferencias de energía, es por eso que el flujo térmico se mide en watt por hora o segundo.

Para los estudios de confort térmico nos interesa estimar el **flujo térmico por unidad de superficie corporal**, por esta razón el calor metabólico se expresa en W/m<sup>2</sup>. Lo anterior se basa en suponer un valor promedio de área corporal en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

La estimación del área corporal promedio se basa en la fórmula matemática de **DuBois**, esta fórmula utiliza como variables independientes la estatura (h, en metros) y la masa corporal (M, en kilos). La fórmula es la siguiente (Ec. 2)

$$A_D = 0.202M^{0.425}h^{0.725}$$

Ec. 2 Área de DuBois<sup>36</sup>

Si sustituimos a la fórmula de DuBois los valores promedio de un hombre, de masa corporal (70 kg) y de estatura (1.70 m), según normas internacionales, nos da como resultado lo siguiente:

$$A_D = 0.202(70)^{0.425}(1.75)^{0.725} = 1.84\text{m}^2$$

Ec. 3 Área corporal promedio hombres

Para mujeres:

$$A_D = 0.202(60)^{0.425}(1.70)^{0.725} = 1.69\text{m}^2$$

Ec. 4 Área corporal promedio mujeres

Cabe resaltar que los valores de masa y estatura promedio que se usan para las normas internacionales corresponden (ISO 8996:2004) a los de un habitante europeo promedio. Por lo tanto, si se aplican para una población con una diferencia considerable, implicaría una desviación importante en los resultados.

Para tener una idea más concreta de esta posible diferencia, a continuación se aplican los valores del habitante mexicano promedio a la fórmula de DuBois; y posteriormente se hace la comparación con los utilizados en las normas internacionales:

Para hombres en México (74 kg y 1.69 m):

$$A_D = 0.202(74)^{0.425}(1.69)^{0.725} = 1.84\text{m}^2$$

Ec. 5 Área corporal prom. hombres mexicanos<sup>37,38</sup>

Para mujeres en México (68 kg y 1.57 m):

$$A_D = 0.202(68)^{0.425}(1.57)^{0.725} = 1.68\text{m}^2$$

Ec. 6 Área corporal prom. mujeres mexicanas<sup>37,38</sup>

Valores M mexicano promedio contra norma ISO 8996			
Hombre			
México	ISO 8996:2004	Diferencia	Unidad
74 kg	70 kg	4 kg	Peso
1.69 m	1.75 m	6 cm	Estatura
1.84 m <sup>2</sup>	1.84 m <sup>2</sup>	0.0 m <sup>2</sup>	Área corporal
Mujer			
México	ISO 8996:2004	Diferencia	Unidad
68 kg	60 kg	8 kg	Peso
1.57 m	1.70 m	13 cm	Estatura
1.68 m <sup>2</sup>	1.69 m <sup>2</sup>	0.01 m <sup>2</sup>	Área corporal

Tabla 12. Comparativa de valores "M" mexicano prom. Contra ISO-8996

Para este caso, la diferencia entre la comparación del área corporal promedio podría considerarse insignificante, por lo que teóricamente no debería afectar de manera significativa usar los valores de tasa metabólica publicados en el estándar ISO 8996:2004. Evidentemente, en la fórmula de DuBois se pueden usar datos promedio para otro tipo de población: diferente edad, nacionalidad, etc.

## Metabolismo

Es el conjunto de procesos fisicoquímicos del organismo que transforman la energía química de los alimentos (fuente de energía) en los nutrientes necesarios para la vida. Ocurre a nivel celular por medio de reacciones bioquímicas.

El metabolismo, transforma la energía química de los alimentos en energía mecánica y en calor. Este gasto energético se expresa normalmente en unidades de energía y potencia.

Se divide en dos procesos: el catabolismo y el anabolismo.

El primero es una reacción que degrada los compuestos químicos orgánicos, cuya reacción resulta en la liberación de la energía retenida en sus enlaces químicos. Por su parte el anabolismo es la reacción inversa, utiliza esa energía liberada para recomponer enlaces químicos y construir componentes de las células como las proteínas y los ácidos nucleicos. Se puede decir que ambos son procesos acoplados puesto que uno depende del otro.

### Calor corporal

Debido a que la mayoría de los procesos del organismo son **exotérmicos** (producen calor), las reacciones metabólicas demandan una temperatura constante para desarrollarse ( $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ). Por esa razón, el esfuerzo para mantener el equilibrio térmico deberá ser el mínimo posible. De esa manera se logra el desempeño óptimo de las funciones corporales, y por ende, nuestro estado de desarrollo psicofisiológico.

A la energía térmica producida por el cuerpo humano suele denominarse “**carga metabólica**” o “calor metabólico”. Se genera a lo largo de una cadena de procesos biológicos en el cuerpo que pueden ser de manera consciente o inconsciente. Por esta razón se le puede clasificar de dos maneras:

#### 1. Producción de calor por metabolismo basal

Es la carga metabólica derivada de procesos biológicos continuos e inconscientes; entre estos se encuentran todos los procesos bioquímicos implícitos para la supervivencia como la formación de tejido, las funciones neuronales, el bombeo sanguíneo, el intercambio gaseoso en los pulmones, la respiración celular, el almacenamiento y la transformación de energía de los alimentos (digestión), etc.

Con base en lo anterior, podemos inferir que el metabolismo basal (Mb) es la energía mínima que una persona requiere para poder vivir, haga o no alguna actividad física.

El estado ideal para cumplir con esta condición, sería de una persona acostada en reposo, durmiendo o sentada en reposo.

La cantidad de energía calorífica producida por metabolismo basal varía poco sea cual sea la actividad que desarrolle el individuo; en cambio, los factores que si afectan esa cantidad son las variables que se usan para estimar el flujo térmico por unidad de área (corporal), y son los siguientes:

- Estatura (metros)
- Peso (Kg.)
- Área corporal (m<sup>2</sup>)

La unidad de medición para la energía térmica producida por el metabolismo del cuerpo humano es el “**met**”, y si bien en la literatura no está claro que el origen del valor de una unidad met sea el equivalente a la energía metabólica basal (de un individuo promedio); se puede inferir que el Mb al ser la cantidad mínima de energía consumida por una persona en actividad pasiva, el met toma como base dicha cantidad para posteriormente expresar cantidades más elevadas de energía en múltiplos de este valor.

Como muestra, se hizo una revisión de los valores de las tasas metabólicas expuestas en AHSRAE-55 (fig. 38.1) y en la norma UNE- EN ISO 8996:2005 (fig. 38.2).

Fig. 38.1 ANSI/AHSRAE Standard 55-2004<sup>39</sup>  
(Estados Unidos)

**NORMATIVE APPENDIX A—ACTIVITY LEVELS**

**Metabolic Rates for Typical Tasks**

Activity	Met Units	Metabolic Rate	
		W/m <sup>2</sup>	(Btu/h·ft <sup>2</sup> )
<b>Resting</b>			
Sleeping	0.7	40	(13)
Reclining	0.8	45	(15)
Seated, quiet	1.0	60	(18)
Standing, relaxed	1.2	70	(22)

Fig 38.2 Norma: UNE- EN ISO 8996:2005<sup>40</sup>  
(Europa)

Actividad	W*m2
Dormir	40
Recostado	45
Descanso, sentado	55
Descanso, de pie	70

Podemos ver que las actividades descritas como “seated, quiet (sentado, quieto)” y “descanso, sentado”, tienen un valor aproximado de 60 W/m<sup>2</sup>, equivalente a 1 met, y que ambas no implican actividad muscular alguna.

prevención de España (NTP-1011 2014), el cual es un documento derivado de la UNE- EN ISO 8996, se expone una tabla con valores de tasas de Mb específicas; sus términos numéricos están en función del sexo y edad (tabla 13).

Asimismo, en una de las notas técnicas de

A pesar de que generalmente los valores de Mb no

Tabla 13. Metabolismo basal en función de sexo y edad <sup>41</sup>			
Hombres		Mujeres	
Edad	W/m2	Edad	W/m2
12-16	53	12-16	50
17-19	50	17-19	46
20-29	47	20-29	43
30-39	45	30-39	41
40-49	43	40-49	38
50-59	41	50-59	37
60-69	40	60-69	36

se aplican, si pueden ser bastante útiles cuando no se tenga la información de las actividades y el Mb sería la carga metabólica mínima a considerar en esos casos. En caso contrario, se aplican las tasas metabólicas de las actividades que si estén en las normas, o las más afines.

Cabe recalcar que los valores metabólicos expuestos en cualquier norma pueden no encajar con alguna población; sobre todo por factores como el peso y la estatura, provocando desviaciones en los resultados, aunque eso aplicaría para estudios muy específicos.

## 2. Producción de calor por metabolismo muscular

La cantidad de energía que el cuerpo requiere no es la misma todo el tiempo; dependerá principalmente de la actividad física que estemos realizando, lo cual implica la activación del metabolismo muscular.

El metabolismo muscular (Mm) es la energía producida por los músculos al llevar a cabo un trabajo controlado de manera consciente. La energía producida por el Mm depende directamente del grado de actividad que se ejecute. El tiempo también es una variable importante a tomar en cuenta. Por lo regular, las actividades más intensas y que generan más carga térmica suelen darse en periodos breves, en comparación con las actividades ligeras.

“Aproximadamente solo el 20% de la energía metabólica se aprovecha de manera útil y el 80% restante se transforma y se disipa en forma de calor”

Si consultamos en la mayoría de la literatura especializada (principalmente en normas), podremos observar que en los valores de carga térmica para tasas metabólicas no existe una separación entre

metabolismo basal y muscular; sino más bien, están puestas según el grado e intensidad de la actividad y/o por la cantidad de energía térmica que generan.

Cabe decir, que la combinación de ambos procesos metabólicos suma la producción total de calor interno en el cuerpo y los valores tabulados en las normas corresponden a dicha suma. Además en la práctica común no se ocupa una separación entre ambos procesos metabólicos.

Existen varios métodos para estimar una cantidad aproximada de la tasa metabólica y se pueden basar en:

- Consulta de tablas (tanteo y observación)
- Medición de parámetros físicos (análisis y actuación experta)

Estimación del consumo metabólico a través de tablas

Este método consiste en usar directamente los datos tabulados en normas oficiales y tomarlos como valores estandarizados para los distintos tipos de actividad, ocupaciones, posturas, etc.

Es el método usado por excelencia, ya que es muy sencillo y rápido de aplicar. Bastará con investigar si las actividades que se plantean para el diseño empatan con las publicadas en las normas; de no ser así, se tomarán los valores de las actividades más afines.

La aplicación de este método implica aceptar indirectamente que la población de estudio se ajusta a la que sirvió de base para la confección de las tablas y que las actividades del estudio son las mismas que las expresadas en las tablas. Estos factores pueden marcar desviaciones importantes en los resultados del estudio, sobre todo si se trabaja con normas de otras regiones y/o en otros idiomas.

Para la aplicación de este método en poblaciones especiales como (niños, adultos mayores, etc.) deberán hacerse los ajustes pertinentes para una mayor precisión en los resultados.

En la tabla 14 se muestran diferentes valores para tasas metabólicas publicados en diferentes fuentes literarias.

### a) Consumo metabólico según la ocupación

Con este método se calcula el consumo metabólico a través de tablas (tabla 14) y que están relacionadas con diferentes profesiones. Los valores en dichas tablas son valores medios para el tiempo total de la jornada de trabajo, sin considerar los periodos de descanso.

Este método puede ser muy impreciso si se toman en cuenta diferentes cuestiones como el progreso

tecnológico y la disponibilidad de dicha tecnología en dicha región de estudio. Por lo tanto, la medida más prudente sería usar estas tablas sólo en casos donde se solicite estrictamente por norma y/o certificación.

### b) Consumo metabólico según el tamaño de actividad

El consumo metabólico se estima con base a una clasificación de tipos de actividad. Cuantitativamente, cada uno tiene un límite inferior y un límite superior; regularmente se escoge la media de ambos (tabla 15). Supone que las actividades incluyen periodos de descanso cortos.

El principal inconveniente de este método, es que los tipos de actividad parecieran tener intervalos posible demasiados amplios.

Mediante este método se puede clasificar el consumo

Tabla 14. Tasas metabólicas por ocupaciones<sup>42</sup>

Actividad	Met	w/m <sup>2</sup>	Btu/h ft <sup>2</sup>	kcal/h m <sup>2</sup>
Trabajo de oficina	1.2-1.7	70-100	22-32	60-865
Conserjería	1.4-2.0	80-115	25-36	69-99
Albañil	1.9-2.7	110-160	35-51	95-138
Carpintero	1.9-3.0	110-175	35-55	95-150
Pintor	1.7-2.2	100-130	32-41	86-112
Panadero	1.7-2.4	100-140	32-44	86-120
Carnicero	1.8-2.4	105-140	33-44	90-120
Modelado artesanal (manual)	2.4-4.1	140-240	44-76	120-206
Modelado a máquina (industrial)	1.8-2.8	105-165	33-52	90-141
Fundidor	2.4-4.1	140-240	44-76	120-206
Herrero	1.5-3.4	90-200	28-63	77-172
Soldador	1.3-2.1	75-125	24-40	64-107
Tornero	1.3-2.1	75-125	24-40	64-107
Jardinero	2.0-3.3	115-190	36-60	99-163
Tractorista	1.5-1.9	85-110	27-35	73-95
Conductor automóvil	1.2-1.7	70-100	22-32	60-86
Conductor autobús	1.3-2.1	75-125	24-40	64-107
Operador de grúa	1.1-2.5	65-145	21-46	56-125
Profesor	1.5-1.7	85-100	27-32	73-86

metabólico en cuatro posibles categorías:

1. **Reposo:** dormir, sentado descansando. Rango metabólico: 55 a 70 W/m<sup>2</sup>.
2. **Ligero (bajo):** trabajo sedentario tipo oficina, de pie con poco desplazamiento. Rango metabólico: 71 a 130 W/m<sup>2</sup>.
3. **Moderado:** trabajos donde se ocupen las extremidades superior e inferior (conducción, jardinería, etc.), manipulación de pesos moderados, manejo de maquinaria. Rango metabólico: 131 a 200 W/m<sup>2</sup>.
4. **Pesado (alto):** trabajo intenso con extremidad superior, trabajos pesados de construcción, desplazamientos constantes o rápidos (1.5 m/s). Rango metabólico: 201 a 206 W/m<sup>2</sup>.
5. **Muy pesado (muy alto):** trabajo a la máxima velocidad o capacidad posible, utilización de herramientas pesadas, subir escaleras o rampas rápidamente, desplazamientos constantes arriba de los 2 m/s. Rango metabólico: >206 W/m<sup>2</sup>.

### c) Consumo metabólico a partir de los requisitos de la tarea

Este método limita la función de la actividad utilizando tablas que otorgan **valores por separado** a cada componente de la tarea que se ejecuta: postura del cuerpo, uso de las extremidades, desplazamiento, etc. Por lo tanto, podemos suponer que este método ofrece mayor precisión que los anteriores.

La suma del gasto energético que suponen esos componentes, que en conjunto integran la actividad, es el consumo metabólico total. La tasa metabólica se determina añadiendo a la tasa metabólica basal las tasas metabólicas asociadas a la postura del cuerpo, al tipo de trabajo y al movimiento del cuerpo, en relación con la velocidad de trabajo.

Posiblemente es el sistema más utilizado para determinar el consumo metabólico cuando se aplica la norma internacional.

Los componentes que integran los componentes de la tasa metabólica son:

- I. **Metabolismo basal.** Se estima en función del sexo y edad, una buena aproximación para un hombre promedio podría tomarse en 44 w/m<sup>2</sup> y para una mujer 41 W/m<sup>2</sup>.

Tabla 15 Clasificación del metabolismo por tipo de actividad<sup>43</sup>

Actividad	Met	w/m <sup>2</sup>	kcal/h m <sup>2</sup>	Btu/h ft <sup>2</sup>
Tasa metabólica basal (Reposo)	0.9 – 1.2	55 – 70	47 – 60	17 – 22
Tasa metabólica ligera	1.2 - 2.2	71 – 130	61 – 112	22.5 – 41
Tasa metabólica media	2.3 – 3.4	131 – 200	113 - 172	41.5 - 63
Tasa metabólica alta	3.5 – 4.5	201 – 260	173 - 224	64 – 82
Tasa metabólica muy alta	>4.5	>260	>224	82

**II. Componente postural.** Es el consumo de energía que tiene una persona en función de la postura que mantiene (de pie, sentado, etc.). Hay que añadir valores cuando la tarea no se realiza en posición sedentaria.

**III. Componente del tipo de trabajo.** Es el gasto energético que se produce en función del tipo de trabajo (manual, con un brazo, con el tronco, etc.) y de la intensidad de éste (ligero, moderado, pesado, etc.). Los valores que se muestran en las tablas incluyen el metabolismo basal. Si quiere hacerse un **cálculo personalizado**, hay que restar 45 W/m<sup>2</sup> a cualquiera de los valores de la tabla y sumar el consumo metabólico para la persona determinada, teniendo en cuenta el sexo y la edad, según los valores que se recogen en la tabla de metabolismo basal.

## El met

El met o “metabolic equivalent of task” , que por sus siglas en inglés se traduce como “equivalente metabólico de trabajo”, es una unidad de medida de consumo energético comúnmente usada para estudios de confort térmico, expresa la relación de consumo de energía metabólica de una actividad específica en un índice metabólico de referencia.

El índice de referencia establecido por convención se basa en la cantidad de oxígeno consumido por una persona en reposo por kilo de masa corporal por minuto. Una unidad met equivale a:

$$3.5 \text{ ml O}_2/\text{Kg}/\text{min}$$

Tabla 16 Valor del equivalente metabólico met

Convirtiendo este índice de referencia en unidades de energía equivale a:

1 met	=	58.2 W/m <sup>2</sup>
1 met	=	50 kcal/h·m <sup>2</sup>
1 met	=	18.4 Btu/h·ft <sup>2</sup>
1 met	=	4.18 kJ/kg·h

Es así, que las tasas metabólicas en met representan el consumo energético de las actividades físicas como un múltiplo de la actividad metabólica de una persona en reposo. Complementariamente, también podemos decir que el met es la relación entre la potencia térmica en W ó kcal/h y el área corporal en m<sup>2</sup>.

De esta manera, una actividad con un valor de 2 met requiere dos veces el metabolismo en reposo (ó 7 ml O<sub>2</sub>/kg/min) y 3 met requiere tres veces el metabolismo en reposo (10.5 ml O<sub>2</sub>/ kg/min), y así sucesivamente.

Tomando en cuenta la practicidad del uso del met y su aplicación en estándares como ANSI o ASHRAE, en el presente estudio se utilizó para los registros de actividad en la simulación numérica y en las pruebas de campo.

En el tabla 18, se pueden consultar los valores en met de diferentes actividades y su equivalente.

Tabla 18 Tasas metabólicas para diversas actividades				
Actividad	Met	w/m <sup>2</sup>	Btu/h ft <sup>2</sup>	kcal /h m <sup>2</sup>
Posiciones de descanso				
Dormir	0.7	40	13	35
Reposando reclinado	0.8	46	15	40
Sentado reposando	1	58.2	18.4	50
Parado de pie	1.2	70	22	60
Caminar (en superficie plana)				
v = 0.9 m/s	2	116	37	100
v = 1.2 m/s	2.6	151	48	130
v = 1.8 m/s	3.8	221	70	190
Actividades de oficina				
Sentado, leyendo o escribiendo	1	58.2	18	50
Mecanografiar	1.1	64	20	55
Archivando sentado	1.2	70	22	60
Presentación de pie	1.4	82	26	70
Actividades caminando dentro de la oficina	1.7	99	31	85
Cargar cosas / empa-car	2.1	122	39	105
Otras Actividades Ocupacionales				
Cocinar	1.8	105	33	90
Limpieza domestica	2.7	157	50	135
Movimiento sentado y pesado de las extremidades	2.0 - 3.4	116 - 198	37 - 63	100 - 170
Trabajo con maquinaria				
Cortar (sierra de mesa)	2.2	128	40	110
Aparatos de industria la eléctrica	2.0 - 2.4	116 - 140	37 - 44	100 - 120
Equipo pesado	4	233	74	200
Trabajos de obra				
Manejo de sacos de 50 kg	4	233	74	200
Trabajo con pico y pala	4.0 - 4.8	233 - 280	74 - 88	200 - 240
Actividades recreativas				
Bailar	2.4 - 4.4	140 - 256	44 - 81	120 - 220

Tenis	3.6 – 4.0	210 – 233	66 – 74	180 – 200
Básquetbol	5 – 7.6	291 – 442	92 – 140	250 – 380
Lucha libre	7 – 8.7	407 - 506	129 - 160	350 - 435
Basado en ASHRAE-55 y NTP-1011				

### Equipos electrodoméstico (o electromecánicos)

Para que un proyecto sea sostenible, debe ser energéticamente eficiente; para lo cual no siempre bastará un diseño ejemplar de la envolvente térmica, sino además, el uso de aparatos de bajo consumo y/o de alta eficiencia. Esta “estrategia” suele ser implementada para proyectos que buscan alguna certificación y/o cumplir con normas de eficiencia energética.

Como parte del equipamiento en los espacios interiores, encontramos todo tipo de aparatos que se ocupan en las actividades de la vida cotidiana. De manera empírica podemos clasificarlos de la siguiente forma:

### Equipos de iluminación

En esta categoría podemos incluir equipos como: lámparas, accesorios, interruptores etc. Estos equipos serán tratados de manera especial y serán abordados en el siguiente punto del índice.

### Aparatos electrodomésticos

Estos equipos constituyen una carga de calor sensible (Qs). En esta categoría incluimos equipos como: refrigeradores, aparatos de línea blanca, de entretenimiento, hornos eléctricos, televisores, etc.

El cálculo de la carga térmica de cada aparato se hace multiplicando la potencia de consumo del aparato (W) por la diferencia entre dicha potencia y la eficiencia del aparato, como se describe en la ecuación 7 :

$$Q_{S_{ELEC}} = \text{Potencia de consumo} * (100 - \% \text{ eficiencia del aparato}) * \text{No. aparatos (iguales)} = W$$

$$Q_{ST_{ELEC}} = \Sigma QM1 + QM2 + \dots$$

Ec. 7 Cálculo de carga térmica para aparatos eléctricos y electrónicos

Ejemplo:

Aspiradora de 355 Wh con una eficiencia de 70%:

$$Q_{S_{ELEC}} = 355 W * (100\% - 70\%) * 1 = 107 Wh$$

Procesador de alimentos de 250 Wh con una eficiencia del 80%:

$$Q_{S_{ELEC}} = 250 W * (100\% - 80\%) * 1 = 50 Wh$$

Este criterio de cálculo, supone que no toda la energía eléctrica consumida se transforma en calor, ya que gran parte de estos equipos transforman la energía eléctrica en mecánica (licuadoras, procesadores), luz (televisión) y sonido (estéreos); y por tanto, el trabajo efectivo que realizan no representa una ganancia sensible de calor para la sensación térmica.

Una consideración a tomar en cuenta, es que las ganancias sólo deberán sumarse de acuerdo a los horarios de operación, es decir, con base en el tiempo estimado de uso. Queda a consideración del diseñador **omitir aquellos de uso poco frecuente** para no exceder los cálculos. Este aspecto es importante ya que según estudios, hay aparatos en casa que ocupamos sólo unos cuantos minutos al día.

## Equipos de cómputo

Son una carga de calor sensible (QS). En este grupo incluiremos a todos los equipos informáticos, principalmente computadoras fijas y portátiles. En la actualidad, debido al constante desarrollo tecnológico son más eficientes y consumen menos energía eléctrica.

La ganancia de calor que disipan hacia el ambiente también se toma con base al consumo eléctrico (W) y su eficiencia (%), siendo aplicable el mismo criterio y la misma ecuación anterior (Ec. 7).

Con el mismo criterio, se supone que no toda la energía eléctrica consumida se transforma en calor; por ejemplo, en el caso de los monitores esta energía es incorporada al espacio en forma de energía visible (luz), y por tanto, no representa una ganancia sensible de calor para la sensación térmica.

Al igual que los aparatos anteriores, las cargas se sumarán únicamente en los horarios de operación. Para evitar desviaciones significativas en los cálculos, es fundamental hacer una cuantificación de equipos lo más exacta posible; como en los casos especiales de centros de cómputo y/o cuartos de servidores.

## Equipos de combustión

En este grupo se incluyen todos los equipos como: estufas, hornos y equipos de combustibles fósiles en general; también se pueden incluir aparatos eléctricos que su función esté relacionada con la cocción y/o el uso de agua.

Estos equipos se distinguen del resto por que son capaces de sumar cargas térmicas sensibles (QS) y cargas térmicas latentes (QL), debido a que tienen la capacidad de modificar la cantidad de vapor de agua en el aire.

En cualquier caso, estos equipos deberán contar con campanas de extracción de aire, contribuyendo a una disminución aproximada del 50% para ambos tipos de carga térmica, que son disipadas al ambiente. Teniendo en cuenta lo anterior, las cargas se calculan según la ecuación ec. 8:

En la tabla 19 están los datos de ganancias de calor de algunos tipos de aparatos, la fuente de consulta advierte que se trata de valores promedio y que fue aportada por los mismos fabricantes.

$QS_{COMB} = \text{Número de equipos (iguales)} * (\text{Calor sensible (W)} * 0.5)$
$QST_{COMB} = \sum QM1 + QM2 + \dots$

Ec. 8.1 Cálculo de carga térmica sensible para equipos de combustión

$QL_{COMB} = \text{Número de equipos (iguales)} * (\text{Calor latente (W)} * 0.5)$
$QLT_{COMB} = \sum QM1 + QM2 + \dots$

Ec. 8.2 Cálculo de carga térmica latente para equipos de combustión

## Motores

En este grupo se incluyen equipos que hacen trabajo electromecánico y eléctrico, como motores y subestaciones eléctricas.

Estos equipos tienen la particularidad de concentrar grandes corrientes eléctricas en un área muy pequeña, ya que transforman una parte más o menos grande de la energía en calor sensible (QS), además de que cuentan con relevadores (relay) y transformadores que también generan calor.

Este tipo de carga térmica difícilmente lo encontramos

dentro de espacios habitables. Lo más común es tener estos equipos dentro de espacios especiales, llamados también “cuartos de máquinas”. En el caso de estudio, se resolvió agrupándolos en una banca técnica separado de los habitáculos, razón por la cual **quedaron descartados dentro los cálculos para la simulación.**

En el caso de existir este tipo de carga dentro del espacio, el criterio para estimar la carga dependerá de la ubicación del equipo y sus componentes respecto al local. Los casos más comunes pueden ser:

**Motor y máquina acoplada dentro del local.** La ganancia correspondiente será equivalente al total de la potencia eléctrica de consumo en watts ; por ejemplo, para un equipo de 1.2 kW la ganancia correspondiente sería de 1200 W; es decir, se aplica de forma directa el consumo total. Este criterio supone que la potencia eléctrica consumida por los equipos es finalmente incorporada al espacio en forma de calor.

**Motor en el exterior y máquina dentro del local.** Multiplicar la potencia de consumo por el rendimiento del motor (%) y sumar el número total de equipos que cumplan con la condición.

En la figura 39 se muestra una tabla de ganancias térmicas para este tipo de equipos.

$QSM = \text{Número de equipos (iguales)} * \text{Potencia de consumo (W)}$
$QST_M = \Sigma QM1 + QM2 + \dots$

Ec. 9.1 Cálculo de carga térmica motores, caso 1

$QS_M = \text{Potencia de consumo(W)} * (100 - \text{Rendimiento } \%)$
$QST_M = \Sigma QM1 + QM2 + \dots$

Ec. 9.2 Cálculo de carga térmica motores, caso 2

### Factor de seguridad

En ciertas situaciones, puede ser necesario aplicar un valor adicional de seguridad a las cargas sensibles y/o latentes; el objetivo es compensar desviaciones por falta de información del proyecto y/o especificaciones de los equipos. Generalmente el criterio que se toma como adicional es el siguiente:

- Para la carga térmica sensible un **10%** del total como adicional.
- Para la carga latente **5%** del total como adicional.

Para el caso de estudio, no se agregó este factor de carga debido a que en la simulación sólo se tomó en cuenta el desempeño térmico de la envolvente, dejando descartado otras cargas térmicas como los aparatos y lámparas.

GANANCIAS DEBIDA A LOS MOTORES ELECTRICOS (Funcionamiento continuo)

POTENCIA NOMINAL HP	POTENCIA NOMINAL kw	Rendimiento a plena carga % n	Posición del aparato con respecto al local acondicionado o a la corriente de aire					
			Motor en el interior		Motor en el exterior		Motor en el interior	
			Aparato impulsado en el interior		Aparato impulsado en el interior		Aparato impulsado en el exterior	
			HP,632/n Kcal/h	KW,632/n w	HP,632/n Kcal/h	KW,632/n w	HP,632x(1-n)/n Kcal/h	KW,632x(1-n)/n w
0,05	0,068	40	80	107	32	43	48	64
0,125	0,168	55	144	193	79	106	65	87
0,25	0,337	64	247	332	158	213	89	120
0,333	0,448	66	319	429	210	283	108	146
0,5	0,673	70	451	608	316	426	135	182
0,75	1,01	72	658	887	474	638	184	248
1	1,3	79	800	1077	632	851	168	226
1,5	2,0	80	1185	1596	948	1277	237	319
2	2,7	80	1580	2128	1264	1702	316	426
3	4,0	81	2341	3152	1896	2553	445	599
5	6,7	82	3854	5190	3160	4255	694	934
7,5	10,1	85	5576	7510	4740	6383	836	1126
10	13,5	85	7435	10013	6320	8511	1115	1502
15	20,2	86	11023	14845	9480	12766	1543	2078
20	26,9	87	14529	19565	12640	17022	1889	2543
30	40,4	89	21303	28689	18960	25533	2343	3156
40	53,9	89	28404	38251	25280	34044	3124	4208
50	67,3	89	35506	47814	31600	42555	3906	5260
60	80,8	89	42607	57377	37920	51066	4687	6311
75	101	90	52667	70924	47400	63832	5267	7092
100	135	90	70222	94566	63200	85109	7022	9457
125	168	90	87778	118207	79000	106387	8778	11821
150	202	91	104176	140290	94800	127664	9376	12626
200	269	91	138901	187053	126400	170219	12501	16835
250	337	91	173626	233817	158000	212773	15626	21044

Fig. 39 Carga térmica por motores<sup>44</sup>

## 4|2.2 Fuentes de luz

### 4|2.2.1 Fuentes de luz artificial

Los sistemas de iluminación, constituyen una fuente de calor sensible que se emite principalmente por radiación directa hacia los ocupantes.

En la actualidad, existe una gran variedad de tecnologías disponibles en el mercado para los sistemas de iluminación, cada uno con características particulares de consumo eléctrico, reproducción cromática, eficiencia luminosa, etc. Esta última cualidad es la que determina la cantidad de energía efectiva que se transforma en luz y el restante en calor sensible.

Las tecnologías tradicionales de iluminación para espacios domésticos son de tipo incandescente y fluorescente, pero en la actualidad también se dispone de la tecnología LED, y que por su alta

eficiencia, es la que se implementó en parte de Casa UNAM.

A continuación, se hace una reseña de los sistemas tradicionales y su carga térmica, comparado con la tecnología más actual (LED).

### Lámparas incandescentes

Esta tecnología fue la primera de la historia en comercializarse; funcionan mediante el principio de flujo resistivo. Esto quiere decir que la luz se produce por el paso de corriente eléctrica a través de un filamento metálico. Dicho filamento tiene un punto de fusión muy alto y el material más utilizado es el tungsteno.

Más tarde, surgió una nueva generación que funcionaba con el mismo principio, pero se le agregó al interior del bulbo un compuesto gaseoso

con halógenos, razón por la cual se le dio el nombre de lámparas de halógeno. Sin embargo, esto sólo sirvió para alargar la vida útil de la lámpara y en poco ayudó a la eficiencia luminosa (fig. 40.1).

Las características de estas lámparas son:

- Espectro de luz continuo que va desde el rojo profundo (infrarrojo) hasta el violeta (halógenas), por lo tanto, su reproducción cromática es muy buena.

- Costo inicial bajo.

- Son **dimeables**; es decir, que se puede regular la intensidad del flujo que emiten.

- No requieren de equipos complementarios para funcionar.



Fig. 40.1 Esquema lámpara incandescente

Las **desventajas** radican en su baja eficiencia. Por lo tanto, generan una gran cantidad de calor (radiación infrarroja invisible al ojo), tienen una vida útil corta comparada con otras tecnologías, aproximadamente de 1,000 (no halógenas) a 2,000 horas (halógenas).

Los rendimientos de eficiencia energética se muestran en la tabla 20; para hacer el respectivo cálculo, se toma como la ganancia térmica a la energía remanente de la eficiencia de la lámpara.



Fig. 40.2 Lámparas halógenas

Tipo	Eficiencia en lm/W	Eficiencia promedio en %	Calor disipado total en %	Vida útil promedio en horas
Incandescente	5-22	5 – 22	95 - 78	750 – 2,000
l. Halógena	12-36	12-36	88 - 64	2,000 – 6,000

Tabla 20. Eficiencia energética: lámparas incandescentes y halógenas

La fórmula de cálculo queda de la siguiente manera:

$$QS_{ij} = \text{Potencia de la lámpara} * (100 - \text{eficiencia luminosa}) * \text{No. Lámparas}$$

$$QST_{ij} = \sum Q_{sil1} + Q_{sil2} + \dots$$

Ec. 10 Cálculo de la carga térmica para L. Incandescentes

Por otra parte, cabe mencionar que ciertos autores toman como criterio que las lámparas incandescentes disipan una cantidad igual a 0.86 Kcal/h por cada watt de potencia, es decir, 1 watt por cada 1 watt. Ese criterio, hace que se tome en cuenta el 100% de la potencia de la lámpara a la ganancia térmica por iluminación artificial incandescente.

### Lámparas fluorescentes

A este tipo de tecnología de iluminación se le conoce como lámparas de descarga de baja intensidad.

Se componen de un tubo de vidrio que contiene una pequeña cantidad de mercurio y gas argón. Al circular la corriente eléctrica por dos electrodos situados a ambos lados del tubo, se produce una descarga eléctrica entre ellos, que al pasar a través del vapor de mercurio produce una radiación ultravioleta. Esta radiación excita una sustancia fluorescente que recubre el interior del tubo, transformándose en radiación visible.

Son más eficientes que las incandescentes, ya que

en el proceso se produce menor calentamiento y la electricidad se destina en mayor proporción a la transformación en luz. Necesitan de **equipos auxiliares** para su operación llamados balastos; su función es la de proporcionar el voltaje de arranque adecuado y regular la corriente de funcionamiento de la lámpara.

Las características de estas lámparas son:

- Mayor eficiencia luminosa que las incandescentes, de 60 a 95 lm/W.
- Consumen hasta un 80% menos electricidad para la misma emisión luminosa que las incandescentes.
- Vida útil promedio de 10,000 horas y de 15,000 a 20,000 horas con balastro electrónico.
- Los colores de luz de las lámparas fluorescentes son: el blanco cálido, el blanco neutro y el blanco de luz diurna.
- Están diseñadas para usarse por periodos prolongados de tiempo.

Las **desventajas** de estas lámparas son:

- Emiten un 25% más de calor que las incandescentes. La razón es el uso de los equipos auxiliares mencionados.
- La reproducción cromática no es tan buena como las incandescentes: IRC >80. Aquellas que alcanzan un valor de IRC de 90 a 95 son lámparas con un recubrimiento especial de trifósforo, incrementando el costo inicial.
- Las versiones originales de tubos, por su tamaño y longitud no suelen ser buena opción para uso en espacios domésticos, posteriormente se desarrolló su versión casera conocida como

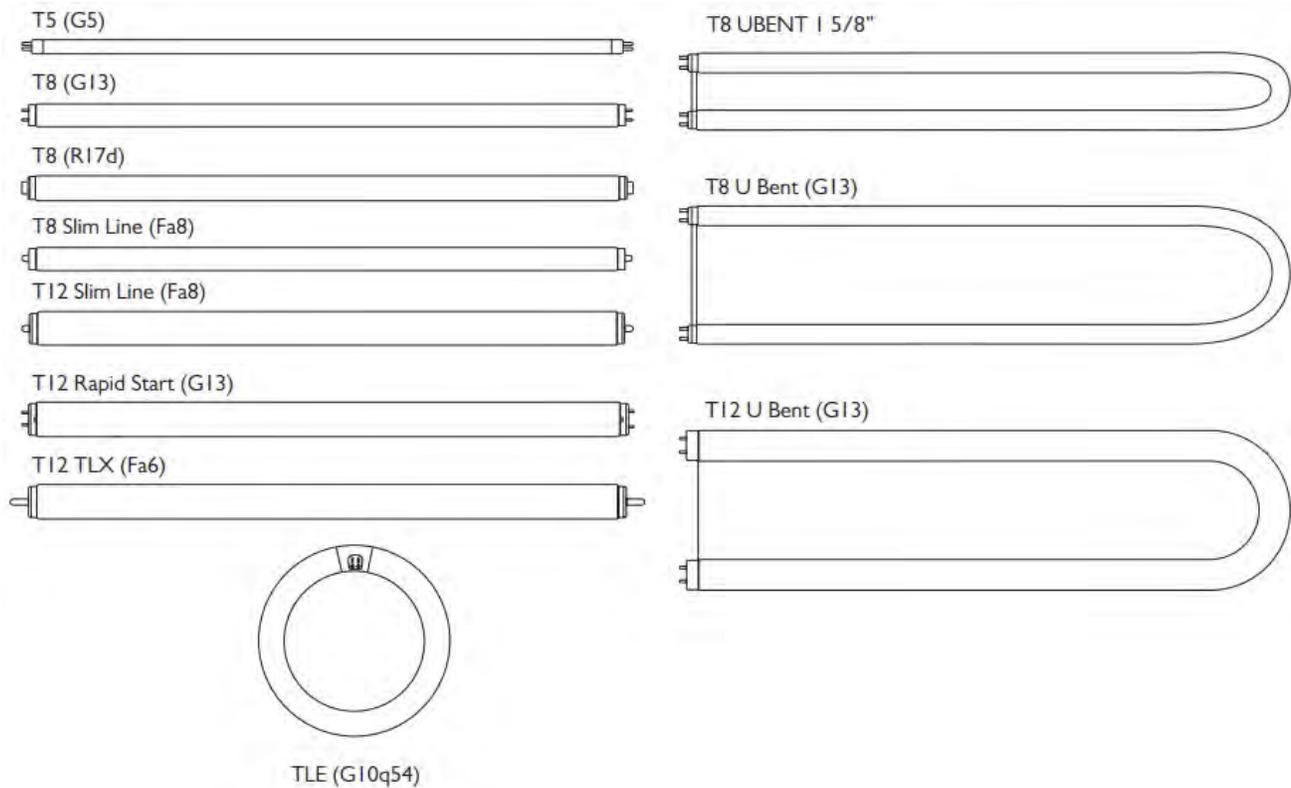


Fig. 41 Lámparas fluorescentes

lámparas fluorescentes compactas o LFCs

- La eficacia disminuye a temperaturas muy bajas o muy altas. Por esta razón, no se recomiendan para uso a la intemperie; de lo contrario, necesitan de balastos especiales.
- No son compatibles con los sistemas dimeables y sensores de movimiento; una frecuencia constante de encendidos acorta de manera significativa la vida útil.

Los tipos de bulbo fluorescentes más comerciales se presentan en la figura 41.

### Lámparas fluorescentes compactas integradas (CFLi)

Su funcionamiento es similar al de los tubos fluorescentes. Está basado en los principios de la descarga eléctrica sobre vapor de mercurio a baja presión y el de la fluorescencia. Poseen tubos más

compactos y un balastro electrónico integrado lo que permite una instalación directa a la tensión de la red (127 V).

Tienen las mismas ventajas y desventajas antes mencionadas. Los tipos comerciales que se pueden encontrar se presentan en la figura 42.

La eficiencia energética y la cantidad de calor que disipan este tipo de lámparas CFL se muestran en la tabla 21.

Como podrá observarse en la tabla, la tecnología fluorescente **proporcionalmente disipa más calor por watt** que la tecnología incandescente, esto a causa de los equipos auxiliares.

Sin embargo, la carga térmica resulta más pequeña debido a la eficiencia luminosa que poseen; en términos técnicos, significa que emiten más luz por watt de potencia. Por ejemplo, una lámpara

## Lámparas LED



Fig. 42 Lámparas fluorescentes compactas (CFLi)

incandescente de 20 W emite un flujo de 280 lm y una fluorescente con la misma potencia emite un flujo de 1,200 lm; es decir, cuatro veces más luz.

Tipo	Eficiencia en lm/W	Eficiencia de consumo promedio en %	Calor disipado total en %	Vida útil promedio en horas
Fluorescente (tubo)	60 - 95	80	125	10,000 bal. magnético 15,000-20,000 bal. elect.
Fluorescente compacta (tipo bombilla)	60 - 65	85	105	8,000 a 10,000

Tabla 21. Eficiencia energética: Lámparas fluorescentes

Con base en la tabla anterior, para hacer el cálculo de la ganancia térmica por iluminación fluorescente, es la fórmula siguiente (ec. 11):

$Q_{S_{ij}} = \text{Potencia de la lámpara} * 1.25 * \text{No. Lámparas}$
$Q_{ST_{ij}} = \sum Q_{sil1} + Q_{sil2} + \dots$

Ec. 11 Cálculo de la carga térmica para L. Fluorescentes

La tecnología LED es conocida como la generación de “lámparas en estado sólido”. Usa el diodo emisor de luz (light emitting diode) como fuente lumínica. Esta tecnología tiene su origen durante las décadas de los años 60’s y 70’s, pero es hasta los años 2000 que empieza a tener aplicaciones comerciales en la iluminación arquitectónica gracias al desarrollo del primer LED de luz blanca de finales de los 90’s.

El término “estado sólido” es la abreviatura de "electroluminiscencia en estado sólido" y en inglés el término es “solid-state light”, se abrevia SSL. En iluminación, diodo es la abreviatura de "diodo semiconductor”. Son diferentes de las fuentes convencionales de descarga y filamentos, ya que el LED no contiene ni filamento ni gas, ni requiere un bulbo de vidrio.

Un LED es un dispositivo semiconductor que emite luz de una longitud de onda específica cuando se le aplica una corriente eléctrica. Los semiconductores pueden ser diodos emisores orgánicos (OLED) o inorgánicos (LED). Los diodos cuentan con dos electrodos (un ánodo y un cátodo) que conducen la electricidad en una sola dirección; su conductancia varía dependiendo de la corriente aplicada.

### Generación de la luz LED

Los LED producen luz por electroluminiscencia cuando los electrones libres se unen a un átomo que tiene una capa más externa que puede aceptar un electrón ("hueco"). El electrón libera energía y el material emite luz (figura 43).

La figura muestra cómo los electrones en el semiconductor negativo “tipo-N” ocupan el nivel superior (banda de conducción) y los “huecos” en el semiconductor positivo “tipo-P” ocupan el nivel inferior (banda de valencia).

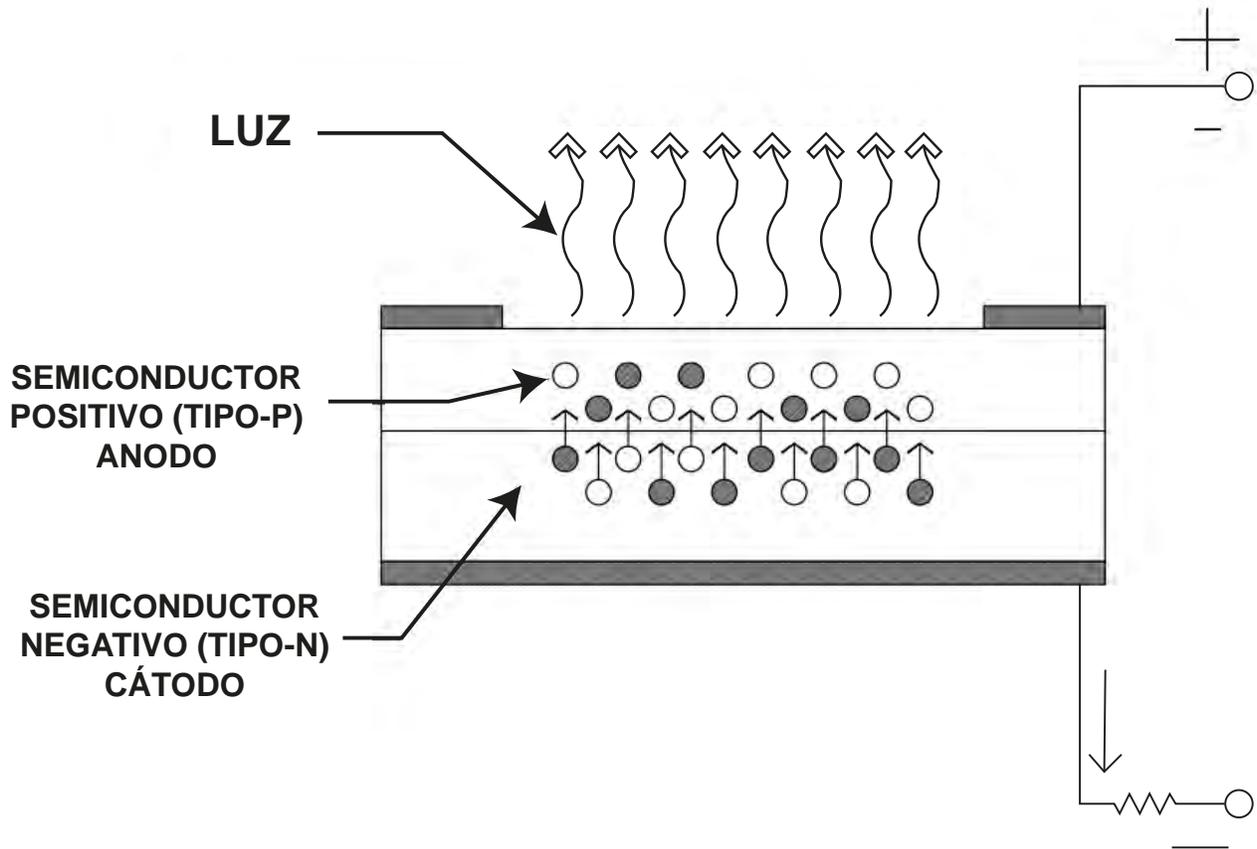


Fig. 43 Electroluminiscencia LED<sup>45</sup>

### Lámparas LED integradas

Son lámparas que sirven de reemplazo directo a las incandescentes y a las fluorescentes compactas. Incorporan una unidad emisora de flujo luminoso con un módulo con LEDs y un controlador integrado. Pueden ser omnidireccionales o direccionales. Cuentan con una base para conectarse directamente a la red eléctrica y con cualquier elemento adicional necesario para un funcionamiento estable.

Las formas de bulbo de lámparas de LED integradas omnidireccionales más comunes son las tipo A, BT, P, PS y T (fig 44).

### Tubos LED

Son lámparas diseñadas que sirven de reemplazo para los tubos fluorescentes convencionales. Entre las ventajas principales de éstos, es que funcionan

sin la necesidad de balastos, tienen un vida útil de hasta 5 veces superior y son amigables con medio ambiente, ya que no contienen mercurio o plomo.

Los tubos LED de reemplazo más comunes son los tipo T5 (d= 15 mm, l= 60 y 90 cm) y T8 (d= 26 mm, l= 120 y 150 cm). Figura 45



Fig. 44 Lámparas LED integradas



Fig. 45 Tubos de LED

### Ventajas de las lámparas LED:

- Alta eficiencia energética por watt de consumo.
- Vida útil más extendida que las tecnologías tradicionales, dependiendo de las condiciones ambientales de operación.
- Poca emisión de calor, debido a la alta eficiencia los sistemas generan poco calor sensible; es decir, poca radiación infrarroja y ultravioleta.
- Son amigables con el medio ambiente, a diferencia de las fuentes fluorescentes, los LED no contienen mercurio

Esta tecnología realmente presenta pocas desventajas y más bien, los inconvenientes están relacionados a problemas que la industria y el mercado tienen que mejorar; como la distribución y la calidad de los productos, así como las proyecciones financieras para que la tecnología LED sea más asequible a mediano plazo.

Por esta razón, entre los principales inconvenientes de la tecnología LED están:

- El alto costo inicial, pueden costar hasta 5

veces más que una lámpara fluorescente.

- Pocas opciones de calidad y distribución en el mercado comparado con las tecnologías tradicionales. De las opciones disponibles, no todas cumplen con los estándares de rendimiento y eficiencia que anuncian.
- Mala consistencia de color y uniformidad. La mayoría de los LED de color blanco frío tienen espectros que difieren significativamente de aquellas de fuentes de luz tradicionales. En esos casos, los propietarios tienen que invertir aun más dinero en LEDs de alto rendimiento de color, que llegan a rendimientos de hasta 95 de IRC.

Los rendimientos de eficiencia lumínica y la cantidad de calor sensible  $Q_s$  que disipan, se presentan en la tabla 22.

Tipo	Eficiencia en lm/W	Eficiencia promedio en %	Calor disipado total en %	Vida útil promedio en horas
Lámparas LED integradas	70 - 100	70 - 80	30 - 20	20,000 – 25,000
Tubos LED T5/T8	95 - 140	90	10	30,000 – 50,000

Tabla 22. Eficiencia energética: lámparas LED

Como se puede observar en la tabla anterior, los factores de eficiencia para lámparas compactas ronda en un 70 a 80%; el resto de la potencia será transformado en calor sensible; esto es equivalente a un 1/3 o 1/5 parte del total. Por ejemplo, para un foco LED de 12 W esto sería una cantidad de 2.4 W, lo que relativamente sería una carga muy baja de calor.

Ahora bien, hay que tener en cuenta también la cantidad de LEDs que contienen los equipos, ya que para alcanzar niveles de iluminación altos, se

requieren equipos con una gran densidad de chips en la misma cantidad de área. Una mayor densidad de chips, se traduce en una mayor cantidad de calor que los equipos disiparán al ambiente.

Una vez aclarado lo anterior, para el cálculo de la ganancia térmica por iluminación de tipo LED, se presenta la fórmula siguiente (ec. 12)

$QS_{ij} = \text{Potencia de la lámpara} * \text{Factor de potencia} * \text{No. Lámparas}$
$QST_{ij} = \square Q_{sil1} + Q_{sil2} + \dots$

Ec. 12 Cálculo de la carga térmica para L. LED

#### 4|2.2.2 Fuentes de luz natural

Los sistemas de iluminación (natural o artificial) son una parte imprescindible de cualquier proyecto, ya que son una parte fundamental para la habitabilidad de los espacios interiores.

En la actualidad, se han publicado ya muchos estudios relacionados con las propiedades de la luz y el efecto que ésta provoca en el hombre tanto biológica como psicológicamente, independientemente de la calidad y el confort visual que pueda proporcionarnos.

Uno de los objetivos del diseño en iluminación es proporcionar variedad visual con contrastes de brillo controlados; el confort visual requiere de cambios moderados. Por otro lado, la monotonía visual con pocos contrastes causa fatiga y sobre estimulación.

En general, falta labor y enseñanza para que estos criterios puedan ser implementados por los arquitectos y diseñadores incluyendo en las reglas de concursos como el SDE.

### Ventanas

Las ventanas en el diseño de iluminación se consideran fuentes de luz natural. Éstas se crean por la sustracción de vanos en la sección opaca de la envolvente arquitectónica; pueden quedar libres o cubrirse con materiales transparentes a la luz.

Las ventanas pueden clasificarse de diferentes maneras, por ejemplo: de acuerdo su posición: vertical, inclinada u horizontal; o por el sistema de iluminación al que pertenecen: iluminación lateral (fachadas), iluminación cenital (techo) o iluminación combinada (ambos en el mismo espacio); ver figuras 46.1-3.

La cantidad de luz se puede estimar a través de la disposición y dosificación del área de ventanas, concepto de diseño conocido como fenestración;



Fig. 46.1 Iluminación lateral

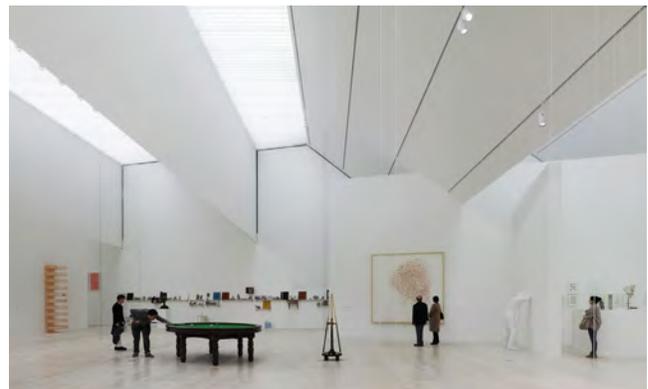


Fig. 46.2 Iluminación cenital



Fig. 46.3 Iluminación combinada

puede ser por área de ventana ( $m^2$ ) o por porcentaje (%) en área de fachada.

La cantidad y calidad de la luz se verá influida por la orientación de las aberturas. La proporción del área de ventana y su ubicación dependiendo de la altura y orientación impactará directamente en el número de horas de luz que entrará a lo largo del año. Obviamente, también se deberán tomar en cuenta aspectos como las ganancias o las pérdidas térmicas a lo largo del día y en diferentes estaciones; por ejemplo, entre más área de ventana tenga una fachada que recibe pocas horas de sol, más rápida será la pérdida de calor por conducción a través de los vidrios, sobre todo si no se eligen los adecuados.

#### **Estrategias relacionadas con el uso de luz natural:**

- Condición de la latitud, la orientación y el emplazamiento.
- Efecto de las características del acristalamiento.
- Diseño y disposición del sistema de sombreado.
- Efecto de la reflectancia de las superficies internas.
- Condición de la altura de la ventana y del techo.
- Efecto de la altura de las divisiones interiores y el mobiliario.

#### **Diseños básicos para ventanas**

El tamaño de la ventana determina la cantidad de luz que se puede introducir, pero es la altura la que determina el alcance y la incidencia que tendrá finalmente. Por esta razón, la altura de la ventana es uno de los factores más determinantes; cuando es adecuadamente alta, más profundo puede penetrar la luz en la habitación y también evita que el brillo exterior provoque deslumbramiento directo a la altura de los ojos.

La luz de entrada alta se dispersará mediante un diseño adecuado de las superficies interiores, las interreflexiones que se generan hacen que los patrones de brillo se vuelvan más uniformes; por lo tanto la visibilidad y el confort serán mejores.

La iluminación natural y la generación de vistas no necesariamente van conjuntas; éstas se pueden conseguir por medio de diferentes aperturas. Los criterios para lograr una vista agradable al exterior pueden discrepar de los requerimientos para una iluminación saludable. Aunque a veces son deseables los grandes ventanales, la necesidad básica de las personas de tener una vista del exterior se puede satisfacer con aperturas relativamente pequeñas.

El problema principal de colocar las aberturas al mismo nivel que el plano de trabajo, es que se producen contrastes excesivos de luminancia entre el plano y las superficies interiores adyacentes. En fachadas con incidencia directa el contraste es intenso e incómodo, provocando deslumbramientos indirectos.

Para lograr transiciones suaves y controladas, se usan estrategias que involucran el uso de rematamientos, balcones, jambas extendidas o

redondeadas, etc. Estos diseños proporcionan una zona de luminancia intermedia que suaviza el cambio (figura 47).

Las jambas de la ventana hacen la función de repisas que reflejan la luz indirectamente hacia el interior. Usar pintura blanca alrededor de las ventanas o colgar persianas son otras medidas para reducir el nivel de contraste de luminancia.

### Criterios de fenestración de ventanas

Ubicar las ventanas en un solo lado de un espacio es el criterio más usual de fenestración. Para lograr una iluminación útil en toda la habitación, el criterio empírico más sencillo es limitar la profundidad de la habitación; deberá ser al doble de la altura desde el nivel del piso a la altura de la ventana de la habitación. Como ejemplo, si la altura del filo de la ventana es de 3 metros, la profundidad óptima del cuarto no deberá ser mayor a 6 metros, de lo contrario la profundidad del cuarto provocará contrastes incómodos para la vista (figura 48.1-2).

Esta relación de 1:2 puede ampliarse hasta 2:5, siempre y cuando la reflectancia de las superficies interiores sean altas y estén debidamente controladas. Si se exceden, estas proporciones, las



Fig. 48.1 Habitación proporcionada



Fig. 48.1 Habitación profunda

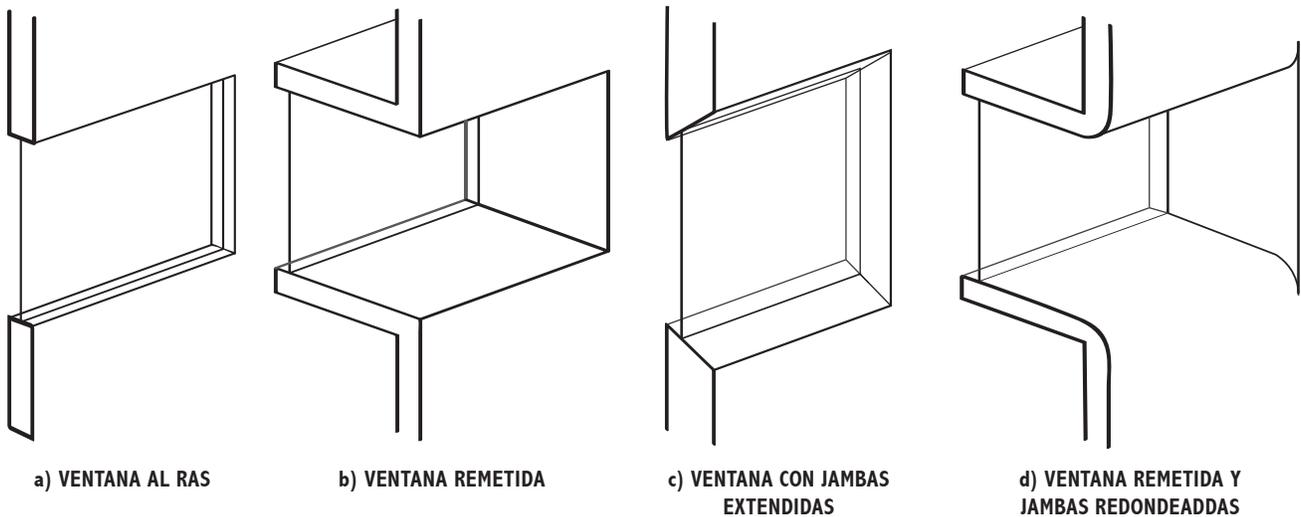


Fig. 47 Ventanas<sup>46</sup>

personas sentadas en la parte más profunda de la habitación sentirán que reciben luz insuficiente, incluso si cuentan con la iluminación eléctrica adecuada (fig. 49).

Las ventanas orientadas en lados opuestos de la habitación duplican la profundidad posible de la habitación para el aprovechamiento de la luz, de las

cuales una podría colocarse en la parte superior del muro. La cantidad de luz será casi igual que si ambas tuvieran la misma área, con el beneficio adicional de reducir las cargas térmicas y la posibilidad de deslumbramientos (Fig. 50).

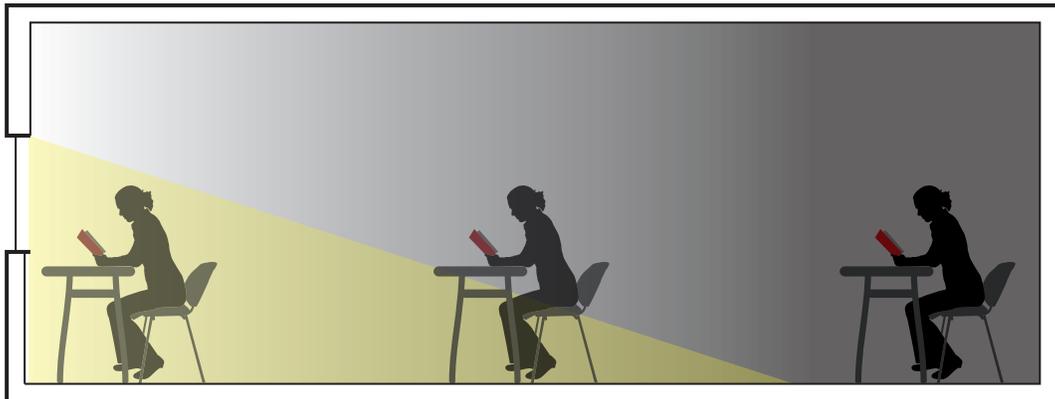
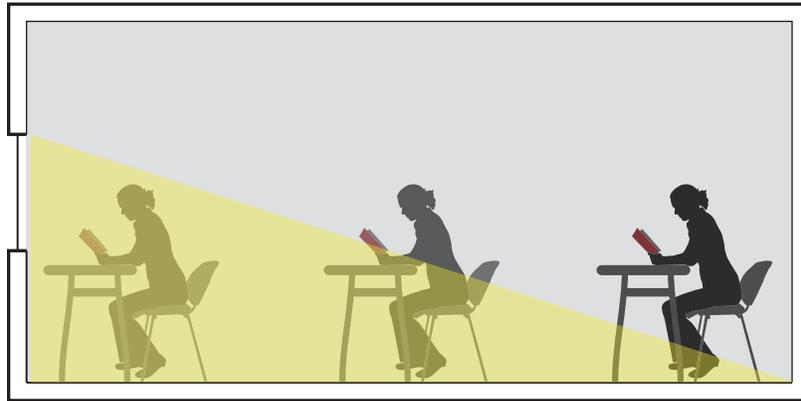


Fig. 49 Iluminación y la proporción del espacio (comparación)

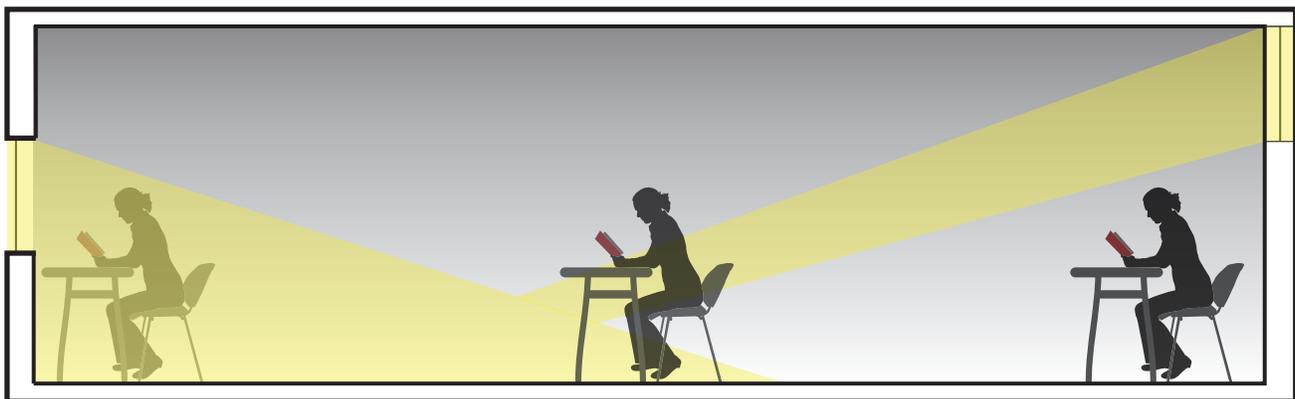


Fig. 50 Iluminación lateral doble

## Tragaluces

Los tragaluces o “skylights” (en inglés) son aperturas horizontales que permiten la entrada de luz cenital, la cual, es principalmente luz difusa procedente de la bóveda celeste. Cuando estas aperturas atraviesan varios niveles subsecuentes, se convierten en patios o pozos de iluminación.

El Fulton Center de Nueva York es uno de los mejores y más grandes ejemplos que existen; su diseño aprovecha al máximo las posibilidades de luz gracias a su planificada geometría y la implementación de materiales que dispersan la luz por todo el espacio (fig. 51 y 52).

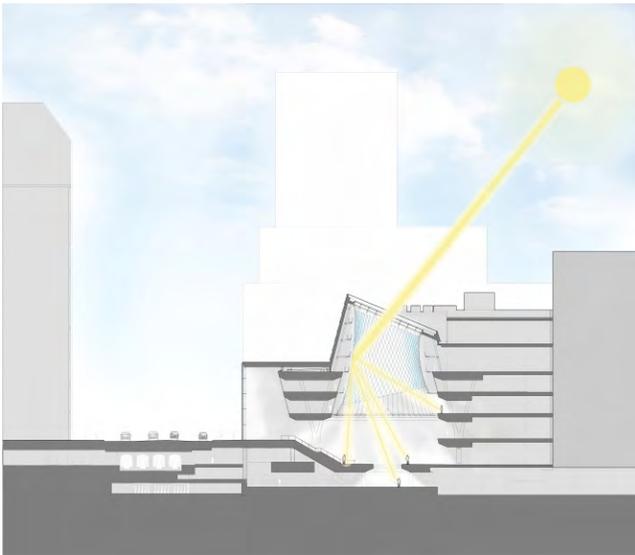


Fig. 51 Fulton Center, N.Y.

Los tragaluces se pueden diseñar en una gran variedad de formas y con diferentes materiales: vidrio transparente, estampado, tintado o translúcido, diferentes tipos de plásticos que son capaces de transmitir y dispersar los rayos de luz. Para la elección de un material u otro, deberá tomarse en cuenta las características de transmisión espectral, así como las propiedades térmicas.

Los sistemas de tragaluces planos frecuentemente sufren de problemas de drenaje y acumulación de suciedad, por esa razón resultan mejor los sistemas con pendiente, abovedados o curvos, ya que mitigan estos inconvenientes.

Dependiendo de los requisitos de la habitación, se especifica la ubicación, el tamaño y los materiales del tragaluz. Las especificaciones van desde protecciones de sombreado hasta materiales altamente difusos para controlar la intensidad del brillo, mitigar la radiación ultravioleta, los deslumbramientos y los reflejos indirectos, etc., sobre todo para orientaciones con incidencia directa (fig. 53).

Otro sistema recurrente para captar la luz natural son los llamados “dientes de sierra”; poseen todos los atributos de los tragaluces, con la ventaja de que pueden orientarse hacia donde mejor convenga (fig.



Fig. 52 Museo Británico, Londres

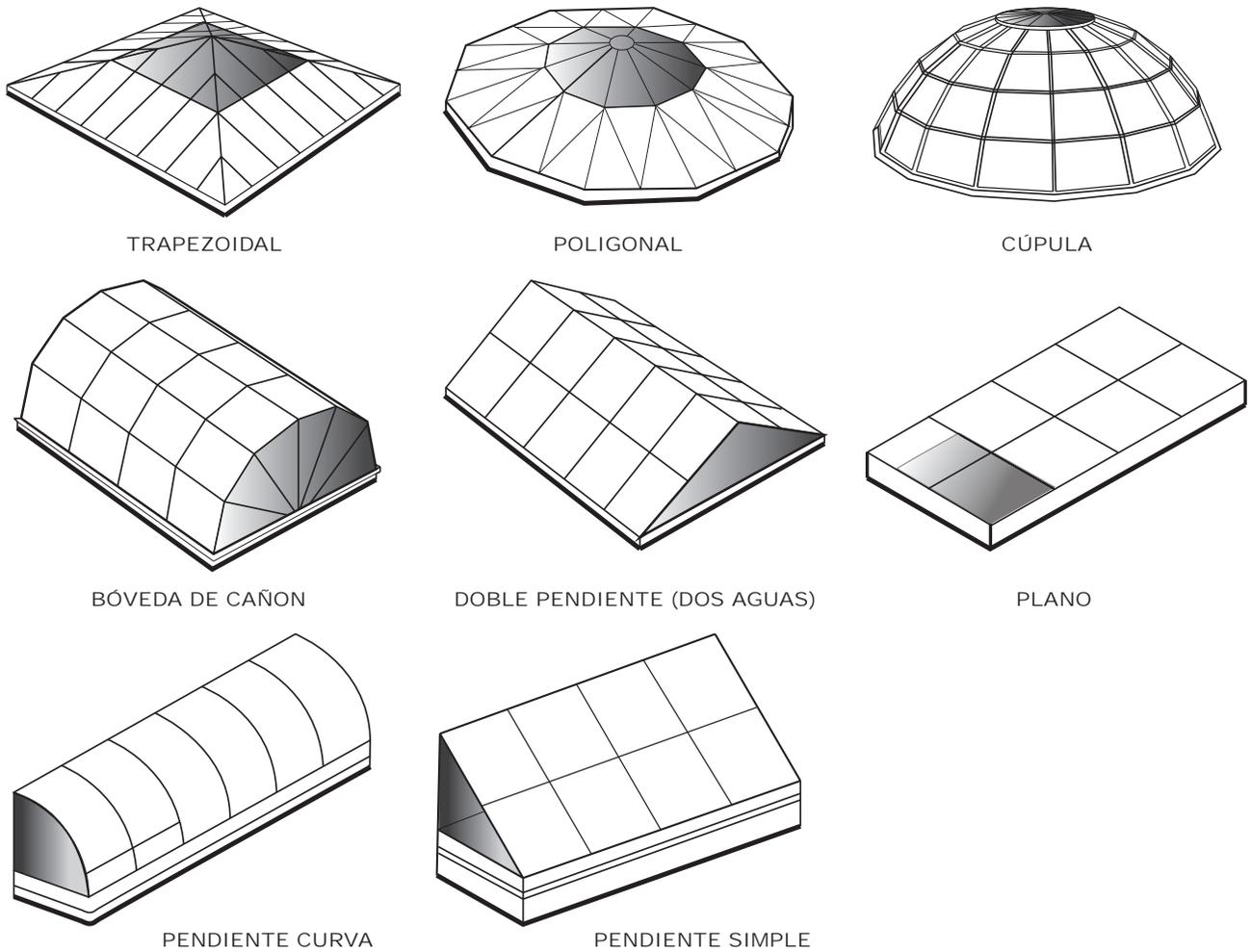


Fig. 53 Tipos de tragaluces

54). Cuando se colocan a una distancia conveniente de las ventanas se compensan las limitaciones de profundidad del espacio. Éste es el caso de edificios antiguos anteriores a los sistemas de iluminación eléctrica, por ejemplo, la mayoría de las iglesias.

Los dientes de sierra pueden combinarse con todas las estrategias y tratamientos antes mencionados, particularmente cuando su disposición u orientación se ve forzada por cuestiones de emplazamiento y/o ajenas al proyecto, como las colindancias. Un ejemplo, es cuando se combinan con estantes de luz; se captan y se reflejan grandes cantidades de luz hacia el techo, a la vez que se bloquea la vista de los rayos directos del Sol (fig. 55).

Para suministrar la cantidad de luz necesaria, es recomendable sembrarlos en una serie paralela, sobre todo, si los espacios son extensos y el techo es proporcionalmente bajo. Los dientes de sierra y los monitores de techo son los sistemas más usados

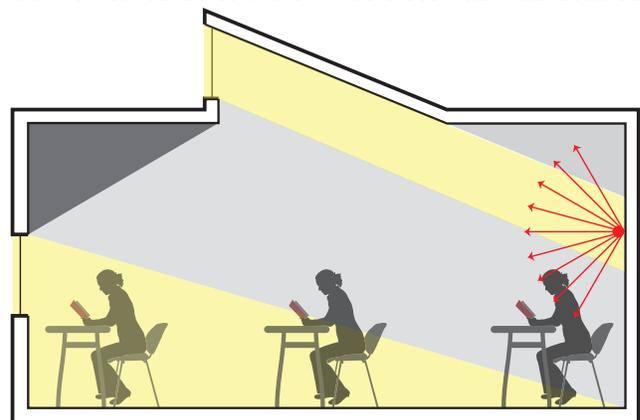


Fig. 54 Sistema de diente de sierra con ventana

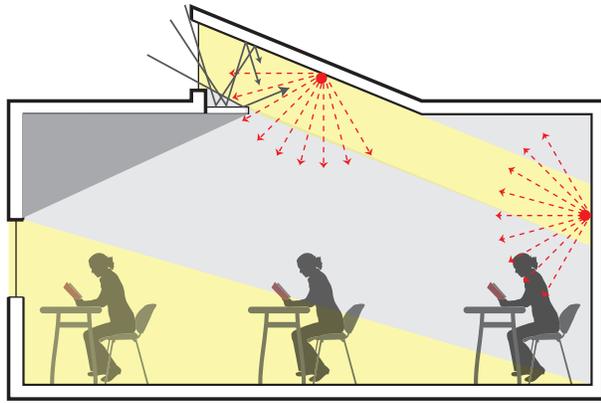
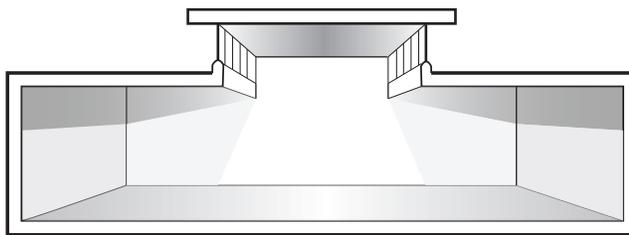
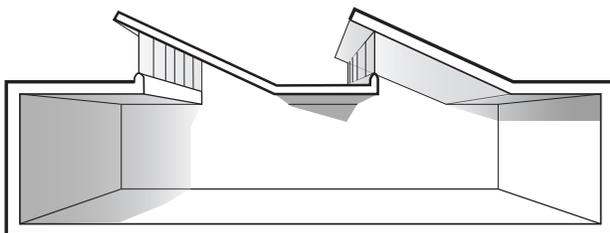


Fig. 55 Sistema de diente de sierra con estante reflejante

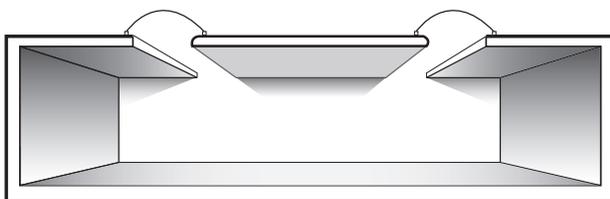
para este fin (fig. 56). Si el espacio para sembrar los tragaluces necesarios es limitado, el último recurso para maximizar la luz será implementar acabados altamente reflectantes y difusos en el techo y paredes adyacentes.



Monitores de techo



Dientes de sierra (sawtooth)



Domo arco cañon

Fig. 56 Sistemas de captación de luz cenital

## Dispositivos de Sombreado

Los sistemas de sombreado, son una estrategia que se emplea para dosificar la entrada de luz, evitar ganancia térmica y reducir el deslumbramiento, limitando las direcciones de los rayos en el campo de visión. Existen diferentes tipos de sistemas; en general se pueden clasificar de las siguientes maneras: 1) Por su posición: interiores y exteriores, 2) Por su movimiento: fijos (o estáticos) y móviles.

**Sombreado interior.** Se instalan por la parte posterior de los vidrios, reflejando parte de la radiación ultravioleta e infrarroja de vuelta al exterior, reduciendo la ganancia de energía del Sol hasta en un 60 u 70%. Los sistemas que entran en esta clase son: cortinas y persianas, que a su vez se consideran dispositivos móviles, y velarías (textiles tensados), los cuales en su mayoría son dispositivos fijos, pero pueden tener una estructura retráctil (fig. 57 a-d).



a. Cortinas



b. Persianas



c. Velar



d. Velar

Fig. 57 Dispositivos de sombreado interior a-d

**Sombreado exterior.** Los dispositivos de sombreado exterior trabajan más eficientemente y pueden reducir las ganancias hasta en un 90%, pero son

más caros de instalar y mantener. En los climas cálidos, los costos se amortizan más rápido gracias a los ahorros de energía en aire acondicionado. En esta clase se encuentran principalmente los parasoles (o louvers) horizontales y verticales, que pueden ser fijos o móviles (fig. 58 a-d).



a. Combinación parasoles fijos verticales y horizontales



b. Fachada de louvers fijos



c. Louvers móviles



a. Louvers verticales



d. Parasoles plegables



b. Louvers horizontales

Fig. 58 Dispositivos de sombreado exterior a-d

**Sombreado fijo o estático.** Son los dispositivos más sencillos y menos costosos, pero también son los menos eficientes porque no responden a los cambios diarios y estacionales (fig. 59 a-b).

**Sombreado móvil.** Son dispositivos que se pueden ajustar para los diferentes cambios estacionales, e incluso, para las condiciones del cielo a lo largo del día. Son los más eficientes, pero su costo inicial es mucho mayor dependiendo de su tecnología.

Estos sistemas también requieren de un operador,

Fig. 59 Dispositivos de sombreado exterior a-d

de controles mecánicos o de sensores inteligentes que respondan automáticamente a las necesidades, pudiendo incluso ser programables, como por ejemplo el “Kiefer Technic Showroom”, en Austria (fig. 60).

### Acristalamiento en ventanas y control de radiación infrarroja

Los edificios con grandes porciones de fachada transparente, tienen el inconveniente de captar excesivamente la radiación solar. Por ejemplo, los vidrios claros ordinarios, tienen el inconveniente de no poder filtrar ciertas partes del espectro solar; transfiriendo grandes cantidades de radiación



Fig 60 Sistema de sombreado móvil

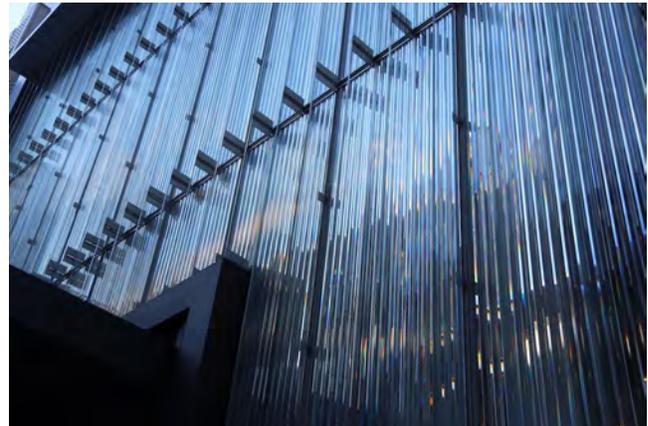
infrarroja y ultravioleta, dañina para la mayoría de los objetos.

Un edificio diseñado adecuadamente para la iluminación natural, rechaza la mayor parte del espectro directo del Sol pero admite el suministro de la luz indirecta. Del mismo modo que se puede controlar la luz, hay varias maneras de controlar el calor radiante del Sol: permitiendo ser captado o rechazado según la temporada del año.

Buscar la mejor orientación, deberá ser la **primera estrategia** para administrar la cantidad de radiación necesaria, porque los rayos del Sol inciden con una intensidad variable a lo largo del año. El tamaño de las secciones transparentes, son el factor conjunto que impacta en la ganancia por radiación solar; en fachadas completamente acristaladas se crea el efecto invernadero, indeseable durante la temporada más caliente.

Entre los materiales usados para las secciones transparentes, están principalmente el **vidrio, el policarbonato y el acrílico**. Estos a su vez, están disponibles en diferentes formas y colores, acabado prismático, capaz de controlar la refracción interna del material; y con propiedades ópticas y térmicas particulares (fig. 61 a - d).

Cualquiera de estos materiales puede tintarse en diferentes colores: tonos gris, humo, opalino (blanco



a - b. Vidrio prismático (Baccarat Hotel & Residences, NY)



c. Cubierta de Acrílico ("sheremetyevo train station", Moscú)



Cubierta de policarbonato ("Technion sport center", Israel)

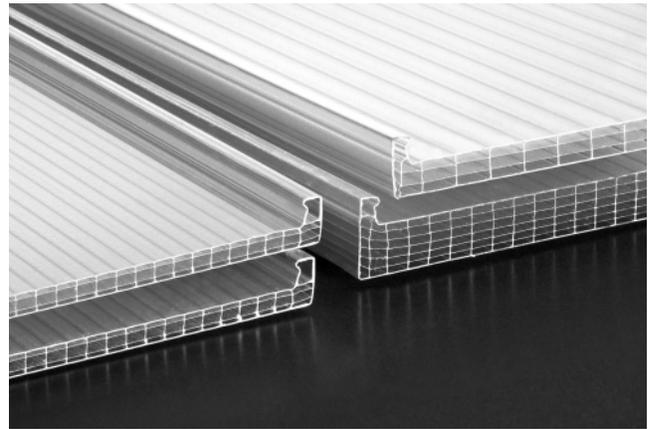
Fig 61 Sistemas de acristalamiento, a - d

lechoso), cálidos, neutros o fríos, etc. Cada variante tiene sus propiedades particulares de transmisión de luz, conductividad y absorción térmica, al mismo tiempo que conservan la transparencia al espectro visible (fig. 62).

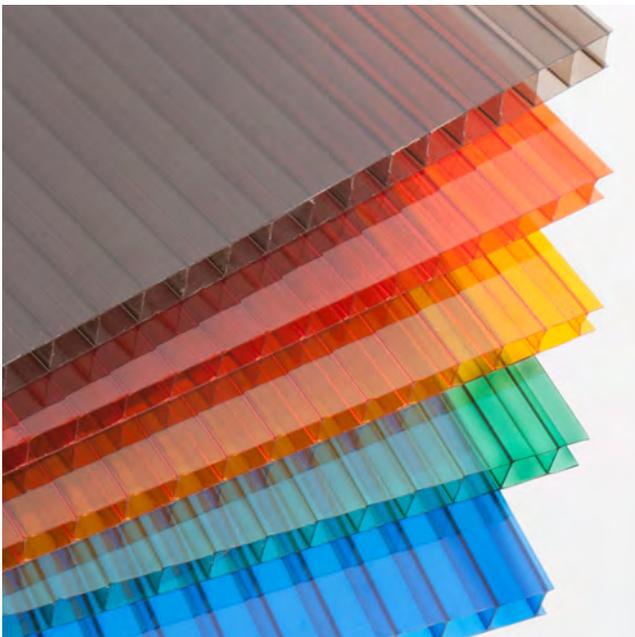
Debido a su resistencia a la abrasión, el vidrio es el material preferido para las fachadas, pero requiere tratamiento especial de seguridad contra roturas; mientras que el acrílico y el policarbonato suelen ser la mejor opción para domos y tragaluces, además de que son ligeros.



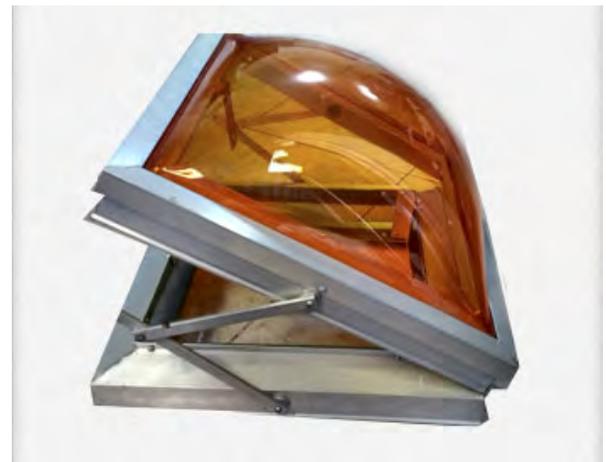
b. Policarbonato opalino



c. Láminas de acrílico celular multipared



a) Láminas de acrílico de colores



d. Policarbonato tono cálido

Fig. 62 Acabados de color en materiales transparentes

## Referencias

- (36) Auliciems, Andris, and S. V. Szokolay. PLEA 3 Thermal Comfort, 6
- (37) NCD-RisC. Consultada en noviembre del 2016. <http://ncdrisc.org/country-profile.html>
- (38) INEGI. Consultada en noviembre del 2016. <http://www.beta.inegi.org.mx>
- (39) ANSI/AHSRAE Standard 55-2004, 15
- (40) UNE- EN ISO 8996:2005, 5
- (41) Basado en: NTP-1011:2014, 4
- (42) Basado en: NTP-1011:2014, 2
- (43) Basado en: NTP-1011:2014, 3
- (44) Victorio S., and Raúl O. Barreneche. Acondicionamiento térmico de edificios, 411
- (45) Traducido de: Gordon, Gary. Interior lighting for designers, figura 12.1, 126
- (46) Traducido de: Gordon, Gary. Interior lighting for designers, figura 8.1, 75

## Referencias imágenes

- Fig. 40.2 <https://www.sapol.pt/pt/not%C3%AD-cias/312-fim-lampadas-halogeneo.html>
- Fig. 41 <http://bulbsplus.net/lighting/wp-content/uploads/2015/10/fluorescent-lamp-shapes.jpg>
- Fig. 42 [http://luxmielelectric.com/?page\\_id=63](http://luxmielelectric.com/?page_id=63)
- Fig. 44 <https://www.bulbamerica.com/products/philips-enduraled-12w-120v-par30-dimmable-soft-white-3000k-light-bulb>
- Fig. 45 <http://art-foto.info/tubo-led-philips/chollo-tubo-led-de-philips-de-20w-por-slo-1799-beautiful-tubo-led-philips/>
- Fig. 46.1 <https://www.formagramma.com/architecture/15448/casa-caja-box-house-s-ar-comunidad-vivex/>
- Fig. 46.2 <http://www.revistacodigo.com/arquitectura/david->

chipperfield-las-10-obras-mas-destacadas-de-su-trayectoria/

Fig. 46.3 [https://www.cruzyortiz.com/?attachment\\_id=8025](https://www.cruzyortiz.com/?attachment_id=8025)

Fig. 48.1 <http://www.lookslikewhite.com/blog/2013/8/25/loft-in-barcelona.html#.W2FGIdIzaM8>

Fig. 48.2 <http://firstfurniture.us/wp-content/uploads/2017/11/jak-z-tu-3-1-udlat-typokojov-s-dvma-dtskmi-pokoji-skrz-jidelni-stul-v-obyvacim-pokoji.jpg>

Fig. 50 Elaboración propia.

Fig. 51 <http://www.jcdainc.com/projects/sky-reflector-net?view=slider>

Fig. 52 <https://www.skyscanner.it/notizie/15-cose-da-fare-londra-gratis>

Fig. 53 Elaboración propia.

Fig. 54 Elaboración propia.

Fig. 55 Elaboración propia.

Fig. 56 Elaboración propia.

Fig. 57.a <http://serevent.club/small-entryway-window-coverings/small-entryway-window-coverings-foyer-home-entry-storage-ideas/>

Fig. 57.b <http://www.thextrema.com/horizontal-blinds-for-patio-doors/figure/cc19/louvers-new-looks-and-new-ideas/>

Fig. 57.d <http://www.eneews.tech/peabody-essex-museum-entrance.html>

Fig. 58.a-d <http://2030palette.org/shading-devices/>

Fig. 59.a-b <http://sc01.alicdn.com/kf/HTB19b6RKXXXXXvX-VXXq6xXFXXS/201080596/HTB19b6RKXXXXXvXVXXq6xXFXXS.jpg>

Fig. 60 Elaboración propia.

Fig. 62.a <http://www.dibujosonline.es/>

Fig. 62.b <https://www.vitromixquiahuala.com/>

Fig. 62.c <http://www.archiexpo.fr/prod/koscon-industrial-sa/product-55451-1306257.html>

Fig. 62.d <http://domytec.com.mx/domo-abatible/>

# 5|

# CONDICIONES DE FRONTERA

## 5 | 1 Vestimenta

5 | 1.1 Estimación del aislamiento térmico de la ropa

5 | 1.2 Conjuntos de vestimenta

## 5 | 2 Envolverte Arquitectónica

5 | 2.1 Sección opaca

5 | 2.2 Sección transparente

## 5| 1 Vestimenta

Para sobrevivir y adaptarse al clima cómodamente, el hombre a lo largo de su historia fue confeccionando y diseñando a sus necesidades una “segunda capa de piel”, conocida como ropa o vestimenta. Esta capa de piel artificial, tiene como funciones principales la protección del cuerpo, la conservación del calor corporal y la protección contra los rayos del sol.

En términos termodinámicos y de confort térmico, la ropa es una condición de frontera que influye directamente en el intercambio de calor entre el cuerpo y el ambiente térmico circundante. Dicho de manera coloquial, la ropa es una capa de aislamiento corporal, y dependiendo de la cantidad que llevemos puesta, nos proporcionará diferentes valores de aislamiento térmico.

La vestimenta es una variable térmica de tipo operativo, es decir, es una condición individual que puede aplicar a un solo individuo o a un grupo particular. En los estudios a gran escala para la elaboración de modelos de confort térmico, se toman en cuenta los hábitos de la manera de vestir de la población de estudio, dando como resultado “niveles de arropamiento tipo” que corresponden a la vestimenta local.

Desde hace varias décadas, los resultados de dichos estudios han servido para la creación de estándares y normas relacionadas a la comodidad térmica, sobre todo en ambientes de trabajo bajo condiciones extremas. En estas normas se sugiere el uso de prendas de ropa especiales: guantes, calzado, conjuntos de ropa; así como los tiempos máximos de exposición a dicho ambiente (fig. 63).

Actualmente, la implementación de estas normas ha ido cobrando más importancia, gracias a la creación de los sistemas de certificación para edificaciones

como LEED o WELL. Wsta última, es considerada como la primera certificación del mundo centrada exclusivamente en la salud y el bienestar de los usuarios.



Fig. 63.1.2 Conjuntos de vestimenta en ambientes extremos

### 5|1.1 Estimación del aislamiento térmico de la ropa

El valor de aislamiento de la ropa se puede expresar de varias formas. Sin embargo, para estudios sobre confort térmico se creó una unidad específica, llamada “clo”.

El valor de una unidad clo (1 clo), corresponde a un valor U de  $6.45 \text{ W/m}^2\text{K}$ , que a su vez equivale a un valor R de  $0.155 \text{ m}^2\text{K/W}$  (tabla #). En términos prácticos, ese valor representa a una persona con un conjunto de ropa equivalente a un traje de vestir

completo: ropa interior (algodón), pantalón, camisa y saco o chamarra ligera. Tabla 23.

Clo		Conductancia		Resistencia
1 clo	=	6.45 W/m <sup>2</sup> K (SI)	=	0.155 m <sup>2</sup> K/W (SI)
		1.14 BTU/ ft <sup>2</sup> h°F/Btu (US)		0.88 ft <sup>2</sup> h°F/Btu (US)

Tabla 23. Valor equivalente unidad de “clo”

El aislamiento proporcionado por un conjunto de ropa se puede determinar por una variedad de métodos que pueden ser experimentales (maniqués térmicos, fig. 64) o de fuentes bibliográficas de normas o estándares. El estándar ASHRAE-55 es la fuente más especializada y consultada para este fin, abarcando a los ambientes controlados, estudios en sitio y/o en ambientes no controlados.

Cabe aclarar que, para espacios interiores con actividades casuales, no se recomienda aplicar en los casos de estudio conjuntos de aislamiento superiores a 1.5 clo; tampoco considerar prendas especiales que sean altamente impermeables a la transferencia de humedad (por ejemplo, ropa de protección química o equipo de lluvia), según el estándar ASHRAE-55.

Para hacer un cálculo estimado de aislamiento con los valores tabulados en el estándar ASHRAE-55, existen tres métodos que van en orden de precisión. También puede optarse por aquel que mejor se adapte a las necesidades del caso de estudio.

**Método 1.** En la tabla B1 del estándar (tabla 24), se enumeran una variedad de conjuntos de ropa preestablecidos. Si el conjunto del caso de estudio concuerda convenientemente con uno de los



Fig. 64 Maniqué térmico

conjuntos de dicha tabla, se usa el valor indicado. Los conjuntos de la tabla B1, se organizan en seis estilos de vestir: con pantalones, shorts, vestido, overol, deportivo y para dormir.

**Método 2.** De los valores de las prendas individuales presentados en la tabla B2 del estándar, se pueden sumar o restar valores a los conjuntos de la tabla B1, alternativa viable cuando los conjuntos dieran en una o dos prendas a los preestablecidos. Por ejemplo, si se agrega un fondo de ropa interior largo al ensamble 5) de la tabla B1; el aislamiento del conjunto resultante se estima como  $I_{cl} = 1.01 \text{ clo} + 0.16 \text{ clo} = 1.17 \text{ clo}$ .

Se descartó la aplicación de los métodos 1 y 2, para plantear y adaptar regionalmente los conjuntos de vestimenta “tipo” al caso de estudio del presente trabajo.

Tabla 25. Aislamiento térmico de diferentes prendas de vestir<sup>47</sup>

Prenda	Valor clo	Prenda	Valor clo
Ropa interior			
Trusa	0.04	Panties	0.03
Playera pijama manga larga	0.20	Brasier	0.01
Pantalón pijama	0.15	Fondo largo	0.16
Calzado			
Calceta tobillera	0.02	Calcetines	0.03
Sandalias	0.02	Calceta larga o calcetín grueso	0.06
Zapatos medios	0.04	Zapatos ligeros	0.02
Botas o zapatos gruesos	0.10		
Playeras			
Blusa o playera ligera	0.12	Playera manga larga gruesa	0.34
Camisa deportiva de manga corta	0.17	Camisa de manga larga de franela	0.34
Blusa o camisa manga corta media	0.19	Sudadera media	0.34
Camisa o blusa de vestir manga larga	0.25		
Pantalones			
Shorts cortos ligeros	0.06	Pantalón de pana o mallón térmico	0.28
Short o bermuda	0.08	Overol casual	0.30
Pantalones delgados	0.15	Overol completo de trabajo	0.49
Pantalones gruesos	0.24		
Sacos, suéteres y chalecos			
Chaleco delgado	0.10	Saco de abotonadura simple delgado (apertura alta)	0.36
Chaleco grueso	0.17	Saco de abotonadura simple grueso (apertura alta)	0.44
Prenda	Valor clo	Prenda	Valor clo

Suéter delgado	0.25	Saco de abotonadura doble o cruzada delgado (apertura baja)	0.42
Suéter grueso	0.36	Saco de abotonadura doble o cruzada grueso (apertura baja)	0.48
Faldas y vestidos			
Falda delgada	0.14	Vestido sin mangas grueso (tela de vestir)	0.27
Falda gruesa	0.23	Camisola larga de manga corta ligera	0.33
Vestido casual sin mangas (apertura baja)	0.23	Vestido largo de manga larga (grueso)	0.46
Vestido casual ligero	0.29	Camisola larga de manga larga gruesa	0.47
Ropa de dormir y batas			
Vestido de dormir corto sin mangas (delgado)	0.18	Piyama de manga larga delgada	0.42
Vestido de dormir largo ligero	0.20	Piyama de manga larga gruesa	0.57
Bata de hospital manga corta	0.31	Bata larga gruesa de manga larga	0.69
Bata corta de dormir con manga corta	0.34	Bata larga gruesa de manga corta	0.48

**Método 3.** Se puede definir un conjunto “tipo” de ropa a partir de una combinación de las prendas individuales listadas en la Tabla B2 del estándar (tabla 25). El nivel de aislamiento del conjunto se estima haciendo la sumatoria de dichos valores individuales.

Por ejemplo, el aislamiento de un conjunto de tipo “ligero” (supuesto para el caso de estudio), que consiste en: 1) ropa interior =0.06, 2) playera o blusa =0.12, 3) pantalón ligero falda =0.24 y 4) zapatos o tenis medios =0.04; suma un valor total de  $I_{cl} = 0.46$ . Como parte del proceso de adaptación; también se consideró una prenda extra que las personas intercambian a lo largo del día: 5)

suéter, sudadera o chamarra media =0.35 clo.

Por lo tanto, el valor posible del aislamiento total es:

$$I_{cl} = 0.46 + 0.35 = 0.81 \text{ clo.}$$

Cabe resaltar que, para algunos casos prácticos, también se toma en cuenta el aislamiento proporcionado por el tipo de asiento. Una postura sentada da como resultado un valor de aislamiento térmico menor debido a la compresión de las capas de aire en la ropa, pero se compensa con el aislamiento proporcionado por la superficie del asiento.

Este ajuste en el nivel de aislamiento, solo se

recomienda si hay certeza en cuanto al tipo de silla y/o si la actividad de una persona incluye sentarse. Los valores de aislamiento que se pueden considerar por el asiento son:

\*Válido para conjuntos de ropa con valores de aislamiento de  $0.5 \text{ clo} < I_{cl} < 1.2 \text{ clo}$

Como puede observarse en la tabla anterior, para muchos tipos de sillas, el efecto de sentarse es

Silla tejida con tramas espaciadas, de materiales delgados, plástico y/o metal	0.0 clo
Silla de oficina estándar (acojinada)	0.10 clo
Silla ejecutiva o sillón (totalmente tapizada)	0.15 clo

un cambio mínimo en el aislamiento de la ropa. Los datos tabulados arriba, se pueden usar para ajustar el aislamiento de la ropa calculado, usando cualquiera de los métodos anteriores; por ejemplo, el aislamiento de la vestimenta para una persona que usa el conjunto 3 de la Tabla B1 y sentado en una silla ejecutiva es de  $0.96 \text{ clo} + 0.15 \text{ clo} = 1.11 \text{ clo}$ .

## 5|1.2 Conjuntos de vestimenta

Para el caso de estudio, se tomaron en cuenta dos variables relevantes que son ajenas al diseño arquitectónico: la **actividad metabólica y el aislamiento térmico por vestimenta**, debido al efecto que tienen sobre la sensación térmica. Por esa razón, se pensó en describir los criterios de cálculo de cada uno en un apartado propio\*.

El tipo de actividad que se tomó como criterio base fue de tipo “**sedentaria**” ( $60 \text{ W/m}^2$ ), debido a que los participantes sólo se remitieron a estar sentados leyendo y escribiendo durante la prueba.

En cuanto al aislamiento térmico por vestimenta, se definieron varias tipologías acordes a los conceptos y características regionales de la Ciudad de México, por una parte, para que los sujetos encuestados razonaran plenamente su respuesta en los cuestionarios, y segundo, para que los conjuntos propuestos encajaran con los valores de aislamiento tabulados en el estándar. Otro de los criterios para definir las tipologías, es resultado de la experiencia y observación del autor del presente trabajo; como **habitante y usuario activo del lugar de estudio**.

Las tipologías diseñadas de vestimenta se clasifican en: “**muy ligero**”, “**ligero**” y “**abrigado**”. En la tabla 27 se presenta cada uno de los conjuntos con sus respectivas especificaciones.

La prenda indicada como “adicional”, fue prevista en función de los cambios de vestir, como parte del proceso de adaptación a las condiciones climáticas. Por ejemplo, en el caso de las prendas abrigadoras (suéteres, chamarras, abrigos, etc.), podemos prescindir de ellas en ciertos lapsos o momentos durante del día; haciendo conscientemente un ajuste en el nivel de aislamiento térmico en la vestimenta.

En conclusión, la búsqueda y expresión del confort humano se manifiesta a través de conductas conscientes o inconscientes, inducidas por la sensación térmica, de humedad, el ruido ambiental, el nivel de iluminación y la calidad del aire. Algunos ejemplos son la alteración de la vestimenta, la variación de la actividad (creciente o decreciente), el cambio de postura o ubicación, la apertura o cierre de una ventana, la queja o el abandono del espacio.

Sorprendentemente, aunque los climas, las

<b>Tabla 27. Conjuntos de vestimenta, Caso de estudio</b>			
<b>Muy ligero</b>			
Hombre		Mujer	
Prenda	Clo	Prenda	clo
Trusa/Boxer	0.04	Pantie	0.03
Calcetines	0.02	Brasier	0.01
Playera manga corta	0.12	Calcetas o medias	0.02
Pantalón corto o pants ligero	0.12	Blusa manga corta	0.12
Tenis ligeros o calzado abierto	0.03	Pantalón corto, falda o pants ligero	0.12
-----	-----	Tenis ligeros o calzado abierto	0.03
Clo del conjunto	0.33	Clo del conjunto	0.33
Clo del conjunto + prenda adicional	0.68	Clo del conjunto + prenda adicional	0.68
<b>Ligero</b>			
Trusa/Boxer	0.04	Pantie	0.03
Calcetines	0.02	Brasier	0.03
Player o camisa manga corta	0.12	Calcetas o medias	0.02
Pantalón (mezclilla o vestir)	0.24	Blusa o camisa manga corta	0.12
Zapatos o tenis casuales	0.04	Pantalón (mezclilla o vestir)	0.24
-----	-----	Zapatos o tenis casuales	0.04
Clo del conjunto	0.46	Clo del conjunto	0.46
Clo del conjunto + prenda adicional	0.81	Clo del conjunto + prenda adicional	0.81
<b>Abrigado</b>			
Trusa/Boxer	0.04	Pantie	0.03
Calcetines	0.02	Brasier	0.03
Playera o camisa manga larga	0.25	Calcetas o medias	0.02
Pantalón (mezclilla o vestir)	0.24	Blusa o camisa manga larga	0.25

Botas o zapatos gruesos	0.10	Pantalón (mezclilla o vestir)	0.24
-----	-----	Botas o zapatos gruesos	0.10
Clo del conjunto	0.67	Clo del conjunto	0.67
Clo del conjunto + prenda adicional	1.02	Clo del conjunto + prenda adicional	1.02
*Prenda Adicional			
Suéter, sudadera o chamarra	0.35	Suéter, sudadera o chamarra	0.35

\*El valor clo se estimó con base al valor promedio de los tres tipos de prenda

condiciones de vida y las culturas difieren ampliamente en todo el mundo, la temperatura que la gente elige para su comodidad en condiciones similares de vestimenta, actividad, humedad y movimiento de aire es muy similar (Busch 1992; de Dear et al. 1991; Fanger 1972)

## 5 | 2 Envoltente arquitectónica

En la historia del hombre, cuando este se vuelve sedentario y tiene la necesidad de establecerse en un lugar fijo para dedicarse a las actividades productivas de la tierra, paralelamente, buscó la manera de diseñar y construir espacios para cubrir sus necesidades y asegurar su supervivencia a lo largo del año.

Con la finalidad de adaptarse mejor, a lo largo de miles de años y de manera implícita, el hombre fue adaptando sus aposentos a las inclemencias y bondades del clima del lugar que ocupaba. Delimitando su propio espacio a escala y semejanza, el hombre había creado de nueva cuenta otra piel artificial, “la tercera piel”: la envoltente de sus espacios habitables.

Antes de las revoluciones industriales y el comercio masivo, el hombre sólo disponía de los recursos

locales para sus construcciones. Esta condición lo llevó a “entenderse” mejor con la naturaleza, y especialmente, con su fuente principal de energía: el Sol.

A lo largo del tiempo, fue mejorando sus métodos y materiales de construcción, este conocimiento se heredaba generación tras generación, dándole una identidad particular al lenguaje arquitectónico de aquellos asentamientos, concepto que en la actualidad conocemos como arquitectura vernácula (fig. 65). Este concepto arquitectónico ya contaba con criterios y estrategias bioclimáticas: la masa térmica, la ventilación cruzada, el efecto chimenea y la humidificación del aire, etc.





Fig. 65 Arquitectura vernácula: A) casa tipo maya, México y B) casa tipo trulli, Italia.

Desde el siglo pasado, gracias a los avances científicos y tecnológicos, surge el concepto de la arquitectura bioclimática tal como lo conocemos; llegando hasta la actualidad, donde se busca que la arquitectura sea energéticamente eficiente y confortable.

## 5|2.1 Sección opaca

Para estudios y simulaciones en diseño bioclimático y energético, conviene clasificar las secciones que forman la envolvente arquitectónica en dos grupos: sección opaca y sección transparente. Esta clasificación se basa en la interacción que tienen dichas secciones a energía, principalmente con la energía visible (luz).

Con base en el criterio anterior, podemos establecer que los materiales opacos son aquellos que absorben casi por completo la energía lumínica antes de que logre pasar a través de ellos; es decir, impiden la transmisión de la luz.

Cuando un material tiene la capacidad de absorber la totalidad del rango de energía lumínica incidente, se dice que tiene una cualidad llamada opacidad.

Este fenómeno puede explicarse de la siguiente

manera: cuando la energía radiante interactúa con la materia, intentará transferirse por medio de “paquetes de energía” llamados fotones a distintos niveles energéticos. La transferencia de energía se logra cuando los electrones alrededor del núcleo logran “saltar” entre dichos niveles de energía, gracias a la excitación provocada por los fotones, causando que todos los fotones se absorban dentro del mismo material en el caso de los materiales opacos.

Toda la energía radiante absorbida es finalmente transformada en calor; pero eso no significa siempre un aumento de temperatura; sobre todo en materiales de alto calor específico y también al fenómeno conocido como reflexión óptica. Dicho fenómeno explica la cantidad de energía que no es absorbida, y por lo tanto es remitida hacia la misma dirección.

En conclusión, los materiales opacos son aquellos que no dejan pasar nada del rango espectral de energía visible; por lo tanto gran parte la absorben y otra la reflejan (fig. 66).



a) Biblioteca central UNAM, Ciudad Universitaria, Ciudad de México



b) Plaza comercial av. Tezontle, Iztapalapa, Ciudad de México

Fig. 66 Fachadas con secciones opacas

## 5|2.2 Sección transparente

Ahora bien, si la absorción de energía es el fenómeno que explica que los objetos no dejen pasar la luz, para los materiales transparentes es el caso contrario: los paquetes de energía no son capaces de cambiar de nivel energético a los electrones, causando que el salto que deben dar no sea posible, y por lo tanto casi no son absorbidos.

Aunque la absorción no se lleve a cabo, si hay pérdida de energía durante el proceso de interacción energía-materia, pero no en una proporción apreciable para la vista. Con los materiales transparentes, los fotones atraviesan la materia en búsqueda de nuevos electrones para cederles energía, es decir, materiales que más adelante si “accepten” su energía.

Los **materiales transparentes**, son aquellos que dejan pasar la mayor parte del espectro visible, por lo tanto gran parte la transmiten, un tanto la reflejan y absorben el mínimo (fig. 67). Entre ambas clases de materiales existe un comportamiento intermedio: son materiales que permiten en cierto grado la transmisión de luz pero no de imagen, son conocidos como **translucidos**.



Fig. 67 Aplicaciones de materiales transparentes: Apple Store, N.Y.  
a) fachada exterior, b) vista interior

## Referencias

(47) Traducción de: ANSI/AHSRAE Standard 55-2004, Tabla B2, 19

(48) Traducción de: ANSI/AHSRAE Standard 55-2004, Tabla B3, 20.

## Referencias imágenes

Fig. 63.1 <https://ventiladoresyextractores.com.mx/como-medir-el-estres-termico-y-los-indices-de-temperatura-en-el-aire/>

Fig. 63.2 [http://conalog.org.mx/educacion/desayunos\\_mensuales/2017/agosto/](http://conalog.org.mx/educacion/desayunos_mensuales/2017/agosto/)

Fig. 64 <http://us.aving.net/207292>

Fig. 65.A <http://directorioindispensable.com/directorio-merida-yucatan/descubriendo-merida-yucatan-a-traves-de-su-arquitectura/>

Fig. 65.B <http://www.theartofbeingfashionable.com/Ristrutturare-Un-Trullo.html>

Fig. 66.A <http://cealjuadish12.blogspot.com/2009/12/>

Fig. 66.B [http://www.grupoarquitech.com/arquitectura/centros\\_comerciales/20\\_parque\\_tezontle/index.html](http://www.grupoarquitech.com/arquitectura/centros_comerciales/20_parque_tezontle/index.html)

Fig. 67 <https://moneyinc.com/20-facts-apples-business-downright-scary/>

# **6| PROCESOS DE INTERCAMBIO DE ENERGÍA**

6 | 1 Intercambio de calor

6 | 1.1 Conducción

6 | 1.2 Convección

6 | 1.3 Radiación

## 6|1 Procesos de intercambio de calor

Para poder comprender e interpretar los resultados de las mediciones y la simulación energética del caso de estudio, es preciso repasar las bases teóricas de los procesos de intercambio de energía. Posteriormente, se podrán obtener las respectivas observaciones y conclusiones del comportamiento energético que sucede dentro de los habitáculos.

Es importante destacar que, el diseño bioclimático para arquitectura se hace bajo un enfoque transitorio. Esto quiere decir, que el planteamiento del diseño está proyectado para la variación periódica natural de las condiciones climáticas-energéticas. Lógicamente, estos periodos responden al ciclo diario de 24 horas, pero para lograr un mejor ajuste a la realidad, el diseño arquitectónico debe responder y adaptarse a los periodos estacionarios a lo largo del ciclo anual.

El intercambio de energía es un fenómeno perpetuo: ocurre todo el tiempo y es un proceso natural entre el espacio interior y el ambiente exterior. Respecto a la energía térmica, el intercambio ocurre a través de las siguientes formas: conducción, convección y radiación.

Los flujos de calor están sujetos a la segunda ley de la termodinámica, la cual enuncia (de manera simplificada) que “**la energía térmica siempre fluye de un cuerpo más caliente hacia otro más frío**”; por esta razón, el calor nunca fluye espontáneamente desde un espacio frío hacia uno caliente (fig. 68). Dicha condición define como fluye la energía dentro y fuera de los espacios, siendo la envolvente arquitectónica la frontera entre el exterior e interior.

Gracias a la segunda ley de la termodinámica podemos predecir la dirección del flujo de energía

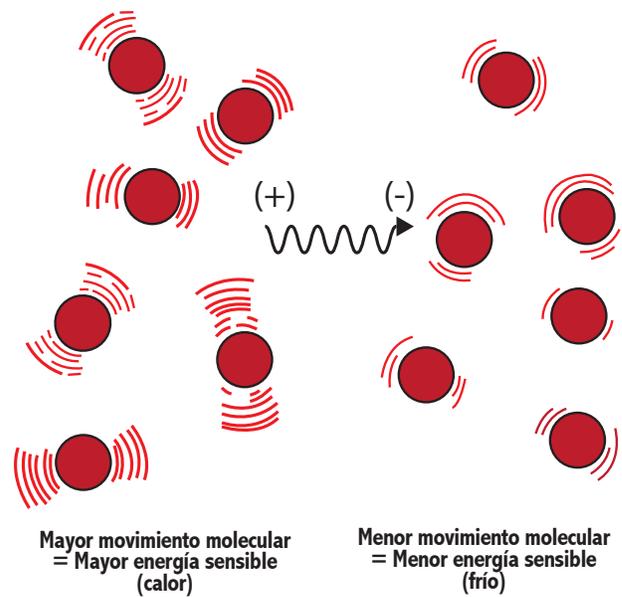


Fig. 68 Conducción térmica molecular<sup>49</sup>

térmica, simplemente conociendo las diferencias de temperatura entre diferentes condiciones de frontera.

En el caso de la envolvente arquitectónica, las ganancias de calor suceden cuando las condiciones ambientales exteriores son térmicamente superiores, como lo son la temperatura del aire y/o la presencia de fuentes de radiación (Sol); por el contrario, las pérdidas térmicas suceden cuando las condiciones térmicas al interior son superiores al exterior.

Cada material que conforma los sistemas constructivos tiene propiedades térmicas particulares; las dos más importantes a considerar son la **conductividad** y el **almacenamiento térmico**. Algunos materiales únicamente operan con calor sensible y otros lo hacen también con calor latente, estos últimos tienen una gran capacidad de almacenamiento térmico.

En resumen, un espacio tenderá a ceder o absorber calor dependiendo de si las temperaturas exteriores son menores o mayores y de la presencia de radiación solar, además de la presencia de vientos, humedad

del aire, entre otras variables atmosféricas.

## 6|1.1 Conducción

La conducción es un proceso de intercambio energético entre dos cuerpos sólidos; para que esto suceda, requieren entrar en contacto sin un tercero de por medio. Esta transferencia de energía sucede en los materiales a nivel molecular. En el caso de los sistemas constructivos sucede de capa a capa, atravesando el espesor de cada respectivo material (fig. 69).

Debido a que el espesor es la dimensión menor de un material de construcción, respecto de su largo y su ancho; la transferencia de energía es unidimensional, es decir, que el sentido de la conducción térmica ocurre a lo largo del eje correspondiente a la dimensión de espesor de los materiales y/o del sistema constructivo, debido al hecho de que una dimensión menor opone menor resistencia al flujo de calor.

Para que el calor llegue al interior de un espacio; primero deberá atravesar todas las capas del sistema constructivo en cuestión, este flujo tarda determinado tiempo y depende de la conductividad (k) del material cuando el sistema constructivo es homogéneo; o del coeficiente global de transferencia de calor (U) cuando se trata de un sistema compuesto por diferentes capas de materiales.

El proceso de conducción de calor obedece a la Ley de Fourier (ec. 13), que establece que el flujo de calor es directamente proporcional al área de la superficie, en este caso, del sistema constructivo, y al diferencial de temperaturas entre las dos caras del elemento, el sistema constructivo, e inversamente proporcional al espesor del elemento, o bien, cada una de las capas del sistema constructivo.

El calor siempre es conducido en la dirección de la cara con menor temperatura sin importar el espesor; el signo negativo en la ecuación asegura el carácter transitorio del calor si el diferencial de temperatura se vuelve negativo cuando dicha temperatura

$$Q_{\text{cond}} = -k * A * (\Delta T/x)$$

Ec. 13 Ley de Fourier (o ley de conducción térmica)

Dónde:

k = Conductividad térmica del material, en W/m K

A = Área de la superficie del material (m<sup>2</sup>)

ΔT = Diferencial térmica entre las caras exteriores del material

x = Espesor del material (m).

decrece si aumenta el espesor “x”.

Una vez que el flujo de calor atraviesa la envolvente arquitectónica, una parte del calor es transferido en forma de radiación infrarroja y otro tanto es transferido al aire por convección. La cantidad de transferencia entre los dos flujos de calor puede variar dependiendo de la temperatura de las superficies y de la temperatura y velocidad del aire, así como de la tasa de renovación del volumen de aire del espacio.

La ecuación 14 describe numéricamente la transferencia de energía térmica global para un sistema constructivo:

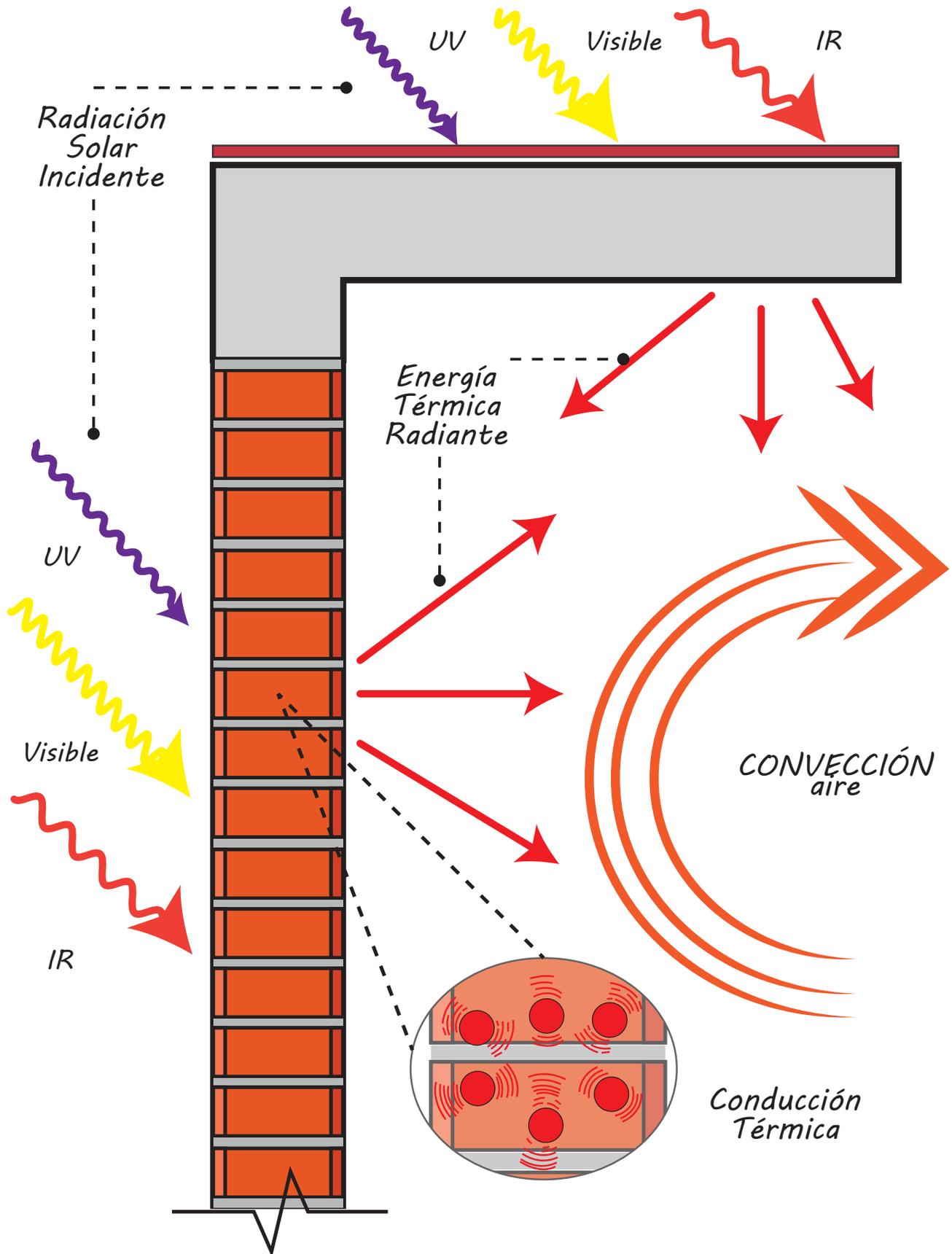


Fig. 69 Conducción térmica en la envolvente

$$Q_{T_{cond}} = U * A * (\theta_i - \theta_e)$$

Ec. 14 Transferencia global de calor por conducción

Unidades:

$$[\text{Kcal/h}] = [(\text{Kcal/h m } ^\circ\text{C}) / \text{m}] [\text{m}^2] [^\circ\text{C}]$$

$$[\text{W}] = [(\text{W} / \text{m K}) / \text{m}] [\text{m}^2] [\text{K}]$$

Simbología:

$Q_{T_{COND}}$  = cantidad de energía térmica que se transmite por conducción

U = coeficiente global de transferencia de calor

A = área de la superficie

$\theta_i - \theta_e$  = diferencial térmico entre las superficies del material;  $T_e$ , se considera como la temperatura sol-aire (también conocida como  $T_{s-a}$ ), y  $T_i$  como la temperatura interior o temperatura del cuarto.

La **temperatura sol-aire ( $T_{sa}$ )**, es un valor que toma en cuenta la temperatura del aire ambiente más el efecto de la radiación incidente (radiación solar global y la radiación reflejada por las superficies circundantes). La inclusión de este concepto se aplica principalmente para las superficies expuestas al ambiente exterior; este complementa el valor de la conductividad térmica, porque dichas superficies se encuentran bajo condiciones de frontera convectiva-radiante (ec. 15).

La  $T_{sa}$  será distinta para cada fachada de un edificio, porque depende de la incidencia solar horaria y diaria de acuerdo a una latitud, (valor G).

La base teórica de este comportamiento es la ley de enfriamiento de Newton, la cual establece que la tasa de transferencia de calor de un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura entre el

$$T_{sa} = T_{amb} + \frac{\alpha * H_t}{h_o} - \frac{\varepsilon * DR}{h_o} = (K)$$

Ec. 15 Temperatura Sol/aire

Donde:

$T_{sa}$  = Temperatura sol-aire

$T_{amb}$  = Temperatura ambiente (TBS)

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman

$$5.6704 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K (SI)}$$

$$0.1714 \text{ 108 Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4 \text{ (US)}$$

$\alpha$  = Absortancia de la superficie

$\varepsilon$  = Emitancia de la superficie.

$H_t$  = Radiación solar global (medida en el plano horizontal)

$h_o$  = Coeficiente de convección mas radiación

DR = (DR=0 superficies verticales)

cuerpo y sus alrededores.

El coeficiente global de transferencia de calor o **valor "U"** no es una propiedad térmica en sí, pero es un valor que se calcula para saber la conductancia térmica de un sistema completo; energéticamente hablando, el valor U describe la densidad del flujo de calor (en  $\text{W/m}^2$ ) por unidad de área. La fórmula para calcular el valor U se presenta en la ecuación 16.

El coeficiente de **conductividad térmica ( $\lambda$ )** es una

$$U = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{hi}}$$

Ec. 16 Valor "U"

Simbología:

U = coeficiente global de transferencia de calor

$h_e$  = coeficiente de aire exterior

$h_i$  = coeficiente de aire interior

$e$  = espesor de la capa de material (homogéneo) en metros

$\lambda$  = coeficiente de conductividad térmica del material

propiedad constante que no depende de la forma o la masa, y no es un valor utilizado directamente para el análisis térmico para edificios, pues no refleja la cantidad de energía transferida por metro cuadrado del sistema constructivo (el área de fachada, por ejemplo). Sin embargo, el valor “ $\lambda$ ” es indispensable para llevar a cabo el cálculo completo del sistema constructivo de referencia, porque se necesita conocer la conductividad térmica de cada capa de material.

En cuanto al coeficiente de transferencia de aire exterior ( $h_e$ ) y el coeficiente de transferencia de aire interior ( $h_i$ ), son conceptos numéricos considerados como capas de aire adheridas a la capa de la superficie del material, las cuales también juegan un

papel termodinámico en la transferencia de calor.

Como podemos observar, los tres modos de transferencia de calor siempre están presentes, combinados en condiciones simultáneas y transitorias.

## 6|1.2 Convección

La convección es un intercambio térmico entre un cuerpo sólido y un fluido circundante (o medio envolvente), que puede ser gaseoso o líquido. En el caso de la envolvente arquitectónica dicho fluido es el **aire atmosférico**, el cual es una masa compuesta por diferentes gases con partículas suspendidas incluidas. Este concepto también es aplicado para referirse al transporte de calor de una superficie a otra por medio de un fluido en movimiento; un ejemplo aplicado, son los intercambiadores de calor de aire, también llamados sistemas recuperadores de calor (fig. 70).

Debido a que siempre estamos rodeados de aire, la convección es un mecanismo de transferencia de

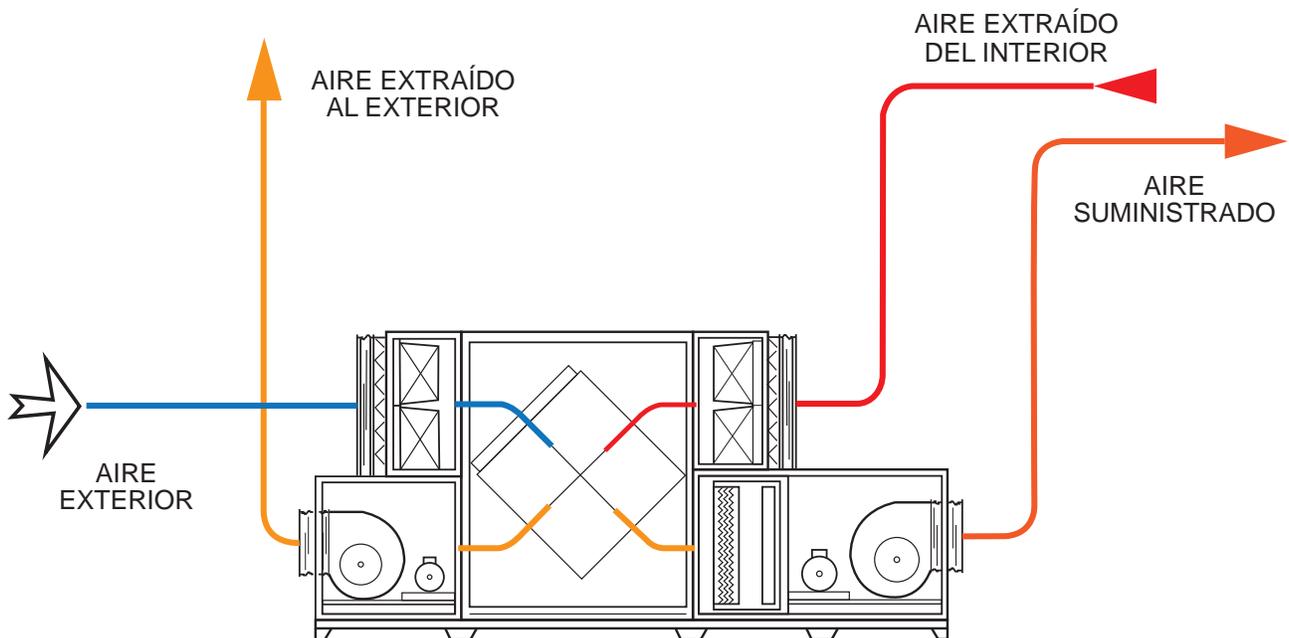


Fig. 70 Intercambiador de calor de flujos cruzados

calor importante. Por esta razón la temperatura, la humedad y la velocidad del aire son un factor trascendente para la STP.

En la convección, el calor es transportado debido al movimiento de la masa del aire ocasionado por las variaciones temperatura y/o presión del mismo. La pérdida o ganancia de calor, está condicionada principalmente por la temperatura de la superficie con la que entra en contacto.

De acuerdo a la ley de los gases perfectos, cuando al aire se calienta expande su volumen y se vuelve menos denso, provocando una estratificación del mismo en diferentes capas que van de la más densa (más fría) a la menos densa (más caliente). Al movimiento de las corrientes de aire por diferenciales térmicas (sin bombas o ventiladores) se le conoce como “**convección natural**”, similar al movimiento de las corrientes marinas ocasionado por las diferencias de temperatura del agua.

Cuando el aire es impulsado por medios mecánicos, como los sistemas HVAC, extractores, bombas, etc., se habla de un proceso de transferencia de calor por **convección forzada**.

Con base en lo anteriormente expuesto, la magnitud de la tasa de transferencia de calor dependerá si el movimiento del aire es por convección natural o forzada. Cabe destacar, que el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada es siempre mayor que el coeficiente de transferencia de calor por convección natural.

La magnitud de la tasa de transferencia de calor depende de:

1. El área de contacto entre el cuerpo y el fluido (en m<sup>2</sup>).
2. La diferencia de temperatura entre la superficie del cuerpo y el fluido (en K).

3. El coeficiente convectivo del aire (en W/m<sup>2</sup>K), el cual depende de la viscosidad, la densidad y la velocidad del aire. Ésta última circunstancia es la que determina si el flujo es laminar o turbulento.

El cálculo de la cantidad de calor que se transmite por convección está regida por la “Ley de enfriamiento de Newton”, dada en la ecuación 17.

El **coeficiente convectivo** o coeficiente pelicular superficial (**hc**) no es una constante física, sino un

$$Q_{\text{conv}} = h_c * A * (T_s - T_f)$$

Ec. 17 Intercambio de calor por convección

Unidades:

$$[\text{Kcal/h}] = [(\text{Kcal/h m}^\circ\text{C}) / \text{m}] [\text{m}^2] [^\circ\text{C}]$$

$$[\text{W}] = [\text{W} / \text{m}^2\text{K}] [\text{m}^2] [\text{K}]$$

Simbología:

$Q_{\text{conv}}$  = cantidad de calor transferido por hora

$h_c$  = coeficiente convectivo promedio de transferencia de calor del aire

$A$  = Área de la superficie en contacto con el aire

$(T_s - T_f)$  = Diferencia de temperatura entre la superficie ( $T_s$ ) y el aire ( $T_f$ )

variable que depende de la viscosidad y la velocidad del aire. Dichas condiciones determinan si el flujo del aire es **laminar** o **turbulento**. El flujo laminar sucede en circunstancias de bajas velocidades, mientras que flujo turbulento ocurre a altas velocidades del aire. Dichos flujos pueden ser horizontales (perpendicular a las superficies verticales, como los muros) o verticales (perpendicular a las superficies horizontales, como los techos), fig. 71.

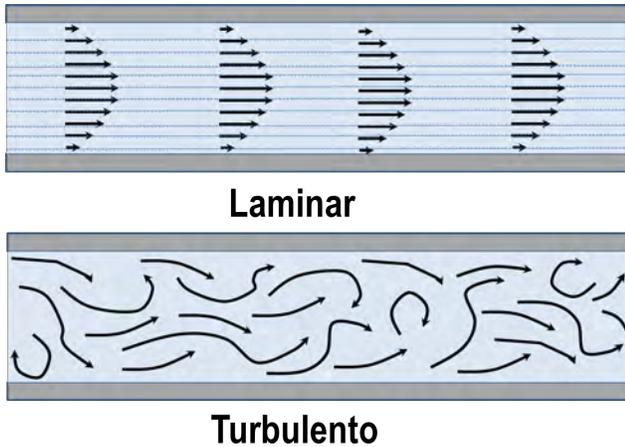


Fig. 71 Flujo laminar y turbulento del aire

La mayoría de los valores de  $h_c$  utilizados son empíricos o avalados por la experimentación y que comprenden el efecto conjunto de convección y radiación, con errores de hasta un 20%.

Resumiendo, el intercambio de calor por convección se produce cuando el aire a cierta temperatura fluye sobre una superficie con distinta temperatura, intercambiando una determinada cantidad de energía.

## Ventilación

La ventilación es un mecanismo de circulación y renovación del aire de un espacio por medios naturales y/o mecánicos. La transferencia energética de este mecanismo es sucedida por el proceso de convección, por lo tanto, el aire es el elemento por el cual funciona la ventilación.

Todos los espacios necesitan ventilación y su diseño puede enfocarse hacia dos propósitos: la **calidad del aire** (evitar la concentración de contaminantes) y la **ventilación de confort** (calentamiento y/o refrescamiento). Este último es el que ocupa el presente trabajo. Existen diversos métodos de ventilación, los cuales pueden clasificarse dos tipos básicos:

1. **Ventilación natural.** Es el sistema de ventilación que aprovecha los fenómenos físicos naturales del entorno del sitio para ventilar un espacio. La impulsión del aire a través los espacios sucede gracias a las fuerzas originadas por las diferencias de presión y temperatura, la dirección e intensidad de vientos, etc.

Para la circulación y renovación del aire con este tipo de ventilación, generalmente basta con ubicar correctamente las aberturas que comunican con el exterior: ventanas, patios, ductos y/o chimeneas. La orientación y el tamaño de las aberturas son la clave para este sistema.

2. **Ventilación forzada.** Es el sistema de ventilación por la acción de agentes mecánicos de impulsión de aire como ventiladores, extractores, bombas, etc. El cálculo de los caudales de aire se realiza a partir de los requerimientos de renovación y velocidad, consultando las características de los equipos y las dimensiones de los ductos.

Las cargas térmicas por ventilación son especialmente relevantes en el análisis térmico de espacios. Su importancia se debe a que el aire representa dos tipos de cargas simultáneas: una carga térmica sensible por la temperatura del aire, y una carga térmica latente por su contenido de vapor de agua. En los climas húmedos, la carga térmica latente presente en la humedad del aire puede condicionar el uso de la ventilación natural; en los espacios densamente ocupados la ventilación es primordial para evitar la saturación de humedad.

Con base en la premisa anterior, el cálculo térmico por ventilación se hace por medio de dos partidas: un cálculo para la carga sensible y otro cálculo para la carga latente. Las fórmulas para su cálculo son las siguientes:

$$QVS = 0.278 * \rho * Cpa * g (Tae - Tai)$$

Ec. 18 Carga sensible por ventilación

Simbología:

$\rho$  = Densidad del aire = 1.18 (kg/m<sup>3</sup>)

$Cpa$  = Calor específico del aire = 1.0065 (KJ/Kg K)

$g$  = Flujo del aire en m<sup>3</sup>/min

$Tae$  = temperatura del aire exterior

$Tai$  = temperatura del interior

$$QVL = 0.278 * \rho * Hvap * g(Wamb - Wcuarto)$$

Ec. 19 Carga latente por ventilación

Simbología:

$\rho$  = Densidad del aire = 1.18 (kg/m<sup>3</sup>)

$Hvap$  = Calor latente de vaporización = 2468 (KJ/Kg K)

$g$  = Flujo del aire en m<sup>3</sup>/min

$W_{amb}$  = humedad específica ambiente (kg agua/kg aire)

$W_{cuarto}$  = humedad específica cuarto = (kg agua/kg aire)

$$G = Cv * A * V$$

Ec. 20 Calculo del flujo de aire

Simbología:

$Cv$  = Efectividad de abertura de ventila; para vientos perpendiculares a la abertura: de 0.55 a 0.65, y para vientos oblicuos a la abertura: de 0.25 a 0.35.

$A$  = Área libre o efectiva de ventila (m<sup>2</sup>)

$V$  = Velocidad del viento en m/seg. Para obtener la cantidad de aire por minuto se multiplica el valor resultante por 60.

### Filtración

Es el flujo de aire no deseado que penetra hacia el interior de un espacio confinado a través de rendijas, grietas u otras aberturas (fig. 72). Se le conoce como infiltración al flujo de aire que viene del exterior al interior. Se le llama exfiltración cuando el aire fluye del interior hacia el exterior.



Fig. 72 Rendijas de filtración comunes

Los flujos de las filtraciones al igual que la ventilación, se producen por diferencias de presión interior-exterior y la diferencia de temperatura interior-exterior. Las aberturas también pueden ocasionar la filtración de agua, ruido y polvo. Por lo tanto, las infiltraciones no es un tema meramente de flujos de aire; habrá veces en que la hermeticidad este orientada a evitar la filtración de ruido, por ejemplo.

Para minimizar las filtraciones se deberá cuidar la hermeticidad de los puntos más críticos de los cerramientos, creando barreras estancas o impermeables, principalmente en los sistemas de ventanas y puertas. Las filtraciones en ventanas

pueden ocurrir a través de rendijas laterales que se crean cuando la cancelería no cuadra con lo vanos, cuando se perforan los marcos, cuando los vidrios quedan holgados o no se aplica correctamente sellador; en las puertas, cuando su altura no llega hasta el nivel del piso, por las rendijas del sistema de cerraduras y en la uniones del marco, una solución infalible para los sistemas de puertas es el uso de burlletes, fig. 73.

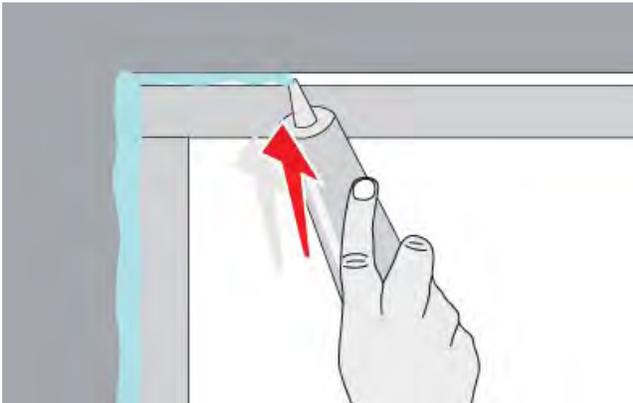


Fig. 73 Técnicas para evitar filtraciones

Para el cálculo de la tasa del aire filtrado ( $m^3/s$ ) existen diferentes factores, entre los cuales están:

- El tamaño y geometría de la rendija
- Las características del flujo de aire a través de la rendija (laminar o turbulento)
- La diferencia de presión a través de la rendija
- La temperatura del material de la rendija

De todos los factores anteriores, el tamaño de la rendija o grieta suele ser el de mayor influencia. La clasificación de este factor se divide en dos tipos:

1) **Grandes.** Se consideran como aquellas que su tamaño es igual o mayor a 10 mm (British Standard 5925). Dentro de esta categoría entran las rendijas de puertas y ventanas. El flujo de aire a través de este tipo de grietas tiende a ser turbulento. La tasa de aire filtrado puede ser calculada a través de la ecuación de estándar para flujos a través de orificios:

$$F_a = C_d * A * \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

Ec. 21 Flujo de aire en rendija grande

Simbología:

Fa = flujo de aire, en m<sup>3</sup>/s

Cd = Coeficiente de descarga de la grieta, igual a 0.61 para rendijas en con forma de filo

□ = Densidad del aire, igual a 1.18 kg/m<sup>3</sup> a 300 K (±27 °C)

A = Área de la grieta, en m<sup>2</sup>

Δp = Diferencia de presión a través de la grieta (Pa)

2) **Pequeñas.** Se definen como pequeñas aquellas que son muy cortas en comparación con su profundidad. El flujo a través de ellas es esencialmente laminar. Su flujo se calcula con la siguiente expresión:

$$Fa = \frac{b * h^3}{12 * \nu * L}$$

Ec. 22 Flujo de aire en rendija pequeña

Simbología:

b = longitud de la grieta, en m

h = altura de la grieta, en m

□ = Viscosidad dinámica del aire, igual a 15.68x10<sup>-6</sup> a 300 K (±27 °C) , en m<sup>2</sup>/s

L = profundidad de la grieta, en m

Como en el caso de la ventilación, para el cálculo del flujo de calor por filtración se debe hacer un cálculo para la carga sensible y otro para la latente:

$$QS_{INFL} = 0.278 * Camb * Vol * \square * Cpa * (Tamb - Tcuarto)$$

Ec. 23 Carga sensible por infiltración (QSINF)

$$QL_{INF} = 0.278 * Camb * Vol * \square * Hvap * (Wamb - Wcuarto)$$

Ec. 24 carga latente por infiltración (QLINF)

Simbología:

0.278 = Factor de conversión de KJ a W

Camb= Número de cambios de aire por hora, se multiplica la tasa de volumen por segundo por 3600.

Vol = Volumen del cuarto, en m<sup>3</sup>

□ = densidad del aire, igual a 1.18 kg/m<sup>3</sup> a 300 K

Cpa = calor específico del aire, igual a 1.0057 KJ/Kg K a 300 K

Hvap = calor latente de vaporización, igual a 2468 KJ/Kg K.

Wamb = humedad específica ambiente, en kg agua/kg aire

Wcuarto = humedad específica del cuarto, en kg agua/kg aire

## 6|1.3 Radiación

Es el intercambio energético provocado por ondas electromagnéticas, razón por la cual todas las partes del espectro electromagnético transfieren energía radiante. La parte del espectro que ocupa al estudio de la energía térmica es el infrarrojo, también conocida como radiación térmica. Existen otros rangos cercanos como el visible y las microondas que fácilmente pueden convertirse en energía térmica cuando son absorbidos por un material opaco y/o de baja reflectancia; también cuando el nivel de intensidad de las ondas es alto.

La radiación no necesita de ningún contacto o medio envolvente; es una forma de energía que puede viajar incluso a través del vacío del espacio. La radiación no se ve afectada por la fuerza de gravedad de ningún cuerpo. Debido a esto, las fuentes de radiación son omnidireccionales, es decir, emiten la radiación hacia

todas las direcciones. Podemos considerar a una fuente de radiación como a aquella que solo emite radiación, como el Sol y las estrellas o un material en combustión, fig. 74.

Todos los cuerpos tienen la capacidad de emitir y absorber calor en cierto grado. Un material es capaz de emitir radiación térmica como un subproducto de otros procesos, como la conducción eléctrica, el trabajo mecánico, la fricción y la combustión, fig. 75. La combustión es una reacción química exotérmica que libera energía visible e infrarroja.

De acuerdo con los preceptos de la segunda ley de la termodinámica, el flujo de la radiación térmica siempre será de los cuerpos más calientes (o de las fuentes) hacia los cuerpos más fríos, porque estos emiten más energía de la que absorben. Por lo tanto, podemos establecer que la longitud de onda emitida es una función de la temperatura del material o cuerpo; para ser precisos, de su

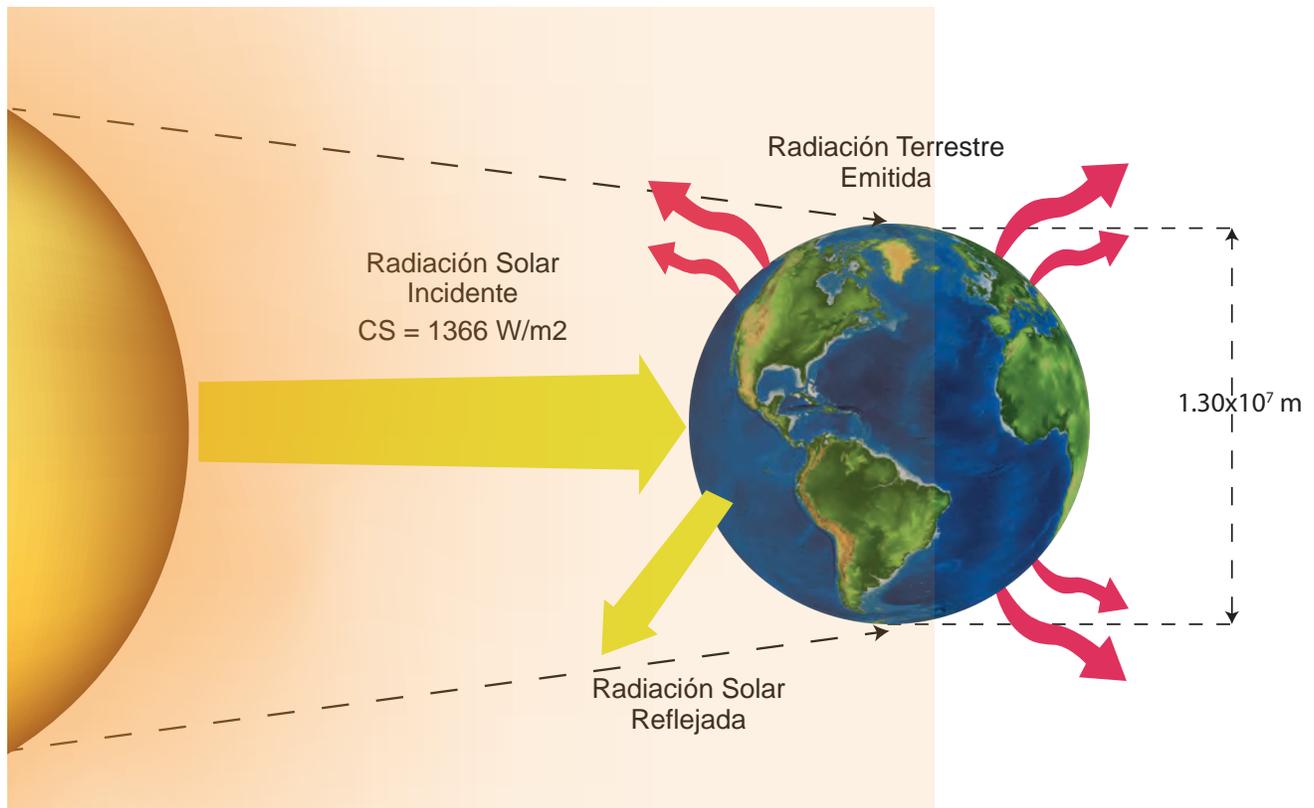


Fig. 74 Radiación solar hacia la Tierra



a. Resistencia eléctrica



b. Resistencia eléctrica



c. Combustión

Fig. 75 Emisión de radiación térmica a partir de procesos exotérmicos

temperatura superficial, que es desde donde se emite dicha radiación térmica.

La cantidad de energía radiante intercambiada entre una fuente y un material o cuerpo, estará determinada por el flujo radiante de la fuente (en W), la superficie del material (en m<sup>2</sup>), la distancia entre ambos (en m) y las propiedades superficiales del material receptor.

Si conocemos el flujo radiante y el área del material, es posible estimar la cantidad de radiación incidente,. Esta relación es conocida como irradiación (W/m<sup>2</sup>). En el caso de la radiación solar, el componente considerado (en W) depende de las necesidades: para el estudio del asoleamiento en edificios (ganancia térmica solar en fachadas), bastará a veces conocer sólo la radiación solar global (radiación directa + radiación difusa); mientras que para los tecnologías termosolares y fotovoltaicas es indispensable conocer la radiación solar directa, sobre todo para los sistemas concentradores. La cantidad se puede calcular con base en la ecuación 25.

$$RI = \frac{P}{A}$$

P = potencia del flujo radiante, en W

A = área de la superficie del receptor, en m<sup>2</sup>

Ec. 25 Irradiación incidente sobre una superficie

La distancia del Sol a la Tierra no es un factor directamente aplicable, a pesar de que el movimiento de traslación provoca una variación de la distancia solar; los factores realmente determinantes son la latitud terrestre (distancia angular entre el ecuador y un punto sobre la superficie de la Tierra) en

combinación con la inclinación de la superficie considerada (vertical u horizontal). Por esta razón, es fundamental conocer las coordenadas del sitio proyectado, ya que la inclinación y la altura solar respecto a un punto afecta directamente la cantidad de radiación incidente.

Las propiedades superficiales son un conjunto de variables que determinan la cantidad de radiación que un material puede transmitir, reflejar, absorber y emitir, dependiendo si este es opaco o transparente. La definición de dichas propiedades es la siguiente:

1. **Transmitancia.** Es una propiedad comúnmente relacionada a los materiales ópticamente transparentes. Sin embargo, existen materiales como el vidrio que permiten el paso directo del espectro visible, pero no del infrarrojo. Esta cualidad los vuelve opacos al paso de la radiación térmica directa, convirtiendo a los sistemas acristalados en trampas de calor. Su valor puede ser expresado en fracción decimal o porcentual, donde:  $0 < t > 1$ .

2. **Reflectancia.** Es la propiedad que tienen los materiales de rechazar la radiación (sobre la visible) y es la razón por la cual vemos los objetos de distintos colores e intensidades. La radiación rechazada es redirigida según la ley de la reflexión. Su valor puede ser expresado en fracción decimal o porcentual, donde:  $0 < \rho > 1$ .

3. **Absortancia.** Es la propiedad que tienen los materiales para absorber y/o transformar la radiación en calor sensible, provocando un aumento instantáneo de temperatura en su superficie. Esta cualidad resalta en los materiales opacos, ya que absorben parte del espectro visible y lo convierten en calor, mientras que en los materiales transparentes su valor es relativamente bajo. Su valor puede ser expresado en fracción decimal o porcentual, donde:  $0 < \alpha > 1$ .

4. **Emitancia.** Es una propiedad meramente térmica. Indica la capacidad que tiene un material de emitir en forma de calor sensible la energía absorbida, a través de su superficie. Su valor decimal está relacionado con la teoría del “cuerpo negro”, considerado teóricamente como el emisor perfecto ( $\varepsilon = 1$ ). Por lo tanto, su valor puede ser expresado en fracción decimal o porcentual, donde:  $0 < \varepsilon > 1$ .

### Ganancia térmica por radiación en fachadas

La ganancia térmica por radiación a través de la envolvente del edificio proyectado (a través de las fachadas), es la suma de la ganancia de calor por conducción ( $Q_{cond}$ ), más la ganancia de calor por radiación solar ( $Q_r$ ). Este criterio se basa en la distinción de las secciones opacas y transparentes de cada fachada.

El cálculo de la ganancia por radiación para las secciones opacas se hace con base en la fórmula de transferencia de calor por conducción (ec.14), debido a que los materiales opacos no tienen la propiedad de transmitancia, debido a que la radiación solar no puede atravesar directamente estas secciones. La porción de radiación absorbida es transferida al interior por medio de conducción térmica dentro del espesor de las capas que componen el sistema constructivo; por esta razón, la mayoría de los métodos de análisis térmicos en edificios no toman en cuenta las secciones opacas dentro de los cálculos de ganancia por radiación solar.

Las secciones transparentes son las áreas tomadas en cuenta para el cálculo de la ganancia por radiación solar, debido a su capacidad de transmitir gran parte del espectro solar. La radiación transmitida es absorbida por las superficies interiores del espacio y remitida en forma de calor sensible; de ahí la importancia de cuidar las proporciones de vano/

macizo en las fachadas orientadas al recorrido del sol.

La ecuación 26 y 27, sirven para calcular la ganancia térmica por radiación es:

$$QR = (Av) (Ri) (SHGC)$$

Ec. 26 Ganancia térmica por radiación sin protección solar

$$QR = (Av) (RG) (SHGC) (FSE)$$

Ec. 27 Ganancia térmica por radiación con protección solar exterior

Dónde:

$QR$  = Ganancia total por radiación, en Watts (W).

$Av$  = Área de la sección transparente, en  $m^2$ .

$Ri$  = radiación solar incidente, en  $W/m^2$ . La cantidad de radiación solar incidente sobre un área es el componente de la radiación solar incidente que es perpendicular a la superficie de la sección; por lo tanto, debe hacerse la corrección de la cantidad de incidencia según la inclinación de dicho sección. La cantidad puede ser un valor horario promedio o el promedio de acuerdo a la orientación de sección.

$SHGC$  = Coeficiente de sombreado del material transparente, en fracción decimal.

$FSE$  = Factor de Corrección de Sombreado Exterior. Variable que afecta el valor de  $SHGC$  por el uso de volados, partesoles, remetimientos y otros dispositivos opacos complementarios al sistema de la sección transparente.

El cálculo de la ganancia por radiación es más complejo que las fórmulas expuestas, por la presencia o ausencia de algunos factores condicionantes para circunstancias específicas, como:

1. **La orientación de la fachada.** En algunas normativas de eficiencia energética (ej. NOM-008-ENER), se establecen valores fijos de irradiación con base en la orientación de la fachada. Dicho valor técnicamente es equivalente a  $Ri$  de la ecuación 25.

2. **La disposición del plano de la fachada:** vertical, horizontal o inclinado. La radiación incidente también está condicionada por la normal del plano respecto a la posición del Sol. Para estimar la cantidad de radiación neta sobre un área, es indispensable hacer la corrección del ángulo de los rayos con base en la inclinación del plano; este factor también es conocido como “componente perpendicular”.

3. **La presencia de colindancias.** En la mayoría de los casos, el edificio proyectado se encuentra rodeado de otros edificios colindantes; si la colindancia cubre la totalidad de la porción de la sección analizada, se considera que tiene una ganancia igual a cero. De la misma manera se incluye la porción del edificio colindante al suelo, excepto cuando hay espacios de estacionamiento en el nivel inferior (ganancias internas que finalmente se conducen a través de la porción construida del piso).

### Radiación térmica en espacios interiores

Todas las superficies que conforman un espacio tienen un efecto radiante hacia los ocupantes. Este intercambio está condicionado por la temperatura de las superficies circundantes en combinación con el efecto de convección del aire; cuando su velocidad es rápida, se disminuye el efecto radiante de dichas superficies.

Cuando las temperaturas de las superficies son

mayores a las ganancias internas, el flujo radiante será en dirección a los ocupantes, provocando una sensación de calor. En el caso contrario, el calor emitido por las fuentes internas será en dirección a las superficies, provocando una sensación refrescante (enfriamiento).

Regularmente, las superficies de los espacios tienen diferentes acabados de material, provocando que el intercambio radiante fluctúe de manera distinta para cada una de las superficies. Debido a esto, algunas superficies se sentirán más calientes o más frescas respecto a otras. Esta cualidad está relacionada con la emitancia térmica de cada superficie en particular. Esta condición hace complicado el cálculo del efecto radiante de un espacio, al menos de manera directa.

La variable térmica que expresa dicho efecto es la **temperatura media radiante (TMR)**, en K o °C. Es una medida indirecta que expresa la radiación promedio de todas las superficies envolventes, considerándolas uniformemente emisivas; es decir, que todas emiten la misma cantidad de radiación (por lo tanto todas tienen el mismo valor de emitancia). Para medir esta variable es necesario un termómetro de globo, que consiste en una esfera pintada de color negro con termopar en el centro de dicha esfera. La temperatura registrada por este instrumento es conocida como temperatura de globo (Tg), fig. 4.2.

La temperatura radiante media se calcula a partir de los valores registrados de la temperatura de globo, la temperatura seca del aire (temperatura ambiente) y la velocidad del aire, mediante la siguiente fórmula:

$$TMR = Tg + (1.9 * \sqrt{Va}) * (Tg - TBS)$$

Simbología

Tg = temperatura de globo, en K

Va = Velocidad del aire, en m/s

TBS = temperatura del aire, en K

Cuando la velocidad del aire es igual a cero (Va= 0m/s), se puede simplificar el cálculo considerando que la temperatura de globo es igual a la temperatura media radiante (Tg = TMR).

Cuando la TMR se usa para estimar la sensación térmica, se debe tomar en cuenta también el nivel de aislamiento por vestimenta. En climas cálidos donde regularmente se usan conjuntos de ropa ligera (clo menor a 0.8), la influencia de la TMR es más significativa que la temperatura del aire. Esta relación de sensación se puede estimar de la siguiente manera:

$$Tamb = \frac{2}{3} TMR + \frac{1}{3} TBS$$

Ec. 29 Temperatura operativa para ambientes cálidos

Dónde:

Tamb = Temperatura ambiente o temperatura operativa.

En cuanto a los climas fríos, donde regularmente el nivel de aislamiento por vestimenta es alto (clo mayor a 1), se considera que la TMR y la TBS tienen la misma influencia:

$$Tamb = \frac{1}{2} TMR + \frac{1}{2} TBS$$

Ec. 30 Temperatura operativa para ambientes fríos

## Referencias

(49) Basado en: Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects, Figura 3.3a, 50

## Referencias imágenes

Fig. 69 Elaboración propia.

Fig. 70 Elaboración propia

Fig. 71 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Transicion\\_laminar\\_a\\_turbulento.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/Transicion_laminar_a_turbulento.png)

Fig. 72 <http://www.fotoseimagenes.net/ventilacion>

Fig. 73.1-4 <http://manner.biz/sellar-ventanas-para-el-frio.html#>

Fig. 74 Elaboración propia.

Fig. 75.a <http://termo2transfer.blogspot.com/2015/12/mecanismos-de-transferencia-de-calor.html>

Fig. 75.b <https://fr.mustknowhow.com/mustknowhow/le-replacement-du-gaz-de-chauffage-electrique>

Fig. 75.c <http://www.elimparcialdetabasco.com/noticias/?nid=3635>

---

Sugerencia: consultar la bibliografía temática de “Termodinámica y Confort Térmico”

## **II. SEGUNDA PARTE | CASO DE ESTUDIO**

# 7|

# DECATLÓN SOLAR Y CASA UNAM

7|1 Antecedentes del Decatlón Solar

7|2 Bases de diseño y prototipo Casa UNAM

7|3 Exhibición de la Casa UNAM en la Ciudad de México

## 7|1 Antecedentes del Decatlón Solar

Desde su primera edición en el año 2002, “El Solar Decathlon (SD)” es una competición desarrollada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, en la que las universidades participantes se reúnen para diseñar, construir y operar una casa autosuficiente durante una semana.

El concurso nace como respuesta a la problemática global de las urbes en materia ambiental y energética, haciendo hincapié en la **energía solar** como única fuente de energía, razón por la cual se da prioridad al diseño bioclimático y a la implementación de tecnologías pasivas que permitan a su vez la máxima eficiencia energética.

Por esta razón, el SD es la competencia universitaria más prestigiosa a nivel internacional, porque impulsa la investigación y el desarrollo de viviendas eficientes a nivel local.

El propósito principal de la competencia es promover la adopción de productos eficientes, económicos e innovadores mediante:

- La difusión cultural y educativa hacia los estudiantes y al público general sobre las oportunidades económicas y los beneficios ambientales de los productos y tecnologías implementadas en los prototipos del concurso.
- La demostración al público del confort y la calidad de ambiente que proporcionan las viviendas eficientes.
- La preparación de estudiantes para que se desarrollen en el campo de la energía solar.

El “Solar Decathlon” se conforma por una evaluación minuciosa de 10 pruebas (razón por la cual el

concurso recibe su nombre), con un total de 1000 puntos posibles para cada uno de los equipos participantes.

Los prototipos son construidos durante 10 días por los mismos estudiantes. Posteriormente son abiertos al público durante una semana al mismo tiempo que son evaluados por un panel de profesionales especialistas en su área. Las pruebas a calificar son las siguientes

1. **Arquitectura.** Evalúa la coherencia en el diseño del prototipo, su flexibilidad y la maximización del espacio, así como las ecotécnicas y estrategias bioclimáticas.
2. **Ingeniería y Construcción.** Evalúa la eficiencia y el desempeño de la estructura, la envolvente, la electricidad, sistema hidráulico y sistema solar del prototipo.
3. **Eficiencia energética.** Considera la excelencia en los sistemas y en el diseño del prototipo en relación con la reducción de consumo energético, y evalúa la funcionalidad y la eficiencia de todos los componentes de la casa.
4. **Balance Energético.** Mide la eficiencia y auto-suficiencia energética del prototipo, y evalúa su balance energético.
5. **Condiciones de confort.** Evalúa la capacidad de proporcionar confort interior a través del control de la temperatura, la humedad, la acústica, la iluminación y la calidad del aire interior.
6. **Funcionamiento de la casa.** Evalúa la funcionalidad de la casa y la eficiencia de los electrodomésticos seleccionados, con el fin de maximizar el rendimiento de la casa, cubriendo las demandas estándares de la sociedad actuales.

7. **Comunicación y Sensibilización Social.** Valora la capacidad del equipo para implementar métodos creativos y eficientes de difundir las ideas que definen la identidad de su proyecto.

8. **Diseño Urbano, Movilidad y Asequibilidad.** Evalúa la relevancia de las propuestas en relación con su posicionamiento geográfico con mira a una intervención social y urbana en el contexto.

9. **Innovación.** Estima los aspectos innovadores del proyecto con relación a competencias anteriores, centrándose en cambios que afecten al valor, desempeño o eficiencia del prototipo.

10. **Sustentabilidad.** Evalúa la habilidad y la sensibilidad ambiental de los equipos (diseño de la casa, técnicas, sistemas y componentes) para lograr la máxima reducción del impacto ambiental negativo, durante la fabricación de componentes de la casa, la fase de construcción, la vida del edificio y la demolición.

### Casa UNAM y el “Solar Decathlon Europe”

En el año 2010 se celebró por primera vez, en Madrid, la primera edición del Solar Decathlon Europe (SDE) con la participación de 17 universidades de 3 continentes; pero fue hasta la edición del SDE 2014 que la Universidad Nacional Autónoma de México tuvo su primera participación en el suburbio de Versailles, Francia.



Fig. 76 Equipo UNAM SDE 2014

## 7|2 Bases de diseño: Casa UNAM

El prototipo de vivienda desarrollado lleva por nombre “CASA” está diseñado para permitir micro densificaciones como propuesta a una posible solución de vivienda para las urbes mexicanas, como la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) donde existe un enorme potencial en los espacios construidos que aún pueden crecer verticalmente.

En las siguientes citas textuales, se expone en palabras propias de algunos de los autores del proyecto, la narrativa del desarrollo conceptual del proyecto CASA:

1. “Dirigida a los espacios residuales subdesarrollados dentro de la ciudad, CASA es una opción viable para la densificación inmediata dentro de la ciudad que disminuye el costo del terreno. Se implanta cerca de los medios de transporte masivos y reduce la distancia entre las personas y sus actividades. Regenera un ecosistema degradado a escala local, aumentando la resiliencia para enfrentar el inminente cambio climático y las futuras crisis económicas y energéticas globales.” (Banda, Esteban y Hernández, 2015).

2. “El sistema CASA busca ofrecer al usuario un set de herramientas que permitan aplicar cada componente del sistema de acuerdo a sus necesidades específicas, estando compuesto por los siguientes elementos:

- Sistema ligero de estructuración modular, con sistema de conexiones de interface para variantes en las condiciones de desplante.
- **Sistemas de pisos y muros híper-aislados**, con cancelerías y ventanas prefabricadas.
- Módulos de mobiliario con variedad de espacios de almacenaje y trabajo, construidos con bases de

estructuración modular.

- Núcleos de servicios prefabricados, conteniendo los servicios de baños y cocinas.
- Cuartos técnicos, los cuales están articulados técnicamente con núcleos de servicio prefabricados y espacialmente consistentes con el módulo general del sistema CASA.
- Piel externa, con paneles fotovoltaicos integrados, sistema de colección de aguas pluviales y plantas comestibles.
- Sistema de textiles. Un sistema de tres capas: el primero es un colector de agua con auto-limpieza, cubierto con una malla protectora; el segundo es un faldón perimetral en las cubiertas; y el tercero es una envolvente vertical impermeable y bloqueadora de radiación solar.
- Sistemas vivos, humedales sub-superficiales y un muro verde
- Torre del Agua y sistema pasivo de calentamiento de agua. Los tanques de agua elevados no son sólo parte del paisaje urbano de nuestras ciudades, sino también las soluciones más comunes para los servicios hidráulicos de vivienda”.

(Banda, Esteban y Hernández, 2015)

3. “Nuestro prototipo es un recinto que funciona como una red flexible de espacios cuyas áreas y funciones se superponen. Teniendo en cuenta que todo es desarrollado bajo los parámetros de la competencia Decatlón Solar 2014, la propuesta del equipo de México ha sido modificada en sus dimensiones para ser coherente con las reglas”.

(Banda, Esteban y Hernández, 2015)

En la secuencia de figuras 76.1 - 4 se muestra el desarrollo conceptual y de implementación del prototipo en el caso de estudio para la Ciudad de México, el cual fue la Unidad Habitacional Vicente Guerrero (Iztapalapa).

Ahora bien, retomando parte de la información ante expuesta sobre el desarrollo del diseño de CASA, particularmente del sistema constructivo, podemos resumir lo siguiente:

- El equipo de CASA desarrolló el prototipo pensando en una solución económicamente asequible, modular, personalizable, de **construcción ligera**, con productos energéticamente eficientes y de expansión de estructuras existentes; cuyo resultado logre edificaciones ambientalmente responsables y rápidas de construir.

Haciendo hincapié en el sistema constructivo de la envolvente de los habitáculos, podemos comentar anticipadamente que la decisión de que el sistema de envolvente sea **ligero y térmicamente hiper aislado** sin incluir sistemas activos de acondicionamiento, contribuyó a un desempeño energético poco eficiente debido a su baja capacidad de almacenamiento de calor, resultando insuficiente el amortiguamiento de temperatura entre el espacio interior y exterior.

Los sistemas de envolvente que implementan **materiales aislantes** en la mayor parte de sus secciones, por su baja conductividad y poca capacidad de almacenamiento de calor, son casi incompatibles y poco eficientes para funcionar con los sistemas pasivos de climatización, condición requerida para el concurso del SDE, ya que no está permitida la implementación de sistemas activos de climatización.

**Finalmente, dichas decisiones se reflejaron en el lugar obtenido del “Contest 5: comfort conditions” donde se obtuvo el lugar #16 de 18 posibles.**

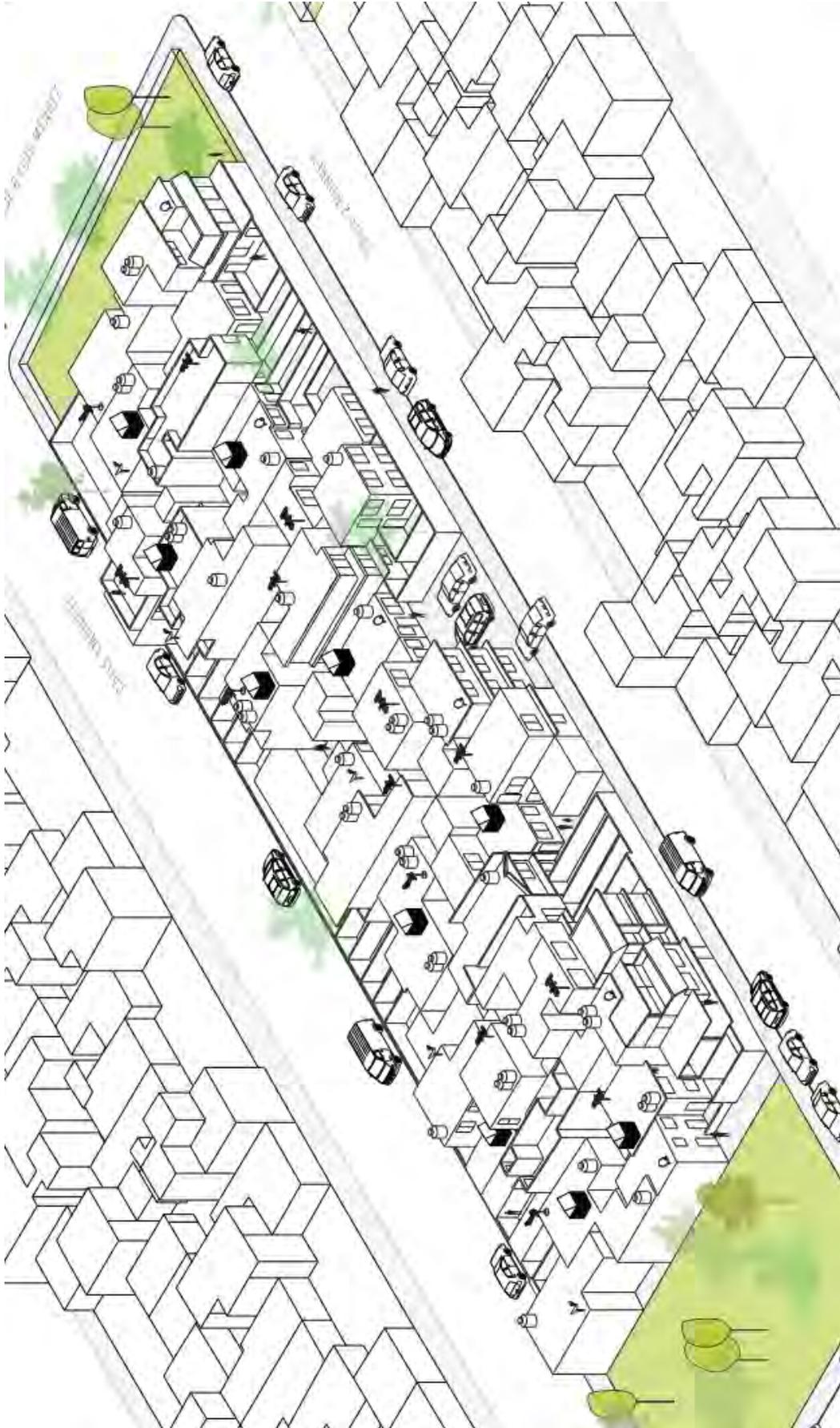


Fig. 77.1 Explicación de la propuesta urbana de micro densificación - Levantamiento y análisis del contexto existente<sup>50</sup>

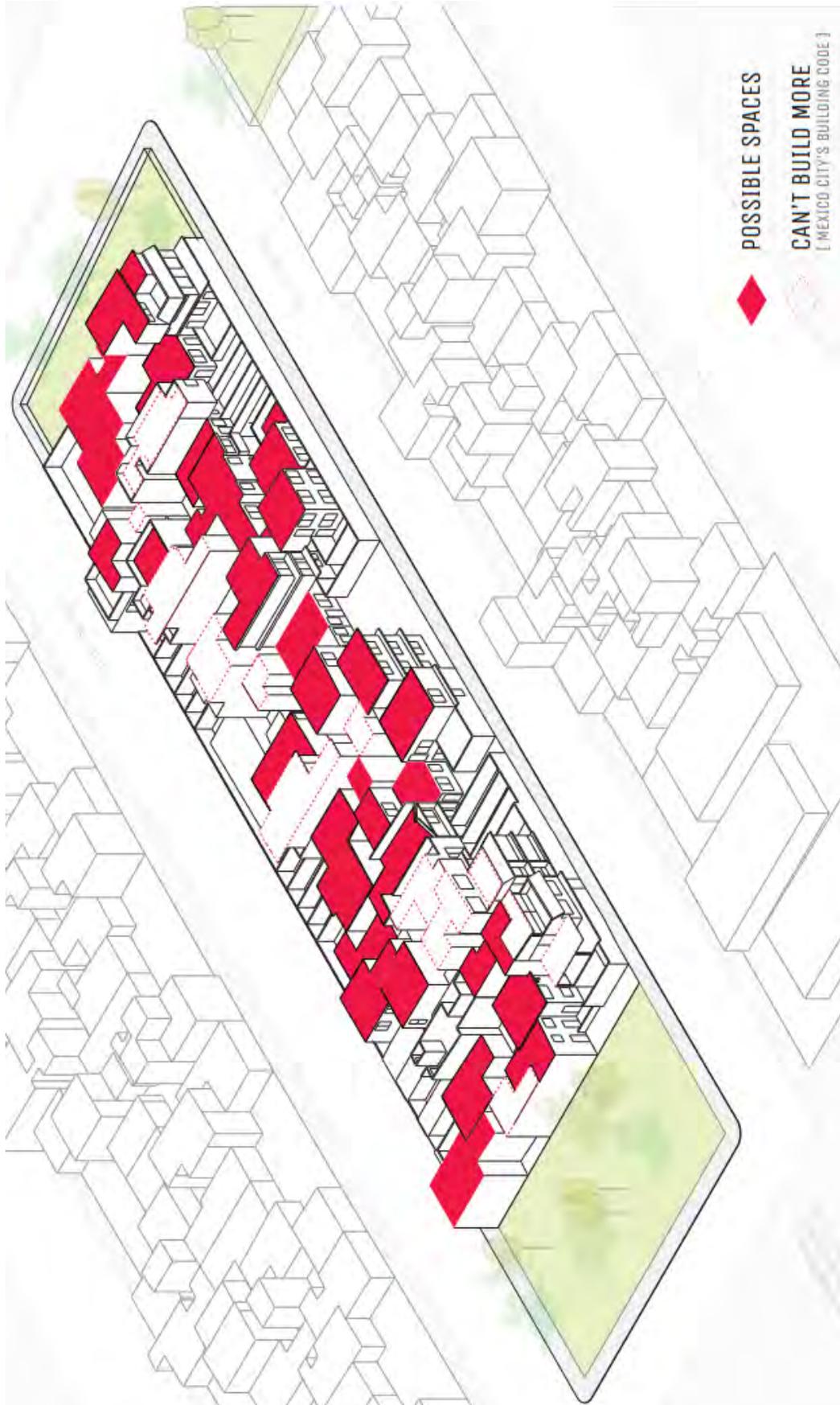


Fig. 77.2 Explicación de la propuesta urbana de micro densificación - Ubicación de espacios con potencial de crecimiento<sup>51</sup>

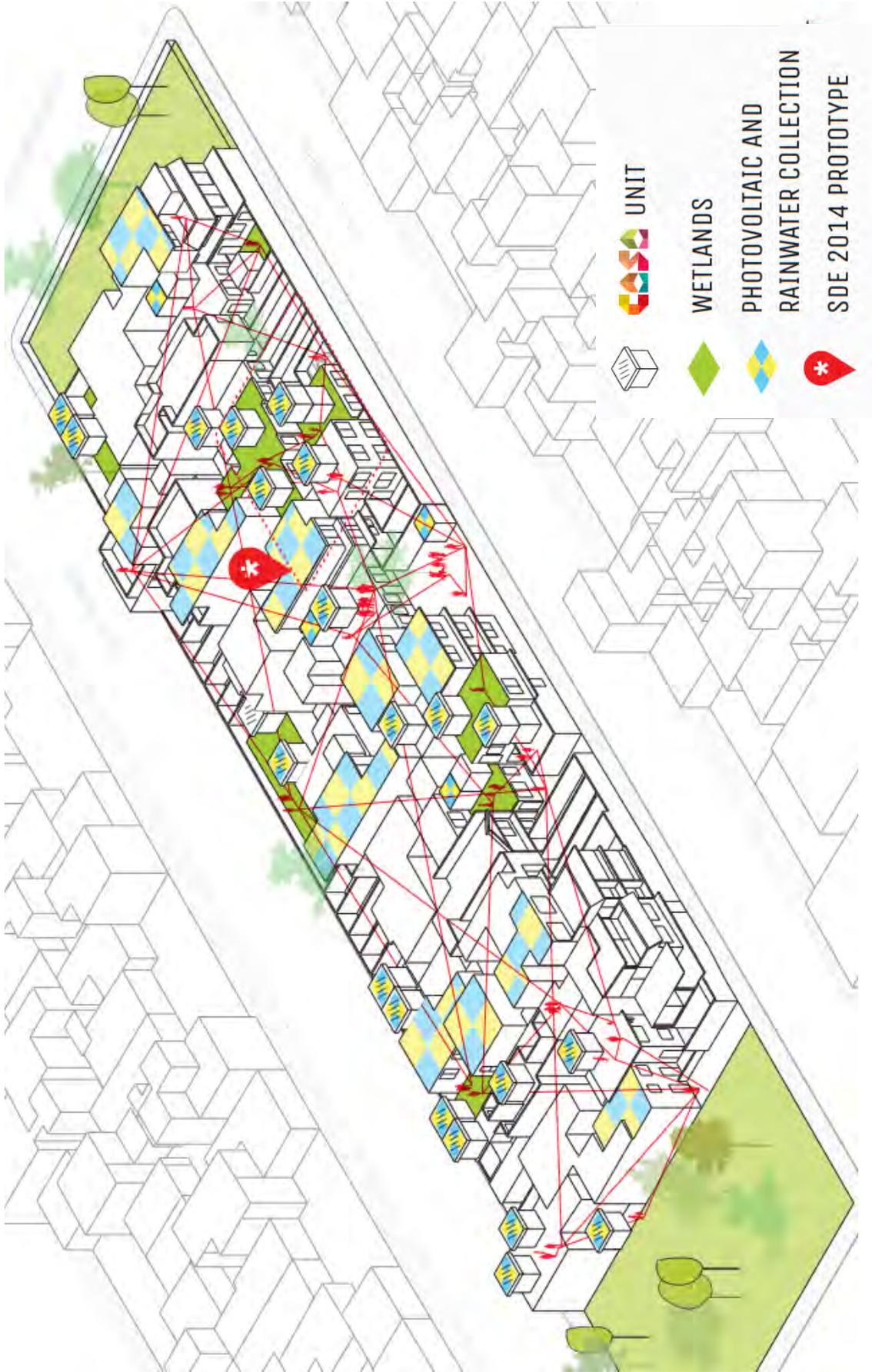


Fig. 77.3 Explicación de la propuesta urbana de micro densificación - Ubicación de CASA y plan de desarrollo de espacios complementarios<sup>52</sup>

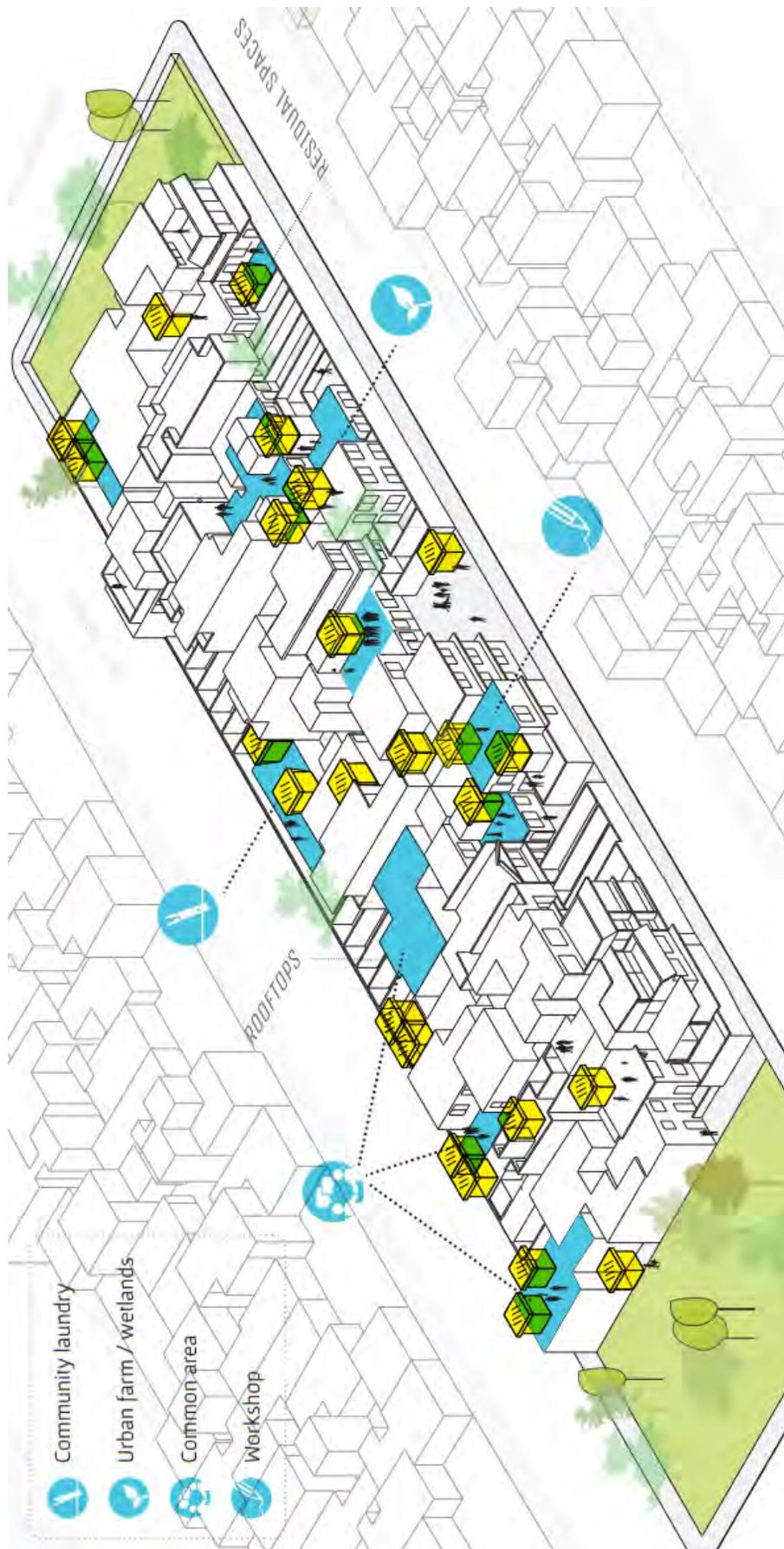


Fig. 77.4 Explicación de la propuesta urbana de micro densificación - Zonificación de espacios<sup>53</sup>

### 7|3 Exhibición de CASA en la Ciudad de México

Una vez concluido el SDE 2014, se planeó el regreso del prototipo CASA a su contexto de origen: la Ciudad de México, el cual fue por vía marítima hacia América y por vía terrestre desde el puerto de Veracruz, llegando a la UNAM a principios del mes de noviembre del mismo año.

Una vez en manos del equipo, se planteó su reubicación, rediseño y exhibición en el museo de las ciencias de la UNAM, UNIVERSUM.

La finalidad de esto, en citas textuales del equipo fue:

“El museo Universum al ser un museo que busca el crecimiento de la cultura científica y tecnológica, al fomentar el interés de la sociedad en la ciencia y nuevas tecnologías, empató de buena manera con el momento en que se encontraba el proyecto, ya que se necesitaba de un espacio en el que se difundiera el proyecto al mismo tiempo de que se siguieran mejorando sus sistemas. Para ello, se pensó que parte de la exhibición del prototipo fuera el mostrar las mediciones del prototipo en pleno funcionamiento, al mismo tiempo de experimentar con variantes en los sistemas para evaluar distintos comportamientos”

(Banda, Esteban y Hernández, 2015)

Después de establecer un convenio entre ambas partes (Facultad de Arquitectura y UNIVERSUM), se designó a la zona del Jardín Patli como nuevo lugar de emplazamiento, ubicado en la zona sur del recinto.

Sin detallar de manera justificada, al menos desde el punto de vista bioclimático, en cita textual del equipo se tomó el siguiente criterio para el emplazamiento del conjunto:

“Se decidió que la fachada norte, fachada principal desde el interior del museo, estaría compuesta por la torre hidráulica y el habitáculo de recámara, y la fachada sur compuesta por la cocina y el espacio comunitario.

Para el recorrido se pensó acceder por medio de una pasarela por el costado oriente de la casa, establecer como primera estación del recorrido a la plataforma de la torre hidráulica y posteriormente acceder al prototipo desde la plataforma del espacio comunitario, atravesar el prototipo de oriente a poniente pasando por los habitáculos de cocina y recámara, y finalmente salir del prototipo por una rampa hacia al interior del museo”

(Banda, Esteban y Hernández, 2015)

**Cimentación.** La obra fue replanteada para empatar el diseño con el terreno. La solución fue construir dos losas de cimentación de concreto armado: una para los habitáculos y otra para la torre hidráulica (fig. 78.1-2)

**Envolvente arquitectónica.** Algunas de las secciones y sistemas del prototipo fueron completamente reutilizados, es decir, no sufrieron modificaciones en

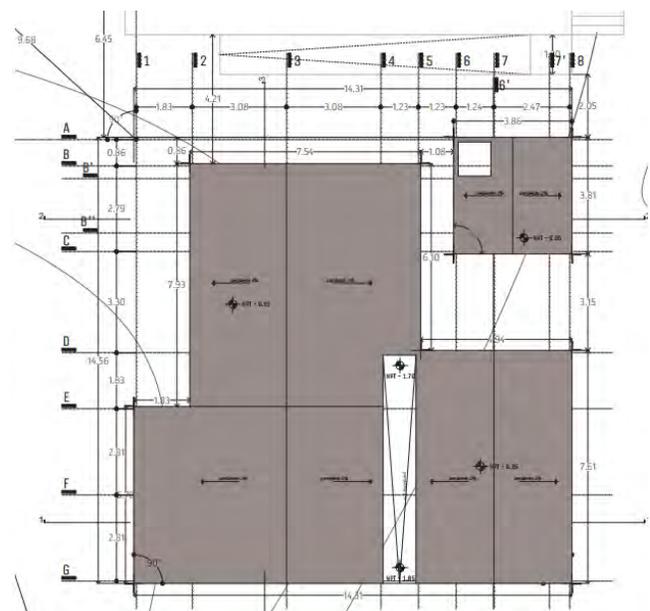


Fig. 78.1 Planta de cimentación CASA



Fig. 78.2 Sistema de cimentación CASA

cuanto a su composición y se montaron casi tal cual llegaron a la Ciudad de México. Uno de los casos fue el sistema de pisos (fig. 79) y el sistema estructural.

Las modificaciones más importantes en cuanto al sistema de envolvente que llevaron a cabo son las siguientes:

1. Se descartó completamente el sistema de fachada ventilada propuesto e implementado durante el SDE, quedando expuestas las fachadas en todas sus orientaciones a la radiación directa del Sol, siendo la única protección posible el sistema de textiles verticales, el cual opera de manera manual. Sin embargo, se conservó el mismo sistema de paneles de yeso y lana mineral como relleno aislante.

2. Se colocó doble hoja de panel yeso en la cara exterior de los muros.

3. Se descartó el sistema de captación pluvial arriba de los habitáculos, el cual consistía un sistema textil que recolectaba el agua. Se cree que este fue uno de los componentes que afectó de manera directa la cantidad de humedad durante las mediciones de las condiciones higrotérmicas durante las pruebas del SDE en Versailles.

4. La altura de los habitáculos disminuyó 30 centímetros.

De todas las modificaciones, la más significativa es la del primer punto, el cual se desarrollará en un apartado posterior.



Fig. 79 Sistema de piso, CASA

## Referencias

(50) Imagen extraída de: Plano GE-312 A. Project Drawings #7.Team Mexico, UNAM.

(51) Imagen extraída de: Plano GE-312 B. Project Drawings #7.Team Mexico, UNAM.

(52) Imagen extraída de: Plano GE-312 C. Project Drawings #7.Team Mexico, UNAM.

(53) Imagen extraída de: Plano GE-312 D. Project Drawings #7.Team Mexico, UNAM.

## Referencias imágenes

Fig. 78.2 Foto: Dr. Ronan Bolaños Linares

Fig. 79 Foto: Dr. Ronan Bolaños Linares

**8|**

## **DESCRIPCIÓN DE CASA UNAM**

7|1 Antecedentes del Decatlón Solar

7|2 Bases de diseño y prototipo Casa UNAM

7|3 Exhibición de la Casa UNAM en la Ciudad de México

# 8|1 Emplazamiento

## 8|1.1 Ubicación geográfica

Como se mencionó en el punto 1|3 del capítulo anterior, se buscó un lugar para la exhibición del prototipo CASA en la Ciudad de México, siendo éste el contexto climático original del diseño.

El emplazamiento esta ubicado dentro de los límites del terreno correspondiente al museo de las ciencias UNIVERSUM, Ciudad Universitaria.

Ubicación del predio:

- Estado: Ciudad de México (CDMX)
- Delegación: Coyoacán
- Colonia: Ciudad Universitaria
- Clave de colonia: 03-021
- C.P. 04510
- Coordenadas: 19°21'00" N - 99°09'42" O

La ubicación geográfica de la delegación dentro de la CDMX es la siguiente:



Fig. 80 Delegación Coyoacán, Ciudad de México

### Colonia Ciudad Universitaria (C.U.)

**Dirección:** Av Universidad 3000, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510 Ciudad de México, CDMX.

**Coordenadas:** 19°19'44" N - 99°11'14" O

**Límites de la colonia.** Iniciando en el punto noroeste de la colonia y rodeándola conforme a las manecillas del reloj el perímetro es el siguiente: Se inicia en la esquina que forman Av. Ciudad Universitaria y Av. San Jerónimo (Eje 10 Sur), Av. Insurgentes, Ciudad Universitaria, And. Paseo de las Facultades, Cto. Escolar Exterior, Cto. Escolar, Av. Dr. Antonio Delfín Madrigal, Av. del Imán, Cto. Escolar, Av. Insurgentes, calle Sin Nombre, Cto. Escolar CU 2, Av. Universitaria, Av. San Jerónimo (Eje 10 Sur), punto de inicio.

**Extensión terreno:** aprox. 7 km<sup>2</sup>

**Área construida de C.U.:** 2 millones 813 mil m<sup>2</sup>

La ubicación geográfica de C.U. dentro de la delegación Coyoacán, así como el emplazamiento de UNIVERSUM dentro del terreno de C.U. se muestra en la figuras 81.1 - 3

UNIVERSUM: Circuito Cultural de Ciudad Universitaria S/N, Coyoacán, Cd. Universitaria.

Coordenadas: 19°18'40"N 99°10'50"W

## 8|1.2 Ubicación de conjunto

**Orientación de CASA en el conjunto.** El proyecto arquitectónico está conformado por tres habitáculos, una banca técnica, una torre hidráulica y un patio terraza. Los tres habitáculos y su respectiva orientación se presenta en la figuras 82.1-3

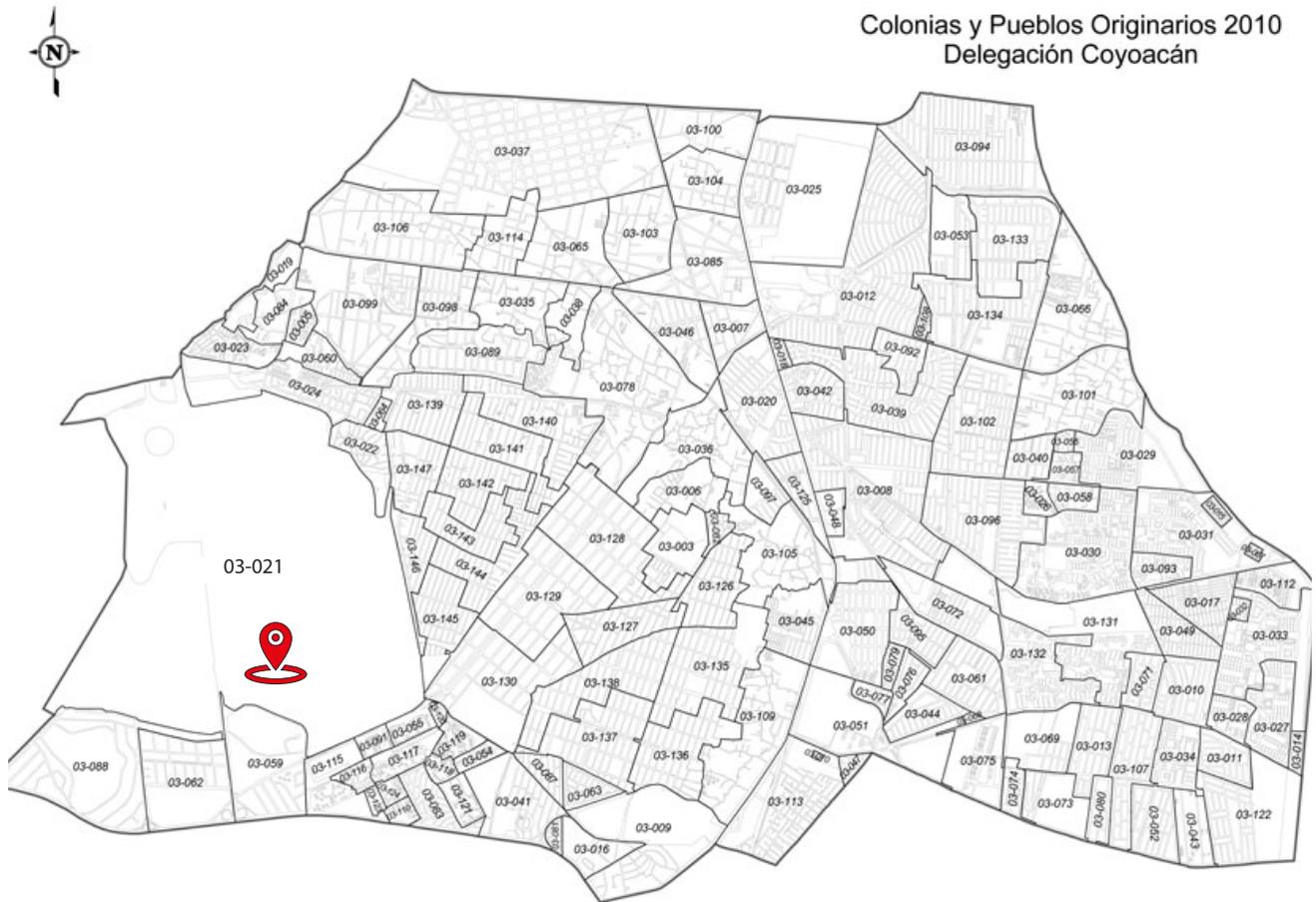


Fig. 81.1 Colonia Ciudad Universitaria (clave 03-021) y ubicación UNIVERSUM (pin rojo)



Fig. 81.2 Ciudad Universitaria

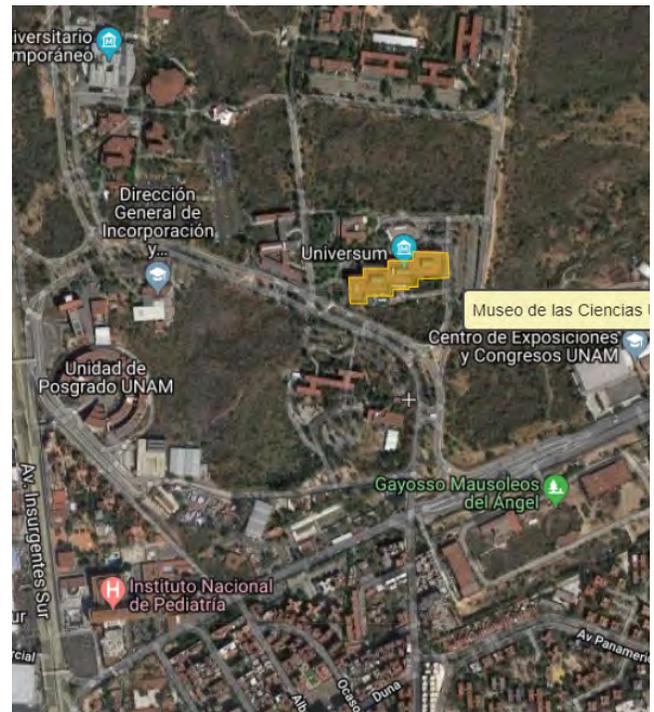


Fig. 81.3 UNIVERSUM

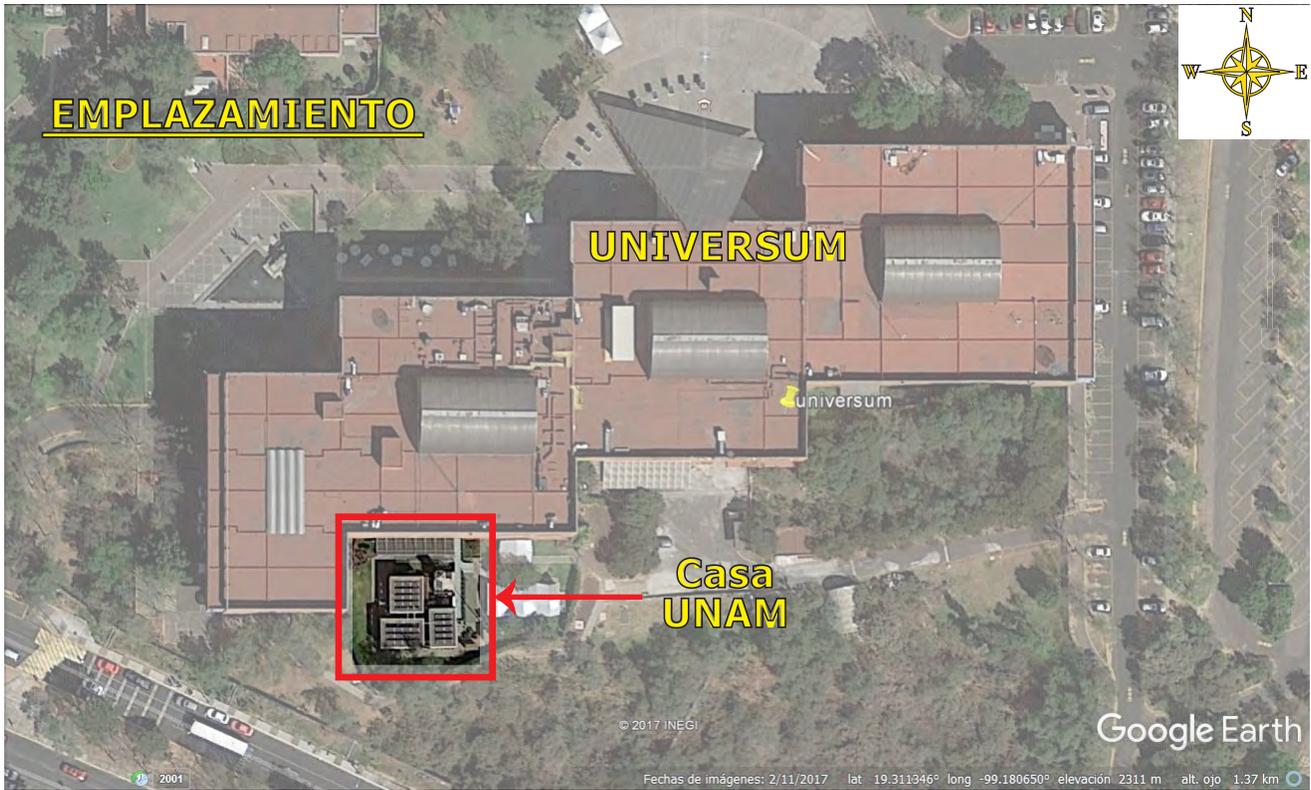


Fig. 82.1 CASA: orientación de conjunto

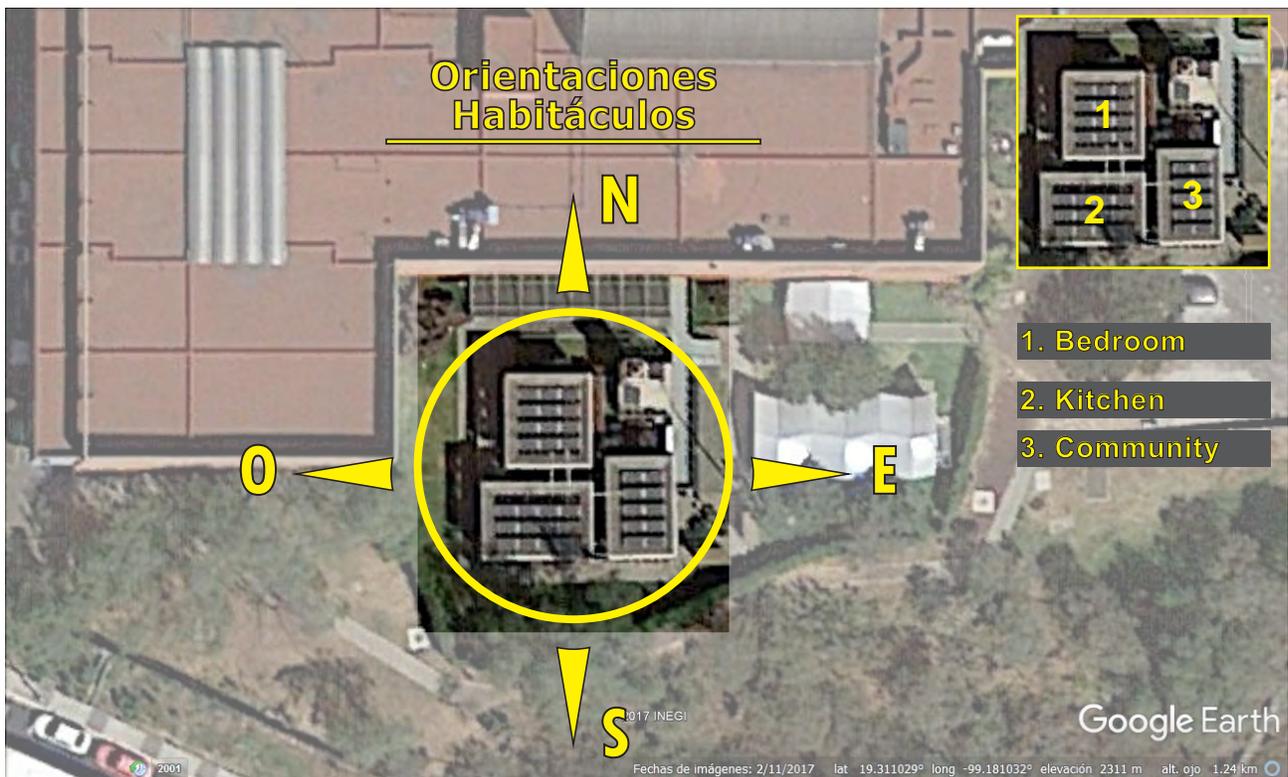


Fig. 82.2 CASA: orientación habitáculos

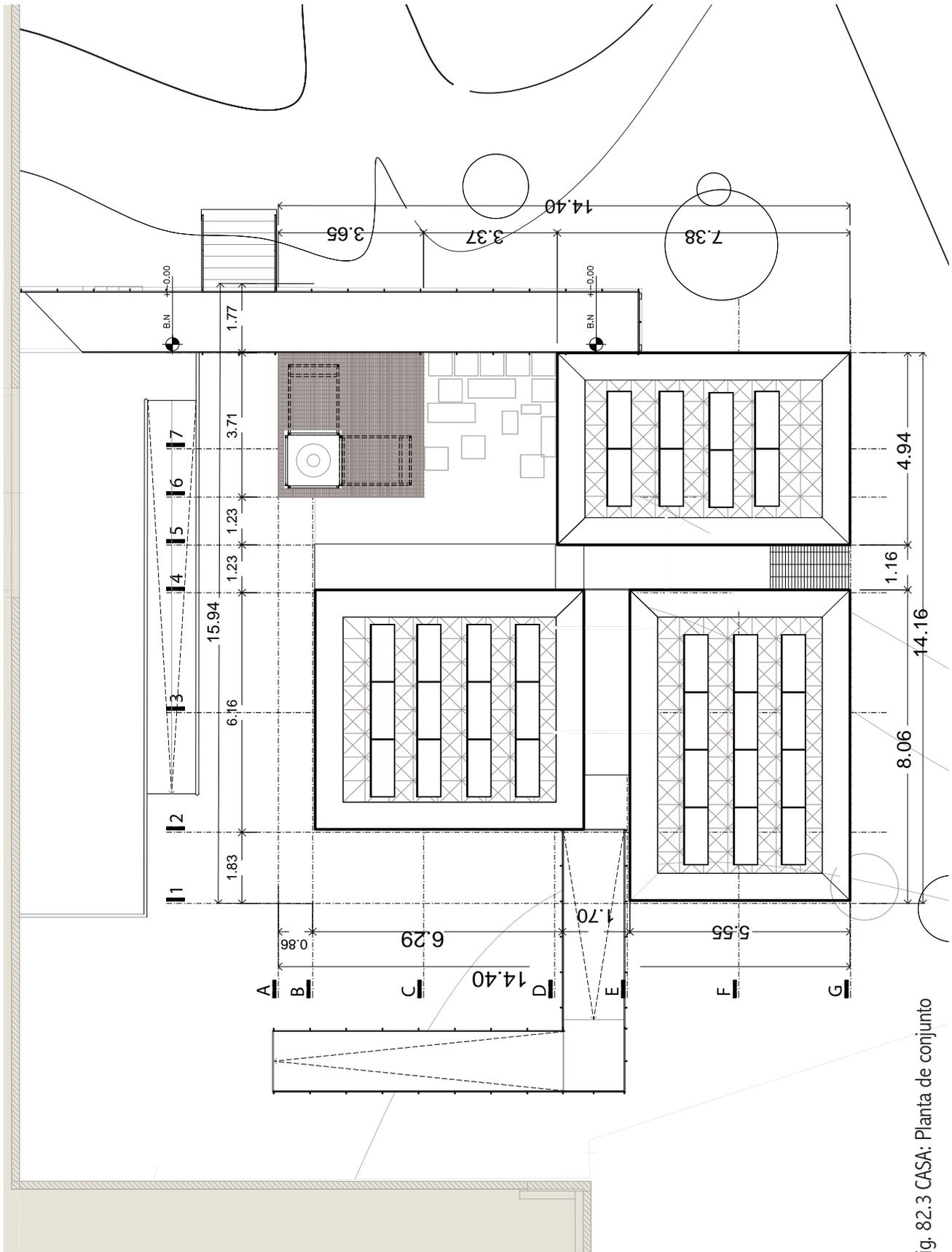


Fig. 82.3 CASA: Planta de conjunto

## 8|2 Descripción de los habitáculos

### 8|2.1 Bedroom

La ubicación de conjunto de este habitáculo es hacia el **norte**, siendo el más cercano a la entrada de UNIVERSUM, a través de la rampa que conecta con el jardín.

Corresponde a un espacio de tipo estancia-recámara con un cuarto de baño anexo, por lo cual el habitáculo se divide en dos espacios. Para fines del estudio, sólo se tomaron en cuenta los datos medidos y simulados del espacio de interés: la **estancia-recámara**.

La planta general del habitáculo es de forma rectangular, pero el área de la habitación es cuadrada, (ver plano en anexo 1), por lo cual no posee un eje dominante en cuanto factor de forma.

La **sección opaca** de la envolvente del habitáculo está dispuesta hacia el norte y el oeste; ver fig.



Fig. 83.1 Bedroom: vista exterior noroeste



Fig. 83.2 Bedroom: vista exterior noreste



Fig. 83.3 Bedroom: vistas interiores oeste a) estancia y b) baño

83.1-3.

La **sección transparente** está dispuesta hacia las fachadas este y sur, se trata de ventanales con puerta de altura completa (piso-plafón), por lo que prácticamente domina el acristalamiento (fig. 83.4-5).



Fig. 83.4 Bedroom: vista exterior sureste



Fig. 83.5 Bedroom: vista interior Sur

## 8|2.2 Kitchen

Corresponde a un espacio de uso cocina-comedor, es un espacio sin divisiones aunque cuenta con un mueble cama para usarse como habitación; para efectos de este estudio, solo se tomó en cuenta el uso de cocina-comedor.

Es de planta rectangular (ver planos anexo 1) y

el eje dominante tiene una orientación este-oeste. Esta condición hace que la mayor proporción de forma este al sur, donde las ganancias por radiación solar son mayores a lo largo del año; por el otro extremo, con igual proporción está la fachada norte; su principal beneficio es recibir luz completamente difusa durante el día.

Su orientación de conjunto es suroeste, la **sección opaca** está dispuesta en las fachadas sur y oeste. Ésta última si cuenta con una ventana pero la proporción opaca es predominante. La **sección transparente** está dispuesta en las fachadas norte y este; se trata de ventanales con puerta de altura completa (piso-plafón), por lo que prácticamente domina el acristalamiento (fig. 84.1-5).



Fig. 84.1 Kitchen: vista exterior suroeste



Fig. 84.2 Kitchen: vista exterior noreste

## 8|2.3 Community

Es un habitáculo de servicios y convivencia, de manera que está planteado como un espacio multiusos para toda la comunidad de usuarios. Tiene un planta cuadrada (ver anexo 1), por lo cual no posee un eje dominante en cuanto factor de forma.

Su orientación de conjunto es sur-este, la **sección opaca** de la envolvente del habitáculo está en las fachadas este y sur, mientras que la **sección transparente** predomina en las fachadas norte y oeste. Figuras 85.1-5. Debido esta condición la mayor parte de la radiación que recibe es durante la tarde, durante las últimas horas de sol del día.



Fig. 84.3 Kitchen: vista exterior noroeste



Fig. 84.4 Kitchen: vista interior suroeste



Fig. 84.5 Kitchen: vista interior noreste



Fig. 85.1 Community: vista exterior norte



Fig. 85.2 Community: vista exterior noroeste



Fig. 85.3 Community: vista exterior suroeste



Fig. 85.4 Community: vista exterior este



Fig. 85.5 Community: vista interior sureste

## 8|3 Contexto climático

El punto de partida para el diseño bioclimático, es llevar a cabo un estudio sobre las condiciones climáticas regionales del proyecto, posteriormente se hace el levantamiento y análisis del contexto natural y artificial inmediato.

Debido a la variedad de elementos que componen el clima de un lugar, el análisis climático se enfoca principalmente hacia aquellos que influyen directamente en la **percepción térmica**, como lo son la temperatura del aire, la humedad, el viento y la radiación solar. Otros elementos climáticos como la presión atmosférica, la precipitación pluvial, la nubosidad y la evaporación, que si bien no influyen de manera directa, son importantes para la factibilidad de algunos sistemas pasivos y para el estudio del confort en espacios exteriores.

Al conjunto de factores y elementos climáticos estudiados con el fin de establecer y comprender las relaciones **clima-hombre** suele llamarse **“bioclima”**, y aunque este concepto no este reconocido oficialmente por la RAE (al menos hasta la actualidad), es un término comúnmente utilizado por los investigadores y diseñadores especializados en confort y campos afines.

El campo de la ciencia que estudia a los elementos y factores del clima con enfoque en la interacción de los seres vivos y el ambiente atmosférico donde se desarrollan, se le conoce como **“bioclimatología”**. Su interés particular en el hombre es la investigación, estimación y simulación del confort térmico humano (Auliciems, 1998).

En cuanto a iluminación y el ambiente visual, los elementos climáticos que influyen principalmente son:

**1. Insolación.** Para los sistemas de iluminación

natural es muy importante conocer el promedio del número de horas de radiación diaria, ya que las horas de luz pueden variar bastante dependiendo de la latitud y la estación del año.

**2. Nubosidad.** Es el porcentaje (%), fracción u octavos (octas) de cielo cubierto por nubes en una ubicación determinada. Esta condición puede ser determinante en la implementación de una estrategia, sistema o dispositivo de captación y distribución de luz.

**3. Días despejados.** Si bien no está considerado como un elemento del clima, es un concepto manejado en algunos tipos de cartas climáticas en ausencia de los datos de nubosidad. Los días despejados pueden tomarse como condiciones de cielo abierto, lo cual lo hace indispensable durante el diseño de las protecciones solares durante los meses que presentan mayor cantidad de días.

**4. Días con lluvia.** Al igual que el punto anterior no es considerado un elemento climático; sin embargo puede ser tomado como un indicador indirecto de los días con cielos completamente nublados, sobre todo cuando no se incluye la información de la nubosidad.

### 8|3.1 Bioclima de la Ciudad de México

Geográficamente, la Ciudad de México esta situada en una altiplanicie rodeada por sistemas montañosos, con una altura promedio de 2240 msnm, conocida como el “Valle de Anáhuac” o “Valle de México”.

Tiene una superficie de 1485 km<sup>2</sup>, sus coordenadas son: latitud 19.27689° 36' - 19° 2' N y longitud -99.13941° 56' - 99° 22' O, según datos oficiales del gobierno de la CDMX\*.

Debido a su tamaño, el clima de la Ciudad de México presenta algunas variaciones, principalmente en la zona norte con un **clima semiseco** (7% del

territorio) y la zona suroeste con clima **templado húmedo** (6%). En el territorio restante (87%), de acuerdo a la clasificación de Koppen modificada para México por García (1988), la Ciudad de México tiene un **clima de tipo CW**, correspondiente a un clima **templado subhúmedo**. La “W” indica que el periodo de lluvias ocurre durante el verano (para todo el territorio).

Como puede observarse en la figura 86, la delegación Coyoacán se encuentra en la zonificación de clima templado subhúmedo (CW), el sitio donde se ubica CASA (ver fig. 81.3 y 82.1).

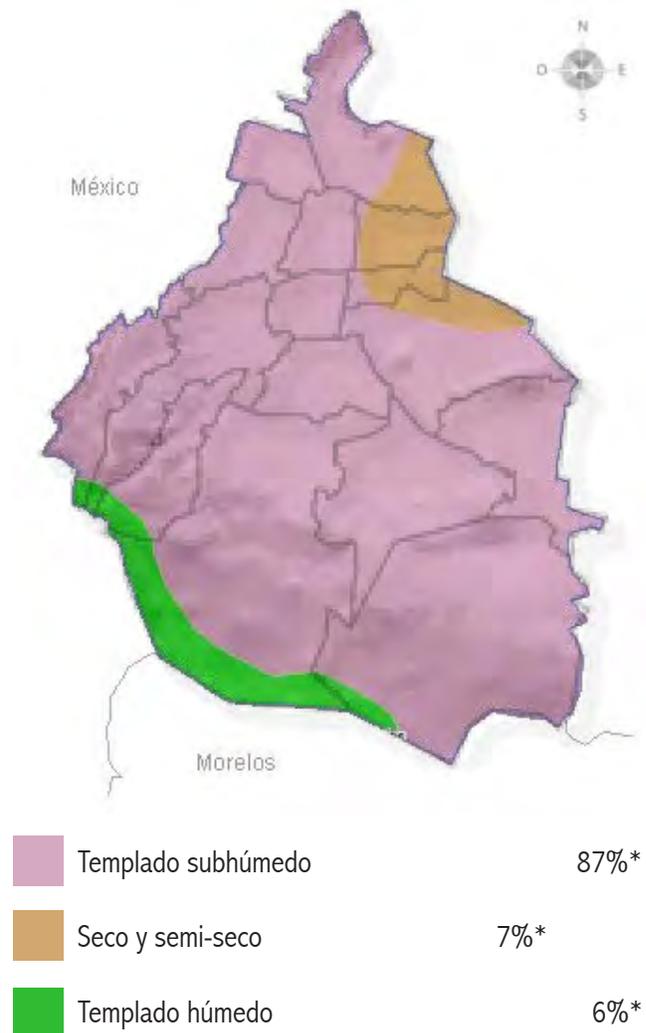


Fig. 86 Clima de la Ciudad de México<sup>54</sup>

Habiendo descrito geográfica y climáticamente la ubicación de CASA, a continuación se describen y analizan de manera breve cada uno los elementos climatológicos que componen el bioclima de la zona de Ciudad Universitaria.

Para dicho fin, se buscó consultar una fuente directa de información, altamente confiable y reciente; con el fin de que dicha información empatara de la manera más real con los datos del monitoreo de CASA y de los datos climatológicos publicados mensualmente por el RUA de la estación climatológica de Ciudad Universitaria.

Los datos fueron amablemente proporcionados por el **Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía**, atendidos por el Lic. Benito Sánchez; la ubicación del observatorio de muestra en la figuras 87.1-2.

La base recolectada están conformada por una muestra de datos de los últimos 10 años (2006-2016), conformada por los siguientes elementos:

1. Temperatura seca promedio
2. Temperatura seca máxima promedio
3. Temperatura seca mínima promedio
4. Húmedad relativa promedio
5. Húmedad relativa máxima promedio
6. Húmedad relativa mínima promedio
7. Velocidad del viento
8. Insolación diaria
9. Precipitación pluvial acumulada mensual
10. Presión atmosférica

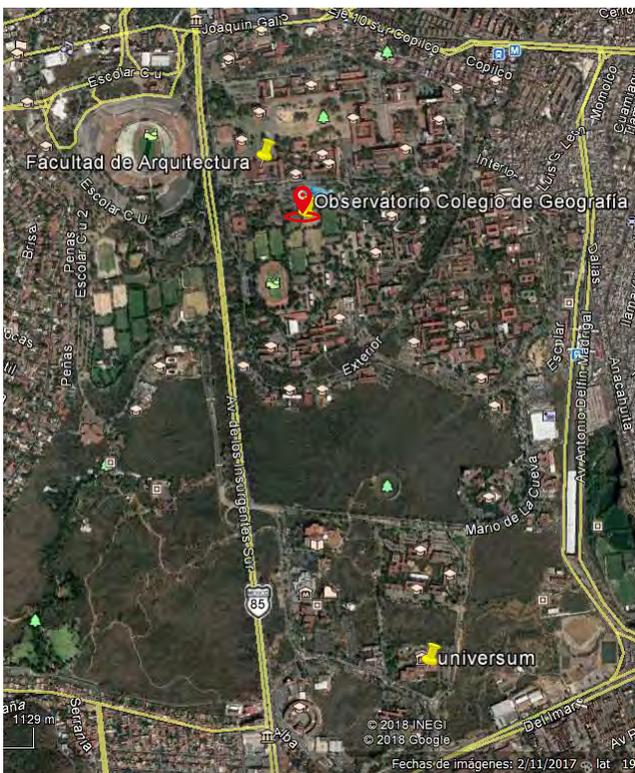


Fig. 87.1 Ubicación del O. del Colegio de Geografía

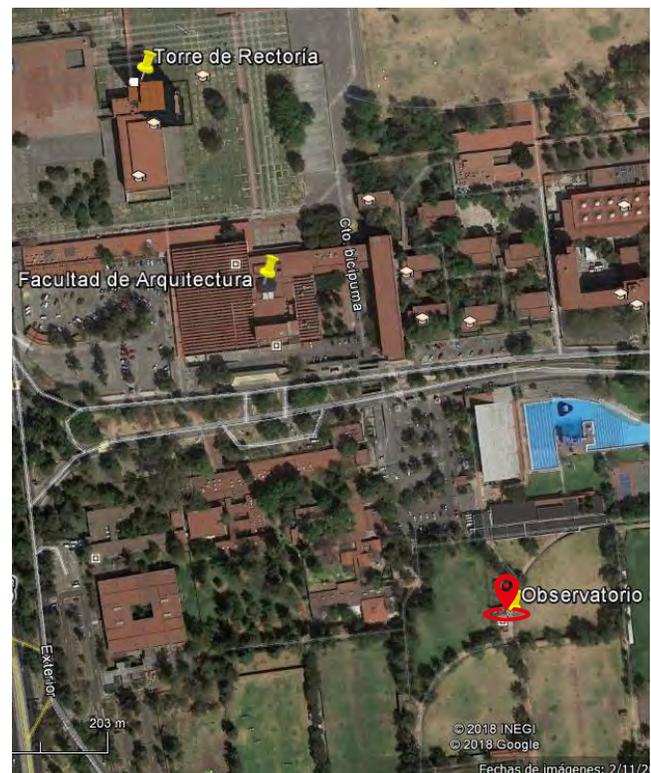
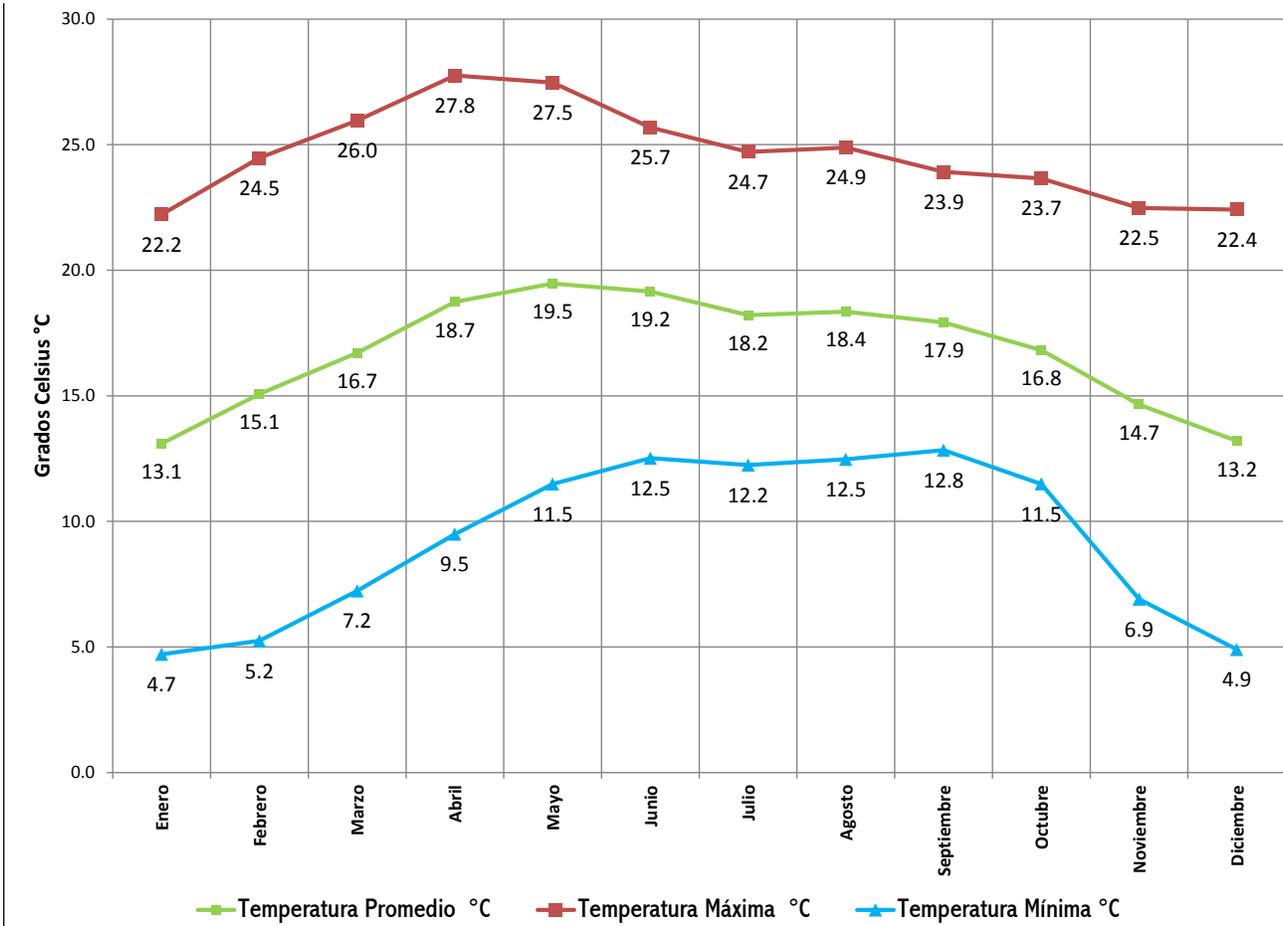


Fig. 87.2 Ubicación del O. del Colegio de Geografía

De la base de datos obtenida, se formularon las siguientes gráficas con los promedios mensuales:



Gráfica 4 Temperaturas promedio, máxima y mínima: zona Ciudad Universitaria

Con base en la gráfica 4, la temperatura diaria promedio anual sería de 16.8 °C, la temperatura mínima promedio de 13.1 °C y la máxima de 19.5 °C en los meses de Enero y Mayo respectivamente.

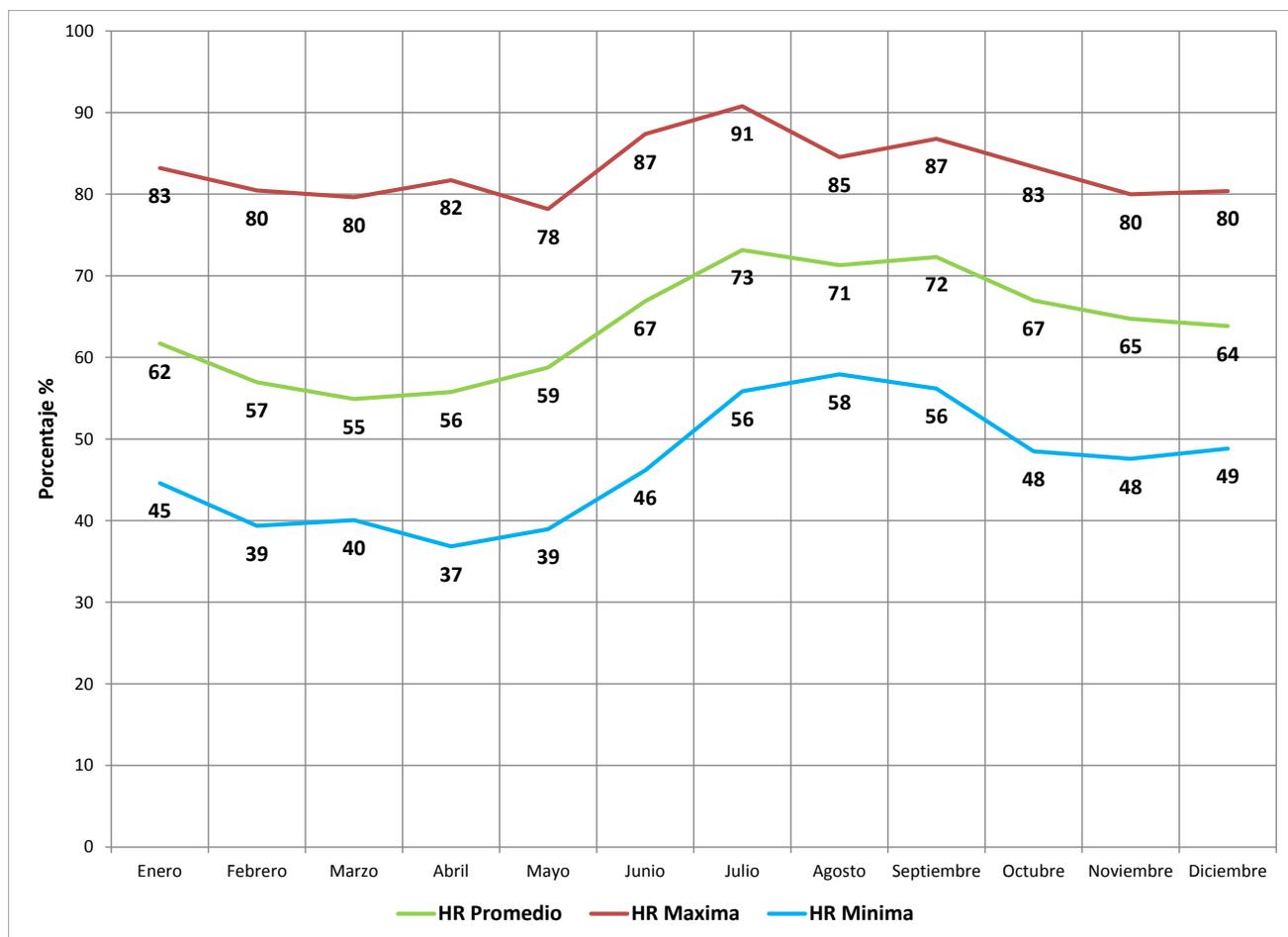
La temperatura **mínima extrema** promedio es de 4.7 °C en el mes de Enero; cercanamente, con un par de décimas de diferencia, está el mes de diciembre con 4.9 °C. La temperatura **máxima extrema** promedio es de 27.8 °C en el mes de Abril; casi igualada por tres décimas de diferencia, está el mes de Mayo con 27.5 °C.

Las oscilaciones térmicas llegan a contrastar considerablemente en ciertos periodos del año,

basándonos en los rangos dictados por los promedios entre la máxima extrema y la mínima extrema. La oscilación más amplia puede suceder en el mes de Febrero con **19.3 °C**, mientras que la oscilación más estrecha fue registrada en el mes de Septiembre con **11.1 °C**, lo que resulta en una diferencia de 8.2 °C entre ambos meses.

La oscilación extrema en febrero puede deberse a la transición de la estación de invierno a primavera.

Los datos promedio sobre humedad relativa se muestran en la gráfica 5; el promedio anual es de 64%, la mínima promedio de 55% y la máxima promedio de 73% en los meses de Marzo y Julio respectivamente.



Gráfica 5 Humedad relativa promedio, máxima y mínima: zona Ciudad Universitaria

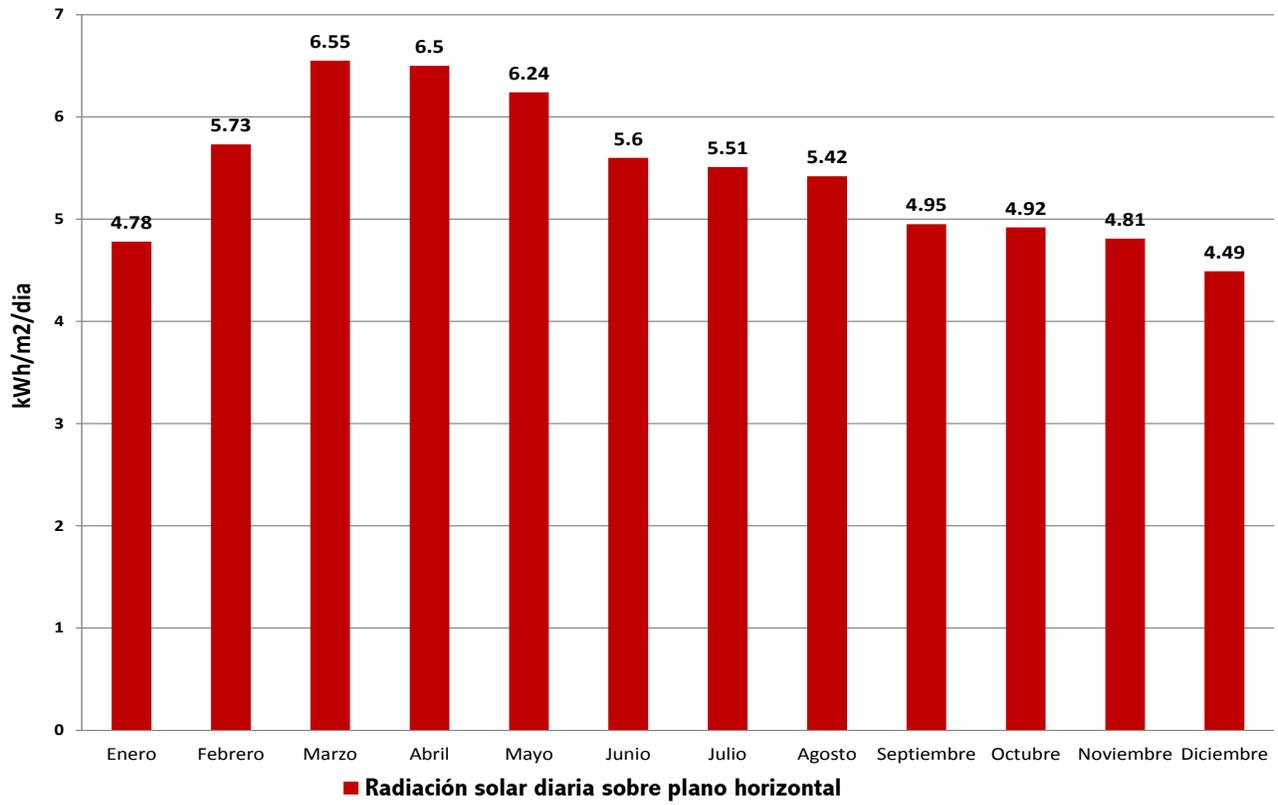
La humedad **mínima extrema** promedio es de 37% en el mes de Abril, la humedad **máxima extrema** es de 91% en el mes de Julio.

En cuanto a las oscilaciones, se tiene registro que son más significativas a lo largo del día, ya que pueden variar hasta en un 38% durante el mismo, con un 75% en la mañana entre las 6 y 8 am, contra un 37% en la tarde entre las 14 y 16 hrs. (Lira, 2002). Este hecho, como veremos en capítulos posteriores, hace que la sensación térmica durante la mañana se perciba más fría, sobre todo durante los meses con temperaturas más bajas (Noviembre-Febrero).

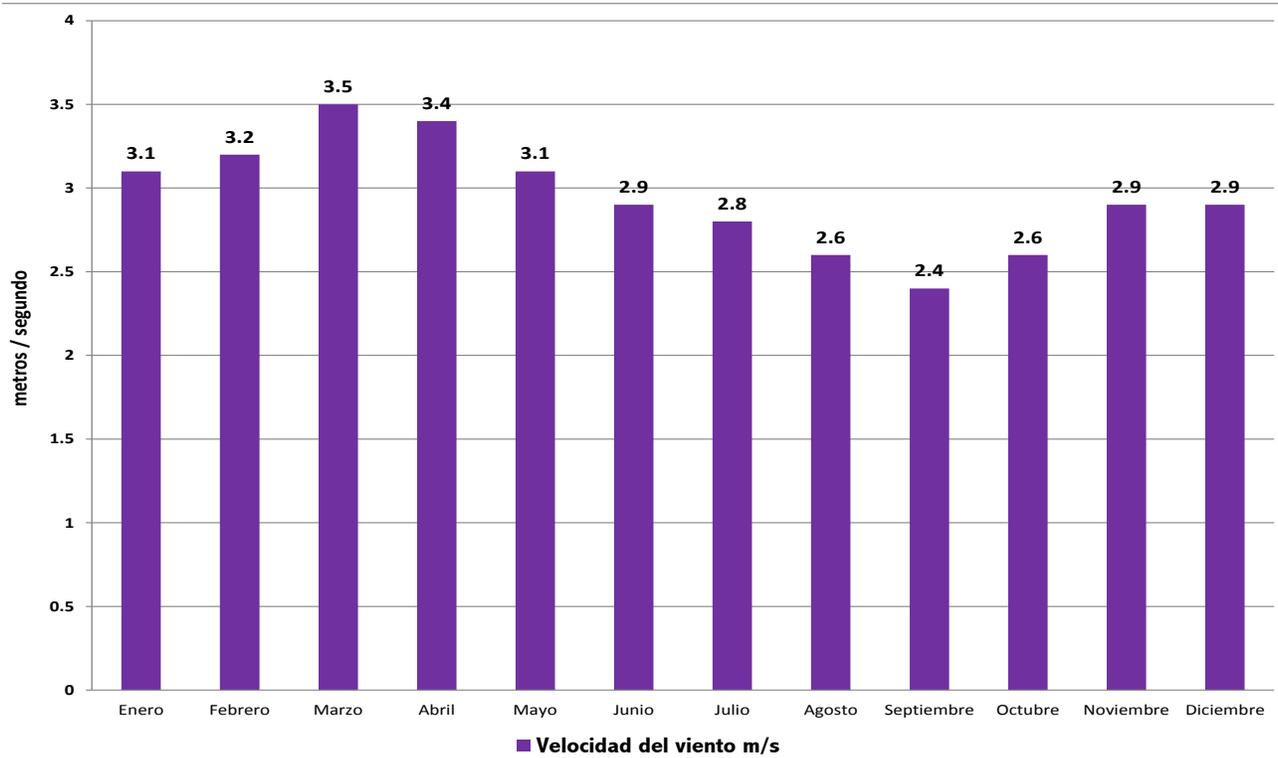
Los valores de la **velocidad del viento promedio** y su **frecuencia** se presentan en la gráficas 6 y 7; la primera obtenida de la misma fuente, el

observatorio del Colegio de Geografía y la segunda de una base de datos de los registros obtenidos del aeropuerto internacional de la Ciudad de México a través de una página web especializada en dicho campo (ver referencia 25).

Si bien es cierto que al viento se le considera como el elemento climático aleatorio por excelencia, por estar altamente influido por las condiciones del contexto inmediato, se debe tener en cuenta su patrón de incidencia como una condición repetitiva y frecuente a nivel regional, para ubicar el eje térmico del proyecto dentro del terreno con base en la orientación cardinal.

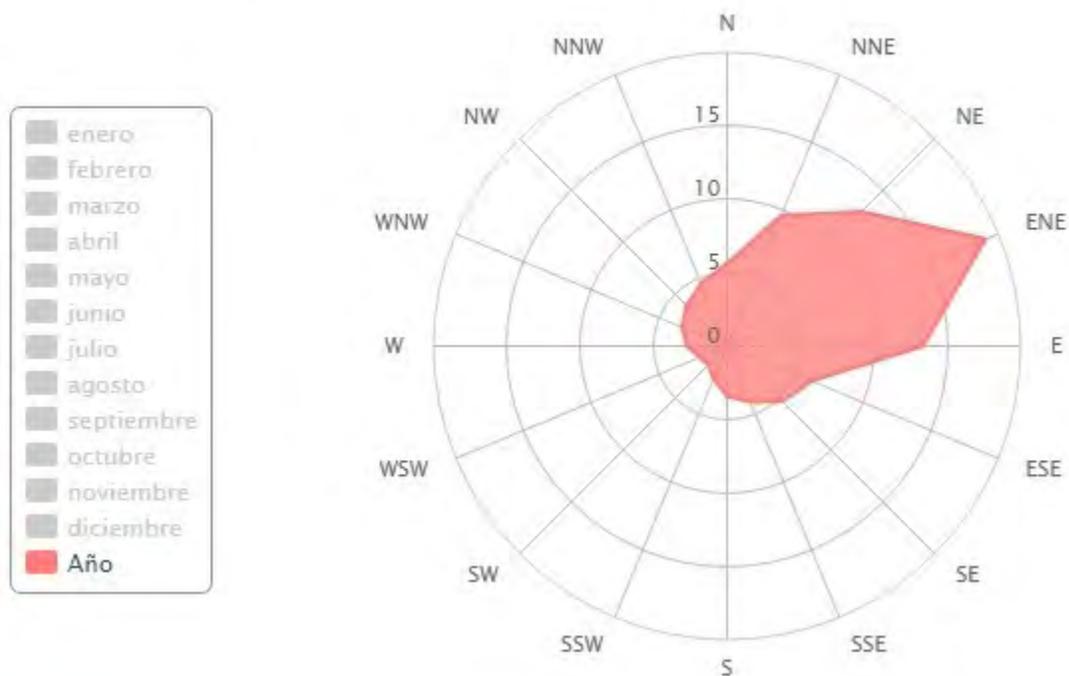


Gráfica 6 Radiación solar promedio sobre plano horizontal: Ciudad Universitaria



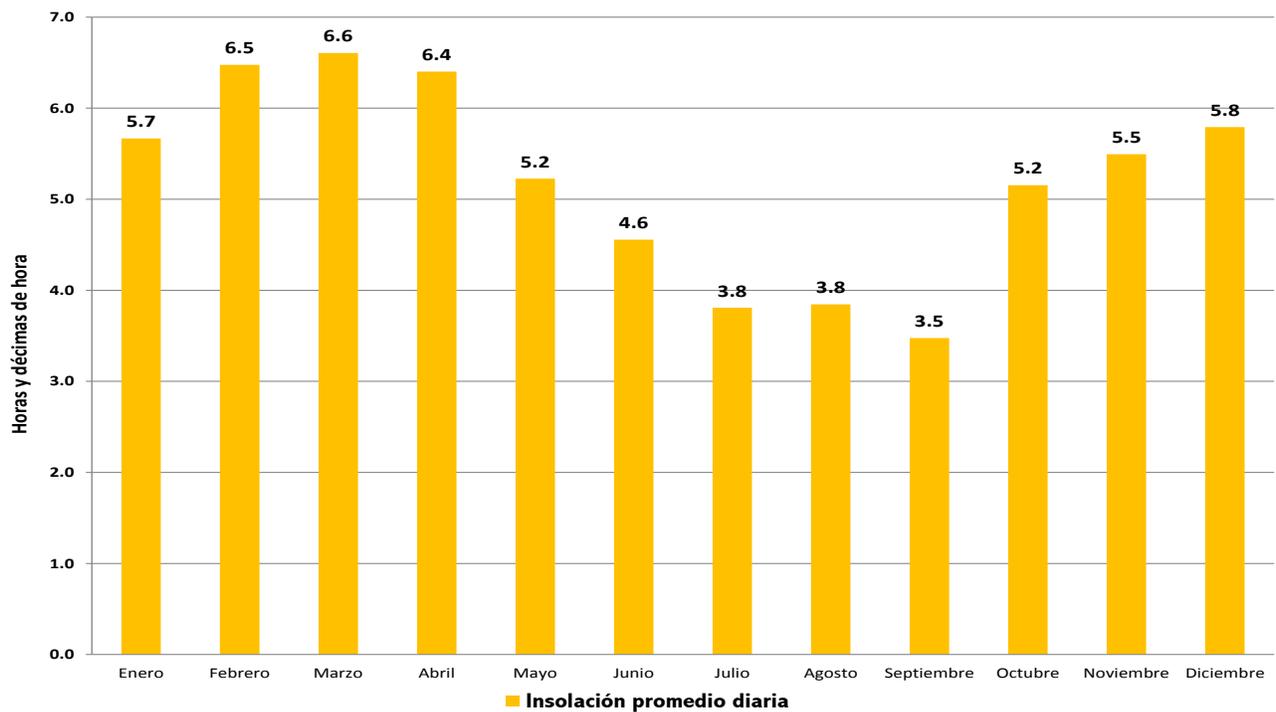
Gráfica 7 Velocidad del viento promedio mensual: Ciudad Universitaria

### Distribución de la dirección del viento en (%) Año

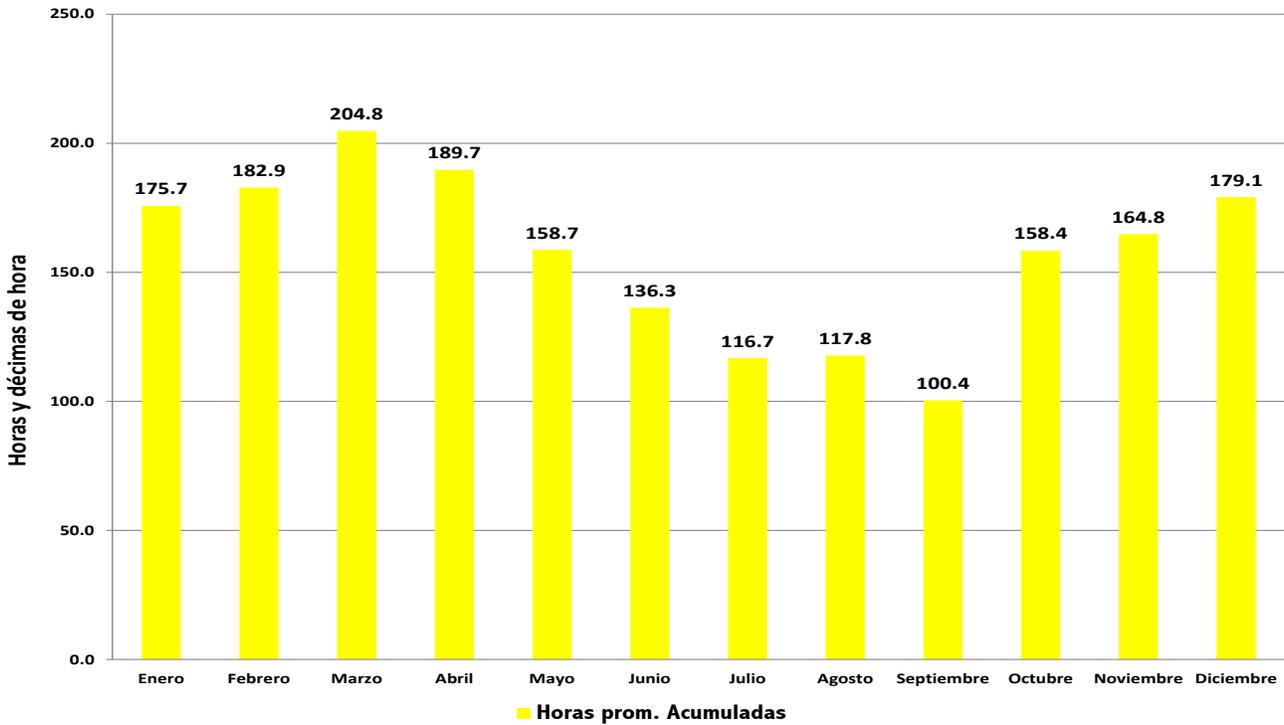


Gráfica 8 Distribución de la velocidad del viento para la Ciudad de México<sup>25</sup>

Estadísticas basadas en observaciones tomadas entre el 02/2011 - 01/2018 diariamente entre las 7 am y las 7 pm hora local. Se pueden solicitar los datos brutos del viento y del tiempo en formato Excel en la página de solicitud de datos meteorológicos históricos.



Gráfica 9 Insolación diaria promedio mensual: Ciudad Universitaria



Gráfica 10 Insolación: horas acumuladas mensuales promedio: Ciudad Universitaria

La **insolación** representa el tiempo de duración de horas “efectivas” de sol, es decir, el tiempo que el Sol incide de manera directa sobre la zona de medición, sin o con muy poca obstrucción de nubes en el cielo.

Esta variable se mide gracias con un **heliógrafo** (fig. 88), que básicamente consiste en una bola de vidrio macizo de unos 10 cm. de diámetro que, a modo de lente, concentra los rayos solares en un foco próximo a ella. A medida que el sol se va moviendo en el cielo, este foco va recorriendo una banda o cartulina graduada fijada a un marco metálico paralelo al vidrio, en las cuales están marcadas las horas y las medias horas del día. Gracias a esto se puede observar el momento del día en que se trazaron dichas marcas.

La concentración del foco luminoso y calorífico va trazando por carbonización una línea oscura más o menos acentuada, según la intensidad de los rayos solares.

Si el Sol brilla durante todo el día y sobre la banda se forma una traza carbonizada continua. La duración de la insolación se determina midiendo la longitud de la traza carbonizada. Si el Sol brilla de forma discontinua por la presencia de nubes, el trazo quemado será intermitente; cuando la nubosidad desaparece, se reanuda la carbonización de la gráfica. En ese caso, la insolación se determina sumando la longitud de las trazas resultantes.

Como se observa en las gráficas 9 y 10 los meses con la menor cantidad de horas de insolación coinciden con la temporada de lluvias, que son los meses de **Junio a Septiembre** con **3.9 horas** al día en promedio.

Durante dicha época, este factor **facilita el uso de la iluminación natural** ya que no se requiere de gran protección por ser luz difusa que llega desde un cielo completamente nublado. Además, puede ser la pauta para el uso de **protecciones solares móviles**, como los **textiles** de CASA, ya que dicho periodo vuelve casi



Fig. 88 Heliógrafo<sup>55</sup>

innecesaria la protección directa del Sol por largos periodos durante el día.

Los meses con mayor cantidad de horas de insolación son Febrero, Marzo y Abril, con 6.5 horas diarias en promedio; el primero es un tiempo de transición entre el invierno y la primavera, y los dos siguientes corresponden a los dos primeros meses de la primavera.

Este periodo es el mejor para aprovechar la capacidad de los sistemas de iluminación y energías renovables que trabajan con radiación directa. También se vuelve el más conveniente para el uso de protecciones solares, para evitar el sobrecalentamiento y controlar los deslumbramientos hacia los planos de trabajo.

En cuanto al resto de los datos obtenidos como la **precipitación pluvial** y la **presión atmosférica**, éstos fueron descartados dentro del análisis del bioclima por estar apartados directamente del objetivo del presente estudio. No obstante, se reconoce que

estos últimos puedan tener relación o incidencia en los factores climáticos que si quedaron dentro del análisis del bioclima.

En el siguiente capítulo, se expone y fundamentan las metodologías de experimentación y comprobación del objetivo de estudio con base al presente análisis bioclimático, es decir, en aquellos elementos del clima que infieren y determinan de manera directa el confort higrotérmico y visual.

Como parte de los resultados, debería quedar demostrado la adaptación térmica, reflejándose en la aclimatación de los sujetos, su preferencia y la aceptación del ambiente térmico.

En cuanto al ambiente visual, a pesar de que el diseño arquitectónico es esencialmente responsable del alcance de los parámetros de iluminación. Los factores de usuario como la edad y el tipo de actividad, deben ser tomados en cuenta para asegurar que el diseño cumple con su objetivo, razón por la cual se incluyeron en el cuestionario calificativo de percepción (prueba cualitativa) quedando estadísticamente asentadas todas las respuestas de los participantes.

## Referencias

(54) INEGI. Consultada en Septiembre del 2016. <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>

(55) Imagen extraída del sitio web: <https://www.meteorologiaenred.com/los-instrumentos-meteorologicos-y-su-funcion.html>. Consultado en Agosto del 2016.

## Referencias imágenes

Fig. 80 [http://www.mapa-mexico.com/Mapa\\_Ubicacion\\_Coyoacan\\_Mexico\\_DF.htm](http://www.mapa-mexico.com/Mapa_Ubicacion_Coyoacan_Mexico_DF.htm)

Fig. 81.1 <http://www.data.seduvi.cdmx.gob.mx/portal/docs/programas/limitesdecolonias/Coyoacan.pdf>

Fig. 81.2-3 Vista satelital. Google Earth 2017

Fig. 82..1-2 Vista satelital. Google Earth 2017

Fig. 83.1-5 Fotos: J. Joel Barajas Flores

Fig. 84.1-5 Fotos: J. Joel Barajas Flores

Fig. 85.1-5 Fotos: J. Joel Barajas Flores

Fig. 87.1-2 Vista satelital. Google Earth 2017

Fig. 88 <http://introduccionalameteorologia.blogspot.com/2007/10/la-atmosfera.html>

# 9|

## METODOLOGÍA DE ESTUDIO

### 9 | 1 Requerimientos de confort

9 | 1.1 Elección de enfoque y del modelo de confort térmico

9 | 1.2 Requerimientos de confort

9 | 1.3 Confort visual y cantidad de iluminación

### 9 | 2 Metodología cuantitativa

9 | 2.1 Monitoreo térmico d CASA

9 | 2.2 Base de datos climatólogicos del sitio

9 | 2.3 Simulación energética de CASA

### 9 | 3 Metodología cualitativa

9 | 3.1 Escalas de juicio subjetivo

9 | 3.2 Cuestionario de evaluación ambiental

9 | 3.3 Correlación de escalas cualitativas con mediciones cuantitativas

# 9|1 Requerimientos de confort

## 9|1.1 Elección de enfoque y del modelo de confort térmico

Antes de establecer los periodos de estudio y los requerimientos de confort higrotérmico, se buscó una metodología con un enfoque que empatará con las características y el bioclima del caso de estudio, apegándose en lo posible a las bases originales de diseño de CASA, pautadas por las reglas de competencia del SDE 2014.

Para lograr tal objetivo, lo primero fue buscar, a manera de antecedentes, los parámetros de diseño asentados en el “RÈGLEMENT / RULES / V4.0 - February 2014” del SDE, encontrándose lo relacionado a las condiciones de confort en la “**RULE 19 CONTEST 5: COMFORT CONDITIONS**”

En dicho punto del concurso, se evalúan los siguientes conceptos:

1. 5.1 Temperature
2. 5.2 Humidity
3. 5.3 Natural Lighting
4. 5.4 Air quality – CO2
5. 5.5 Air quality – VOC
6. 5.6 Acoustic performance

De los seis puntos evaluados por el concurso, por cuestiones de alcance y limitaciones, para este trabajo sólo se abordaron los tres primeros puntos: 5.1 - 5.3. A continuación, se presenta de manera

resumida los criterios y alcances de evaluación del SDE.

**Temperatura.** La temperatura interior se medirá constantemente. Todos los puntos disponibles se obtienen al final de cada período marcado al mantener la **temperatura operativa interior** en un **rango de 2 °C** (promediada en el tiempo), dependiendo del clima. Cada día de competición a las 5:00 p.m., la organización SDE 2014 anunciará el rango de temperatura para el día siguiente, de acuerdo con la norma EN-15251, con el fin de adaptar las condiciones de confort a la intemperie. Figura 89

**Húmedad.** La humedad relativa se medirá constantemente. Un sensor de humedad se ubicará al lado de un sensor de temperatura. Todos los puntos disponibles se obtienen al final de cada período marcado al mantener la humedad relativa interior promediada en el tiempo entre **40% y 55%** durante el período marcado. Se obtienen puntos reducidos si la humedad relativa interior promediada en el tiempo se mantiene entre 25% y 40%, o entre 55% y 60%. Los valores de puntos reducidos se escalan linealmente, como se muestra en la figura adjunta. Figura 90.

**Iluminación.** Las mediciones del nivel de iluminación natural se llevarán a cabo en el período marcado en el calendario de competencia. El fotómetro se ubicará en la sala de estar. La intensidad de la luz del área se medirá de acuerdo con los niveles espectrales definidos por la organización. Todos los puntos disponibles se obtienen al mantener el factor de luz de día, por encima del 4% durante los períodos de medición (cielo nublado). Figura 91.

### 9|1.1.1 Norma EN-15251

Se consultó la norma EN-15251 para identificar

y verificar el tipo de enfoque y modelo de confort seleccionado para la evaluación del concurso. Las fórmulas y criterios presentadas también se incluyen en el “Sub-contest 5.1: Temperature”:

$T^{\circ}ea = ( T^{\circ}_{ed-1} + 0,8 T^{\circ}_{ed-2} + 0,6 T^{\circ}_{ed-3} + 0,5 T^{\circ}_{ed-4} + 0,4 T^{\circ}_{ed-5} + 0,3 T^{\circ}_{ed-6} + 0,2 T^{\circ}_{ed-7} ) / 3,8$
Donde:
$T^{\circ}ea$ = temperatura exterior promedio del día
$T^{\circ}ed-x$ = temperaturas exteriores promedio diarias de los días precedentes
Ec. 31 Temperatura promedio exterior diaria

Como primer paso, se determina la temperatura exterior promedio del día por medio de la siguiente ecuación:

En el punto “3.2 de la EN-15251, se explica que la ecuación anterior puede ser usada en caso de no contar con registros de la temperatura externa promedio diaria; lo cual es cierto, ya que fuentes de información del equipo aseguran que no se disponía de un archivo climático específico de la zona del concurso (Versalles). La decisión que tomaron fue la de usar un archivo disponible de la zona más cercana, en este caso de la ciudad de París.

Las reglas señalan que los datos del monitoreo de la temperatura exterior e interior sería constante y serían registrados diariamente, por lo que de una manera u otra tanto el promedio del día de la temperatura como los rangos irían variando día con día. La prueba sería calificada de igual manera (diario).

A opinión personal, dicho criterio no fue una buena decisión para calificar el desempeño térmico de la prueba, ya que se dejaba mucho al azar por la imprevisibilidad del clima y la probabilidad de días atípicos durante la prueba. Este último hecho fue el que sucedió: se registraron lluvias durante las

pruebas del concurso provocando variaciones climáticas atípicas para la estación.

$T^{\circ}i \text{ min} = 0.33 T^{\circ}ea + 18.8 - 1$ $T^{\circ}i \text{ max} = 0.33 T^{\circ}ea + 18.8 + 1$
Donde:
$T^{\circ}i \text{ min}$ = temperatura operativa interior limite mínimo o inferior
$T^{\circ}i \text{ max}$ = temperatura operativa interior limite máximo o superior
$T^{\circ}ea$ = temperatura exterior promedio del día
Ec. 32 Limites de temperatura operativa interior

En cuanto a la estimación de los rangos de temperatura operativa para el cálculo de los puntos obtenidos, se hace según la ecuación 32:

Como podemos observar, la ecuación 32 corresponde a un modelo de confort adaptativo, el cual fue tomado del apéndice “A2” de la EN-15251, con una ligera variación: la amplitud de los rangos. En el apéndice A2 los criterios señalados están en función de una categorización de las edificaciones, separándolas en 4 tipos:

- Categoría 1. Alto nivel de expectativa, recomendado para espacios con necesidades especiales, enfermos, niños muy pequeños, personas mayores, etc.
- Categoría 2. Nivel normal de expectativa, recomendado para nuevos edificios y renovaciones
- Categoría 3. Nivel aceptable y moderado de expectativas, recomendado para edificios existentes
- Categoría 4. Valores fuera de los criterios para las categorías anteriores. Esta categoría solo debe

ser aceptada por una parte limitada del año.

<b>Edificios Categoría 1</b>
Limite superior: $\square i \text{ max} = 0,33 \square \text{rm} + 18,8 + 2$
Limite inferior: $\square i \text{ min} = 0,33 \square \text{rm} + 18,8 - 2$
<b>Edificios Categoría 2</b>
Limite superior: $\square i \text{ max} = 0,33 \square \text{rm} + 18,8 + 3$
Limite inferior: lower limit: $\square i \text{ min} = 0,33 \square \text{rm} + 18,8 - 3$
<b>Edificios Categoría 3</b>
Limite superior: $\square i \text{ max} = 0,33 \square \text{rm} + 18,8 + 4$
Limite inferior: $\square i \text{ min} = 0,33 \square \text{rm} + 18,8 - 4$
Tabla 28. Calculo de rangos de confort EN-15251

El cálculo de los rangos de confort para las categorías se muestra en la tabla 28.

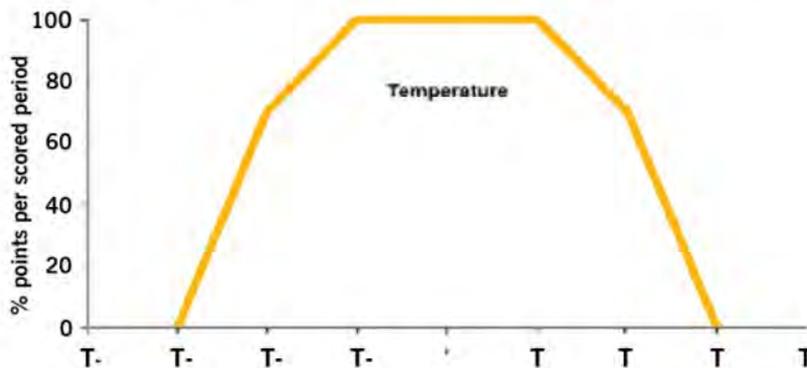
Como podemos observar, la regla del concurso fue más allá de los criterios establecidos por la propia norma en que se basó, ya que en la ecuación 32, se

puede ver que la amplitud del rango aplicado fue de  $\pm 1$ ; bajo este criterio, la evaluación de la prueba se volvió **más estricta que una edificación de categoría 1**. Dentro de las reglas del SDE no se expone en alguna parte ningún fundamento sobre la decisión de este criterio.

La gráfica de puntos de la prueba 5.1 se muestra en la figura 89 y como puede observarse, el rango de temperatura para obtener el puntaje completo es de sólo 2 °C; mientras que una cantidad parcial se obtiene con un rango más amplio de 6 °C ( $-3 < T_n < -1$  y  $+1 < T_n < +3$ ), criterio que empata con una edificación de categoría 2 de acuerdo a la EN-15251, relegando implícitamente a la categoría 1 a un intervalo intermedio.

A opinión personal esto también fue un error, ya que si bien se respeta la mayoría del contenido de la norma que dió origen a la regla, la parte antes expuesta fue la excepción, por lo que no se justifica dicha acción. Estrechar los rangos de confort de esa

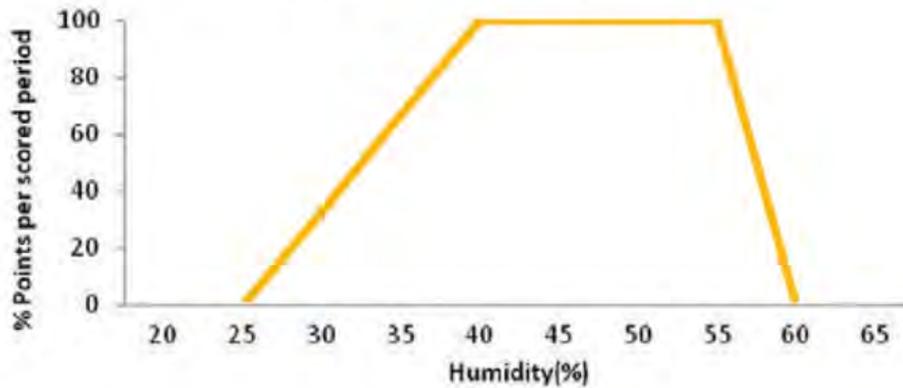
Figure 6: Temperature sub-contest points' distribution.



<b>Full Points:</b>	$T^{\circ} - 1$	$\leq$	<b>Temperature</b>	$\leq$	$T^{\circ} + 1$
<b>Reduced Points:</b>	$T^{\circ} - 3$	$<$	<b>Temperature</b>	$<$	$T^{\circ} - 1$
	$T^{\circ} + 1$	$<$	<b>Temperature</b>	$<$	$T^{\circ} + 3$
<b>No Points:</b>			<b>Temperature</b>	$\leq$	$T^{\circ} - 3$
<b>No Points:</b>			<b>Temperature</b>	$\geq$	$T^{\circ} + 3$

Fig. 89 Criterio de evaluación del SDE para los puntos en la prueba de temperatura<sup>56</sup>

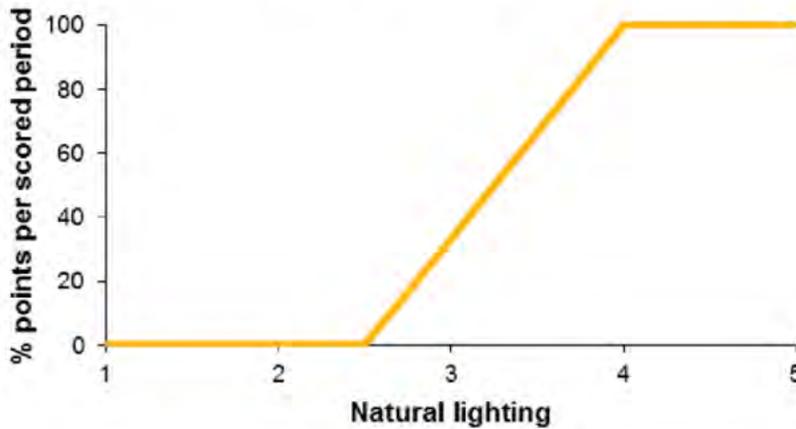
Figure 7: Humidity sub-contest point's distribution.



<b>Full Points:</b>	<b>40%</b>	<b>≤</b>	<b>Relative humidity</b>	<b>≤</b>	<b>55%</b>
<b>Reduced Points:</b>	<b>25%</b>	<b>&lt;</b>	<b>Relative humidity</b>	<b>&lt;</b>	<b>40%</b>
	<b>55%</b>	<b>&lt;</b>	<b>Relative humidity</b>	<b>&lt;</b>	<b>60%</b>
<b>No Points:</b>			<b>Relative humidity</b>	<b>≤</b>	<b>25%</b>
<b>No Points:</b>			<b>Relative humidity</b>	<b>≥</b>	<b>60%</b>

Fig. 90 Criterio de evaluación del SDE para las condiciones interiores de humedad<sup>57</sup>

Figure 10: Natural Lighting comfort sub-contest points distribution.



<b>Full Points:</b>			<b>Daylight factor</b>	<b>≥</b>	<b>4 %</b>
<b>Reduced Points:</b>	<b>2,5 %</b>	<b>&lt;</b>	<b>Daylight factor</b>	<b>&lt;</b>	<b>4 %</b>
<b>No Points:</b>			<b>Daylight factor</b>	<b>≤</b>	<b>2,5 %</b>

Fig. 91 Criterio de evaluación del SDE para iluminación natural<sup>58</sup>

manera vuelve más impredecible y difícil de estimar el comportamiento térmico pasivo de los prototipos.

Cabe la posibilidad de que este criterio haya sido implementado para hacer más difícil la competencia y/o darle ventaja al equipo local por su experiencia y conocimiento de la zona de competencia.

En cuanto al modelo de confort seleccionado, se puede fundamentar que obedece a la norma aplicable a la región europea, el cual se sustenta en un modelo adaptativo desarrollado por Nicol & Humphreys en el año 2010.

La ecuación de confort térmico en el estándar EN-15251 para edificios en “free-running mode” (modo de funcionamiento libre) está respaldado por los datos recogidos en el proyecto de la Unión Europea (UE) llamado “Smart Controls and Thermal Comfort”(controles inteligentes y confort térmico). La ecuación escrita a la forma de la recta (como se acostumbra en las normas estadounidenses) es:

$T_n = 18.8 + 0.33(T_m)$
Donde:
$T_n$ = temperatura neutral o de confort
$T_m$ = temperatura promedio mensual

Cabe resaltar que, la norma enuncia textualmente que los resultados así como la ecuación, se sustentan principalmente en estudios en edificios de oficinas; pero con base en el conocimiento general sobre el confort térmico y las respuestas humanas, se puede suponer que los límites pueden aplicarse a otros edificios (comparables) con actividades principalmente sedentarias como edificios residenciales.

Es en estos últimos, donde las oportunidades de adaptación son relativamente amplias: el tipo de actividad y la cantidad de ropa que puede ser usada (factor operativo), y la ingesta de alimentos y bebidas

(factor contribuyente individual).

Como último punto, se tiene documentado en los registros del reporte del jurado que el “CONTEST 5: COMFORT CONDITIONS” **no fue evaluado**, por lo que no hay un registro oficial del desempeño de las **condiciones de confort**.

Después de haber realizado el análisis exhaustivo anterior, exaltando las inconsistencias encontradas durante éste, se decidió buscar otra alternativa metodológica más apegada al contexto de estudio actual.

### 9|1.1.2 Norma ASHRAE-55

Para la nueva propuesta de análisis, se buscó un modelo de confort que empatará de mejor manera con las características del objeto y su nuevo contexto climático ahora en México (continente americano), bajo una metodología que permitiera estudiar al objeto de un manera más apegada a la realidad, **enfocada más hacia la habitabilidad y no a un sistema de competencia**.

Como se expuso en la primera parte (puntos 1.1 y 1.2), en México no existe realmente una norma especializada en el tema del uso eficiente de la energía en edificaciones de forma pasiva, mucho menos para las condiciones térmicas ambientales para la ocupación humana en edificios naturalmente ventilados.

Existe una “referencia” cercana al tema, encontrada en el reglamento de construcciones para el Distrito Federal dentro del punto “3.4.2 Iluminación y ventilación natural”, que trata sobre el dimensionamiento de ventanas y patios. Sin embargo, se puede advertir que el propósito esta orientado hacia las renovaciones de aire con fines de ventilación sanitaria, sin tener en cuenta las posibilidades que la ventilación natural puede

aportar al confort térmico.

Por otro lado, las normas oficiales mexicanas (NOM) que si manejan temas relacionados al confort térmico y la calidad de ambiente, son publicadas por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), de las cuales la mayoría se basan en normas extranjeras y estándares internacionales “ISO”, generando algo de duda sobre si contienen aportaciones nacionales en los respectivos temas. Sumado a lo anterior, el alcance de la aplicación y el cumplimiento de las NOM-STPS está limitado a los espacios de trabajo, por lo que se excluye a los espacios residenciales.

La mayoría de las normas sobre climatización y eficiencia energética que se aplican en México, provienen del American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE); bajo las cuales se diseñan la mayoría de los sistemas activos de aire acondicionado (o HVAC). Entre las publicaciones de dicha asociación, integrada por un grupo multidisciplinario de profesionales, existe una norma especializada en las condiciones ambientales térmicas.

Se trata de la **ANSI/ASHRAE Standard 55**, que a partir de su versión 2004, implementa los dos enfoques de estudio del confort térmico y es considerada la **primera norma híbrida**, antecesora a la EN-15251. Fue la primera en incluir el concepto de adaptación, además de la evaluación de ambientes térmicos con ventilación natural.

La norma considera los aspectos tratados en las normas ISO -7730 e ISO-7726.

Sumado a lo anterior, y teniendo en cuenta la influencia y la aceptación del AHSRAE en México (por cuestiones geográficas y comerciales principalmente), se consultó el contenido de la norma **ASHRAE 55-2013**. En el punto “5.4 Determining Acceptable

Thermal Conditions in Occupant-Controlled Naturally Conditioned Spaces” se encuentran las bases y criterios aplicables para espacios acondicionados naturalmente, controlados por los ocupantes.

Es la parte de dicho documento, donde se sustenta la implementación del modelo de confort térmico adaptativo seleccionado para el caso de estudio. De acuerdo a la norma, los entornos térmicos deben cumplir con los siguientes criterios:

- El acondicionamiento térmico debe estar regulado principalmente (no enteramente) por los ocupantes a través de **ventanas operables**.
- Las ventanas operables deben abrirse al aire libre y alcance de los usuarios.
- No tener sistemas de acondicionamiento de aire (enfriamiento o calefacción) dentro del espacio, si se acepta la ventilación mecánica con aire no acondicionado. Sin embargo, las ventanas deben ser el medio principal para regular las condiciones térmicas en el espacio. En ningún enunciado subsecuente se habla de la implementación y el uso de sistemas pasivos, aunque de manera implícita podría tomarse como afirmativo, puesto que no se señala su prohibición como si se hace con los sistemas HVAC.
- Los rangos metabólicos de los ocupantes, entran en la categoría de actividad **sedentaria** (pasiva), con tasas que van de **1.0 met** a **1.3 met**. Dicho rango empata aceptablemente con niveles de actividad en espacios de tipo habitacional y oficinas principalmente.
- Los ocupantes deben tener la libertad de poder adaptar su vestimenta a las condiciones térmicas interiores y/o exteriores dentro de un rango de al menos **0.5** a **1.0 clo**.

- La temperatura exterior promedio del sitio debe ser mayor a 10 °C (50 ° F) y menor a 33.5 °C (92.3 ° F), la mayor parte del año.

Todos los criterios antes expuestos, se cumplen para el caso de estudio (revisar las memorias descriptivas y fotográficas del capítulo 2 | 2 de la segunda parte).

Cabe aclarar, que el resumen anterior es una traducción e interpretación de la versión 2013; En la figura 92, se muestra a manera de gráfica las temperaturas operativas permitidas para los espacios que cumplen con los criterio antes mencionados. Esta figura incluye dos rangos de límites de temperatura operativa: uno para el 80% de aceptabilidad y el otro para el 90% de aceptabilidad.

## 9|1.2 Requerimientos de Confort

Para establecer los periodos de estudio se hizo un análisis de “temperatura neutra” o

termopreferendum, con base a las características del bioclima y de acuerdo al enfoque de **confort térmico adaptativo** de la norma seleccionada en el punto anterior.

Según se menciona en el punto 5.4.2.3 de la norma ASHRAE 55, la gráfica de la figura 92 ya toma en cuenta los siguientes efectos, y por lo tanto no es necesario que se evalúen por separado: incomodidad térmica local, aislamiento de la ropa (Icl), tasa metabólica, humedad y velocidad del aire.

Aún así, los efectos de **aislamiento de la ropa** y la **tasa metabólica** fueron registrados durante el estudio, a manera de **comprobación** y de documentar que se cumplieron los criterios establecidos por el punto “5.4.1” de la norma ASHRAE 55.

En ninguna parte de la sección 5.4 de la norma se hace mención sobre el efecto de la TRM o si es considerado en la gráfica. Sin embargo, para fines prácticos se aplicó el criterio expuesto en el marco teórico que señala que la TRM es igual a la TBS cuando la velocidad del viento es nula o relativamente

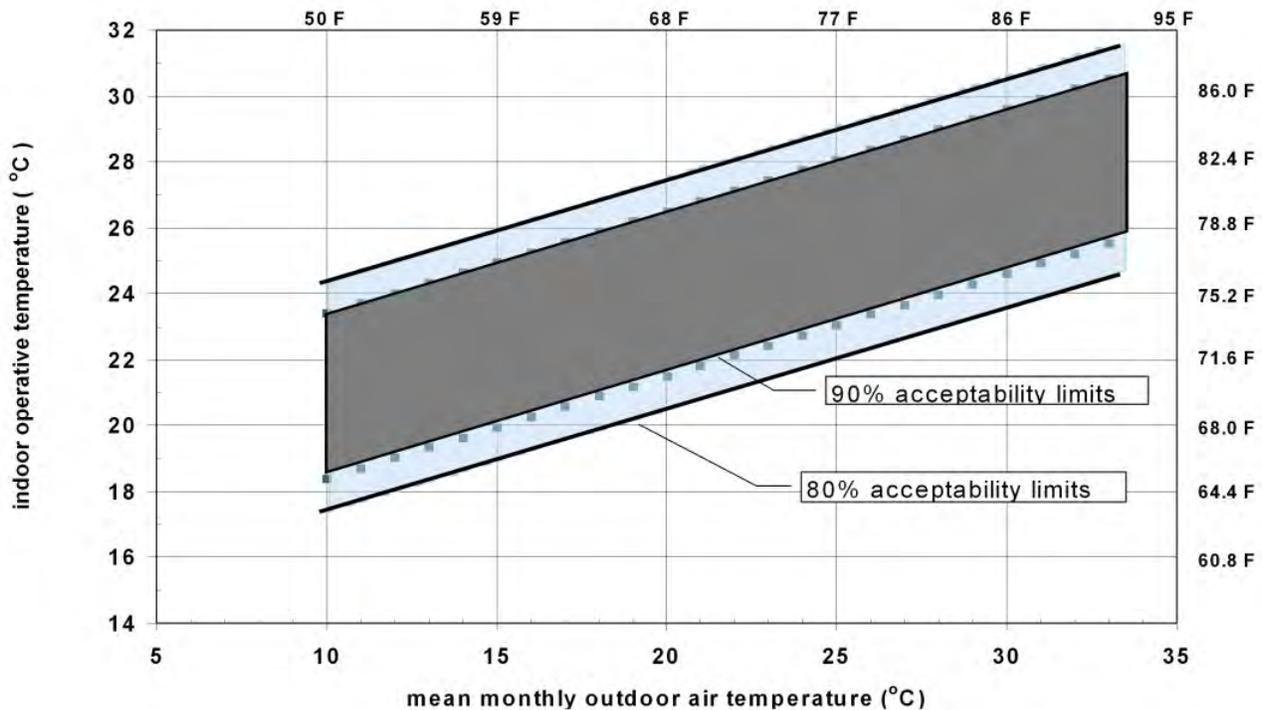


Fig. 92 Gráfica del modelo adaptativo ASHRAE-55<sup>59</sup>

baja. El valor promedio considerado es de **0.3 m/s** (59 fpm), que es la velocidad a la cual responden los límites de la gráfica.

Debido a la ausencia de instrumentación para medir la velocidad del viento durante el monitoreo y las evaluaciones, se restringió la velocidad dentro de los espacios, cerrando las aperturas mas grandes la mayor parte del tiempo posible y dejando abierto (solo en ocasiones) la ventana más pequeña durante las evaluaciones cualitativas.

Cabe destacar también, que CASA esta rodeada por el gran volumen del edificio de UNIVERSUM, con una barrera de vegetación en la parte sur del jardín y que se encuentra a nivel del terreno (fig. 93). Con esas características, podríamos considerar que no se encuentra expuesta a vientos dominantes.

Por su parte, para los requerimientos de **confort**



Fig. 93 Vista exterior sur de CASA (desde el circuito)

**visual** se siguieron las mismas bases de las reglas del SDE, por su aplicación universal, a la ausencia de la instrumentación requerida y complejidad de monitorear dicho parámetro (el factor de luz natural). Sin embargo, como se expone más adelante, la medición de dicho parámetro se documentó con base en la simulación energética por medio de software y una evaluación cualitativa.

### 9|1.2.1 Modelo de confort y periodos de estudio

Para determinar los requerimientos de confort térmico basado en el análisis del bioclima, se hace el respectivo cálculo de la **temperatura de confort** (o temperatura neutral) y la amplitud de los **rangos** (límite superior e inferior).

Los valores obtenidos se calcularon con base en la ecuación 31, el cual es un modelo adaptativo obtenido por Auliciems (1981) y que también es muy similar a la ecuación obtenida por Brager & De Dear (1997), esta peculiaridad hace que la estimación sea más confiable.

El sustento de dicho modelo (y la ecuación) esta respaldado por el proyecto **ASHRAE RP-884**, el

$T_n = 17.8 + 0.31(T_m)$
Donde:
$T_n$ = temperatura neutral o de confort
$T_m$ = temperatura promedio mensual exterior

Ec. 31 Modelo adaptativo de Auliciems (1997) estudio más grande desarrollado a nivel mundial. El líder del grupo de trabajo fue De Dear y tuvo la colaboración de Brager, Cooper, Nicol, Roaf entre otros.

Se llevó a cabo en siete países con 31 ciudades en

total, con diferentes climas. Los edificios fueron 160, en su mayoría de oficina, además de edificios de tipo residencial, educacional, auditorios e industria de los cuales 38 tenían ventilación natural y 119 aire acondicionado, mientras que 3 tuvieron un sistema mixto.

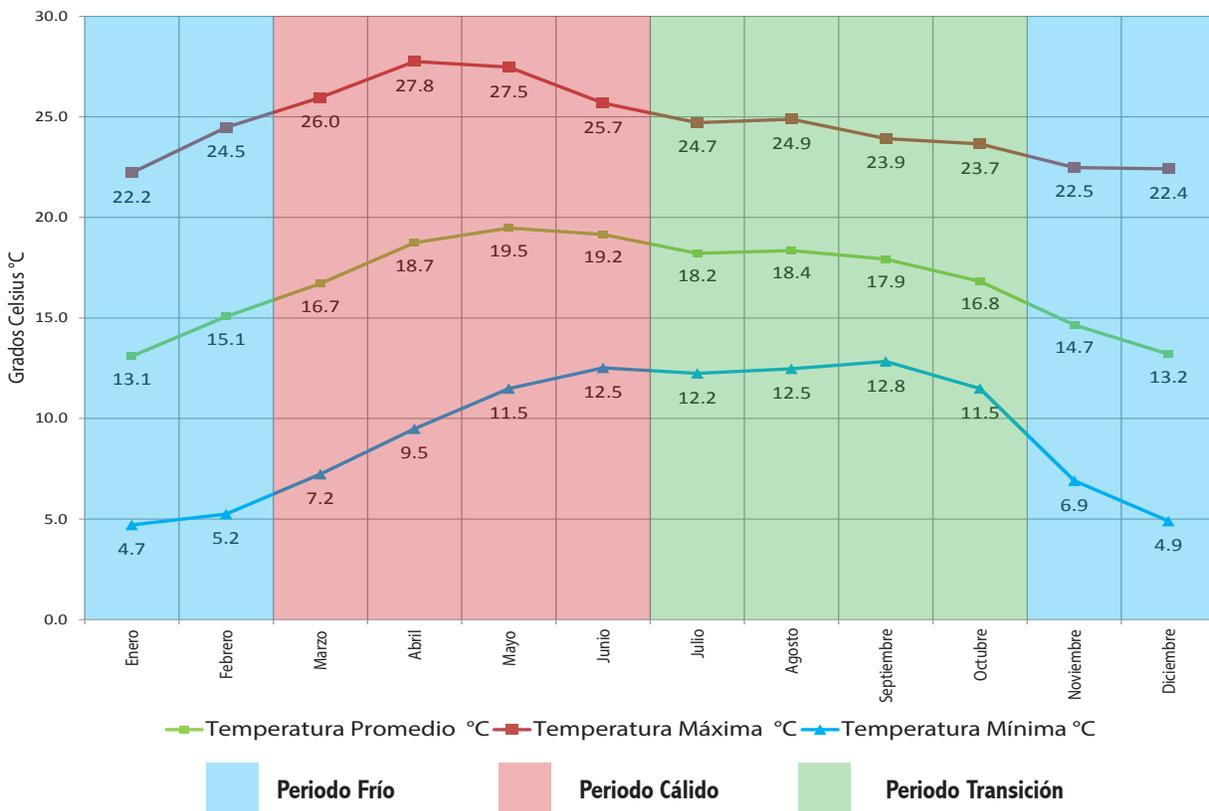
La muestra total aproximada contó 21, 000 encuestas aplicadas. El cuestionario estaba basado en algunos casos en la norma ISO 10551 y/o ANSI/ASHRAE 55. Las variables analizadas fueron: temperatura del aire, temperatura de globo negro, velocidad de viento y humedad relativa; también se tomó en cuenta la actividad metabólica y nivel de arropamiento (0.8-1.0 clo).

Como primer paso, se definieron los **periodos de estudio** en tres tipos: periodo cálido, periodo frío y periodo de transición. De acuerdo a los datos de la gráfica 4 y al siguiente criterio:

**Periodo cálido.** Se tomó de referencia a los meses con las temperaturas extremas más altas, de los 25 °C hacia arriba, presentes desde Marzo a Junio respectivamente. Los meses de marzo y abril son los meses con mayor horas de insolación y cantidad de radiación, mientras que mayo es el mes con la temperatura promedio más alta del año, y el segundo con la máxima extrema más alta (3 décimas de diferencia con Abril).

**Periodo frío.** Se tomó como referencia a los meses con las temperaturas extremas más bajas, con un promedio de 5 °C, presentes desde Noviembre a Febrero respectivamente. En estos meses hay humedades máximas extremas arriba del 80%, principalmente durante la madrugada y la mañana, dando pista a que sean los momentos del día con mayor discomfort.

**Peróodo de transición.** Corresponde a un periodo intermedio entre el cálido y el frío. Se caracteriza



Gráfica 11 Definición de los periodos de estudio

por presentar las **oscilaciones más estrechas** entre las máximas y mínimas extremas promedio anuales. También presenta las temperaturas promedio mensuales con **menor pendiente** en la línea; esto quiere decir que las temperaturas varían por poca diferencia entre uno y otro mes.

Los meses de Julio y Agosto presentan la **menor oscilación promedio** de todo el año con 0.2 °C de diferencia; la temperatura promedio de los cuatros meses que componen este periodo es de 17.8 °C.



Fig. 94 Periodo de transición (con línea de tendencia)

### 3 | 2.1.1 Temperatura neutral y rangos de confort

La **temperatura neutral** (Tn) se calcula sustituyendo los valores de la ecuación 31 con los promedios de cada uno de los periodos de estudio de la gráfica 11.

Los valores promedio son:

#### Periodo cálido

$$(16.7 + 18.7 + 19.5 + 19.2) / 4 = 18.5$$

$T_n = 17.8 + 0.31 (18.5) = 23.5 \text{ } ^\circ\text{C}$
---

Ec. 32 T. neutral periodo cálido
----------------------------------

Límite superior

$$23.5 + 2.5 = 26.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Límite inferior

$$23.5 - 2.5 = 21.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### Periodo de transición

$$(18.2 + 18.4 + 17.9 + 16.8) / 4 = 17.8$$

$T_n = 17.8 + 0.31 (17.8) = 23.3 \text{ } ^\circ\text{C}$
---

Ec. 33 T. neutral periodo de transición
---

Límite superior

$$23.3 + 2.5 = 25.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Límite inferior

$$23.3 - 2.5 = 20.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### Periodo frío

$$(13.1 + 15.1 + 14.7 + 13.2) / 4 = 14$$

$T_n = 17.8 + 0.31 (14) = 22.1 \text{ } ^\circ\text{C}$
---

Ec. 34 T. neutral periodo frío
--------------------------------

Límite superior

$$22.1 + 2.5 = 24.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Límite inferior

$$22.1 - 2.5 = 19.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

No se calculó una **Tn** fija para todo el año, ya que de acuerdo a algunas investigaciones, la temperatura de confort varía a lo largo de este tiempo gracias a los mecanismos fisiológicos que proveen la aclimatación. Esto significa, que dicho proceso sucede también dentro de periodos relativamente cortos (estacionales), aunque vivamos toda la vida en el mismo sitio.

Psicológicamente, nuestras expectativas y preferencias térmicas en relación con los espacios también cambian a lo largo del año. En cuanto a los factores operativos y contributivos, nos preparamos térmicamente mejor para las temporadas más extremas del año: usando la ropa adecuada (más abrigadora, más ligera, etc), consumiendo alimentos y bebidas calientes o frías, y pasando más tiempo dentro de los espacios interiores; todo lo anterior basado en la **experiencia** de los usuarios.

Para la **amplitud de los rangos de confort**, se tomó en cuenta el criterio más estricto, considerando un porcentaje de población satisfecha del **90%** con sensación confortable, aplicando una **amplitud simétrica de  $\pm 2.5$  °C**, dando como resultado una zona de confort de 5 °C

### 9|1.2.1 Diagrama de isorrequerimientos para la Ciudad de México

Para representar de la mejor manera la información y los resultados del comportamiento térmico de CASA, así como las sensaciones térmicas horarias; se decidió clasificar los periodos de 24 horas (día típico) en 4 períodos:

- Madrugada (0 - 6 h)
- Mañana (7 - 12 h)
- Tarde (13 - 18 h)
- Noche (19 - 23h)

Las sensaciones térmicas fueron desglosadas de forma horaria en relación con el **clima exterior**, con el objetivo de hacer una **primera aproximación** de los requerimientos de confort de una manera más amplia y detallada.

Se elaboró la tabla 29 con base en la información climática y la ayuda de una hoja de cálculo basada en algoritmos; éstos calculan las temperaturas horarias con base en la temperatura promedio, la temperatura promedio máxima y temperatura promedio mínima, elaborada por el Dr. Morillón (1998).

Analizando la tabla, se puede observar que las horas por **abajo del rango de confort** predominan la mayor parte de las horas del día a lo largo del año, durante toda la noche y la madrugada, desde las 18 a las 6 hrs. y la mitad de la mañana (de 7 a 9 hrs.) durante el periodo más frío

El periodo del día con la mayor cantidad de horas **dentro del rango de confort** ocurre durante la tarde y la mitad de la mañana, sobre todo en el periodo de transición y en el mes de julio en particular, con un horario desde las 10 a las 17 hrs.

Durante el periodo cálido se manifiestan las únicas horas por **arriba del rango de confort**, principalmente en la mitad de la mañana y de la tarde, con un horario desde las 11 a las 15 hrs.

A manera de resumen, en las gráficas 12 y 13 se estimó la cantidad de horas y el porcentaje de la sensación térmica durante el periodo anual.

### 9|1.3 Confort visual y cantidad de iluminación

El análisis de la iluminación natural se hizo de acuerdo a las reglas del SDE, las cuales sugieren el uso del método del factor de luz natural (FLN) y el respectivo criterio de eficiencia de la figura 91.

El FLN es un método que provee resultados de iluminancia relativa, lo cual implica hacer una relación

entre el valor de la iluminancia exterior y el punto de interés del espacio interior (plano de trabajo), dando como resultado un valor relativo expresado en porcentaje (%). Su cálculo es simple si se conoce la iluminancia del cielo, por ejemplo, para un cielo de 15,000 lux y en el plano se miden 400 lux:

$$DF = 400/15,000 = 0.02 \times 100 = 2.6 \%$$

El FLN solo toma en cuenta el componente de luz solar difusa, excluyendo completamente la radiación directa y su posible potencial. Por esta razón, es considerado un método de baja precisión de la distribución de luz. La iluminancia relativa proporcionada por este tipo de métodos relativos, es prácticamente estática y comúnmente supuesta como un valor constante que no varía con la hora del día ni con la orientación de la abertura.

La cantidad de luz que incide sobre un punto en un plano de trabajo dentro de un espacio, es el resultado de la suma de tres principales componentes:

1. Luz exterior o luz del cielo (sky component). Es el flujo de luz que llega directamente desde el cielo a través de la ventana. Como es de suponer, la cantidad de luz depende de la luminancia del tipo de cielo, la cual varía de acuerdo a la posición geográfica, a la época del año y a las condiciones climáticas. De acuerdo a la literatura, la iluminancia que proporciona un cielo nublado tiene un rango de 5,000 a 20,000 lux.
2. Luz reflejada del exterior. Es la cantidad de luz que reflejan las superficies adyacentes hacia las ventanas. Por esta razón su valor es sumamente condicionante y altamente variable para cada caso particular. La mayoría de las veces su valor es relativamente pequeño, por lo cual a veces se opta por desprestigiar este componente, a menos que exista una gran obstrucción de la vista del cielo en la ventana o que no haya vista hacia este.

La forma de incluir este componente en la simulación fue modelar las superficies más cercanas a todas las ventanas del espacio.

3. Luz internamente reflejada. Es el flujo de luz que llega indirectamente a través de las superficies del espacio, principalmente de las paredes y el techo. El aprovechamiento y la eficiencia de este componente, radica principalmente en la reflectancia de los acabados, en la geometría del espacio (proporción volumétrica) y sus superficies, distribuyendo de mejor manera los rayos de luz al interior.

La forma de incluir este componente en la simulación fue configurar en las opciones de cálculo 3 rebotes de luz, uno de los cuales serviría también para incluir el primer rebote de las superficies exteriores.

De acuerdo a las reglas del SDE, la evaluación se considera satisfactoria si el FLN promedio se mantiene arriba del 4%. Las condiciones de análisis son:

- Altura del plano de trabajo de 0.9 m.
- La distancia mínima considerada a una ventana será de 2m. Sin embargo se recomienda tomar la medida al centroide de la geometría de la planta.
- Los valores entre el 2.5% y 4% se escalan linealmente en la gráfica para calcular su eficiencia respecto a lo establecido (fig. 91)

Cabe resaltar que el FLN es un método creado en Europa, y utilizado principalmente en el norte, donde predominan los cielos nublados. Por esta razón en parte algunos investigadores considera que su aplicación en países como México tiene una aplicación limitada.

ESTIMACION DE TEMPERATURAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.																
Localidad	CU	Lat. (xx.x)			Long.(xxx.x)			-99.18			Altitud (m)			2300		
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
Temp max	22.2	24.5	26.0	27.8	27.5	25.7	24.7	24.9	23.9	23.7	22.5	22.4				
Temp min	4.7	5.2	7.2	9.5	11.5	12.5	12.2	12.5	12.8	11.5	6.9	4.9				
Temp med	13.1	15.1	16.7	18.7	19.5	19.2	18.2	18.4	17.9	16.8	14.7	13.2				
Hora min	6.5	6.3	6.1	5.8	5.5	5.4	5.5	5.7	5.9	6.2	6.5	6.6				
Hora max	13.9	13.8	12.9	13.4	13.1	13.3	12.7	13.2	13.5	13.4	14.0	13.8				
Hora (TSV)																
00:00	9.3	10.1	11.7	13.6	14.9	15.3	14.9	15.2	15.4	14.5	10.9	9.5				
01:00	8.4	9.2	10.9	12.8	14.3	14.7	14.4	14.7	14.9	13.9	10.2	8.7				
02:00	7.7	8.4	10.2	12.2	13.7	14.3	14.0	14.3	14.5	13.5	9.6	8.0				
03:00	7.1	7.8	9.6	11.6	13.3	14.0	13.6	13.9	14.2	13.1	9.0	7.4				
04:00	6.7	7.3	9.1	11.2	12.9	13.7	13.3	13.6	13.9	12.8	8.6	6.9				
05:00	6.3	6.9	8.7	10.8	12.6	13.4	13.1	13.4	13.7	12.5	8.3	6.5				
06:00	5.9	6.5	8.4	9.5	11.7	12.8	12.5	12.5	12.8	12.3	8.0	6.1				
07:00	4.9	5.8	8.3	11.4	13.8	14.8	14.2	14.0	13.7	12.0	7.2	5.1				
08:00	7.3	8.9	11.8	15.2	17.4	17.7	17.1	16.7	15.9	14.1	9.4	7.3				
09:00	11.2	13.4	16.2	19.5	21.1	20.8	19.9	19.6	18.5	16.9	12.9	11.2				
10:00	15.3	17.7	20.3	23.2	24.1	23.2	22.3	22.0	20.8	19.6	16.5	15.3				
11:00	18.6	21.1	23.3	25.8	26.2	24.8	23.8	23.7	22.5	21.7	19.4	18.6				
12:00	20.9	23.3	25.2	27.3	27.2	25.5	24.6	24.6	23.5	23.0	21.3	21.0				
13:00	22.0	24.3	25.9	27.7	27.4	25.6	24.6	24.8	23.9	23.6	22.3	22.1				
14:00	22.1	24.3	25.6	27.3	26.9	25.1	24.2	24.5	23.7	23.5	22.4	22.3				
15:00	21.5	23.5	24.7	26.2	25.8	24.2	23.4	23.7	23.1	23.0	21.8	21.8				
16:00	20.4	22.2	23.3	24.8	24.5	23.1	22.3	22.7	22.3	22.1	20.8	20.7				
17:00	19.0	20.6	21.7	23.1	23.1	21.9	21.2	21.6	21.3	21.1	19.5	19.2				
18:00	17.4	18.8	20.0	21.4	21.6	20.7	20.1	20.5	20.3	20.0	18.1	17.7				
19:00	15.8	17.0	18.3	19.8	20.2	19.5	18.9	19.4	19.3	18.8	16.7	16.0				
20:00	14.2	15.3	16.7	18.3	18.9	18.5	17.9	18.3	18.3	17.8	15.3	14.5				
21:00	12.8	13.8	15.2	16.8	17.7	17.5	17.0	17.4	17.4	16.8	14.0	13.0				
22:00	11.4	12.4	13.9	15.6	16.6	16.6	16.2	16.5	16.7	15.9	12.8	11.7				
23:00	10.3	11.1	12.7	14.5	15.7	15.9	15.5	15.8	16.0	15.2	11.8	10.5				

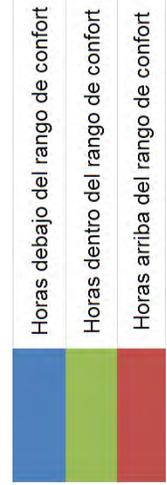
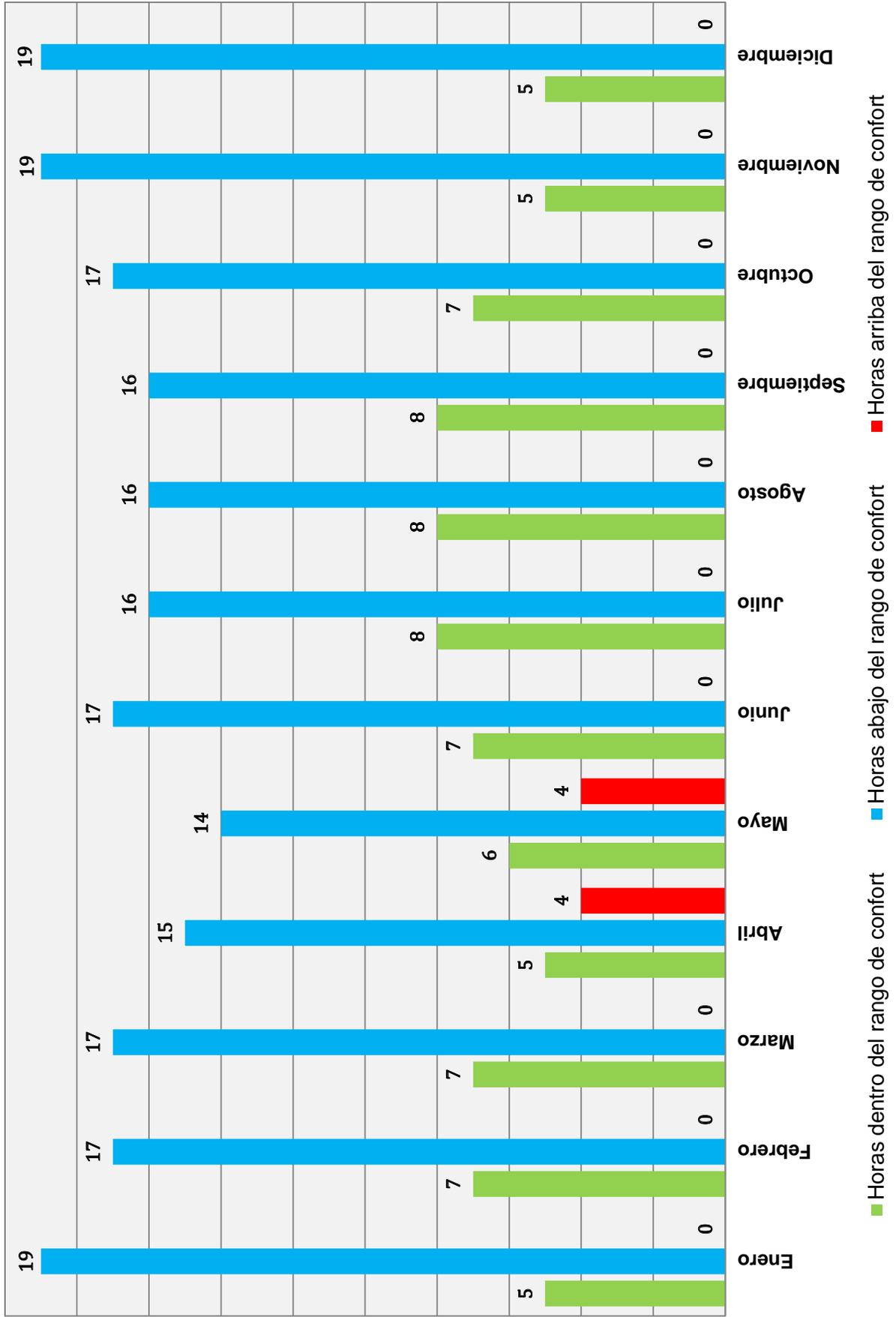
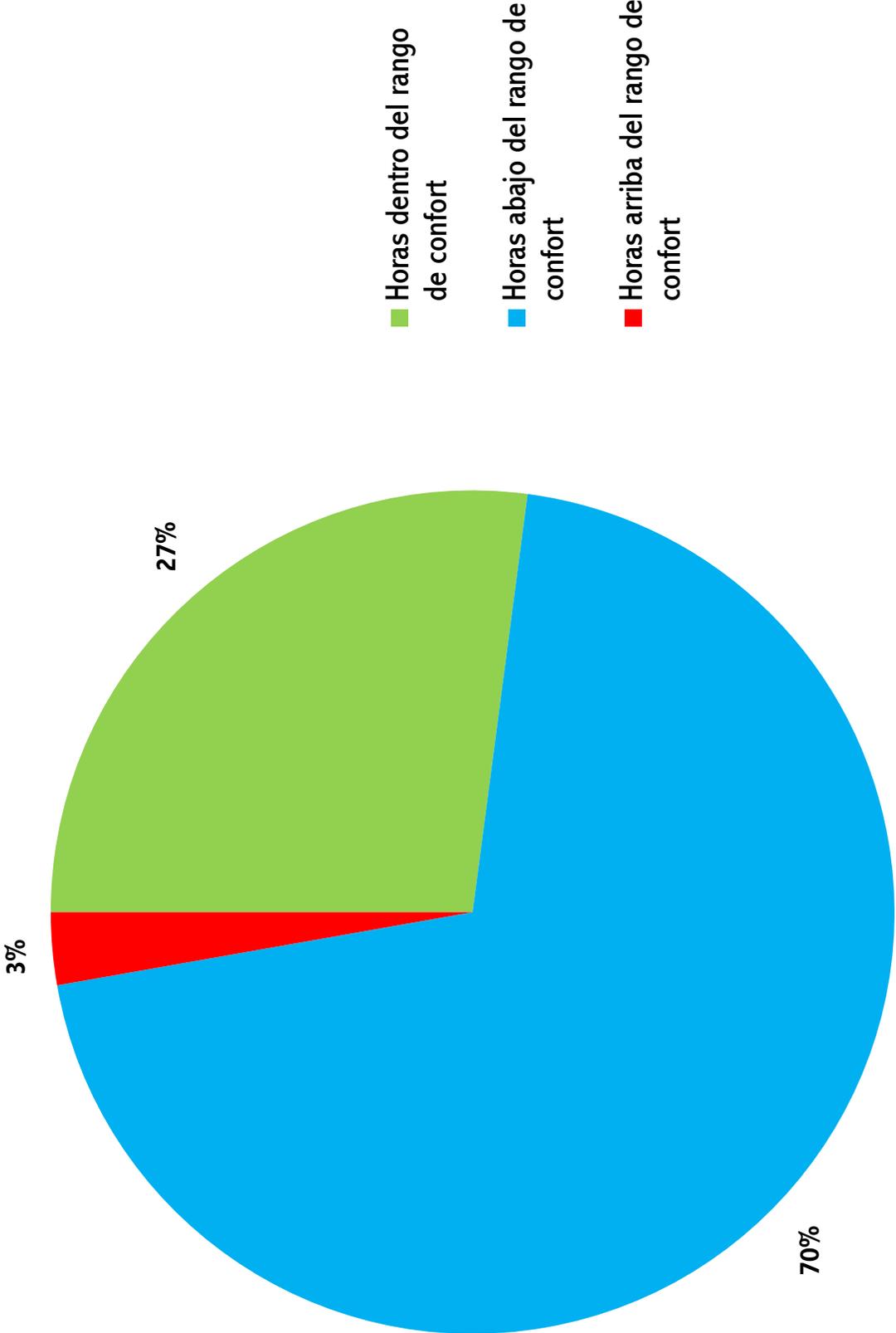


Tabla 29 Diagrama de isorrequerimientos horarios<sup>60</sup>

**Gráfica 12. Distribución horaria mensual de la sensación térmica**



Gráfica 13 Porcentaje anual de horas de la sensación térmica



## 9|2 Metodología cuantitativa

La metodología cuantitativa para la medición energética y de los parámetros de confort de CASA, se compone de las siguientes partes:

1. El monitoreo de CASA
2. Las mediciones climáticas exteriores
3. La simulación energética del proyecto

La metodología cuantitativa es una parte fundamental que ayuda a la observación y comprobación de los procesos energéticos que ocurren dentro de los habitáculos; procesos que por su naturaleza son impredecibles y afectan de manera directa su desempeño: la operación y mantenimiento de CASA, la huella que dejan los usuarios al habitarla (p. ej. la gente que visita la casa), los fenómenos climáticos atípicos, etc.

El comportamiento energético, los procesos y los fenómenos que integran esta parte de la investigación son cuantificables; por lo tanto son directamente susceptibles al tratamiento numérico y su interpretación con enfoque objetivo

### 9|2.1 Monitoreo térmico de CASA

Dentro de los habitáculos se instaló un sistema inteligente de monitoreo que consiste de 3 sensores (uno para cada habitáculo) que miden y registran cada 30 minutos la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa, la presión atmosférica, la concentración de CO<sub>2</sub> y el nivel de ruido.

La temperatura de bulbo seco fue el parámetro que se tomó en cuenta para la presente investigación ya que, como se mencionó en el capítulo anterior, tanto la humedad relativa como la temperatura radiante media (TRM) están considerados de manera implícita

en el modelo de confort térmico seleccionado.

Las especificaciones técnicas del sistemas según el fabricante son las siguientes:

**SENSORS AND MEASUREMENTS**

Temperature (indoor):  
 Ranges from: 0°C to 50°C / 32°F to 112°F  
 Accuracy: ± 0.3°C / ± 0.54°F

Temperature (outdoor):  
 Ranges from: -40°C to 65°C / -40°F to 150°F  
 Accuracy: ± 0.3°C / ± 0.54°F

Humidity (indoor and outdoor):  
 Ranges from: 0 to 100%  
 Accuracy: ± 3%

Barometer:  
 Ranges from: 260 to 1160 mbar / 7.7 to 37.2 inHg  
 Accuracy: ± 1 mbar / ± 0.03 inHg

CO2 meter (indoor):  
 Ranges from: 0 to 5000 ppm  
 Accuracy: ± 50 ppm or ± 5%

Sound meter:  
 Ranges from: 35 dB to 120 dB

**UNITS**

US system: °F and inHg.  
 Metric system: °C and mbar.

Módulo para exterior.  
 Se instaló dentro de Kitchen

**SENSORS AND MEASUREMENTS**

Temperature :  
 Ranges from: 0°C to 50°C / 32°F to 112°F  
 Accuracy: ± 0.3°C / ± 0.54°F

Humidity :  
 Ranges from: 0 to 100%  
 Accuracy: +/-3%

CO2 meter :  
 Ranges from: 0 to 5000 ppm  
 Accuracy: ± 50 ppm or ± 5%

**UNITS**

US system: °F  
 Metric system: °C

Módulo para interior. Se instaló dentro de Community y Bedroom

Fig. 95 Especificaciones técnicas de Netatmo®



Fig 96 Sistema de monitoreo Netatmo®



Ubicación del sensor en Kitchen

Fig. 97 Sistema de monitoreo Netatmo®



Ubicación del sensor en Community



Ubicación del sensor en Bedroom

## 9|2.2 Base de datos climatológicos del sitio

La observación y compilación de los datos climatológicos exteriores fue a través de la “Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos de la Universidad Nacional Autónoma de México”, también conocida como RUOA C.U. La ubicación se muestra en la figura 98.

Información del observatorio:

Coordenadas: 19.3262° N, 99.1761° W
Altitud: 2,280 m.s.n.m.
Ubicación: Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria
Universidad Nacional Autónoma de México
04510 Coyoacán, Ciudad de México, México

El objetivo de la RUOA es proveer de información atmosférica relevante y confiable para estudiar los problemas emergentes y dar soluciones a los retos que enfrenta el planeta en materia de contaminación atmosférica, cambio climático, recursos hídricos, etc., para que las nuevas generaciones de científicos cuenten con las herramientas adecuadas

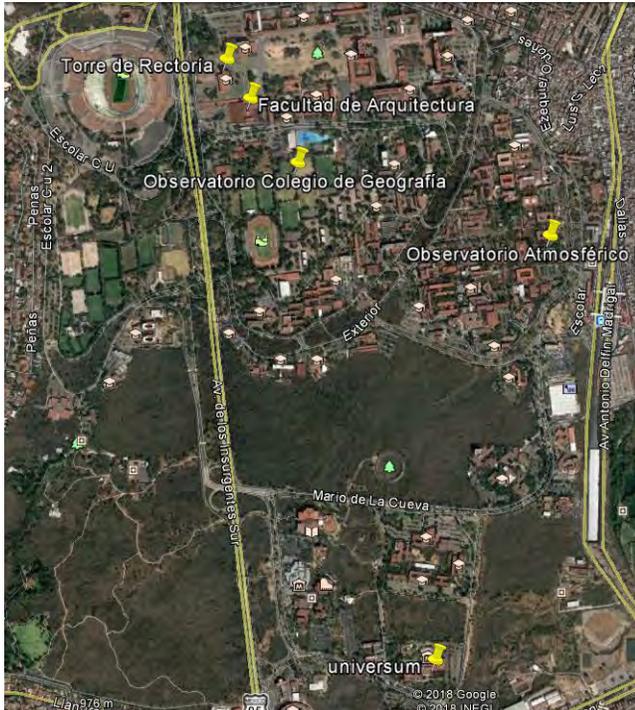


Fig. 98 Observatorio atmosférico UNAM

de información.

Los diversos parámetros y datos observables pueden ser empleados tanto para fines educativos como para llevar a cabo investigaciones en meteorología, contaminación, cambio climático y disciplinas afines.

En la página web “[www.ruoa.unam.mx](http://www.ruoa.unam.mx)” se puede encontrar y descargar información confiable sobre datos atmosféricos y ambientales en estaciones albergadas en diferentes localidades.

Los datos recabados para la investigación constan de una base de archivos horarios del mes de mayo

a noviembre del 2016.

El sistema permite descargar los datos publicados en intervalos por minuto o por hora, siendo este último el mejor criterio que empató con las posibilidades del monitoreo de CASA y de la simulación energética.

En el anexo # se concentran las gráficas mensuales trabajadas de los datos exteriores (TBS y HR).

### 9|2.3 Simulación energética de CASA

La investigación de campo de CASA duró un tiempo de 7 meses, abarcando del mes de mayo al mes de noviembre del 2016.

El mes de mayo dió inicio a la observación de los parámetros higrotérmicos del interior de los habitáculos. Noviembre fue el último mes que se dejó de trabajar con los datos monitoreados y también archivos climáticos exteriores de la RUOA, por motivos del calendario del seminario de titulación.

En diciembre del mismo año se presentaron los resultados obtenidos.

Ante tales circunstancias, se decidió hacer una simulación energética de CASA con el objetivo de complementar el tiempo de investigación con base a un año completo. Los meses ausentes en el estudio de campo son Enero, Febrero, Marzo, Abril y Diciembre.

Los **objetivos** de esta metodología fueron evaluar los meses faltantes, observando a la vez como la operación de los habitáculos incide en el comportamiento energético de la envolvente, el ambiente térmico y las condiciones de confort. También para obtener el **estudio de iluminación** natural con base a los cálculos del factor de luz.

El software elegido fue **DesingBuilder®**, especializado en la simulación ambiental y energética de edificios y que utiliza a **EnergyPlus** como motor de cálculo, y su relativa facilidad para crear modelos en 3D.

DesingBuilder® es una herramienta de alto desempeño para el diseño, la consultoría y la certificación energética. Sus avanzadas prestaciones permiten evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de carbono.

Para la creación del modelo se llevó a cabo un levantamiento arquitectónico de CASA, con la finalidad de comprobar las dimensiones de los habitáculos y sus componentes (ventanas, objetos de sombreado, etc). También se investigaron todas las propiedades térmicas de los materiales que componen la envolvente (apéndice #).

Con el equipo del **Laboratorio de Edificación Sostenible (LES) de la Facultad de Arquitectura**, a cargo de la Dra. Adriana Lira Oliver; se tomaron medidas de las propiedades ópticas de la pintura (color blanco) y del impermeabilizante (color rojo).

El equipo utilizado fue el siguiente:

1. Reflectómetro Solar marca Devices & Services, modelo SSR-ER-12V, bajo la norma ASTM C1549-09.
2. Emisómetro marca Devices & Services, modelo C1371-04, bajo la norma ASTM C1371-04.

La simulación ejecutada por el software es de tipo numérico, generando una base datos con los resultados del comportamiento energético del modelo creado, con los cuales se crearon gráficas que demostrarán de manera visual los resultados cuantitativos con el objetivo de facilitar el análisis, la

interpretación y la presentación de los resultados.

En las figuras 98.1-2 se muestra el modelo creado para la simulación energética.

Una vez adquirido, completado los datos del monitoreo, las observaciones climáticas exteriores y ejecutado la simulación energética, se compararon y cruzaron todos los resultados obtenidos en toda la etapa de investigación de campo del objeto de estudio, en una diversidad de gráficas y tablas de resultados.

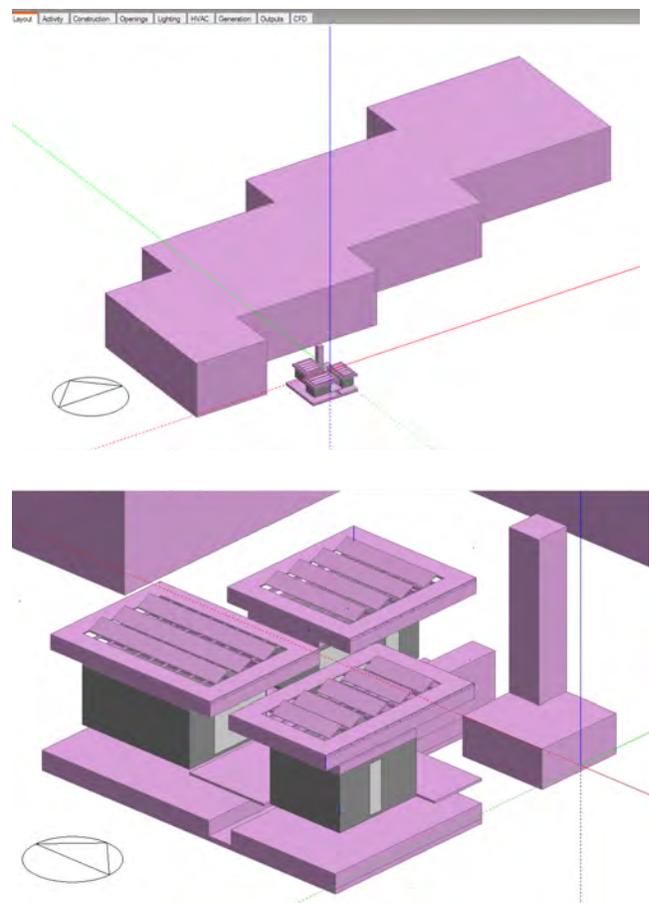


Fig. 99. Modelo energético 3D de CASA

## 9|3 Metodología cualitativa

Para el estudio de campo, también se planteó el desarrollo y la aplicación de una metodología cualitativa, fundamentada en lo siguiente:

1. El uso de escalas subjetivas como parámetro de calificación del confort por parte de los usuarios.
2. El diseño de un cuestionario de evaluación ambiental, como instrumento de recolección y documentación de información de campo.
3. La correlación de los resultados de la prueba cualitativa con los resultados de la metodología cuantitativa.

La metodología cualitativa esta concebida como una parte complementaria de la investigación, para documentar y comprobar que el objeto de estudio cumple con los criterios arquitectónicos y de funcionamiento que se describieron en la norma ASHARE-55. La calificación cualitativa de los usuarios, será un parámetro de comparación y comprobación entre el confort estimado por el modelo de confort seleccionado y la percepción ambiental de los usuarios en CASA.

La metodología se enfocó en lo siguientes aspectos:

- La evaluación cualitativa del ambiente térmico.
- La evaluación cualitativa del ambiente visual.
- Registro las cualidades de carácter operativo y personales de los usuarios.
- Registro las condiciones ambientales durante la prueba, exteriores e interiores.
- Descripción y registro el escenario de operación de CASA durante las evaluaciones.

### 9|3.1 Escalas de juicio subjetivo

El uso de escalas calificativas para la valoración del ambiente térmico tiene antecedentes en el enfoque predictivo, concretamente en los trabajos de Bedford (1936) y Fanger (1972). Dichas escalas fueron mostradas en la tabla 6.

Fanger denominó a los números de la escala como “votos”, y consideró al confort térmico como el conjunto de condiciones bajo las cuales las personas eligen las tres categorías centrales de la escala y no sólo la neutral, es decir que pueden estar entre lo “ligeramente fresco” y lo “ligeramente caluroso”. Con ese criterio trata de absorber los posibles desajustes entre la realidad objetiva y la opinión subjetiva de las personas. Este criterio, fue considerado posteriormente para la interpretación de los resultados y su correlación con los parámetros físicos.

Por otro lado, existe un debate debido a la naturaleza de la subjetividad de los datos obtenidos mediante escalas de juicio, ya que algunos expertos han dudado de la veracidad de su aportación y prefieren trabajar con datos objetivos de tipo fisiológico.

El uso válido de datos subjetivos se basa en dos aspectos: 1) No existe en aspectos de confort térmico una **delimitación exacta** sobre si los datos subjetivos u objetivos sean de mayor veracidad, y los primeros son más fáciles de obtener; y 2) en términos reales con uso de escalas de juicio subjetivo, se colecta **información de primera mano en ambientes reales**, por lo que no se establece de forma clara cuál sería la diferencia de datos objetivos con los subjetivos en ambientes controlados. (Bojorquéz, 2010)

Cabe mencionar que los estudios de Nicol y Humphreys (1972), de Dear et al., (1998) y

Nikolopoulou y Steemers (2003), entre otros, han mostrado la importancia y validez del uso de las escalas subjetivas, **debido al proceso de adaptación térmica humana** (Bojorquéz,2010).

El método, consiste en recopilar las opiniones o votos in situ de las personas expuestas a las condiciones operativas reales del ambiente, principalmente a través del diseño y aplicación de cuestionarios.

El diagnóstico arrojado por este tipo de estudios puede dar indicios del origen de la incomodidad o del parámetro ambiental preponderante que causa el disconfort (por ejemplo la humedad), cuando se aplica en conjunto con las respectivas mediciones de las variables del estudio correlacional.

En ocasiones, este método puede ser aplicado al estudio de espacios análogos al que se proyecta, o a manera de diagnóstico previo para calificar cualitativamente un espacio antes de cualquier intervención.

En esta investigación, las respuestas obtenidas de los participantes fueron utilizados para complementar e interpretar de mejor manera los resultados cuantitativos del monitoreo y la simulación energética, comparándolos con los requerimientos de confort proyectados.

La desventaja de este método, es que los límites permisibles para la carga térmica no pueden basarse con seguridad en juicios subjetivos, como en los ambientes extremos (siendo no este el caso). En tales casos, se toman en cuenta los criterios aceptados de riesgo para la salud.

### 9|3.1.2 Norma ISO-10551

Para la construcción de las escalas calificativas se consultaron diversas fuentes como la ISO-7726 Y ISO-7730. Sin embargo,

la base bibliográfica principal proviene de la ISO-10551 “Ergonomics of the thermal environment -- Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales”, que trata sobre la evaluación de los efectos del ambiente térmico por medio de escalas subjetivas de sensaciones percibidas.

La mayoría de los cuestionarios actuales y las bases de datos generadas a partir de éstos, se basan en dicha norma, la cual toma como referencia estudios como los de Bedford, Humphreys y Auliciems (Bojorquéz, 2010).

La escala de sensación térmica percibida según la ISO-10551, es una escala de siete puntos y se muestra en la tabla 30.

Así también, en la norma se especifican las preguntas que establecen sensaciones térmicas a partir de una escala subjetiva sobre la percepción del ambiente térmico, la aceptación personal y la preferencia térmica. Este fue el punto de partida para formular las preguntas que se integrarían en el diseño del cuestionario.

Escala	Sensación térmica
7	Mucho calor
6	Calor
5	Algo de calor
4	Ni calor, ni frío
3	Algo de frío
2	Frío
1	Mucho frío

Tabla 30 Escala de STP, según ISO 10551

La norma esta diseñada para aplicarse bajo las siguientes condiciones:

- Los ambientes térmicos deben obedecer a condiciones que difieren en un grado moderado

de la neutralidad térmica (ambientes templados); evitando en lo posible las heterogeneidades espaciales, incomodidades térmicas locales, fluctuaciones rápidas, atípicas, etc.

En **condiciones extremas**, se antepondrán los métodos de evaluación física y fisiológica de la carga térmica.

- La actividad debe ser de tipo pasivo preferentemente, equivalente a una tasa metabólica entre  $60 \text{ W/m}^2 \leq \text{Met} \leq 70 \text{ W/m}^2$ .
- El nivel de aislamiento por vestimenta entre **0.5 a 1.0 clo**. Tolerancia aproximada de  $\pm 0.2$ .
- Permanencia mínima de **30 minutos** en el ambiente térmico a evaluar.
- El rango de edad de los usuarios deberá de estar entre los **12 a 65 años**.
- Su aplicación es sólo para **personas sanas**, y no se considera la variabilidad de metabolismo por edad, compleción física y peso.

Para el caso de estudio, los criterios se cumplían satisfactoriamente gracias a las características climáticas y arquitectónicas que se han venido exponiendo en el desarrollo de la investigación. En cuanto a la edad de los participantes, se eligieron a **adultos jóvenes** en estudios de licenciatura, con un rango de edad entre los **20 y 30 años**.

Con este método, es posible evaluar el proceso de adaptación de los sujetos mediante la aplicación de cuestionarios cada 30 minutos y ver una posible variación temporal en la STP.

Para el caso de estudio, no era posible lograr la permanencia sugerida debido al tiempo con el que se contaba, a la cantidad de participantes y la logística que esto representaba. No obstante, se fijó una

meta mínima **promedio de 10 minutos**, tiempo que se aprovechaba para exponer a los participantes las instrucciones del cuestionario, logrando que de esta manera contestarán de una forma más consciente e interesada.

Con base en el hecho anterior, se decidió omitir de la prueba una escala cualitativa referente al estado térmico de los participantes (sensación de frío, neutral, calor), por considerar que el tiempo no era suficiente para emitir un juicio objetivo y consciente sobre su estado térmico, debido a la rápida transición que llevaban del exterior al interior y al poco tiempo que tendrían para emitir su opinión personal.

Dicha escala generaría incertidumbre sobre si los votos emitidos del estado térmico fueron a causa de las condiciones exteriores (los participantes estuvieron mayor tiempo afuera) o las interiores.

La escala y la pregunta que conllevaba, fue sustituida por una pregunta sobre la **percepción inmediata del ambiente térmico del interior**, es decir, se aprovechó la transición y el corto tiempo de permanencia para que los participantes compararan por medio de una escala su percepción sobre la diferencia entre el clima exterior y el ambiente térmico del espacio interior.

El objetivo de dicha escala, fué **conocer en que grado se percibe la diferencia térmica entre el exterior y el interior**. Se colocó como la pregunta número uno de las escalas cualitativas.

La pregunta y la escala se basó en la premisa experiencial de que siempre las transiciones entre espacios exteriores-interiores (y viceversa), son intensamente percibidas, provocando un cambio rápido en la sensación térmica y emocional de los sujetos; por ejemplo, cuando en un día soleado pasamos de la calle a un vestíbulo interior o a un

jardín recién regado.

Otro ejemplo pero de distinto tipo de perceptivo, sería pasar de un espacio con un alto nivel de ruido (p. ej. una avenida muy transitada) a un espacio más silencioso (p. ej. un espacio privado). Lo que se quiere dar a entender, es que la transición entre espacios con una diferencia marcada entre las magnitudes ambientales, genera cambios de percepción instantáneos, provocando alivio o discomfort según sea el caso.

Para el caso de los espacios interiores, y como se expuso en la base teórica de la adaptación térmica, la expectativa hacia estos siempre tiende a ser más favorable, es decir, que los usuarios esperan condiciones más confortables cuando transitan del exterior al interior. La expectativa era que los participantes percibieran con mejores condiciones el ambiente térmico del habitáculo; si el día era frío adentro debería sentirse más calor, etc.

La aplicación de la prueba hacia los mismos participantes genera sesgos en la información obtenida, debido a la repetición inconsciente que se genera cuando las preguntas de la prueba ya se conocen. Para contrarrestar este inconveniente, la prueba se aplicó de **manera rotatoria** cambiando al grupo de participantes en cada ronda.

Para la evaluación del **ambiente visual** no se usaron escalas subjetivas; la prueba se basó totalmente en preguntas específicas sobre la cantidad de luz dentro del ambiente, la apreciación del espacio, la detección de incomodidades por deslumbramiento y la preferencia del nivel de iluminación. Esta evaluación fue meramente subjetiva, debido a la complejidad de medir el parámetro fijado, y de no disponer de un equipo equivalente que midiera la cantidad de luz al momento de la prueba.

## 9|3.2 Cuestionario de evaluación ambiental

En este apartado se describe el proceso mediante el cual se diseñó el cuestionario y la muestra.

El diseño del cuestionario tomó como referencia el método de Namakforoosh (1996), el cual propone siete puntos básicos para el proceso de elaboración de un cuestionario adecuado. Estos se presentan a manera de tabla en el apéndice 3. La segunda referencia es la metodología y criterios expuestos en la norma ISO-10551.

El cuestionario se dividió en dos partes:

### 1. Formato para el aplicador

Consta de 5 partes concentradas en una cuartilla:

I. Datos de control. Se llena con los datos personales del aplicador, la fecha y hora de la evaluación.

II. Información del grupo. Se describe la actividad del grupo durante la prueba, se clasifica su intensidad, se cuantifica el número de participantes y sus características y el habitáculo donde se aplicó.

III. Datos del monitoreo. Se registra en tiempo real la magnitud de los parámetros térmicos del espacio.

IV. Condiciones exteriores de la aplicación. Se registran las condiciones de cielo y el momento del día durante la prueba.

V. Observaciones. Es un espacio abierto para que el aplicador registre cualquier dato relevante o atípico durante prueba, o para especificar las características de la operación del espacio.

### 2. Formato para los participantes

Consta de 4 partes concentradas en una cuartilla:

I. Datos del encuestado. Se llena con los datos personales del participante. Dentro de este apartado se consideró preguntar el tiempo de residencia en la ciudad, con el fin de deducir si el participante cumple con el criterio del tiempo de aclimatación mínimo (1 año).

II. Vestimenta. Se clasificaron en tres escalas, más la opción de una prenda de abrigo adicional.

III. Percepción del ambiente térmico. Es la parte central del cuestionario. En éste se concentraron las preguntas cualitativas de juicio subjetivo donde los participantes califican la sensación y preferencia de la temperatura, humedad y viento; y también de la aceptación del ambiente térmico en general.

IV. Iluminación. Es la parte correspondiente a la evaluación subjetiva del ambiente visual, durante todas las aplicaciones se prescindió del sistema de iluminación artificial.

Las instrucciones para la aplicación de la prueba, el proceso de captura de la información recopilada y la muestra de cada uno de los formatos, se concentró en el apéndice III.

### 9|3.3 Correlación de escalas cualitativas con mediciones cuantitativas

El ambiente térmico dentro de los espacios acondicionados de manera natural depende principalmente del comportamiento del clima exterior. Esto quiere decir que las variables térmicas no pueden ser manipuladas directamente, como si ocurre en los espacios acondicionados por controles artificiales.

El estudio del confort térmico bajo el enfoque de adaptación establece como parte de su base

teórica una investigación basada en correlaciones. Esto conlleva a una técnica de investigación de tipo “no experimental” (basado en Bojórquez, 2010).

Antes de exponer el método de investigación seleccionado y su respectiva técnica, se presenta una reseña de los métodos de investigación según el control de las variables:

**1. Observación.** Consiste en describir y registrar el suceso que se estudia. No hay una manipulación formal directa o indirecta de las variables que operan en el suceso; su objetivo principal es recoger información sobre el suceso.

Esta técnica no busca interrelacionar los factores que intervienen en el suceso, ni el origen de su respectiva causalidad.

**2. Correlación.** Consiste en el estudio de un suceso a través de la selección de variables específicas, lo que en cierta medida es un proceso de manipulación indirecta de las variables que operan. Permite medir e interrelacionar múltiples variables simultáneamente en situaciones no controladas.

**Las investigaciones correlacionales suelen realizarse en ambientes naturales** (ambientes reales), aunque también se pueden realizar en ambientes de laboratorio, siempre que no se realice una manipulación directa de las variables. Las variables que se estudian pueden ser magnitudes medibles o una codificación cualitativa de estas.

**3. Método experimental.** Consiste en seleccionar y manipular las variables directamente, con el objetivo de medir el efecto de la(s) variable(s) independiente(s) sobre la(s) dependiente(s). A diferencia de los anteriores, en este método es válido (re)crear las variables para (re)crear

el suceso de ser necesario; haciendo que el investigador tome parte activa en la producción del suceso.

El lugar donde se estudian los sucesos son ambientes controlados (laboratorios), alterando en cierta medida la naturaleza del suceso por aislarlo de su ambiente natural, ya que en dicho contexto también coexisten otras variables que afectan al suceso en cierto grado.

Los estudios correlacionales se realizan cuando no se pueden o deben manipular las variables de estudio por alguna razón, algunos ejemplos son:

- Cuando se depende de hechos o fenómenos naturales, en este caso el clima.
- Cuando es no es posible manipular o controlar física y/o artificialmente las variables.
- Cuando no se cuenta con la infraestructura técnica o económica para recrear el suceso con todo y las variables que se estudian.
- Cuando son sucesos pretéritos (ya ocurrieron)
- Cuando la manipulación de las variables es ilegal o no ética.

En este tipo de investigación el objetivo es determinar el grado en el cual las variaciones en uno o varios factores son concomitantes con la variación en otros factores. La existencia y fuerza de esta covariación normalmente se determina estadísticamente por medio de coeficientes de correlación.

Las correlaciones se llevan a cabo con la medición de las magnitudes térmicas y las respuestas de juicio subjetivo, haciendo posible establecer y/o comprobar valores de confort para las variables térmicas seleccionadas.

Las correlaciones entre  $\pm .15$  y  $\pm .10$  se consideran

como bajas; entre  $\pm .30$  y  $\pm .40$  moderadas, entre  $\pm .50$  y  $\pm .70$  moderadamente altas; entre  $\pm .80$  y  $\pm .90$  altas; y más de  $\pm .90$  muy altas.

En la presente investigación las variables correlacionadas fueron la **temperatura del aire y la sensación de confort**, concebidas a partir de las mediciones monitoreadas y las respuestas cualitativas de los participantes con base en una escala de calificación codificada. El objetivo fue comprobar la validez del rango de confort estimado previamente, y al mismo tiempo observar en que grado la variabilidad y/o la magnitud de la primera influía en la segunda.

Con base en los resultados, sería posible comprobar si los isorequerimientos establecidos fueron suficientes, especialmente de las temperaturas de diseño que proveen sensación de confort.

Debido a las condicionantes para la aplicación del modelo de confort de la norma seleccionada, fue importante incluir en los campos del cuestionario las condiciones de vestimenta y nivel de actividad de los participantes.

La humedad relativa se descartó para el análisis correlacional, debido a que la norma AHSRAE-55 indica que dicho parámetro ya está implícito dentro del modelo adaptativo que emplea.

### 9|3.3.1 Limitaciones de la metodología

La principal limitación de los estudios correlacionales es que los resultados no prueban si existe una relación directa de **causalidad** entre las variables consideradas, ya que esta suele determinarse en conjunto con otros criterios que deben tomarse en cuenta.

En este caso, los otros factores que intervienen son los de carácter operativo (nivel de actividad y

vestimenta) y la aclimatación fisiológica (variable de adaptación), está comprobado que son capaces de modificar la percepción de la sensación térmica, sobre todo de manera temporal. Por tal motivo, en este estudio se incluyeron y registraron dichos factores, aparentemente ajenos a las magnitudes del ambiente térmico.

Cuando estos factores no son bien manejados se puede sobrestimar la sensación real del usuario.

Retomando las limitaciones, existen dos argumentos principales para no validar un resultado correlacional:

**1. Problema de la direccionalidad.** Se refiere a la imposibilidad para demostrar qué variable ocurre en primer lugar (cuál fue la causa) y cuál ocurre en segundo lugar (el efecto).

Para la prueba del caso de estudio esta limitación no representó un problema, porque la duración de ésta limitaba el tiempo para que el factor humano influyera en el ambiente.

La ropa genera un retardamiento temporal del calor metabólico que posteriormente se disipa al ambiente; el intervalo de tiempo dependerá de la cantidad de ropa. Si revisamos la norma, se intuye que el tiempo aproximado es de 30 minutos de permanencia para un conjunto de 1.0 clo. Otra posible pista es el tiempo de estabilización promedio de un termómetro de globo, que es de alrededor de 25 minutos, ya que dicho instrumento es capaz de medir el efecto radiante promedio de todas las superficies que lo rodean.

Cuando el tiempo de permanencia es prolongado, el calor metabólico transferido al ambiente es capaz de variar la temperatura inicial del espacio, sobre todo si la envolvente es propensa a generar régimen estacionario o cuando la renovación del aire es insuficiente.

Hipotéticamente, un tiempo de permanencia menor al señalado no es suficiente para generar un intercambio balanceado entre el cuerpo y un espacio, tampoco para emitir una opinión consciente sobre la sensación térmica que genera dicho ambiente.

**2. Problema de la tercera variable.** Al no crear y/o controlar las variables, hay ocasiones en que el investigador desconoce si alguna variable no considerada u observada está relacionada al suceso y es el agente causal.

En los resultados de la investigación será importante observar cualquier desviación significativa pudiera ser el indicador de la existencia de una “tercera” variable; por ejemplo, alguna que no fue monitoreada o alguna incomodidad puntual derivada de la misma envolvente del espacio (por ejemplo, la influencia que tiene la temperatura de la pared o el piso).

Por el contrario, para descartar su posible existencia será necesario registrar cualquier observación anormal; como los fenómenos climáticos atípicos, el estado de salud de alguno de los participantes, etc. Las muestras están diseñadas para recabar la información en condiciones de operación de la norma; cualquier tipo de suceso anormal deberá descartarse para la base de muestras, puesto que tienden a generar desviaciones en los resultados finales.

La investigación correlacional y demás aproximaciones no experimentales como la observación, realizan importantes contribuciones al conocimiento técnico-científico. Estos estudios ayudan al investigador a evaluar cuestiones descriptivas que pueden ser las bases para posteriores experimentos. En otros casos, también permiten adquirir conocimiento sobre sucesos que no pueden ser estudiados bajo condiciones experimentales o controladas, que son difíciles de recrear (o simular) o cuando el factor

humano juega un papel activo importante, como en el caso de la adaptación térmica.

Es importante mencionar que el uso de escalas subjetivas en estudios de correlación establecen de forma implícita el hecho de que los resultados a obtener darán un resultado general entre las variables analizadas, por lo que la explicación de los fenómenos estudiados deberán apoyarse en trabajos complementarios respecto al confort térmico humano, para de esta manera dar una explicación fundamentada en cuanto al comportamiento observado de los datos (Bojórquez, 2010).

El método estadístico aplicado para el caso de estudio se basa en la regresión lineal, por el método de mínimos cuadrados, de los pares de datos recabados durante el estudio de campo. Ese par de datos lo constituyen la respuesta de los individuos respecto a la escala cualitativa codificada y el valor de la temperatura ambiente registrado al mismo tiempo.

## Referencias

- (56) Solar Decathlon Europe 2014. Rules V4.0, 45
- (57) Solar Decathlon Europe 2014. Rules V4.0, 45
- (58) Solar Decathlon Europe 2014. Rules V4.0, 47
- (59) ANSI/AHSRAE Standard 55-2004, 10
- (60) Tabla elaborada con “Biosol” Instituto De Ingeniería, Unam.

## Referencias imágenes

- Fig. 93 Vista de calle. Google Earth 2017
- Fig. 96 <https://www.doitgarden.ch/de/p/602779700000/netatmo-wetterstation>
- Fig. 97.1-3 Fotos: J. Joel Barajas Flores
- Fig. 98 Vista satelital. Google Earth 2017
- Fig. 99 Elaboración propia.

# 10|

# RESULTADOS

- 10| 1 Análisis y comprobación del confort térmico
  - 10| 1.1 Resultados del monitoreo
  - 10| 1.2 Resultados de la simulación energética
  - 10| 1.3 Comparación de resultados de la simulación energética con el monitoreo
  - 10| 1.4 Resultados cualitativos
- 10| 2 Análisis y comprobación del confort visual
  - 10| 2.1 Comparación de los resultados con los criterios del SDE
- 10| 3 Recomendaciones de acondicionamiento
  - 10| 3.1 Acondicionamiento térmico
  - 10| 3.2 Acondicionamiento de iluminación natural

# 10|1 Análisis y comprobación del confort térmico

En este capítulo se presentan a manera de gráficas los resultados de los parámetros ambientales para el confort térmico, tanto de la simulación energética como del monitoreo de los habitáculos y del clima exterior, durante el periodo establecido en la metodología.

Se presenta una gráfica por cada periodo, con los resultados generales provenientes del monitoreo y la simulación, una para la temperatura de bulbo seco y otra de la humedad relativa. Una vez analizado cada una de ellas, se procedió a generar distintas gráficas que cruzan los resultados de ambas bases de datos.

En cuanto a los resultados cualitativos, también se crearon las respectivas gráficas con la información estadística de los participantes, los votos cualitativos y la preferencia sobre el ambiente térmico. La expectativa de estos resultados es que las temperaturas de confort estimadas en los isorrequerimientos concuerden con los votos de los participantes en cuanto a la preferencia y la aceptación del ambiente térmico. De esta manera se verifica que el modelo de confort elegido y los rangos de confort calculados sean válidos para el bioclima del caso de estudio y del objeto de estudio mismo.

Con los datos registrados en los cuestionarios, también se verifica y documenta si las condiciones aplicables durante las pruebas se cumplieron conforme a lo establecido en la(s) norma(s) que fundamentan la metodología de esta investigación.

## 10|1.1 Resultados del monitoreo

Son los resultados del registro y la observación del comportamiento de las condiciones térmicas del interior de los habitáculos con la ayuda del sistema de monitoreo **Netatmo®** (TBS y HR), superpuestos paralelamente con los datos climáticos registrados y publicados por el sistema del Observatorio Atmosférico de Ciudad Universitaria (RUOA).

El objetivo es observar el comportamiento termodinámico de los habitáculos y la medida real en que estos responden de manera pasiva a las circunstancias del clima exterior, también para concluir en que porcentaje o medida el desempeño energético logra las condiciones de confort estimadas previamente.

Las observaciones se presentan de acuerdo a los criterios horarios establecidos (madrugada, mañana, tarde y noche). En cuanto a la operación de los habitáculos, esta fue prácticamente de manera aleatoria y no se tiene un registro de preciso del uso y/o manipulación de los sistemas de CASA, como son los tiempos de ventilación por medio de las puertas y/o ventanas y el uso horario o temporal de las velarías.

De la operación de los habitáculos durante el monitoreo se observó que la operación y el uso de CASA no fue completamente estático, es decir, que los espacios si eran ocupados durante algunos periodos de tiempo al día. Si bien CASA nunca ha sido realmente ocupada como tal, en su vida en UNIVERSUM es utilizada como instrumento educativo con visitas guiadas y como lugar de trabajo para las personas que allí hacen su servicio social.

El habitáculo con mayor utilización fue “Kitchen”, por lo cual se espera que tenga un contraste más notorio en su comportamiento térmico

El horario principal de ocupación de CASA fue

variado, siendo desde horas durante la mañana y la tarde únicamente.

La noche y la madrugada son los periodos que no presentan usos operativos de personas.

## 10|1.2 Resultados de la simulación energética

Son los resultados de la simulación numérica ejecutada con en el software seleccionado (Desing Builder) que a su vez se sirve del motor de cálculo EnergyPlus. La simulación se logró también con base en el levantamiento arquitectónico del objeto en el sitio, la cuantificación de las secciones de cada una de las fachadas de la envolvente y a la investigación de las propiedades térmicas y ópticas de cada uno de los materiales que componen dicha envolvente.

Una vez dibujada la geometría del modelo de CASA, se prosigue a ejecutar los cálculos matemáticos alimentados por el archivo climático del sitio, los datos de ubicación, los valores de las propiedades térmicas de cada capa de material y los parámetros que se desean. Los resultados se muestran las gráficas 22 a 29.

Si bien con el mismo software se pueden calcular un gran cantidad de variables diferentes, para este caso se restringió la simulación a únicamente a las dos variables monitoreadas (TBS y HR).

El objetivo es observar el desempeño termodinámico de CASA bajo un método analítico que simule sólo el comportamiento de la envolvente frente a las circunstancias climáticas de un año “típico”, sin la intervención de factores añadidos como personas, aparatos y la operación misma que conlleva el habitar un espacio; no se simularon condiciones de ventilación u apertura de ventanas; tampoco se consideraron cargas internas.

Las condiciones de la simulación se pueden

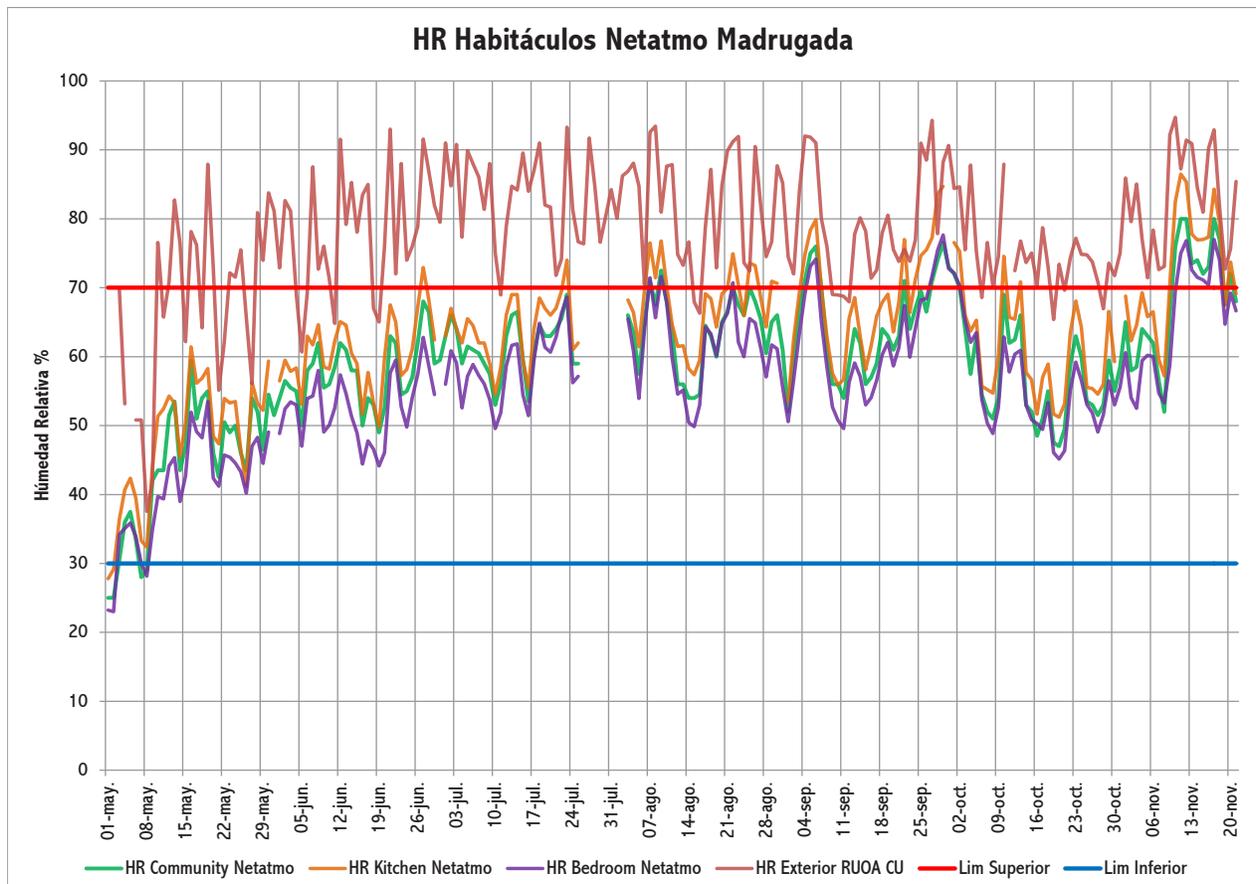
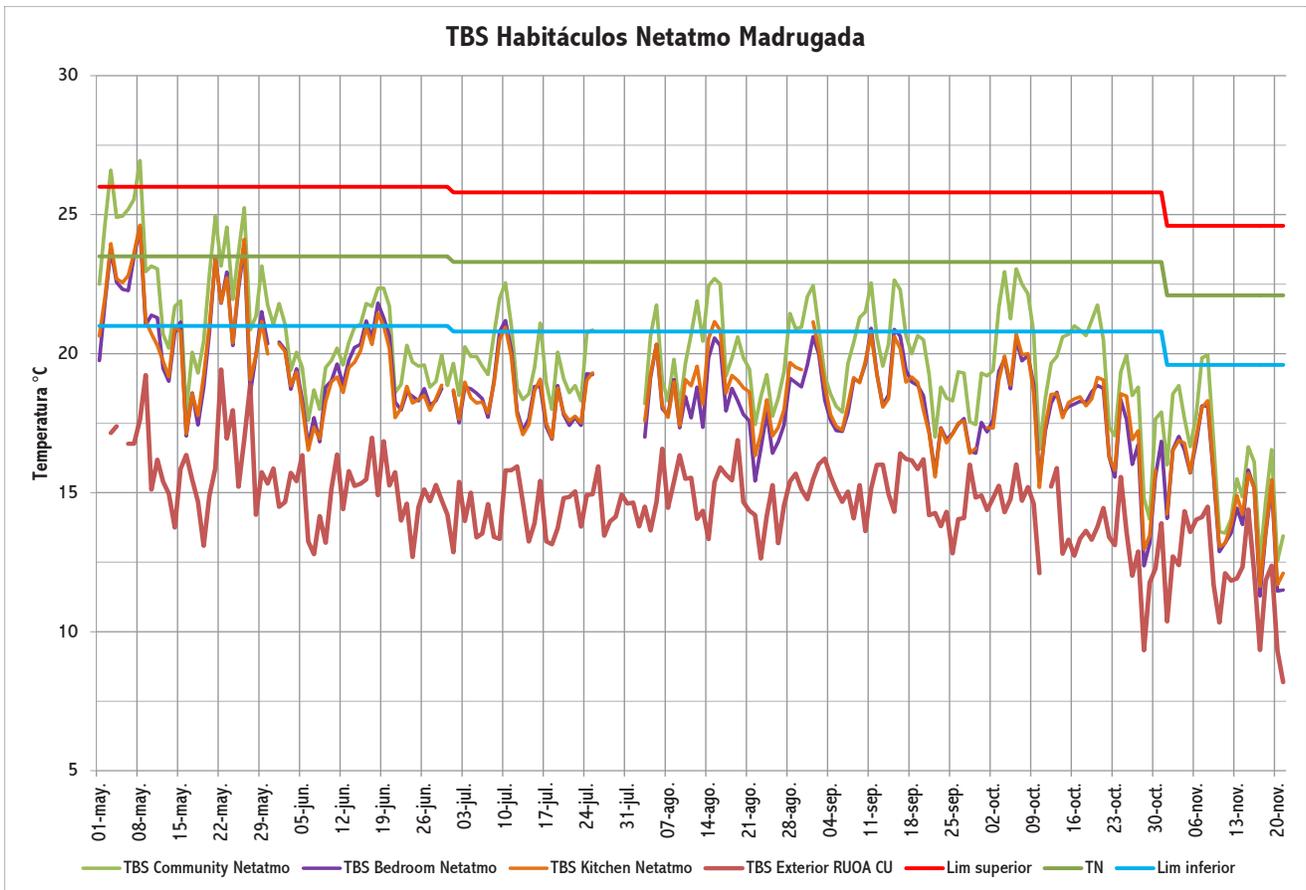
tomar como el desempeño energético de CASA sin la intervención de factores humanos y/o circunstanciales; tampoco se simuló el desempeño bajo condiciones de sombreado con los textiles que en el objeto real si existen, los cuales si se utilizaron de manera continua en el lado oriente del habitáculo “Bedroom” durante todo el tiempo que duró el monitoreo de CASA.

Posteriormente, se llevó acabo el respectivo cruce entre los resultados obtenidos en la simulación con el monitoreo, siendo una de las partes trascendentales para las conclusiones de esta investigación.

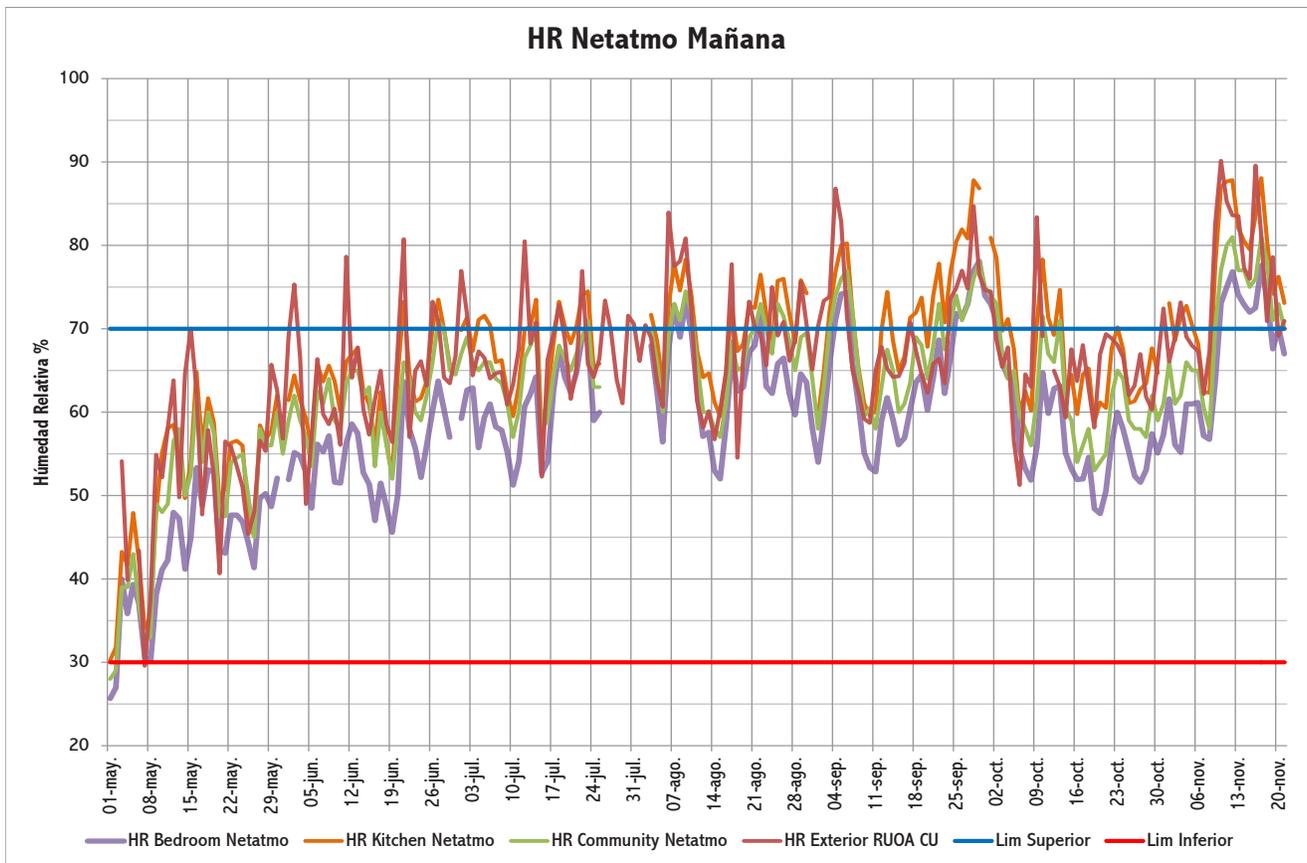
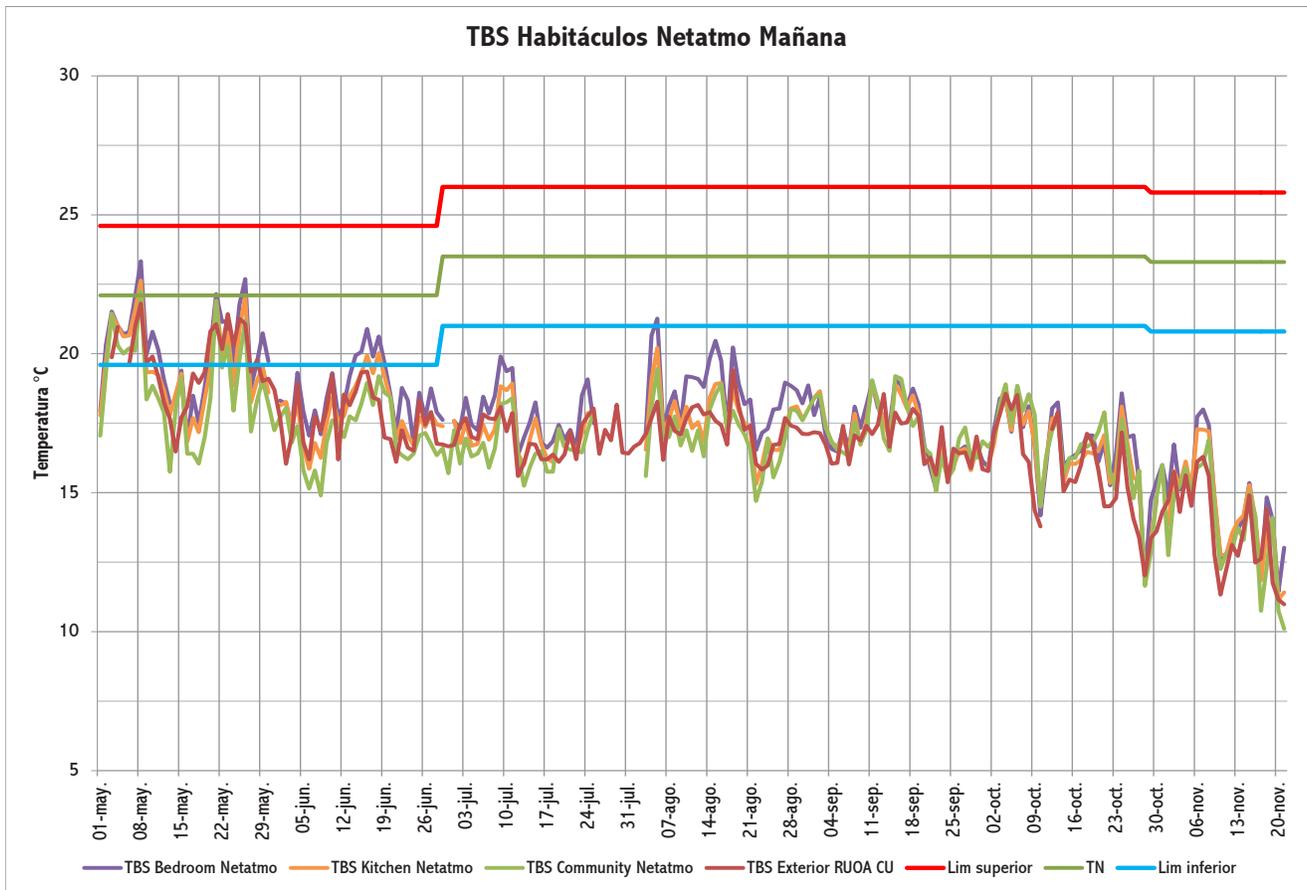
## 10|1.3 Comparación de resultados de la simulación energética con el monitoreo

Una vez analizadas las gráficas trazadas bajo el criterio de origen, se trazó un nuevo grupo de gráficas que muestran la superposición de las líneas proyectadas con las dos bases de datos. Cada línea representa una base de datos de alguno de los habitáculos o del exterior. Se trazó un grupo para la TBS y otro para la HR

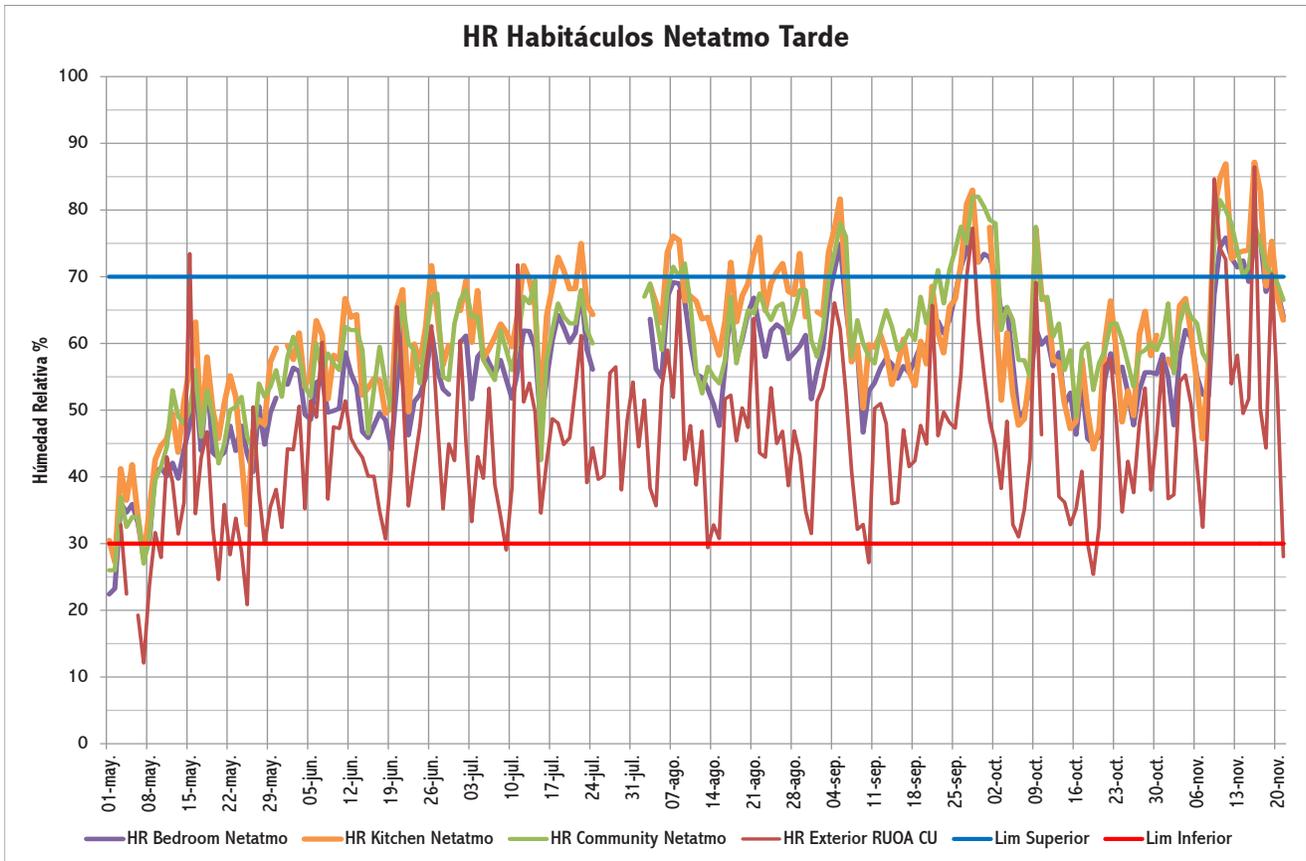
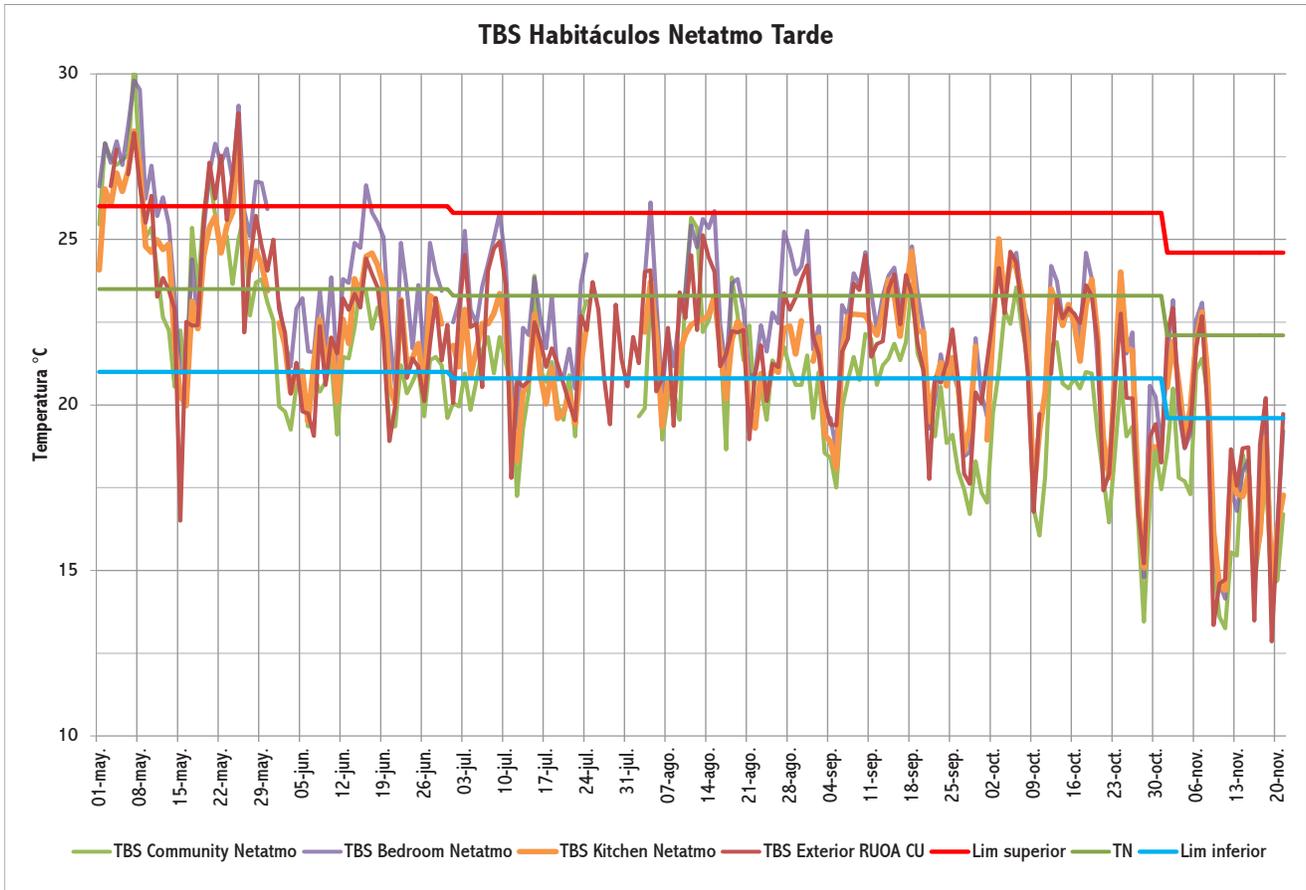
El objetivo de este procedimiento, es observar el grado de correspondencia entre los resultados de la simulación con los monitoreados dentro de los habitáculos, si existe o no similitud en el comportamiento de las líneas proyectadas (siguen o no la tendencia de incrementos y/o decrementos), cuantas veces a lo largo del tiempo se comportan igual (se empalman o no) o si hay una equidistancia constante entre alguna o varias de ellas.



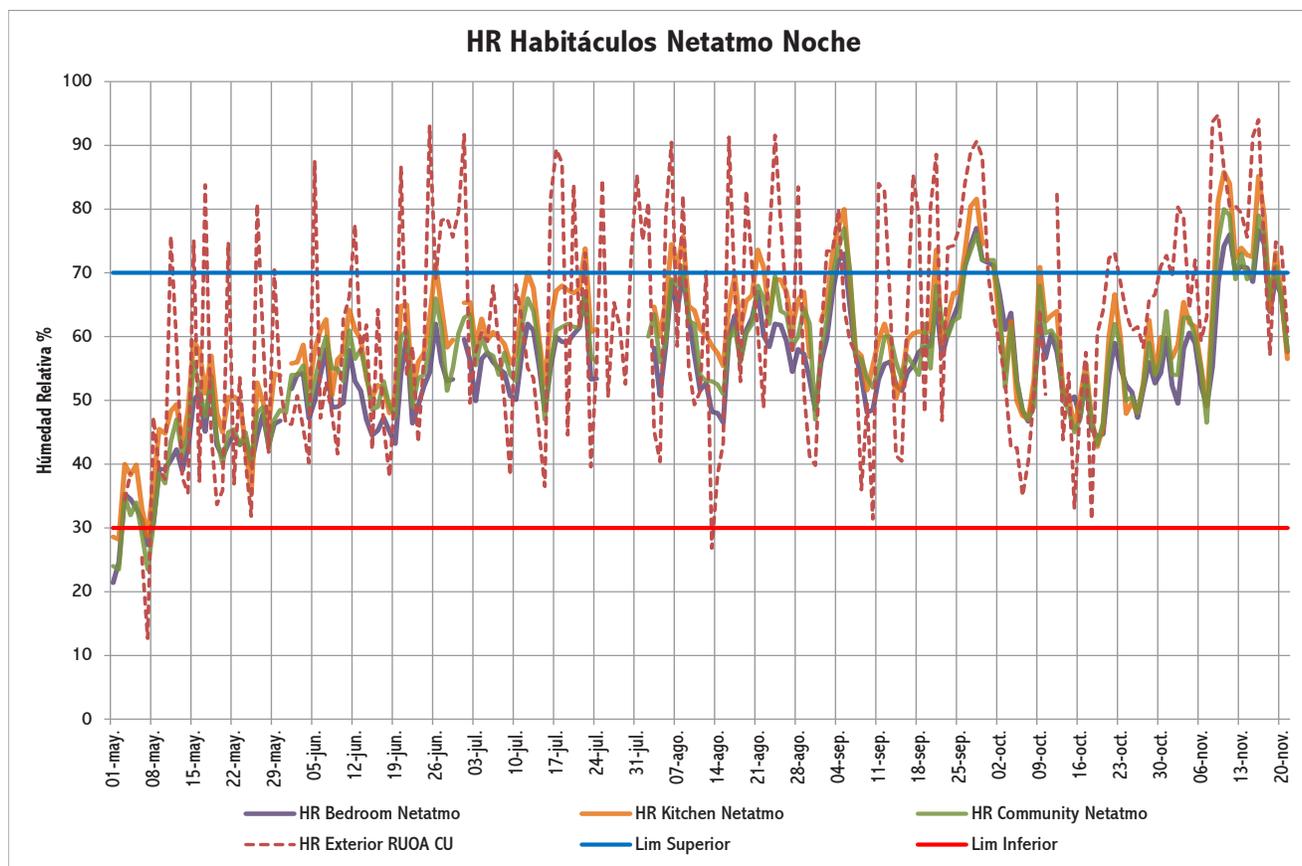
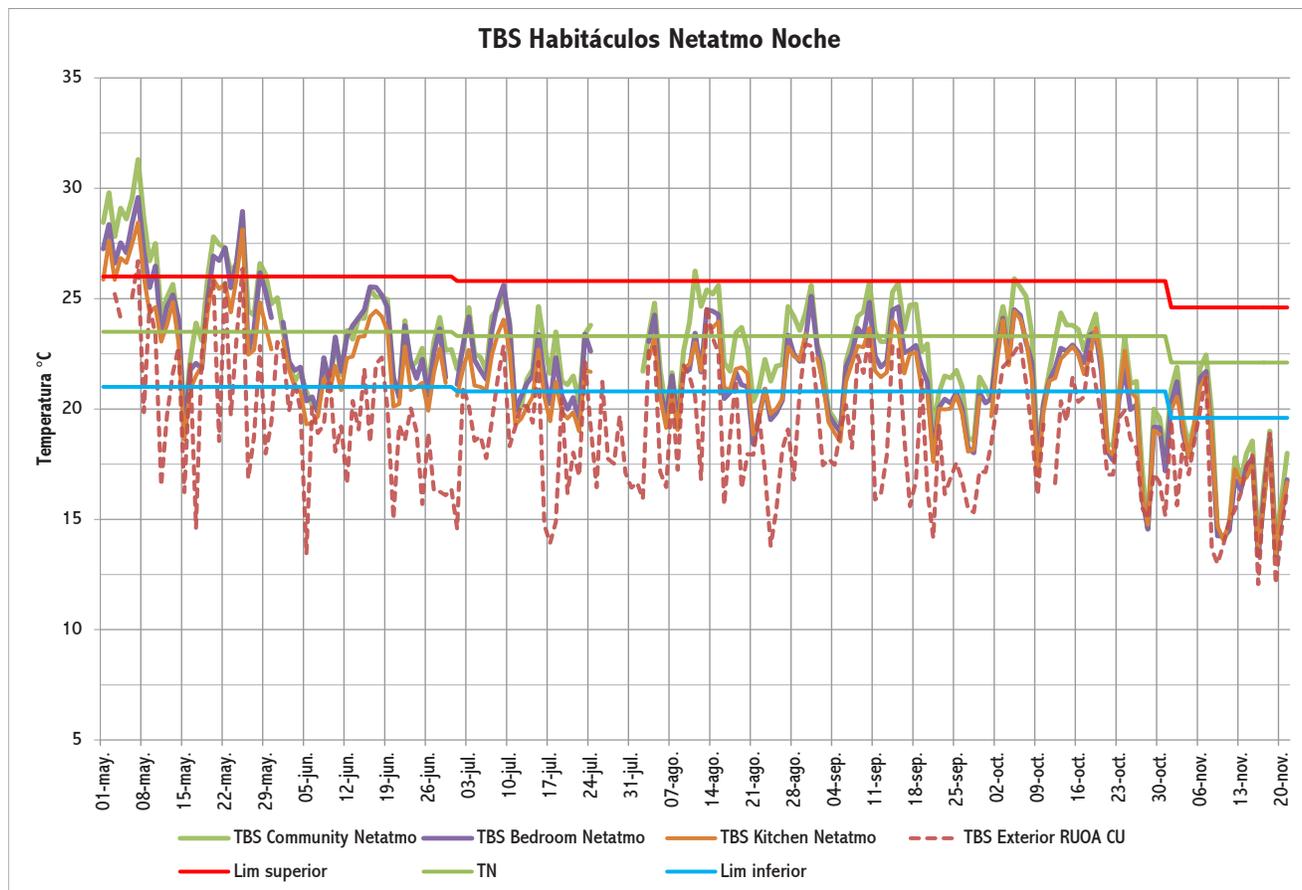
Gráfica 14 y 15: TBS y HR Habitáculos Netatmo Madrugada



Gráfica 16 y 17: TBS y HR Habitáculos Netatmo Mañana



Gráfica 18 y 19: TBS y HR Habitáculos Netatmo Tarde



Gráfica 20 y 21: TBS y HR Habitáculos Netatmo Noche

De los resultados de las gráficas anteriores se puede comentar los siguiente:

**Madrugada (00:00-05:59).** La mayor parte de las horas se encontraron por debajo del rango de confort, excepto durante el mes de Mayo que concentró el mayor número de horas registradas dentro del rango de confort. Destaca el comportamiento del habitáculo Community, el cual si llega alcanzar el rango de confort en los meses de Agosto hasta mitad de Octubre, logrando el mejor desempeño de los tres.

En general, la TBS de los tres habitáculos se comporta de manera semejante en cuanto a la tendencia de los incrementos y decrementos a lo largo del tiempo. Esto llega a notarse marcadamente en las líneas de los habitáculos Bedroom y Kichen, las cuales llegan a empalmarse la mayoría del transcurso del tiempo.

El habitáculo Community si bien sigue la misma tendencia que los anteriores, destaca por registrar siempre mayores temperaturas, sobre todo en la primera semana de Mayo y durante casi todo el mes de Octubre. Su comportamiento probablemente corresponda a que gran parte de su sección transparente esta orientada al poniente, haciendo que capte más radiación durante las últimas horas de Sol del día y/o también a que este herméticamente mejor aislado.

Cabe recordar que en este horario nunca hubo personas habitando alguno de los espacios, descartando cualquier razón que involucre la operación de los habitáculos.

El amortiguamiento térmico respecto a la temperatura exterior se mantuvo casi equidistante a lo largo del tiempo, excepto a partir de finales del mes de Octubre y durante el mes de Noviembre, tiempo en que se estrecho la diferencia de temperaturas de las cuatro líneas, coincidiendo con

el inicio del periodo frío del año. Durante dicho mes, también se registró un aumento considerable de la HR con valores arriba del 80% al exterior y en los habitáculos arriba del 70%, valor ubicado fuera del rango de confort higrotérmico.

En cuanto al comportamiento de la Húmedad Relativa se refiere, los tres habitáculos se mantuvieron dentro del rango de confort higrotérmico a lo largo del periodo, con excepción del mes ya mencionado. Si bien las oscilaciones se mantienen generalmente equidistantes, en este parámetro contrasta más la diferencia entre la magnitud del exterior y la interior, con una diferencia promedio del 25%.

La HR exterior, destaca por estar predominantemente arriba del rango de confort. Durante el monitoreo se registró un periodo atípico en el que las cuatros líneas de HR prácticamente se empalmaron; ésto fue entre el 20 y 25 de Septiembre y del 15 al 20 de Noviembre; justo en este último periodo hay registros de precipitaciones pluviales atípicas, que iniciaron desde días previos del 8 al 16 de Noviembre.

Si ponemos atención a las fechas del periodo monitoreado se observa que abarca completamente la estación del verano, la época de lluvias para el clima de la Ciudad de México; más adelante con la simulación energética, podremos observar un periodo anual completo de un año típico, cubriendo de esta manera el tiempo restante que no se pudo registrar por motivos de alcance en los tiempos de la investigación.

**Mañana (6:00-11:59).** La mayor parte de las horas se encontraron por debajo del rango de confort, excepto el mes de Mayo que concentró el mayor número de horas dentro del rango de confort. La tendencia general de la TBS fue en decremento a partir del mes de Junio para los tres habitáculos, salvo el mes de Agosto que registró un incremento

brusco, pero no el suficiente para alcanzar el rango de confort.

Durante este horario ninguno de los espacios destacó por su desempeño térmico. Sin embargo, se debe resaltar que Bedroom siempre registró las temperaturas más altas respecto a sus homólogos; no obstante la diferencia es apenas mínima. Se supone que dicho comportamiento se debe a la sección transparente orientada al este, recibiendo radiación solar en las primeras horas del día. Se especula que sin el textil alcanzaría los rangos de confort establecidos. Kitchen es el segundo espacio con mayor temperatura interior; también posee una sección transparente hacia el este, pero su impacto es mitigado por la sombra proyectada por Community (espacio colindante).

El amortiguamiento térmico respecto a la temperatura exterior fue casi nulo; la distancia entre las cuatro líneas de la gráfica fue la más cerrada de todos los registros monitoreados. En general, las cuatro líneas se comportaron de manera semejante en cuanto a la tendencia de incrementos y decrementos a lo largo del tiempo. Ésto se observa claramente en el mes de Mayo y de Septiembre hasta Noviembre, pues prácticamente todas las líneas se empalman.

Se estima que dicho comportamiento corresponde a la baja capacidad de almacenamiento térmico de toda la envolvente en general, los materiales como el yeso (tablaroca), lana mineral y el vidrio, tienen un calor específico relativamente bajo (1000, 960 y 840 J/kg-K respectivamente), propiciando que las superficies se calienten o enfríen de forma rápida. Dicha propiedad combinada con su ligereza hacen que el sistema constructivo carezca de inercia térmica (la capacidad calorífica de un sistema también está dada por la cantidad de masa del mismo).

Por otro lado, es la baja conductividad térmica

del sistema la propiedad que ayuda a conservar de cierta manera el calor dentro de los espacios por un periodo de tiempo (unas horas durante la madrugada), condicionalmente siempre que éstos no se ventilen de manera extensa en las horas frías del día y/o se conserven en estado hermético los cerramientos (ventanas y aperturas cerradas y/o sin filtraciones).

La razón de este fenómeno, es que la baja conductividad ayuda a prolongar el tiempo del intercambio de calor. Un analogía para explicarlo, es llenar un vaso de unicel (material aislante) con agua hirviendo y taparlo; el agua se conservará caliente por un largo periodo de tiempo, pero tarde o temprano la temperatura del agua alcanzará un equilibrio térmico con la temperatura ambiente; evidentemente, tardará mucho más tiempo que si se ocupa un vaso de vidrio por ejemplo. Sin embargo, si el vaso no se tapa el equilibrio térmico sucederá en un tiempo más corto, debido a que el aire enfría más rápido el agua por convección al estar en contacto con el líquido.

En cuanto a la HR, la brecha entre el exterior e interior también se hizo más pequeña. Sin embargo, el rango de confort se mantuvo de Mayo a Julio, meses donde la HR exterior registró arriba del rango en varias ocasiones. Noviembre fue el mes más crítico, con la HR arriba del rango en el exterior y en todos habitáculos.

El único habitáculo con desempeño excepcional fue Bedroom, con un 90% del promedio de tiempo dentro del rango de confort, mientras que Kitchen se comportó casi igual que la HR exterior. En general, las líneas de Kitchen y Community se empalmaron en bastantes ocasiones con la HR exterior.

Se confirma que en este horario si hubo ocupación a partir del mes de Septiembre, entre lunes y

viernes, a partir de las 10 y 11am, principalmente de Kitchen y en algunas ocasiones Community, ya que se ocupaban como lugar de trabajo para los estudiantes del servicio social.

**Tarde (12:00-5:59).** Este fue el horario con el mayor número de horas dentro del rango de confort, registrado desde finales de Mayo hasta finales de Octubre, cubriendo por completo el periodo de transición (Julio-Octubre). En este horario contrastaron más los periodos extremos (meses con mayor oscilación térmica); basta con observar el intervalo del mes de Mayo, en donde se observan pendientes bruscas en las cuatro líneas, al igual que al final de Octubre y durante el mes de Noviembre (periodo frío).

El comportamiento de las cuatro líneas fue muy similar, con incrementos y decrementos bastante ajustados entre cada una. Indudablemente, este fue el periodo más equidistante de temperaturas, y uno de los mejores en el desempeño del confort térmico junto con el horario nocturno.

Aunque el amortiguamiento térmico también fue casi nulo, en este caso fue beneficioso debido a que la temperatura exterior durante la tarde es confortable (en condiciones de sombra), al menos, durante el periodo de transición como se comprobó. Sin embargo, no se descarta que el desempeño de los espacios no sea eficiente durante los meses más extremos del año (abril y Enero), especialmente si no se plantea correctamente la operación de las protecciones solares textiles.

La humedad relativa por su cuenta, si bien demostró un comportamiento más eficiente, la HR exterior se comportó de mejor manera, registrando más horas de confort. Si observamos las líneas de los habitáculos, puede notarse que éstos de alguna manera almacenan mayor humedad, siendo Kitchen

el que registra mayores valores.

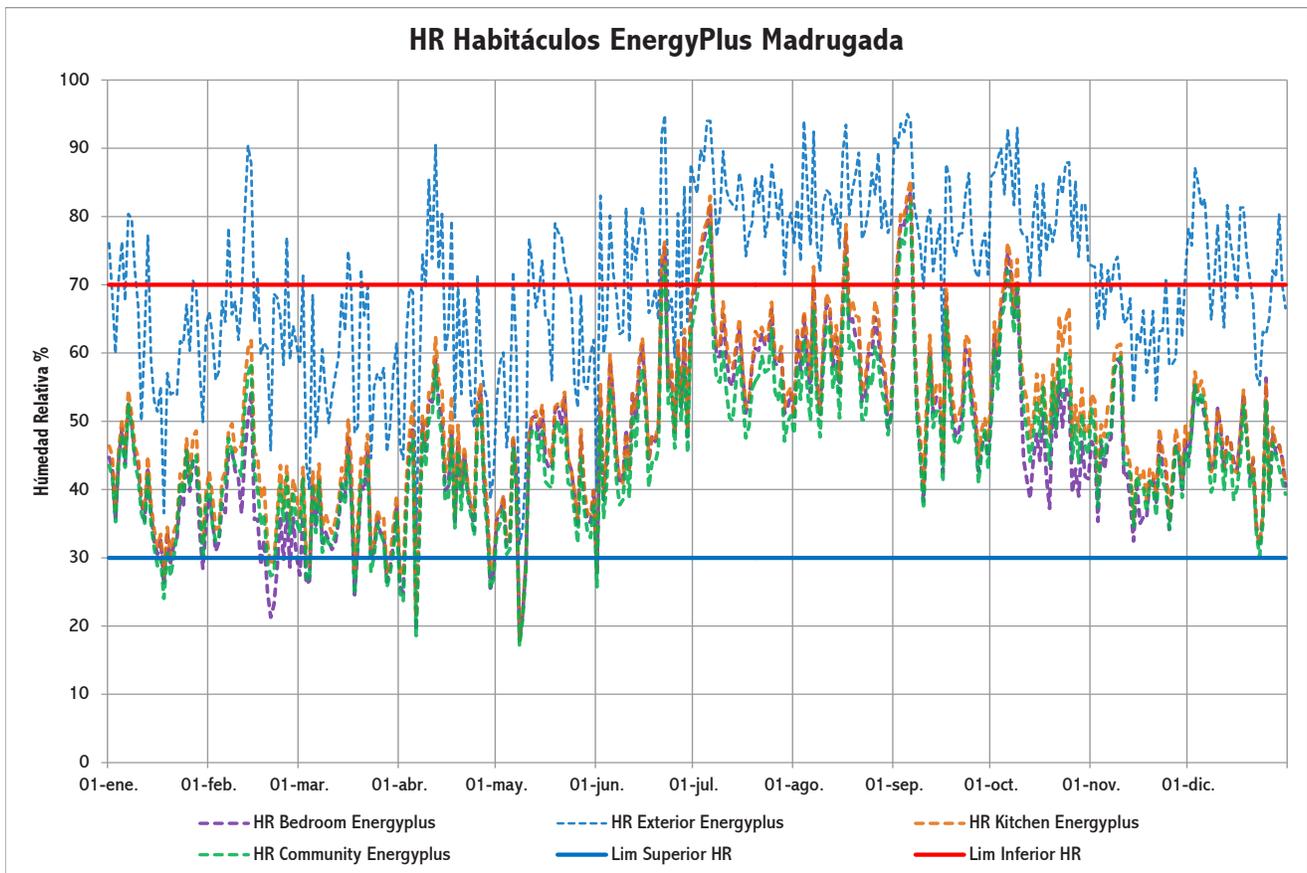
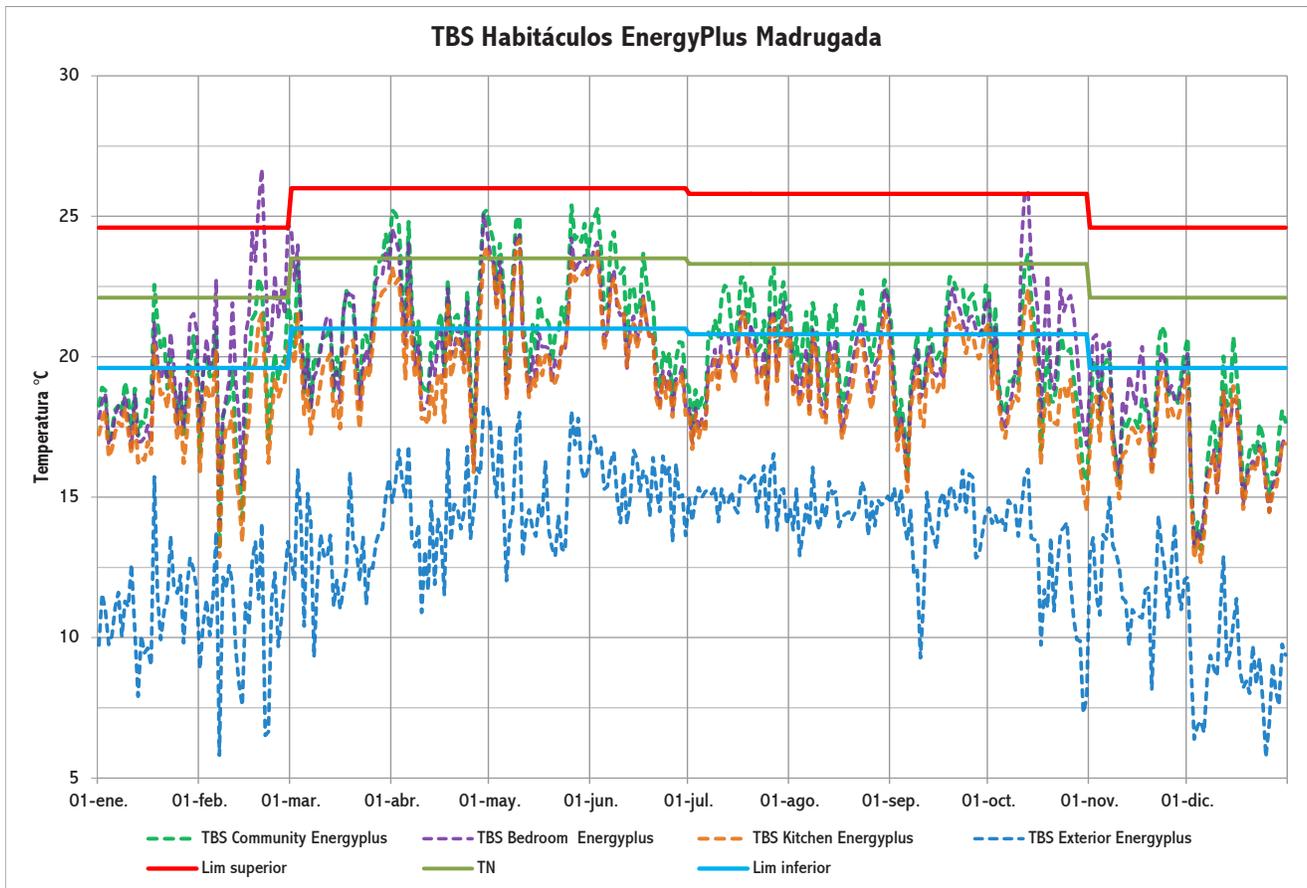
En general, los habitáculos tuvieron buen desempeño durante el periodo de lluvias, ubicado entre el mes de Junio a Septiembre. A lo largo del periodo se registró un periodo atípico durante el mes de Noviembre, con precipitaciones pluviales durante la noche y la madrugada principalmente, razón por la que se supone el incremento de la HR durante los días subsecuentes (provocando mayor evaporación en las horas de sol).

**Noche (6:00-23:59).** En este horario, el rango de confort se mantuvo durante el periodo de transición. En el penúltimo mes del periodo cálido (Mayo) y el primer mes del periodo frío el desempeño térmico fue ineficiente: el rango estuvo totalmente arriba del confort para los tres habitáculos y en el otro bajó considerablemente, comportándose de manera similar con la TBS exterior para ambos casos.

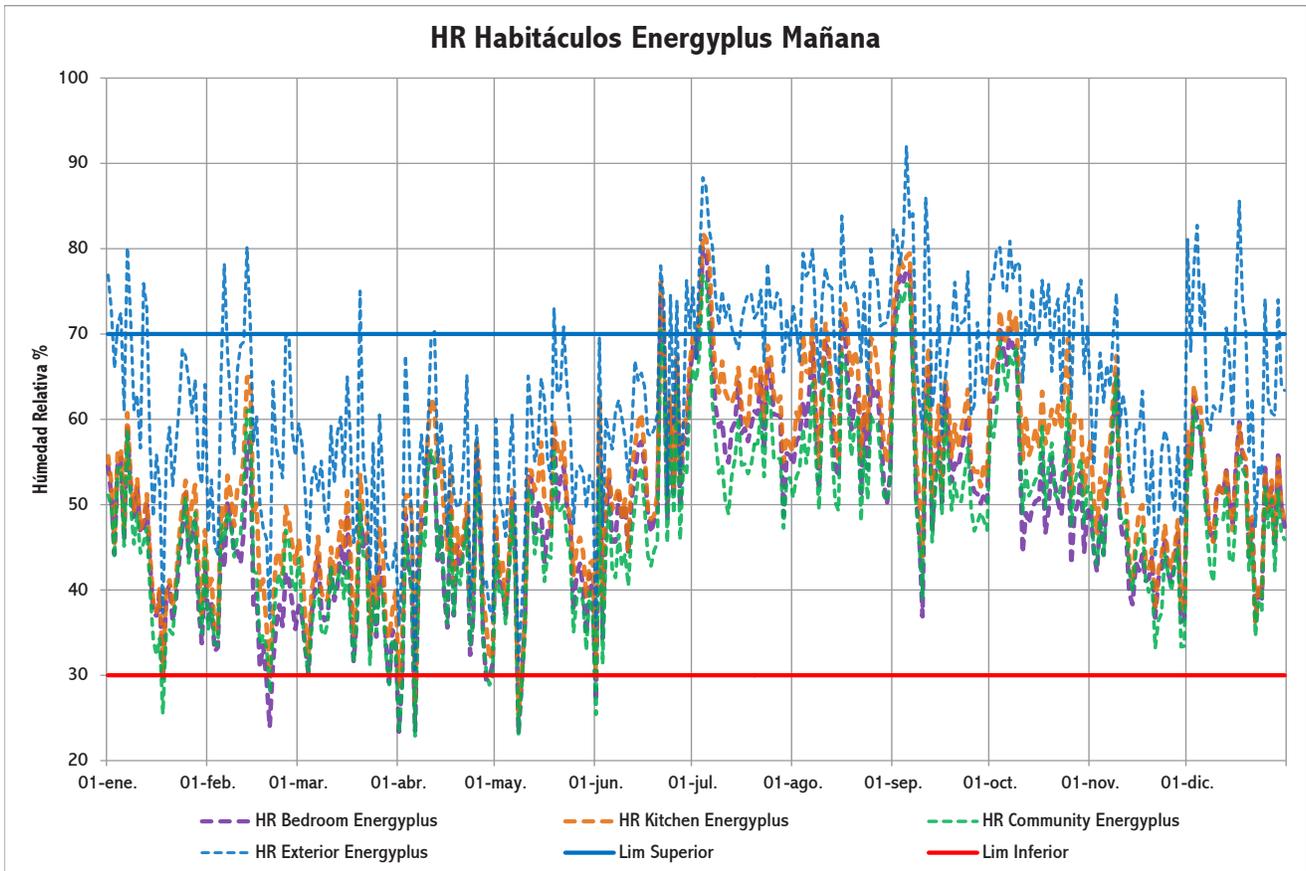
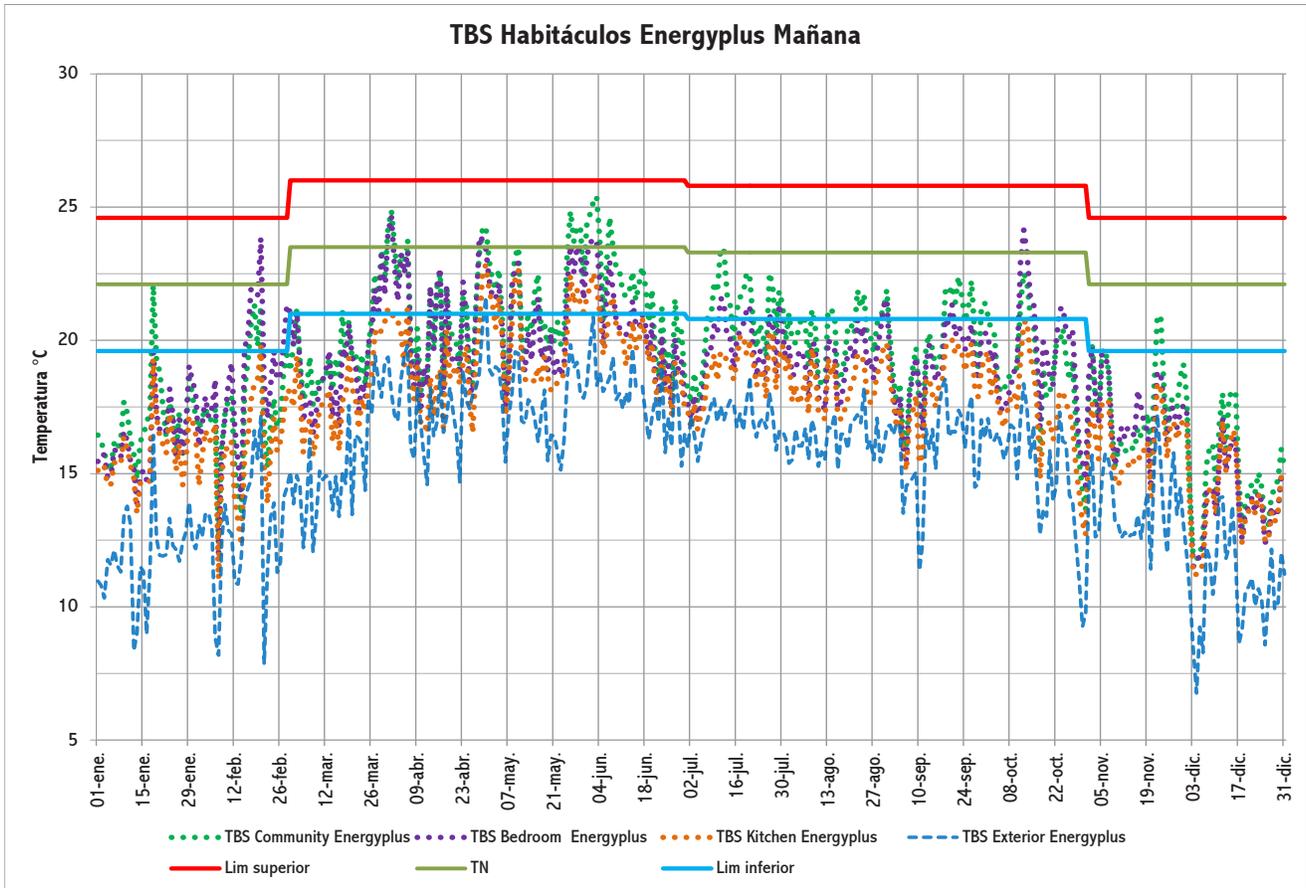
La pendiente de las líneas fue la más constante de todos los horarios para los tres habitáculos, contrario a la TBS exterior, que registró las oscilaciones más bruscas entre días promedio.

El habitáculo con el mejor desempeño fue Community, sobre todo si lo comparamos con la TBS exterior; en cuanto a Kitchen y Bedroom se comportaron de manera muy similar, empalmándose la mayoría del tiempo. Con este fundamento podemos suponer que el amortiguamiento térmico fue satisfactorio, al menos para el periodo de transición.

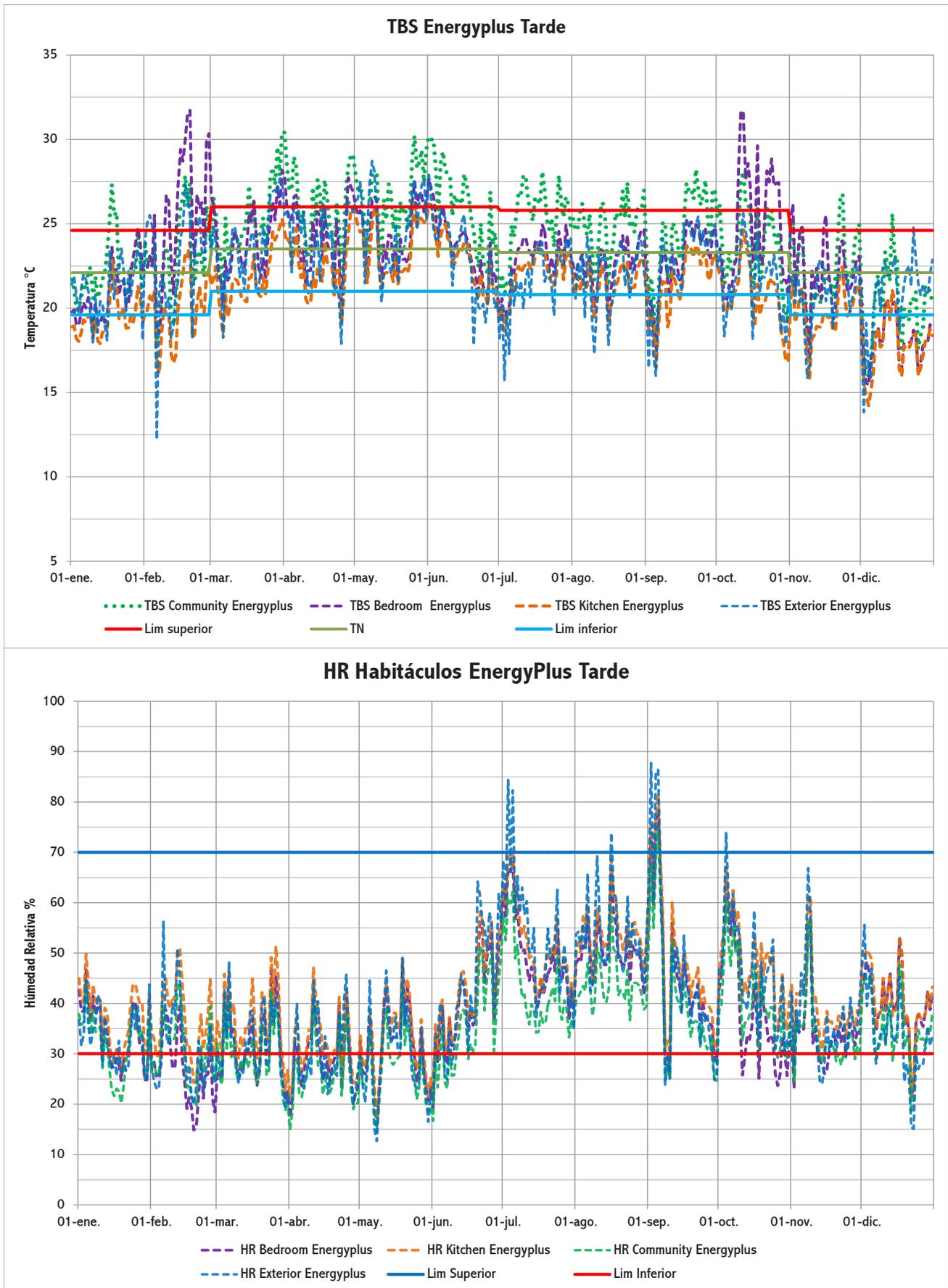
La HR exterior tuvo los registros más extremos de todos los horarios, la pendiente más pronunciada fue entre el 14 y 21 de agosto. En cuanto a los habitáculos, el confort se mantuvo durante el 85% del tiempo registrado, los tres se desempeñaron de la forma más equidistante de los cuatro horarios, por lo que sin duda la noche fue el periodo mejor evaluado de todos.



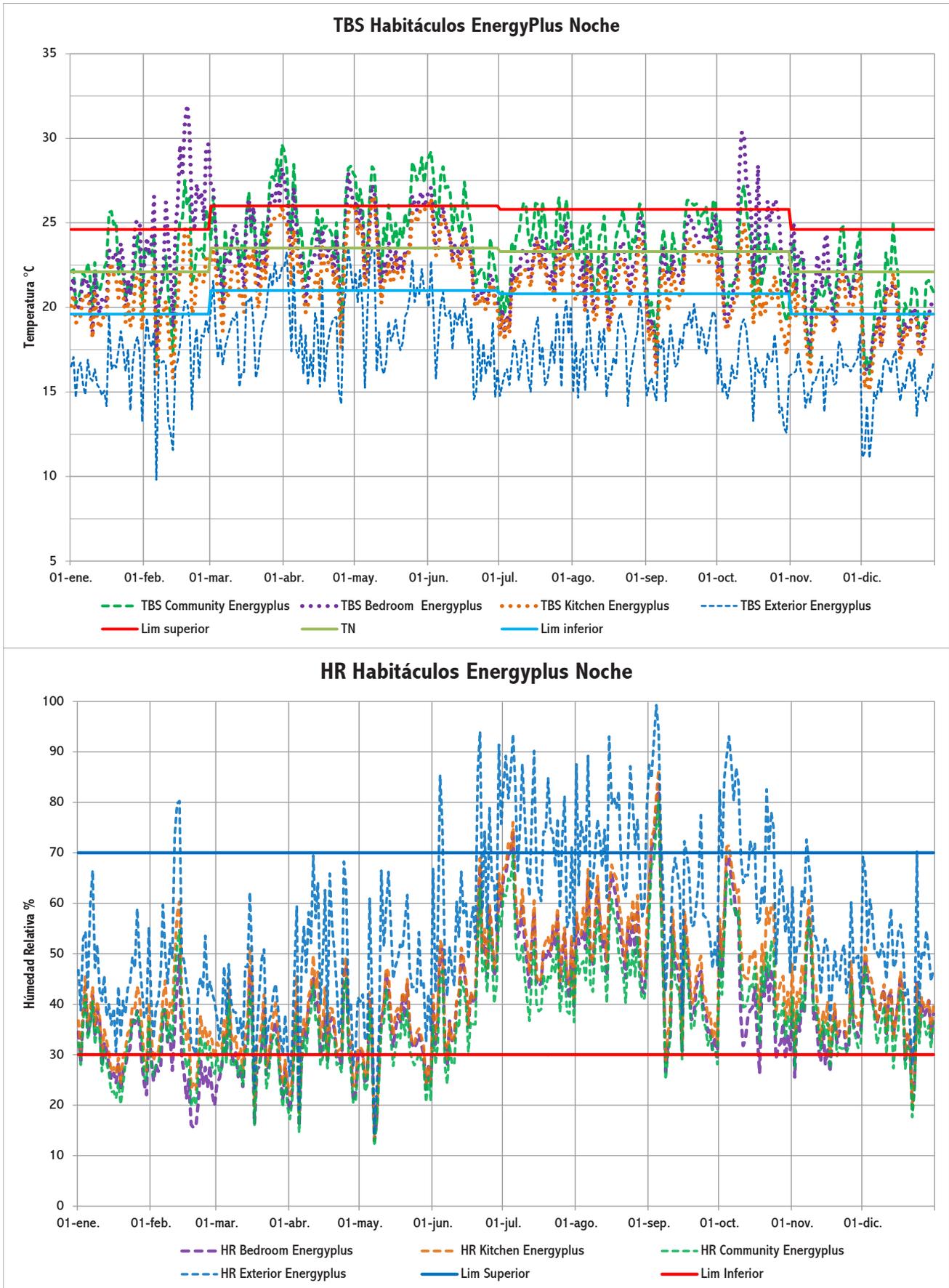
Gráfica 22 y 23: TBS y HR Habitáculos EnergyPlus Madrugada



Gráfica 24 y 25: TBS y HR Habitáculos EnergyPlus Mañana



Gráfica 26 y 27: TBS y HR Habitáculos EnergyPlus Tarde



Gráfica 28 y 29: TBS y HR Habitáculos EnergyPlus Noche

Como ya se mencionó, el objetivo de la simulación energética se hizo con dos fines principales:

1. Observar el comportamiento térmico de la envolvente a lo largo de un año típico completo.
2. Medir cuantitativamente el comportamiento del sistema constructivo de la envolvente sin la intervención de factores operativos, incluyendo la inclusión de los textiles.

**Madrugada (00:00-05:59).** Los datos calculados presentaron un comportamiento similar para los tres habitáculos, con una tendencia semejante en los incrementos y decrementos de los promedio diarios. Community proyectó el mejor desempeño con el promedio más alto de horas de confort a lo largo del año (casi 60%). Sin embargo, fue Bedroom el espacio con mejor desempeño durante el periodo frío. Por su parte Kitchen fue el espacio con las menores temperaturas promedio de los tres a lo largo del año.

El amortiguamiento térmico respecto a la TBS exterior fue contrastante, sobre todo en los meses de Mayo a Junio. La distancia entre las líneas de los habitáculos y la TBS exterior obtuvieron un promedio de  $\pm 6$  °C, así que los resultados se vislumbran congruentes con los monitoreados.

La humedad relativa se mantuvo dentro del rango de confort para los tres habitáculos, con un desempeño aproximado del 85% del tiempo; no destacó ningún espacio en particular, ya que las líneas se empalmaron en casi diez de los doce meses del año.

En cuanto a la HR exterior, los cálculos dieron resultados arriba del rango de confort para los meses de Julio a Octubre y el mes de Diciembre, siendo este último el que mejor tabularon los espacios.

**Mañana (6:00-11:59).** En este horario es notable un decremento general del amortiguamiento de la temperatura exterior, sobre todo en los meses de Abril y Octubre respectivamente. El periodo con mejor desempeño para los tres habitáculos fue del 26 de Marzo al 18 de Junio, que precisamente corresponden al periodo cálido del año.

Es el horario con menor número de horas dentro del rango de confort, con 43% del promedio. El porcentaje restante estuvo por debajo del rango. Community fue el único habitáculo relativamente destacable, con un récord promedio del 57%, sobresaliendo en el mes de Julio y Agosto, correspondientes al periodo de transición.

Los meses con el peor desempeño fueron Noviembre, Diciembre y Enero, correspondientes al periodo frío, en el que prácticamente nunca marcaron temperaturas dentro el rango de confort. Este comportamiento es coherente si lo comparamos con el único mes frío que se monitoreó: Noviembre, registró las temperaturas más bajas con una tendencia constante (Gráfica 16).

El desempeño de la HR tuvo la mejor proyección de los cuatro horarios simulados, promediando 85% del tiempo dentro del rango para los tres espacios. En las líneas de la gráfica contrasta el inicio del mes de Julio y Septiembre. Cabe decir que dichos meses resaltan en los registros por su precipitación pluvial.

**Tarde (12:00-17:59).** Los resultados para este horario proyectaron que Bedroom y Kitchen se comportan casi igual que la TBS exterior, lo cual es positivo en términos generales, considerando que en este horario se ubica el mayor porcentaje de las horas de confort de todo del año.

Community resultó el espacio con el peor desempeño, registrando constantemente las temperaturas arriba del rango de confort de Marzo a Septiembre.

Sin embargo, Bedroom fue el espacio que proyectó las máximas extremas para el mes de Febrero y Octubre; también superó el límite de confort los meses de Abril y Mayo. Kitchen fue el espacio que mejor proyectó a lo largo del año, excepto durante el periodo frío, los meses de Diciembre a Enero estiman temperaturas por abajo del confort.

Es el horario con la mayor estimación de horas dentro del rango de confort de todos, excepto para el habitáculo Community.

La HR proyectó 7 meses claramente dentro del rango de confort y a los restantes un comportamiento variado, principalmente por abajo del límite en los meses de Enero a Abril, para los tres espacios. El habitáculo que mejor desempeño proyecta es Kitchen, con sólo dos meses abajo del rango (Abril y Mayo); también mostró el comportamiento más similar a la HR exterior.

**Noche (18:00-23:59).** En general, el comportamiento proyectado para los tres habitáculos se mantiene dentro del rango de confort a lo largo del año, excepto durante el periodo cálido. El sobre calentamiento se prevé para Community y Bedroom, desde finales de Marzo hasta el mes de Julio.

Kitchen proyectó ser el espacio con el mayor número de horas de confort; sin embargo, resultó ser el más vulnerable al bajo calentamiento para el periodo frío, particularmente el mes de Diciembre y Febrero. Seguido está Bedroom en el número de horas abajo del rango.

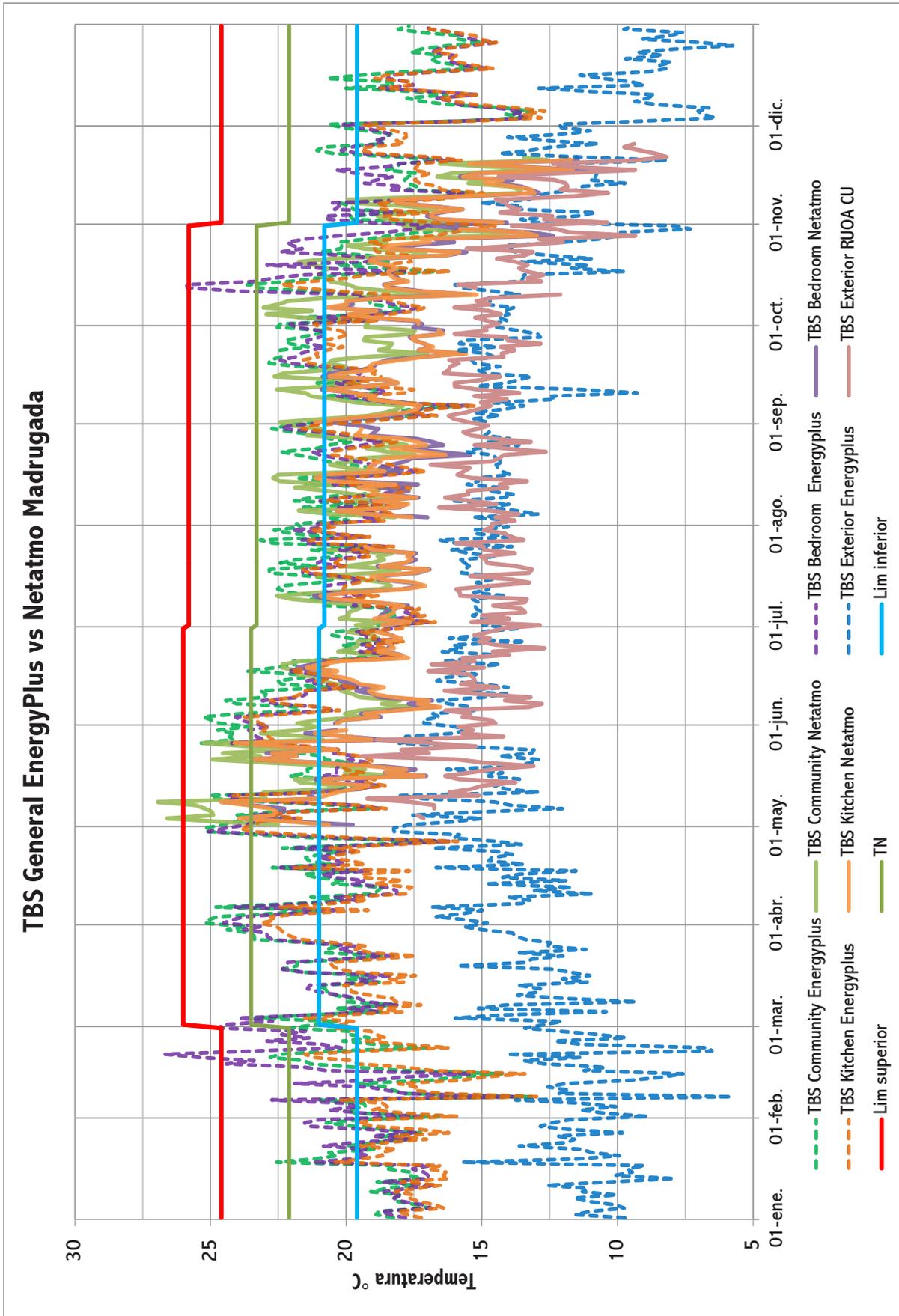
El amortiguamiento térmico varía a lo largo de los periodos, siendo el periodo frío el que proyecta la menor diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior: con 2.5 °C, 1.9 °C y 1.3 °C, para Community, Bedroom y Kitchen respectivamente. Community fue el espacio más destacado, con un promedio de 6°C y un máximo estimado de 10°C de

amortiguamiento.

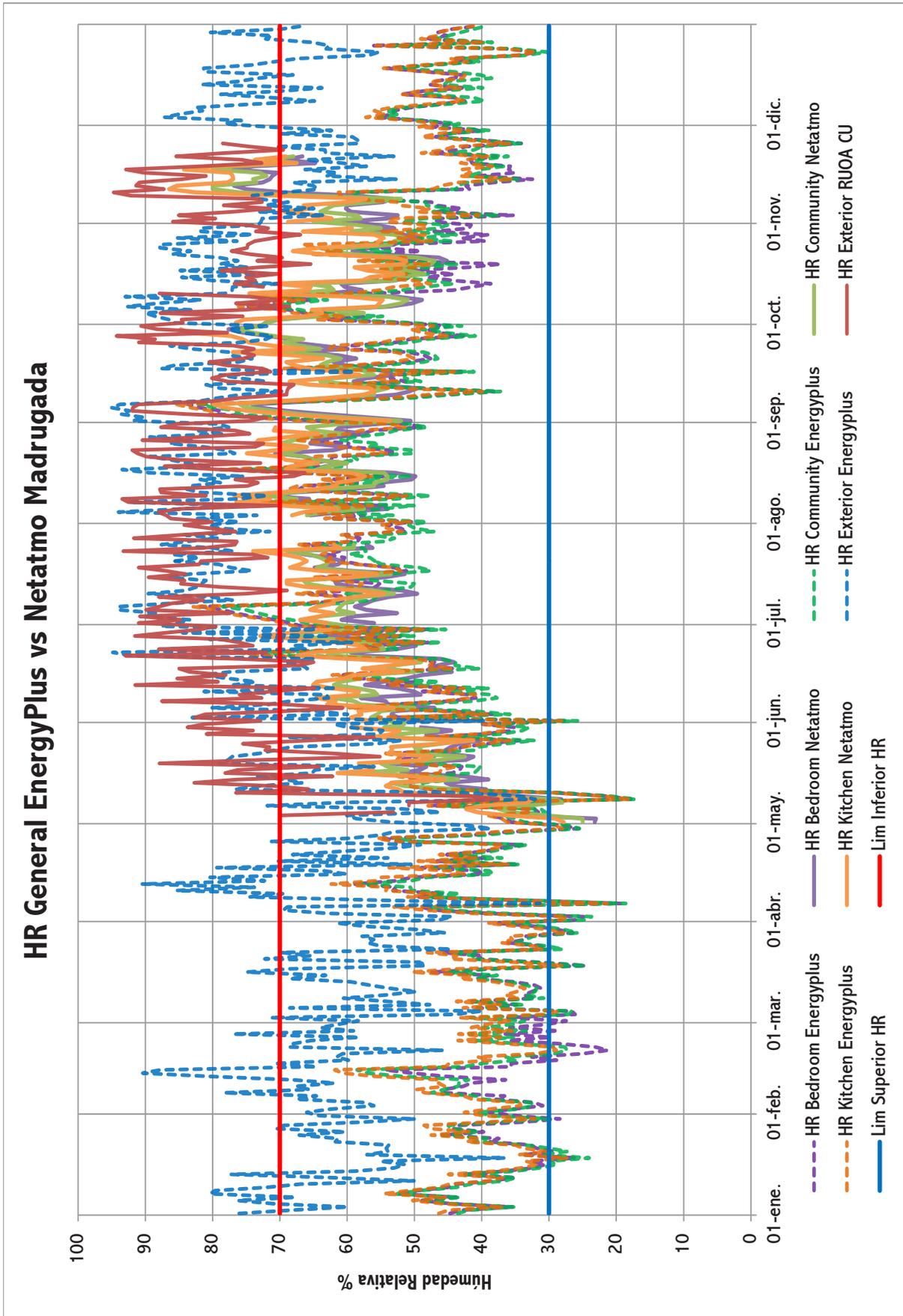
El rango entre la HR exterior y los tres habitáculos proyectó estrecho, con una diferencia promedio de 18%, 17% y 13% para Community, Bedroom y Kitchen respectivamente.

Los meses con más días abajo del rango resultaron ser Enero, Febrero, Marzo y Abril, con una HR promedio de 32% y mínimas promedio de hasta el 13% para los tres espacios. Este desempeño es positivo para los meses fríos (Enero y Febrero), evitando que el vapor de agua transfiera el calor (al aire) que almacenaron las superficies a lo largo del día; el problema viene para los meses cálidos como Marzo y Abril, al no haber evaporación (principal mecanismo de enfriamiento) las superficies irradian más calor durante la noche. Este hecho también agudiza el fenómeno de isla de calor urbana.

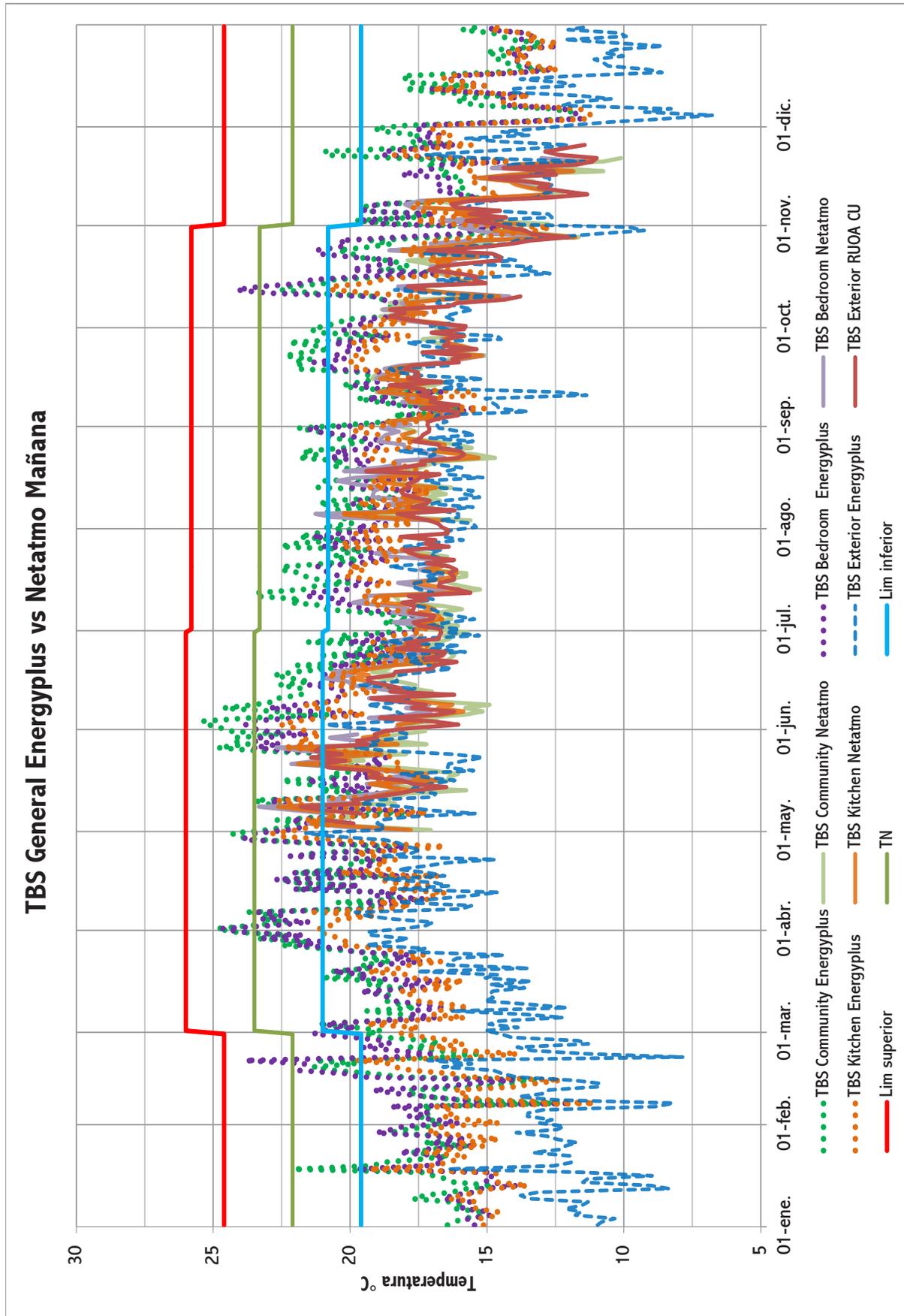
Comparación de resultados de la simulación energética vs monitoreo



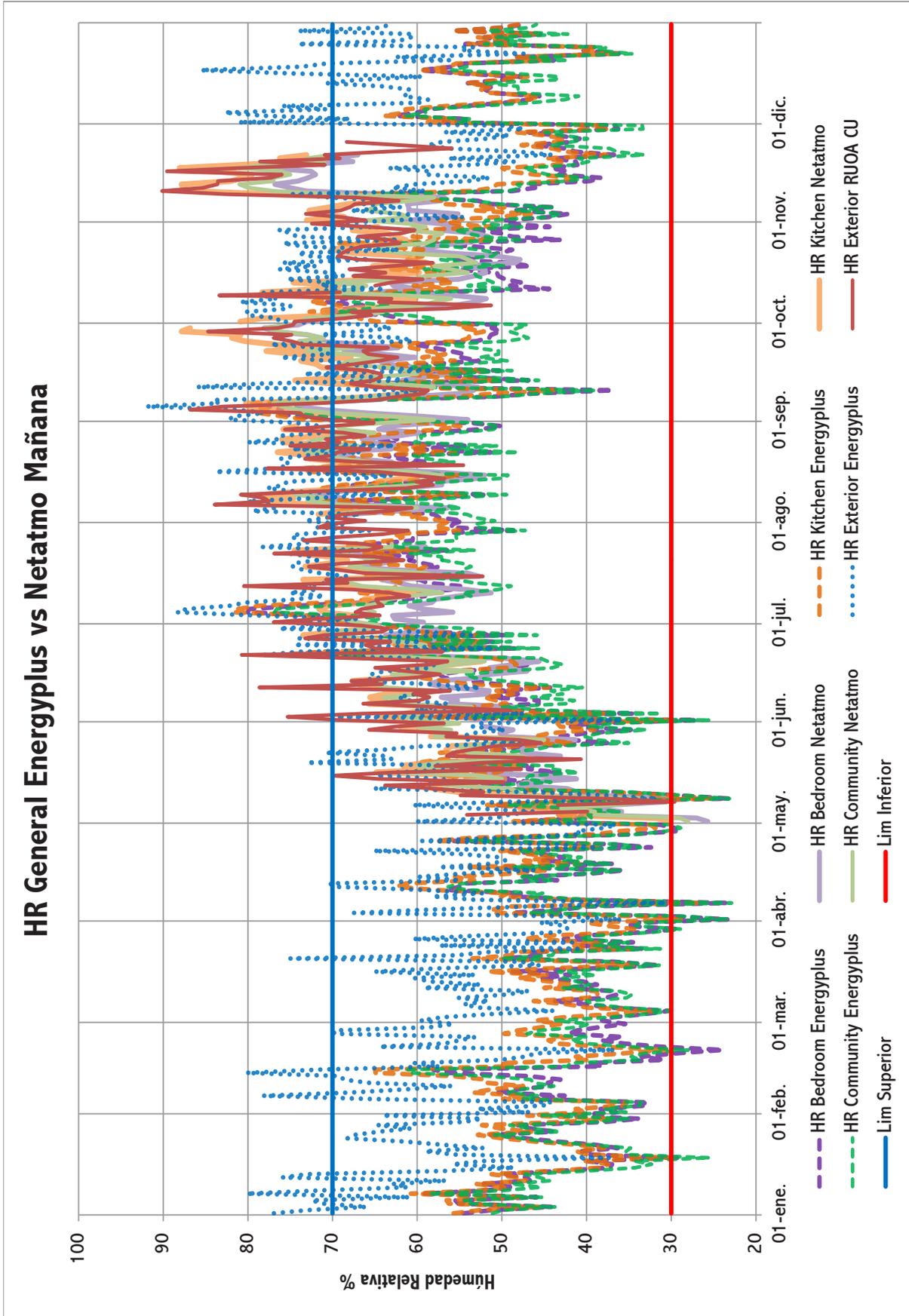
Gráfica 30 Comparación TBS Simulación vs Monitoreo Madrugada



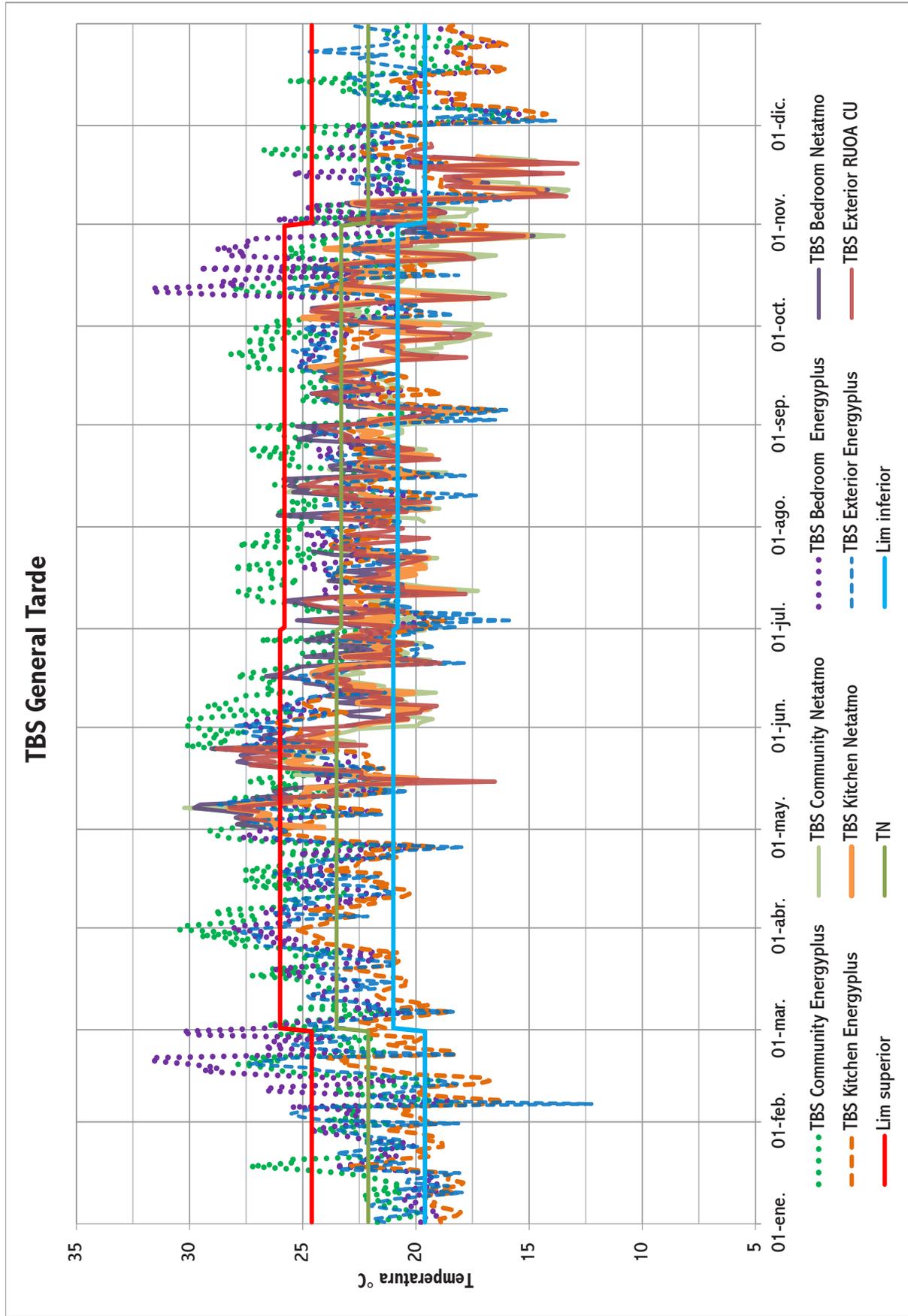
Gráfica 31 Comparación HR Simulación vs Monitoreo Madrugada



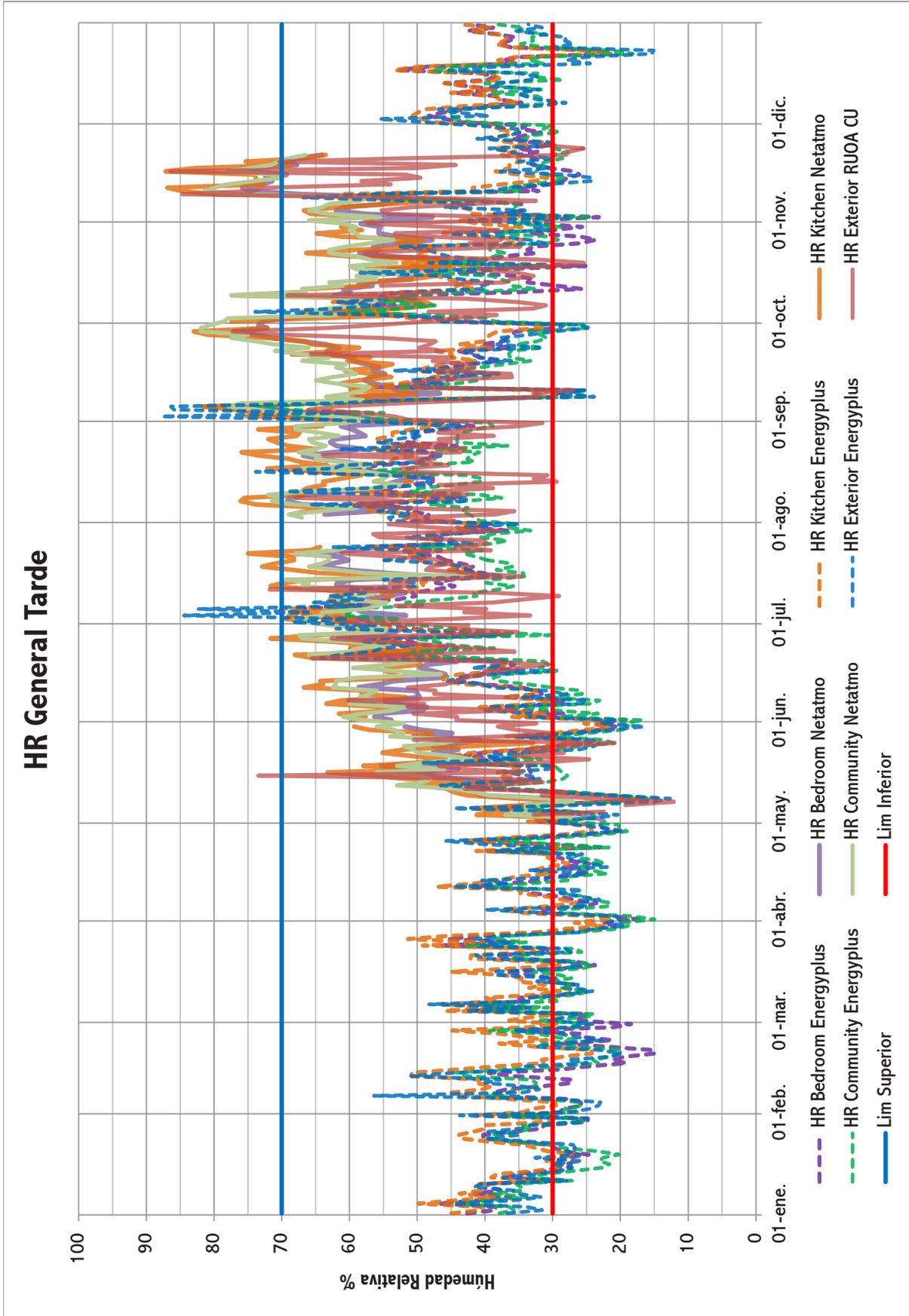
Gráfica 32 Comparación TBS Simulación vs Monitoreo Mañana



Gráfica 33 Comparación HR Simulación vs Monitoreo Mañana

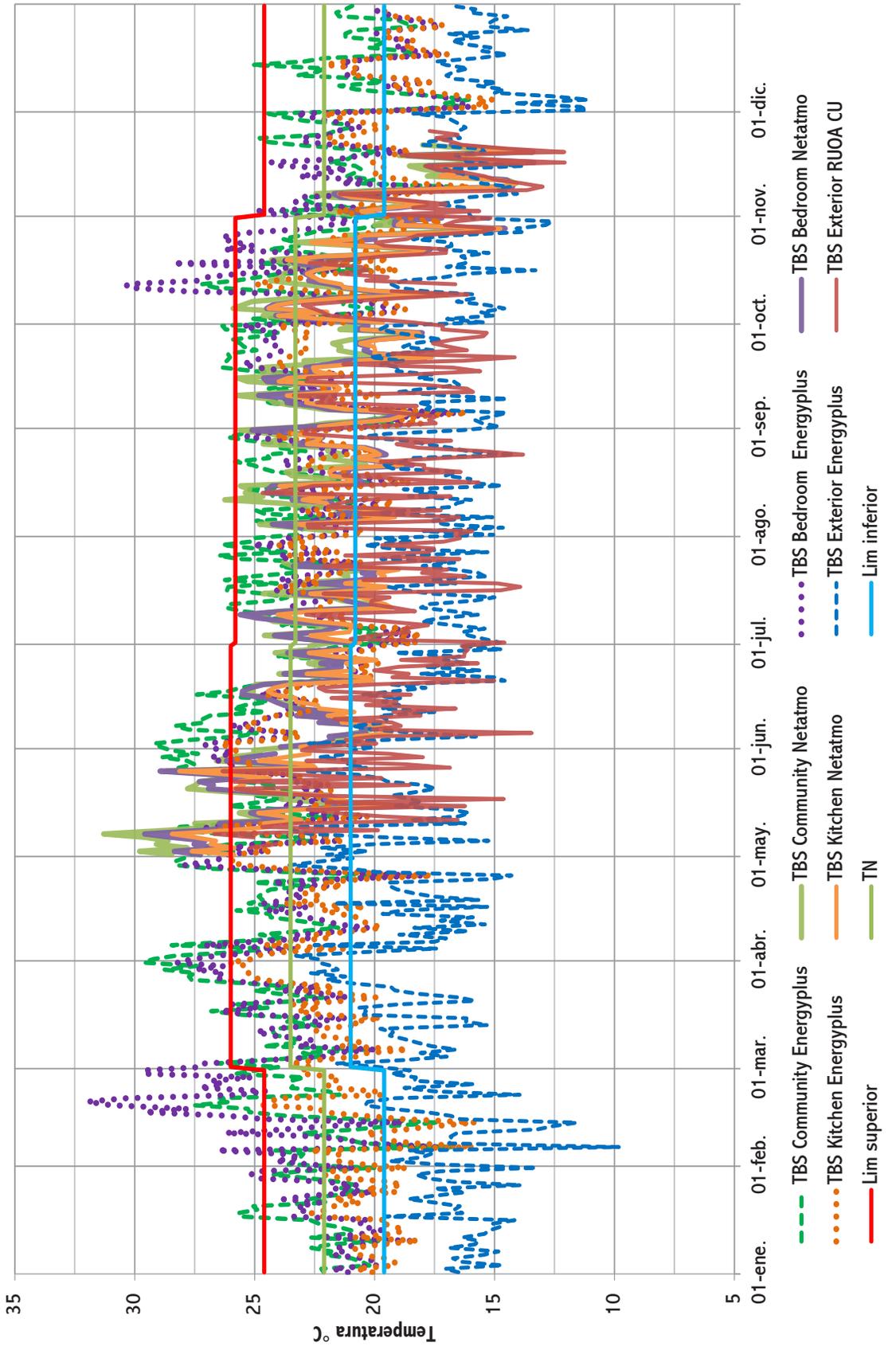


Gráfica 34 Comparación TBS Simulación vs Monitoreo Tarde



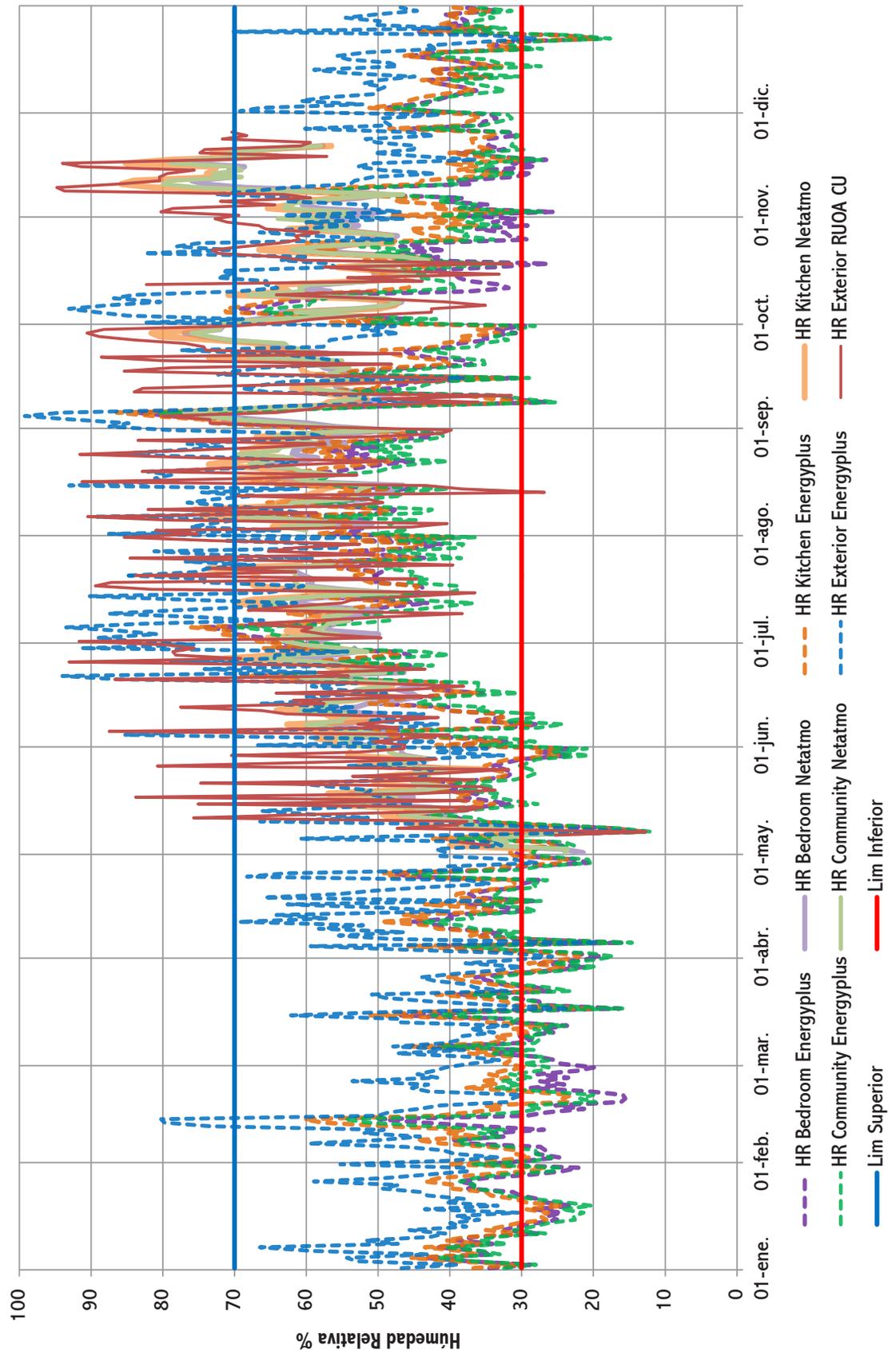
Gráfica 35 Comparación HR Simulación vs Monitoreo Tarde

### TBS General Noche



Gráfica 36 Comparación TBS Simulación vs Monitoreo Noche

### HR General Noche



Gráfica 37 Comparación HR Simulación vs Monitoreo Noche

## Discusión de los resultados

**Madrugada (0:00-5:59).** El mes de Mayo y la primera mitad de Agosto representaron los periodos con más similitud de temperaturas de los tres habitáculos. Este primero también obtuvo el mayor número de horas de confort para los tres espacios.

La primera mitad de Noviembre también presentó un comportamiento acertado, pero sólo para Kitchen y Community; por su parte, Bedroom contrastó demasiado durante este mes, empatando casi con la TBS exterior.

Para los tres espacios en general, los periodos con más disparidad fueron: la primera semana de Junio, finales de Septiembre, la primera mitad de Octubre y la segunda y tercer semana de Noviembre.

Community fue comparativamente el mejor de los tres espacios, el más afín a la tendencia proyectada y el que más horas de confort obtuvo. En cambio Bedroom, fue el espacio más dispar de todos y el que obtuvo homologamente las temperaturas más bajas; también, el que menos horas de confort logró.

La TBS exterior fue el par de líneas con mayor correspondencia, sobre todo a finales del mes de Octubre y el mes de Noviembre; sin embargo, se observó que los datos de la RUOA registraron mayores temperaturas durante los meses de Mayo, Agosto, Septiembre y Octubre.

La humedad relativa tuvo mejor correspondencia en la proyección de los resultados, siendo Agosto, Septiembre y Octubre los que más tiempo empalmaron. Sin embargo el segundo registró muchas horas arriba del rango de confort.

En general, Bedroom y Community tuvieron un gran desempeño, se mantuvieron dentro del rango de confort el 80% del tiempo. Kitchen es el espacio

con más horas arriba del rango de confort (casi el 50%) y el que más discrepó de la simulación. Fué el menos eficiente de los tres.

Los meses menos correspondientes para los tres habitáculos fueron: finales de Septiembre. Se registraron humedades mucho más altas que la simulación y se rebasó el límite de confort; en el mes de Noviembre, se registró un periodo atípico de precipitaciones durante la segunda y tercera semana, provocando un incremento sustancial de la humedad exterior. Los máximos valores de HR se registraron en este periodo.

Las líneas de la HR exterior proyectaron un alto grado de correspondencia en magnitud y tendencia. En general las horas de confort registraron arriba del límite durante todo el tiempo (Mayo-Noviembre).

**Mañana (6:00-11:59).** La comparación en las tres gráficas registró un comportamiento por abajo de la estimación hecha por la simulación; excepto el mes de Mayo, que proyectó la menor diferencia entre las líneas correspondientes y fue el único que logró el rango de confort durante varias horas.

En general, los meses con mayor divergencia para los tres espacios fueron Junio, la mitad de Julio y Septiembre. Kitchen fue el espacio que registró el comportamiento más afín a la simulación, registrando incluso temperaturas superiores a lo previsto (algunos días de Julio y septiembre); sin embargo, sólo en Mayo alcanzó el rango de confort.

El caso de Community es especial ya que los registros indican que fue el espacio con mayor divergencia de todas las comparaciones hechas de todos los espacios y en todos los horarios, logrando algunas horas de confort sólo durante Mayo. Su empalme fue breve, sólo en las dos primeras semanas de Septiembre; la divergencia promedio fue de 4.1 °C y el promedio de las máximas fue de 7.3 °C

Este horario tuvo un desempeño particular: las proyecciones de Community y Bedroom se comportaron más como la temperatura exterior, ocasionando que las proyecciones de la simulación quedarán sobre estimadas la mayor parte del tiempo.

**Húmedad relativa.** La tendencia general entre el comportamiento proyectado y el monitoreo fue semejante para los tres espacios; los incrementos y decrementos en esta variable mantuvieron un comportamiento aceptablemente equidistante, excepto a finales de Septiembre y durante Noviembre que registraron con humedades arriba del límite de confort, mientras la simulación aseguraba valores dentro del rango.

**Kitchen.** Las líneas homologas se empalmaron constantemente durante varios meses y los registros indican que la HR fue levemente mayor a lo proyectado, excepto en los meses más dispares mencionados. El rango de confort fue constantemente superado a partir del mes de Agosto.

**Bedroom.** Es el espacio con la tendencia y la equidistancia más pareja, excepto en los meses más dispares mencionados. Obtuvo el mayor número de horas promedio en confort de los tres, rebasando el limite solo en circunstancias atípicas (como Noviembre).

**Community.** Este espacio registró la mayor diferencia entre homólogos, el monitoreo marcó humedades siempre arriba de la simulación. El rango de confort estuvo arriba en Agosto, Septiembre y Noviembre. La diferencia promedio fue de 10% y el máximo mensual fue de 24% para el mes de Noviembre.

**Tarde (12:00-17:59).** En Bedroom y Kitchen, la tendencia del comportamiento monitoreado correspondió de manera congruente a la simulación; sin embargo, el comportamiento de

los tres habitáculos en general empato más con la temperatura exterior. El mes de Mayo registró temperaturas superiores a lo proyectado para los tres espacios, rebasando el límite de confort.

Community fue el espacio con más diferencia; su tendencia fue similar pero registró menores temperaturas que la simulación a lo largo del tiempo; sin embargo, logro más horas de confort que lo estimado (Junio hasta mitad de Septiembre). Por consiguiente, su desempeño resulto mejor que lo proyectado.

**Bedroom.** La estimación resultó bastante apegada. Los valores monitoreados registraron mayores temperaturas durante Mayo y hasta finales de Septiembre. A partir de Octubre y Noviembre las temperaturas fueron menores a lo estimado.

Las horas de confort coincidieron desde Junio hasta Septiembre, Octubre registró las mayores oscilaciones contrario a lo estimado.

**Kitchen.** Fue el habitáculo más similar a la simulación. Coincidió en tendencia y magnitud a su homólogo; igualmente, el monitoreo también concordó en gran medida con la temperatura exterior, en los meses de Junio a Noviembre.

La húmedad relativa registrada en los tres habitáculos resultó con estimaciones mayores a la simulación, sobre todo para los meses de Septiembre y Noviembre, fueron los más divergentes y evidentemente rebasaron el limite de confort.

Community fue el habitáculo más divergente de los tres, la húmedad registrada fue mucho mayor a la proyectada; sin embargo, sólo Septiembre y Noviembre rebasaron el rango de confort.

**Noche (18:00-23:59).** En general, los tres habitáculos presentaron una tendencia congruente con la

simulación, excepto en condiciones atípicas: principios de Junio, las últimas dos semanas de septiembre y Noviembre. En esos casos el comportamiento de la TBS fue contrario a lo proyectado, dando como resultado temperaturas menores que llegaron abajo del rango de confort, principalmente en Noviembre.

El tiempo de confort resultó satisfactorio para el periodo de transición. Sin embargo, resaltan por su cuenta los meses colindantes entre periodos como Mayo (penúltimo mes del periodo cálido) y Noviembre (inicio del periodo frío). El primero rebasó las temperaturas proyectadas de manera notable, aunque gracias a la simulación ya se esperaban temperaturas arriba del rango.

En el caso de Noviembre se registraron temperaturas mucho menores a las estimadas, contrariamente a lo previsto en la simulación, la cual estimaba temperaturas de confort para todo el mes. Si observamos la respectiva gráfica, la razón de este comportamiento fue la gran cantidad de humedad originada por las lluvias atípicas.

Community fue el espacio más constante en presentar horas de confort. Su comportamiento resultó mejor a la simulación durante Junio. Bedroom tuvo el menor promedio de horas de confort de los tres (de Junio a Agosto), desde la mitad de Septiembre hasta Noviembre registró temperaturas abajo del rango.

El habitáculo Kitchen si bien tuvo un desempeño aceptable en confort, fue el resultado más divergente con la simulación, empalmado notablemente en tres momentos: mediados de Junio, final de Agosto y principio de Septiembre, y principio de Noviembre.

La humedad registrada en los tres habitáculos resultó con estimaciones mayores a la simulación, con un comportamiento principalmente divergente, esto quiere decir que el resultado obtenido se comportó contrariamente a lo previsto la mayor

parte del tiempo. Sin embargo, básicamente la humedad se mantuvo dentro del rango de confort, excepto durante Septiembre y Noviembre los cuales presentaron precipitaciones temporales atípicas.

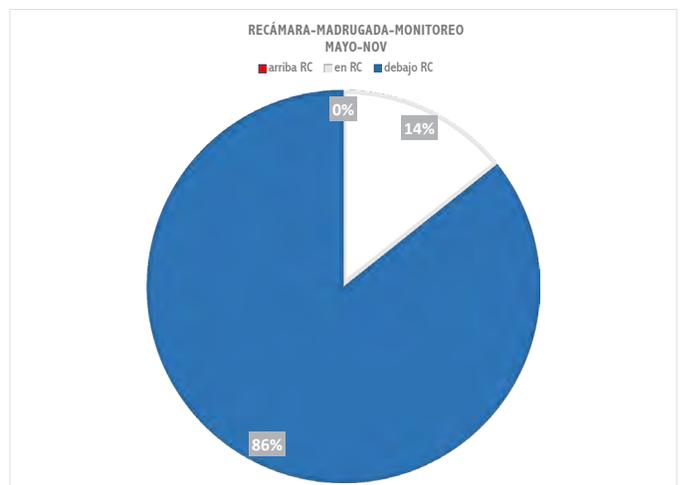
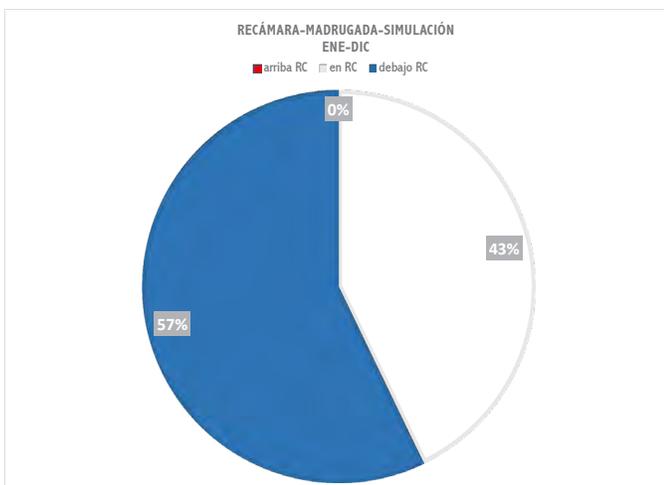
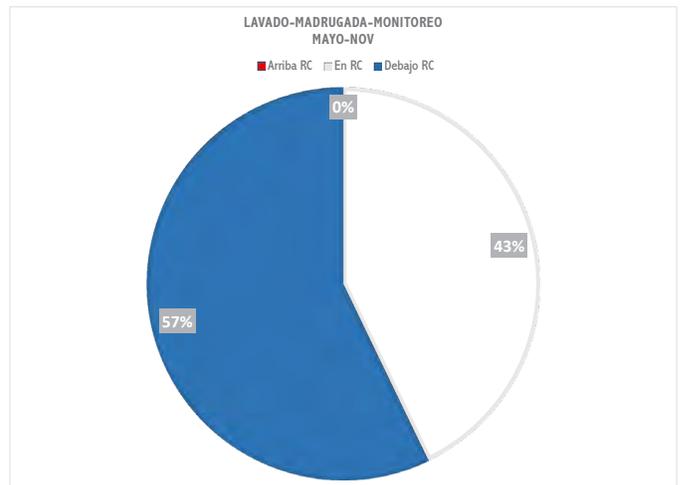
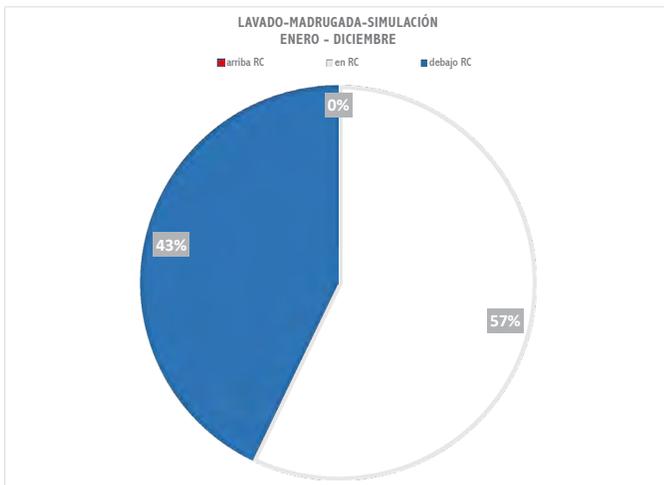
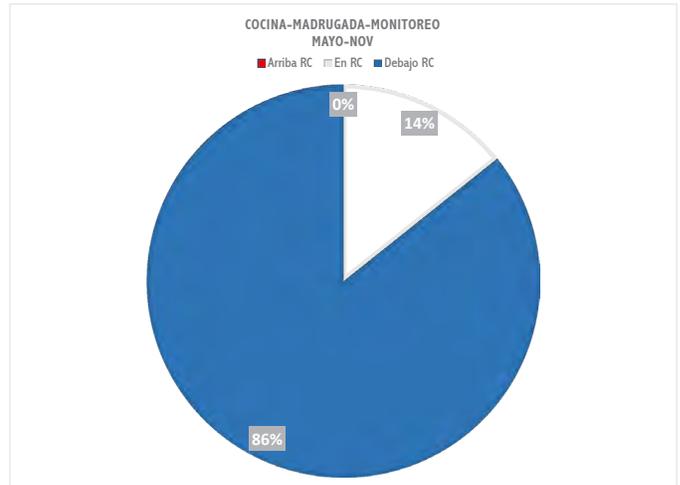
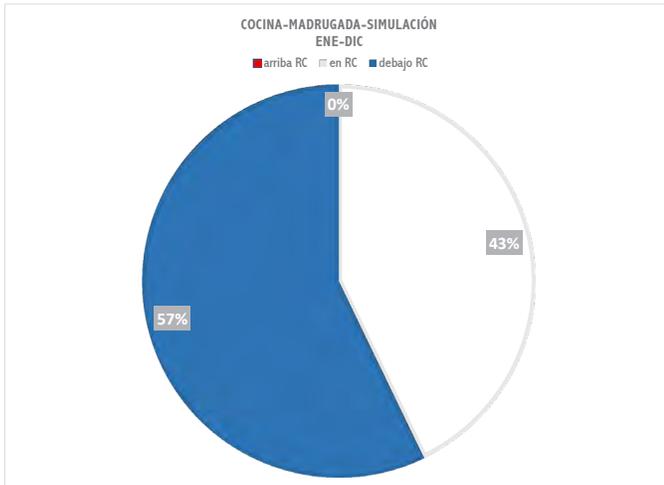
Community. Fue el habitáculo con mayor divergencia en los resultados, la humedad que registró fue continuamente mayor a lo previsto, principalmente en el mes de Noviembre. Su desempeño en el confort solo fue afectado por las circunstancias atípicas del año.

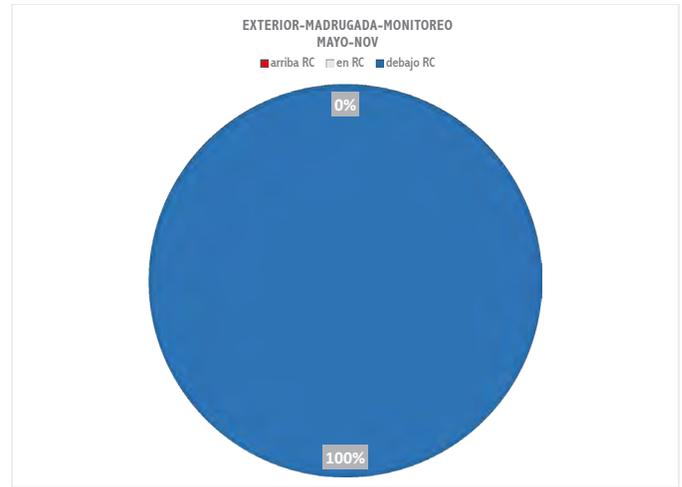
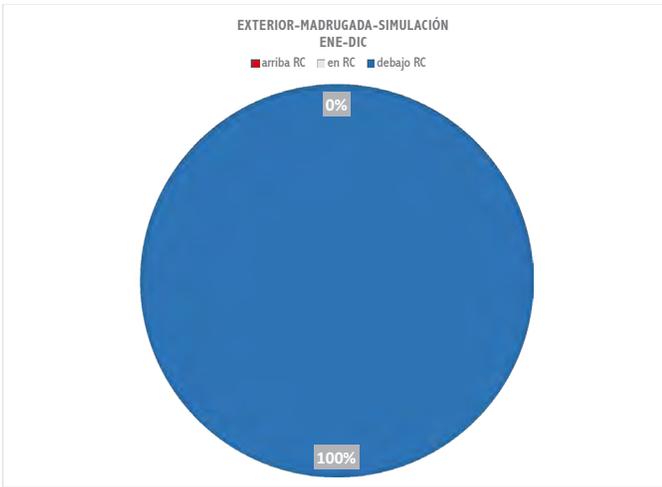
Bedroom tuvo un desempeño similar a Community y obtuvo las mismas horas de confort (promedio), con un registró levemente menor de humedad.

Kitchen. Presentó la mejor correspondencia con la simulación y la menor diferencia con esta, en comparación con sus homólogos. Sin embargo, registró la humedad promedio más alta y rebasó el límite de confort durante los meses de Junio y Agosto en varias ocasiones, por lo tanto fue el espacio que obtuvo menos horas de confort.

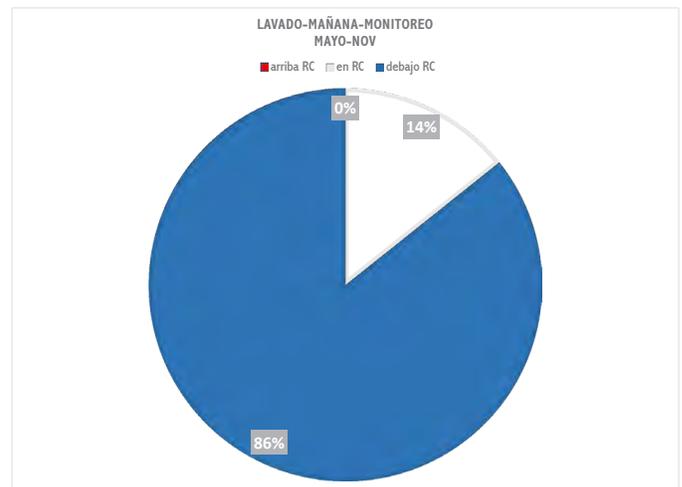
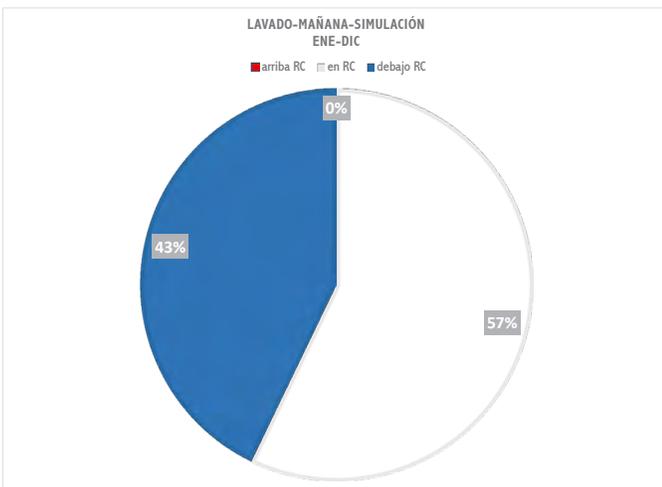
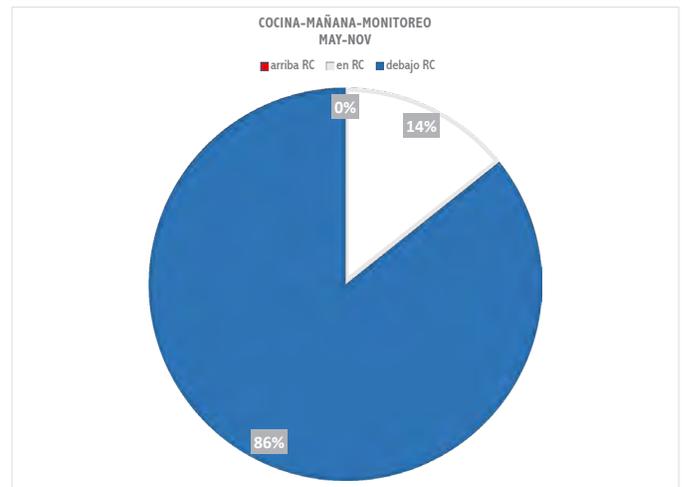
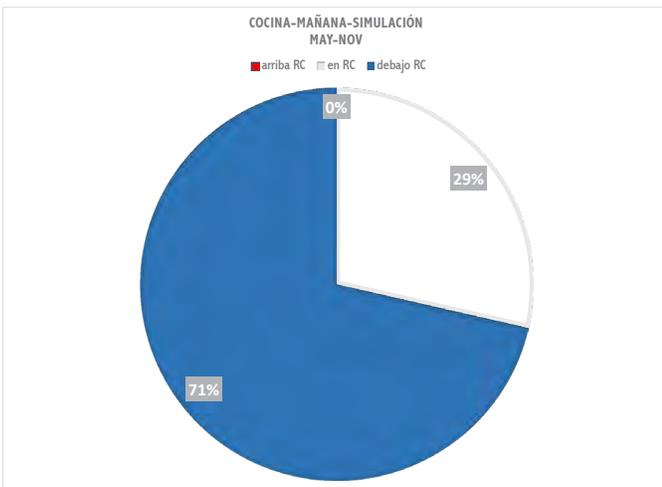
Porcentajes horarios de confort térmico interior con base en los resultados

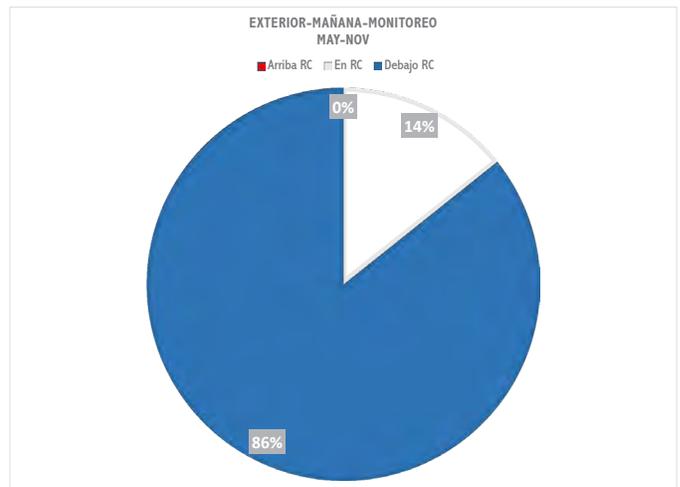
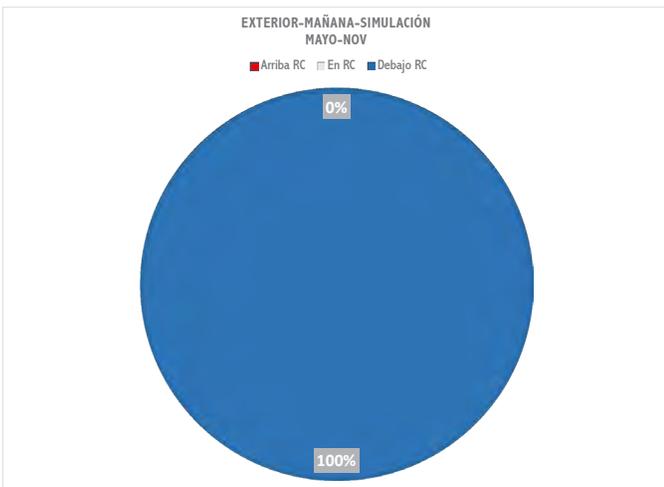
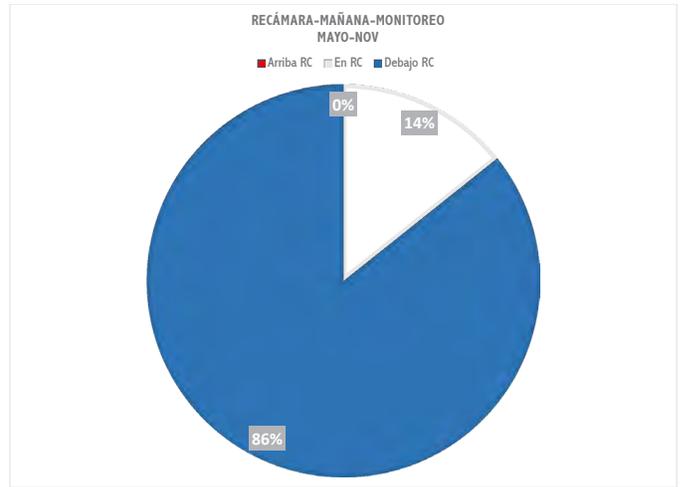
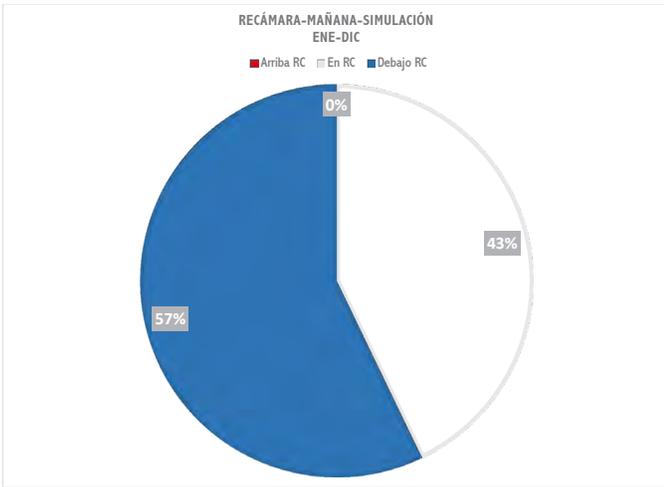
Gráficas 38.1-32



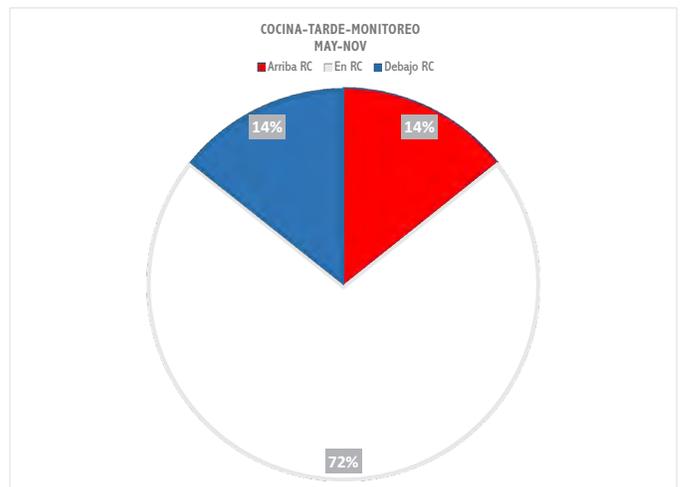
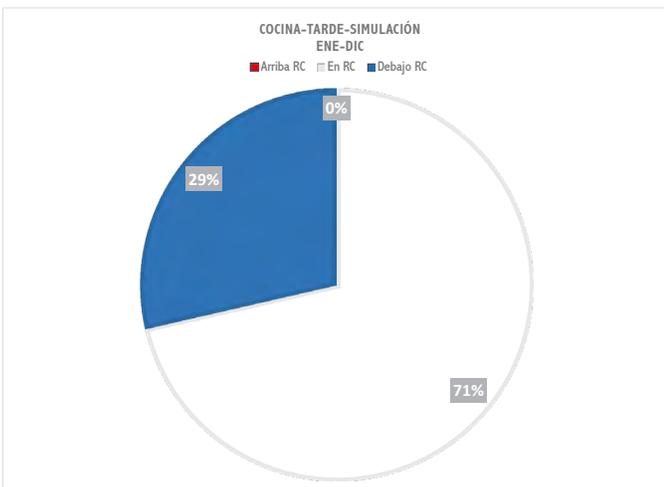


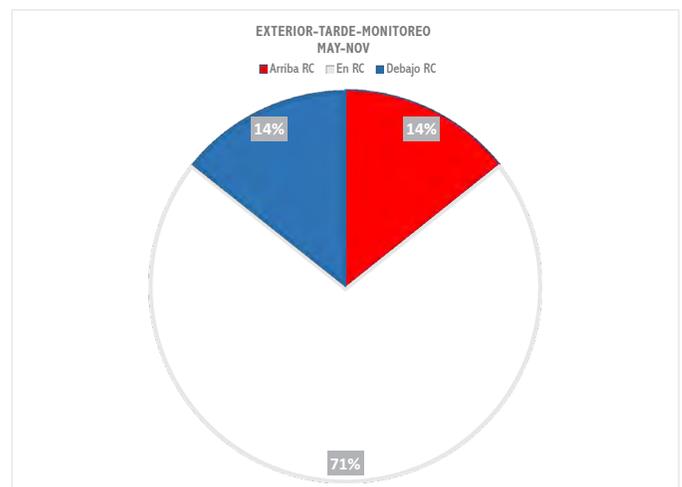
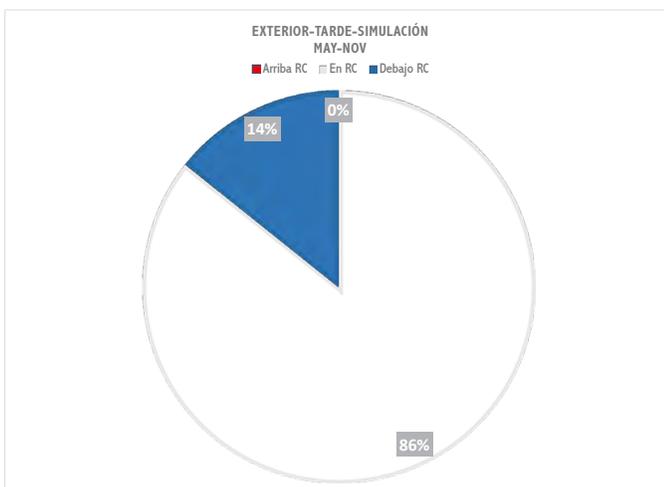
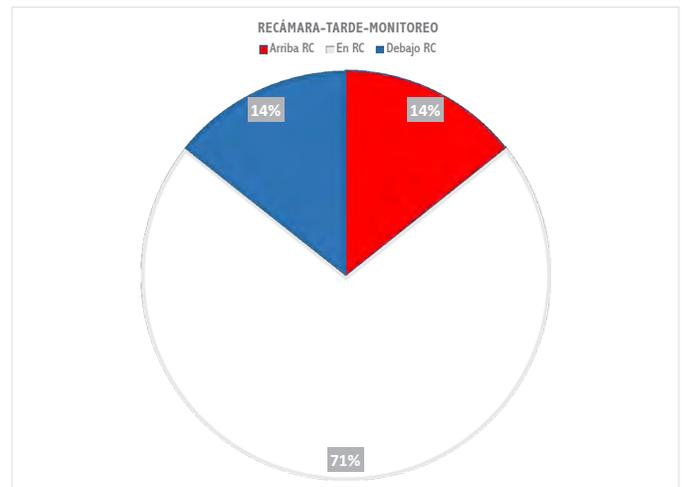
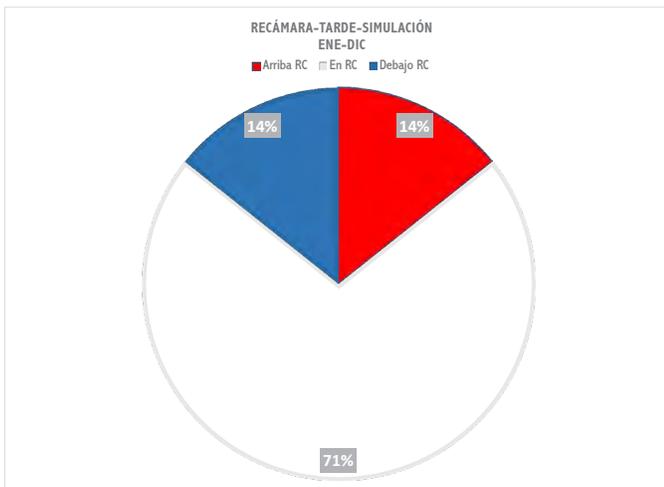
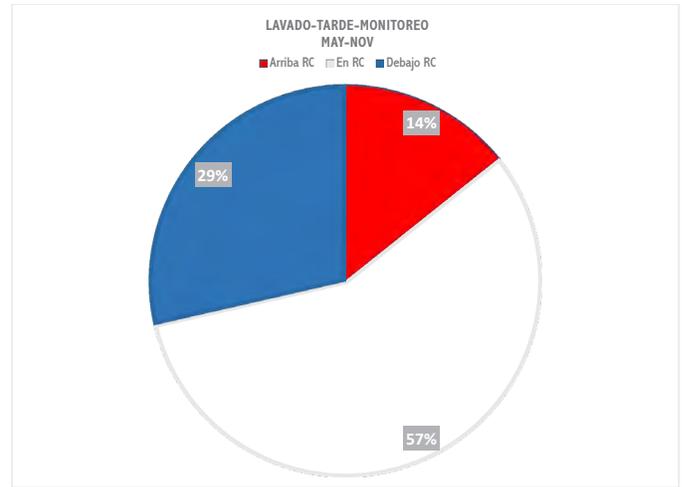
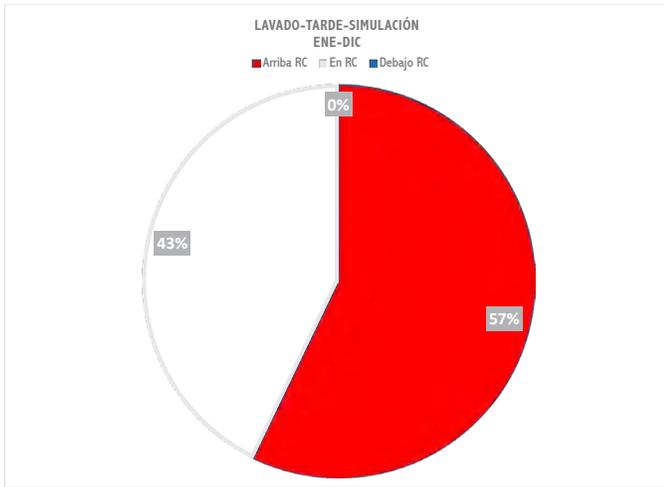
Mañana



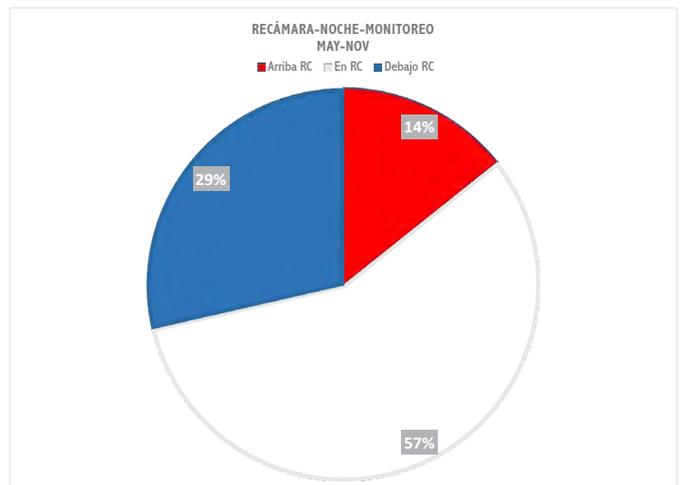
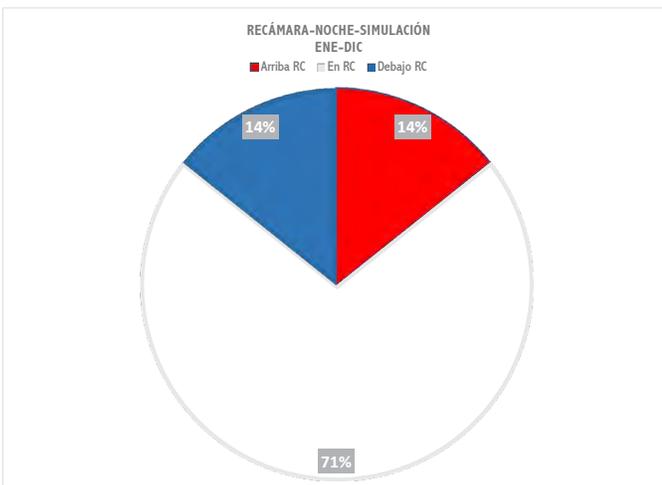
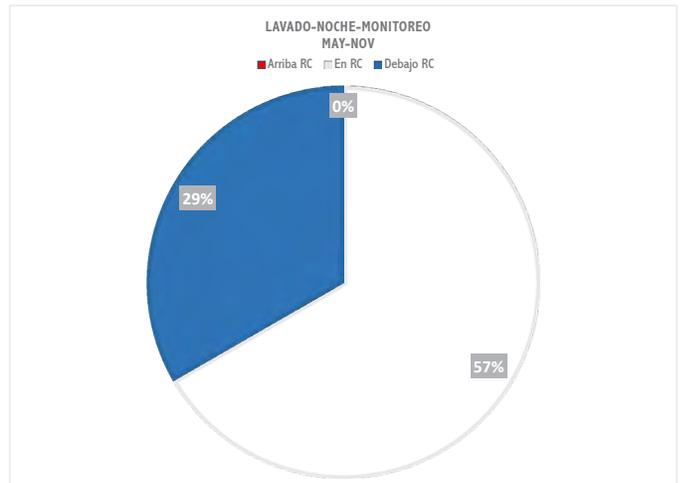
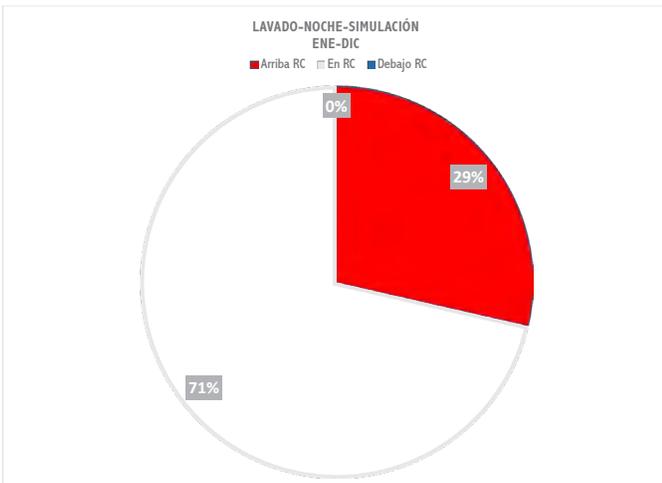
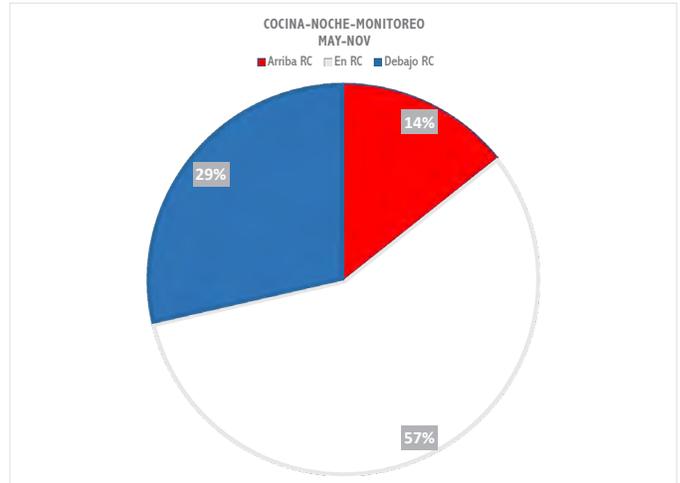
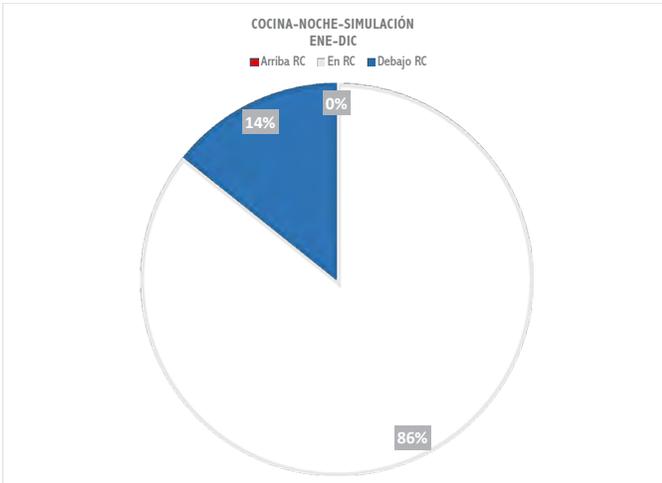


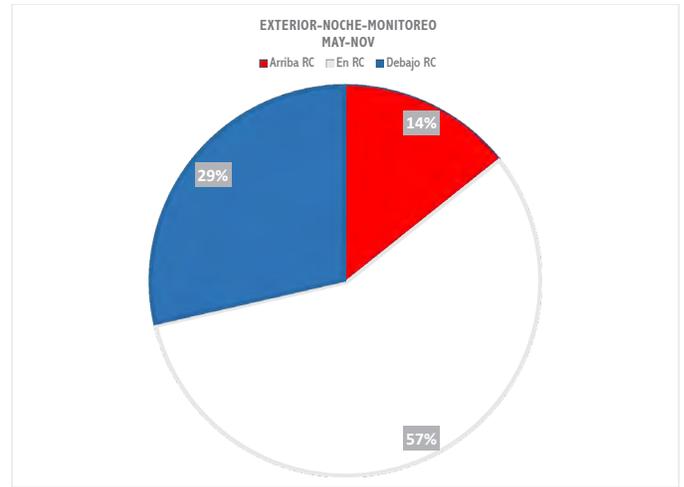
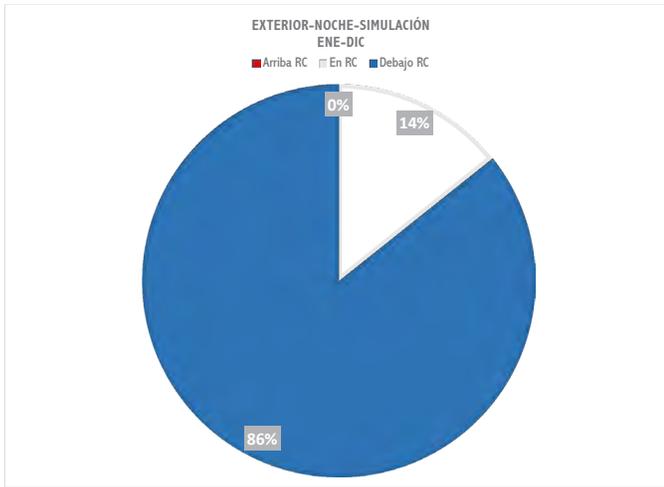
Tarde





## Noche





## 10|1.4 Resultados cualitativos

En el transcurso de la investigación se aplicaron diversas pruebas de confort de tipo correlacional, repartidas en dos fechas con diferentes periodos (transición y frío), las cuales consistían en medir y registrar los parámetros del ambiente térmico a la vez que los participantes (adultos jóvenes) opinaban sobre su sensación y percepción térmica del espacio, con base en los procedimientos citados en la metodología.

Los resultados obtenidos de las muestras (cuestionarios) fueron asentados en un archivo de datos particular, siendo la base para las pertinentes gráficas que expresan en forma cuantitativa las opiniones de los usuarios sobre su sensación de confort, su preferencia y la aceptación del ambiente. Así mismo, las muestras también contienen la información personal de cada uno de los participantes, con la cual es posible cuantificar y promediar su aislamiento por vestimenta, sexo, edad y si ya están aclimatados a la Ciudad de México, etc.

Por último, en la parte complementaria del cuestionario, la hoja del encuestador, se asentaron los datos cuantitativos del ambiente térmico durante la prueba, la información general del grupo de participantes (cantidad, actividad, etc.), las condiciones climáticas del día de la prueba (momento del día, condiciones del cielo) y aquellas observaciones sobresalientes o atípicas registradas bajo el criterio del aplicador.

Las fechas de las pruebas fueron:

Periodo de transición

- 24 De Agosto. Horario: 12:45 a 13:40, tarde; 34 muestras recabadas en dos turnos.
- 7 de Septiembre. Horario: 12:40 a 13:45,

tarde; 40 muestras recabadas en 6 turnos.

Periodo frío:

- 9 de Noviembre. Horario: 10:05 a 11:00, mañana; 61 muestras recabadas en 7 turnos.
- 10 de Noviembre. Horarios: de 10:30 a 11:15, mañana (46 muestras en 4 turnos); de 12:20 a 13:00, tarde (33 muestras en 4 turnos). Total de muestras: 79, recabadas en 8 turnos.

Descripción operativa de las evaluaciones:

- Lugar de las evaluaciones: Kitchen.
- Actividad de los participantes: leer/escribir.
- Tipo de actividad: pasiva (sedentaria).
- Carga metabólica: 60 w/m<sup>2</sup> (1 met).

En este último punto, podemos constatar que tanto la actividad como la carga metabólica estuvieron dentro del rango metabólico sugerido por la norma.

Características de la población del estudio

La información individual se enfocó a los factores de carácter operativo y a los contribuyentes individuales, los datos estadísticos de los participantes son los siguientes:

Número total de participantes: 210.

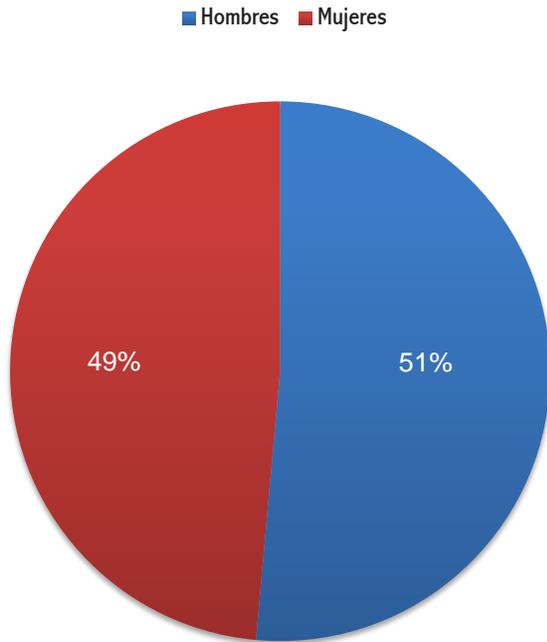
Edad promedio: 23 años.

Rango de edad: 20 a 30 años.

Distribución de sexos: 51% hombres y 49% mujeres, por lo cual se puede considerar equitativa.

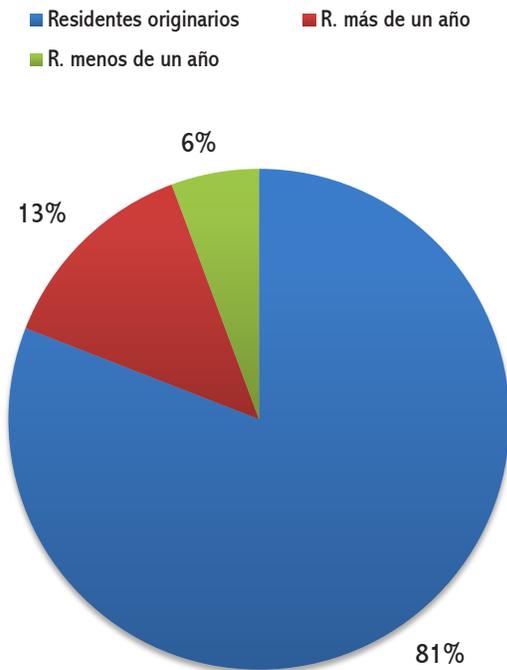
La cantidad de participantes aclimatados fue de 183, resaltando que la mayoría de estos son originarios de la Ciudad de México (157) y otro

### Sexo de la población



Gráfica 39 Sexo de la población muestra

### Factor de aclimatación



Gráfica 40 Aclimatación de los participantes

tanto tiene más de un año de residencia (26). El total suma un porcentaje del 94 %, suficiente para tener un margen amplio de confiabilidad en el factor de adaptación fisiológica.

#### 10|1.4.1 Vestimenta

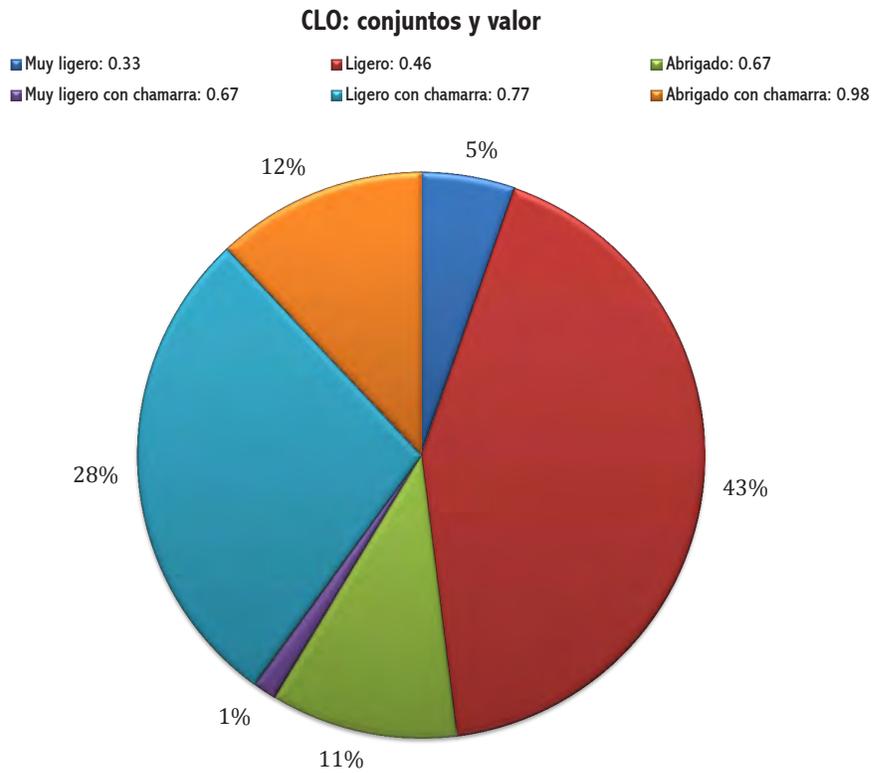
Este factor se graficó por cada periodo de evaluación, con el objetivo de representar de mejor manera los hábitos y la experiencia de los participantes frente a los cambios climáticos horarios o estacionales.

**Periodo de transición** (gráfica 32). El valor de aislamiento con mayor tendencia fue el conjunto ligero, sumando un total de 71% si consideramos que la prenda de abrigo es intercambiable a lo largo del día. El porcentaje de personas con la prenda intercambiable fue 41% al momento de la prueba. Esta condición les da la posibilidad de adaptarse a un rango extra condiciones de calor, simplemente despojándose de dicha prenda (-0.31 clo).

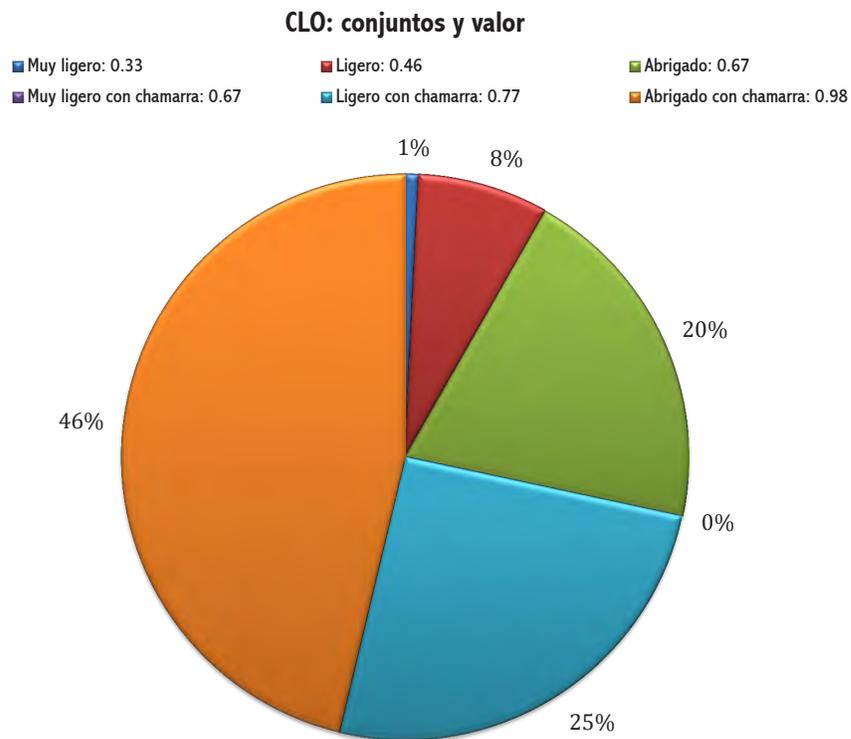
El aislamiento térmico representativo de los usuarios fue de **0.63 clo**, si promediamos los valores de 0.46 y 0.77 respectivamente. Este promedio de clo podría ser un indicador representativo del periodo de transición para la ciudad.

**Periodo frío** (gráfica 33). El valor de aislamiento con mayor tendencia fue el conjunto abrigado, sumando un total del 66%, seguido del ligero con chamarra (25%). Las personas sin prenda de abrigo al momento de la prueba sumaron 29%, dándoles un margen extra para adaptarse a situaciones de frío (+0.31 clo).

El aislamiento térmico representativo de los usuarios fue de **0.80 clo**, si promediamos los valores de 0.67, 0.77 y 0.98. Este promedio de clo podría ser un indicador representativo del periodo frío para la ciudad.

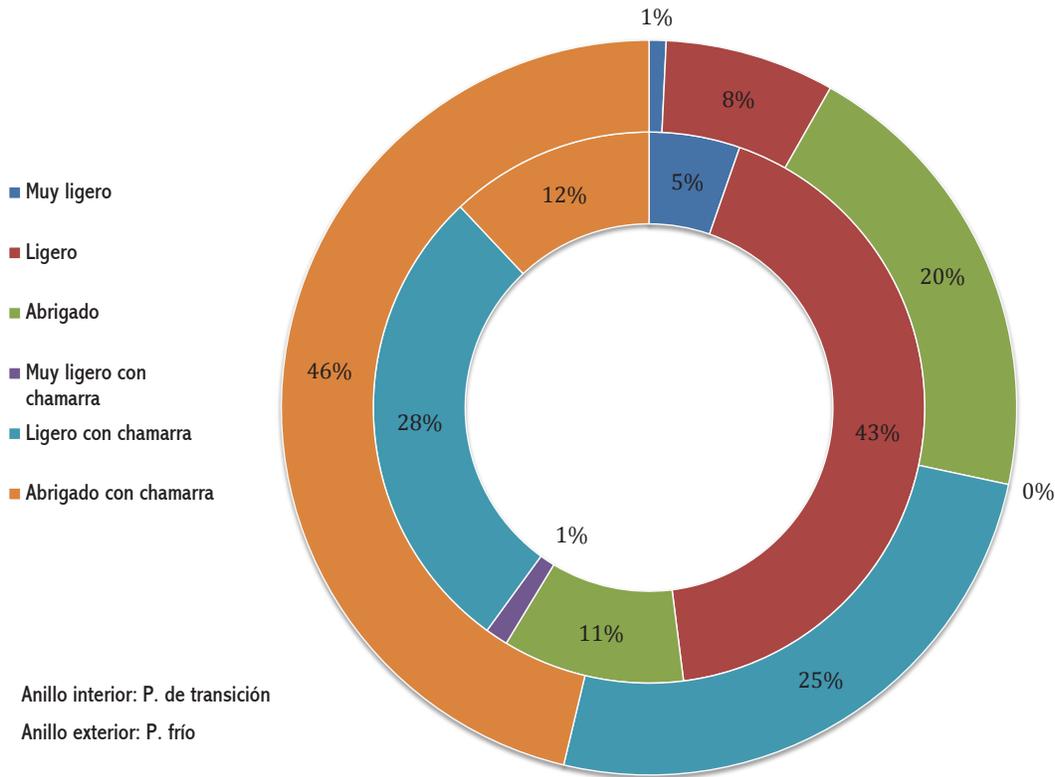


Gráfica 41 Vestimenta. Periodo de transición (tarde)



Gráfica 42 Vestimenta. Periodo frío (mañana y tarde)

Comparación factor vestimenta



Gráfica 43 Comparación de aislamiento, CLO

Al comparar los resultados (gráfica 34), se observó un cambio notable en la manera de vestir de los participantes, sobre todo en la ropa de conjunto, con una diferencia de 0.21 clo entre las evaluaciones del periodo de transición y el periodo frío.

El comportamiento más notable fue el aumento del conjunto abrigado con prenda intercambiable, que tuvo un incremento del 34% en comparación a las evaluaciones del periodo de transición.

**Evaluación térmica del ambiente por escalas de juicio subjetivo**

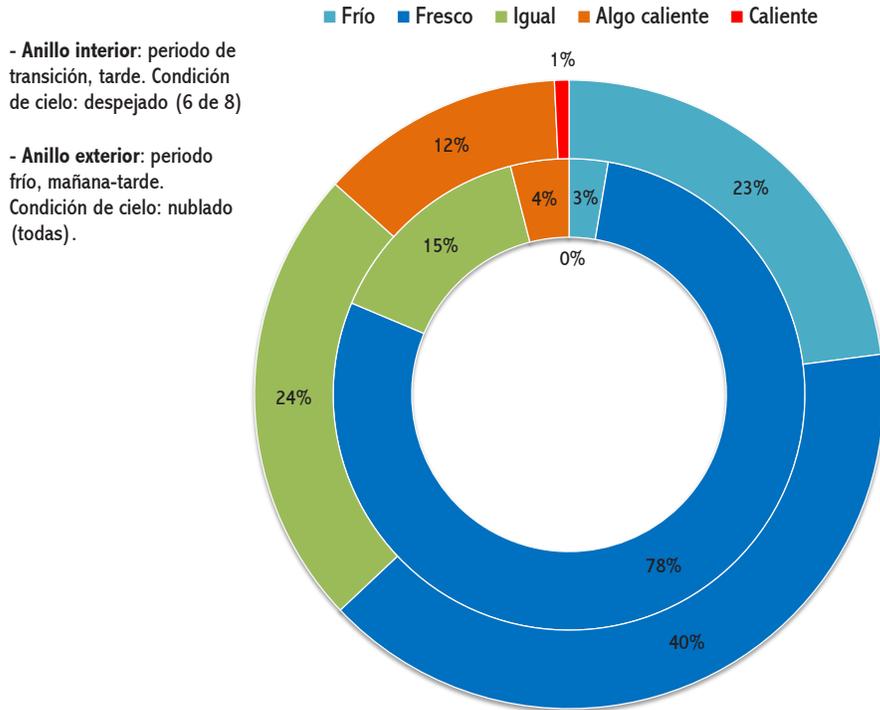
Con base en las evaluaciones cualitativas (cuestionarios) se obtuvieron los votos subjetivos de los participantes en campo (Kitchen), esto quiere decir que las siguientes gráficas fueron obtenidas

bajo condiciones reales de operación del objeto de estudio.

Los resultados obtenidos de esta evaluación deberían corresponder con las estimaciones hechas a través de la metodología cuantitativa, con un rango de error moderadamente aceptable. Los resultados fueron superpuestos en una gráfica de anillos con la intención de facilitar la comparación entre los dos periodos de evaluaciones, el periodo de transición y el periodo frío.

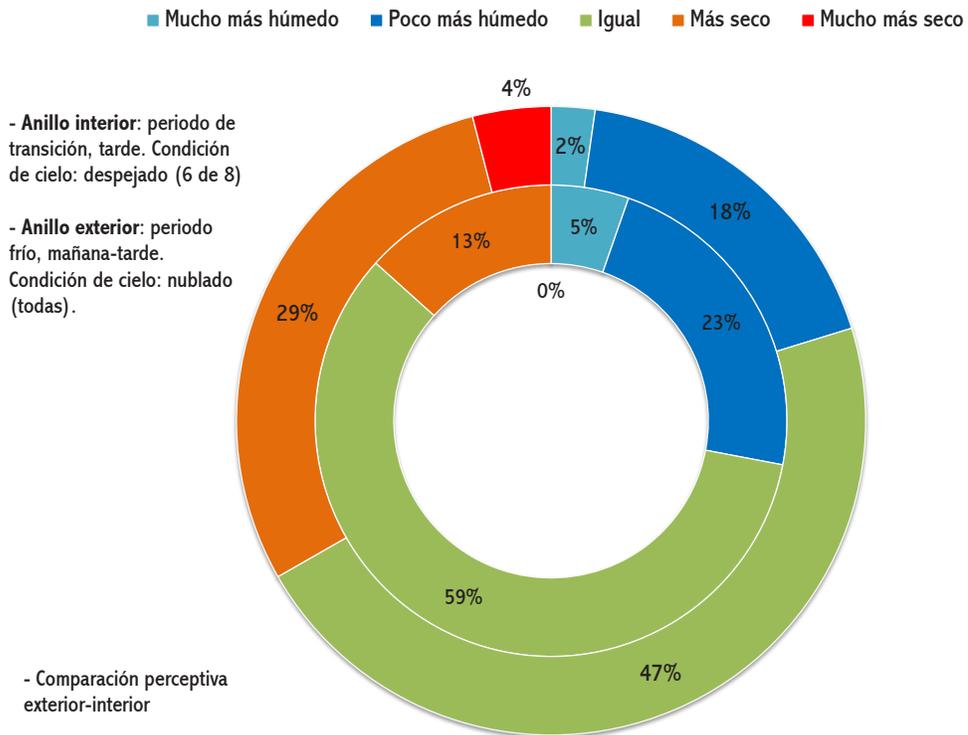
Mientras los participantes respondían a las preguntas, se midieron los parámetros climáticos del espacio y del exterior, también se hicieron las correspondientes estimaciones de la producción de calor metabólico y el aislamiento de la ropa.

### Percepción de la temperatura interior



Gráfica 44 Sensación de temperatura interior, comparación

### Percepción de la humedad interior



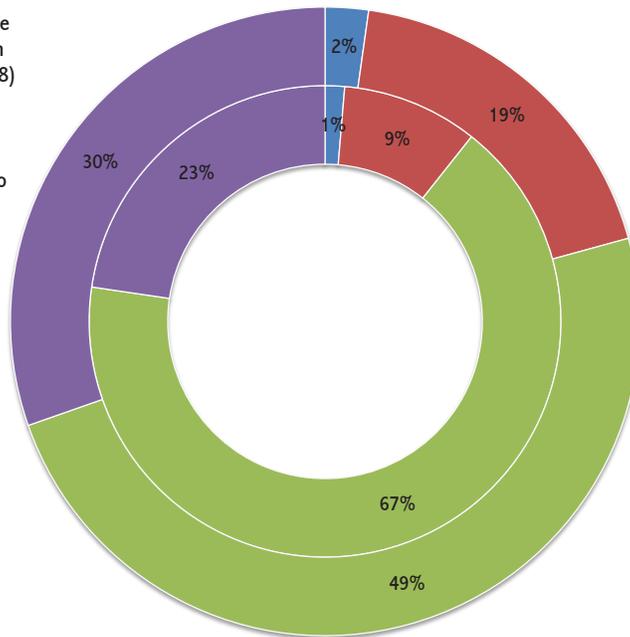
Gráfica 45 Sensación de humedad interior, comparación

### Sensación de ventilación

■ Rápido ■ Algo rápido ■ Ligero ■ En calma

- **Anillo interior:** periodo de transición, tarde. Condición de cielo: despejado (6 de 8)

- **Anillo exterior:** periodo frío, mañana-tarde. Condición de cielo: nublado (todas).



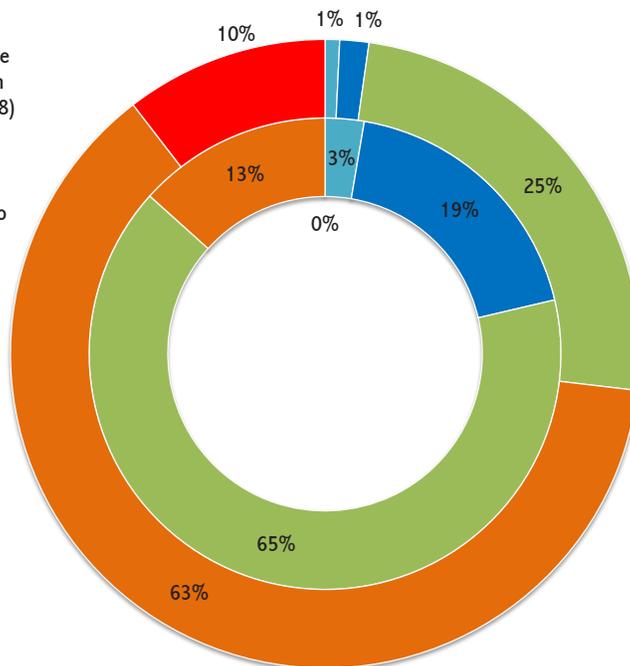
Gráfica 46 Sensación de ventilación

### Preferencia térmica

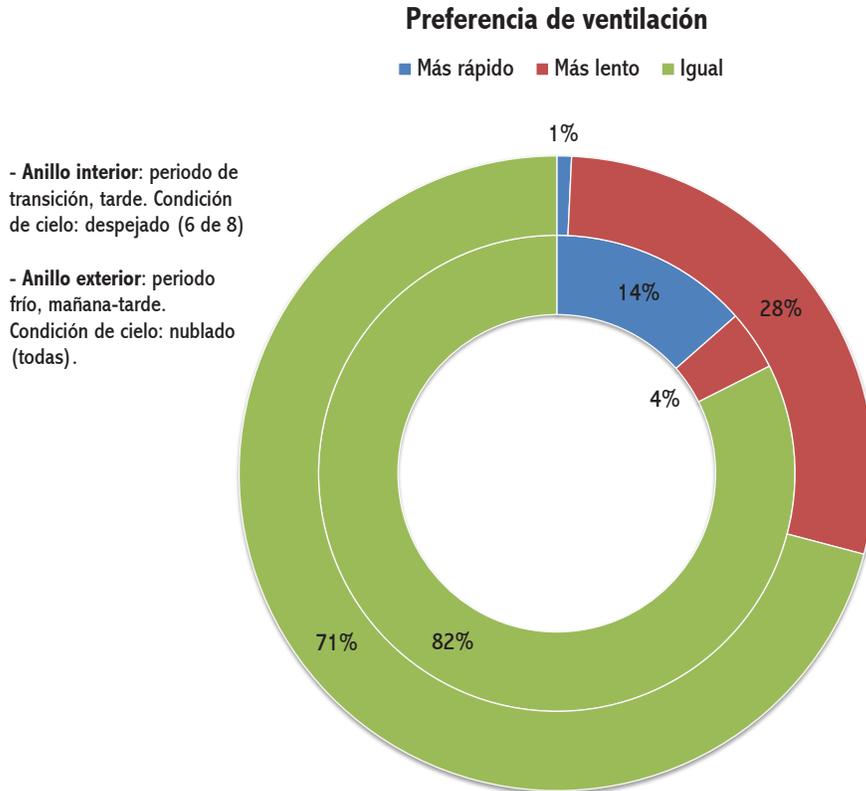
■ Más fresco ■ Un poco más fresco ■ No, así esta bien ■ Un poco más de calor ■ Con más calor

- **Anillo interior:** periodo de transición, tarde. Condición de cielo: despejado (6 de 8)

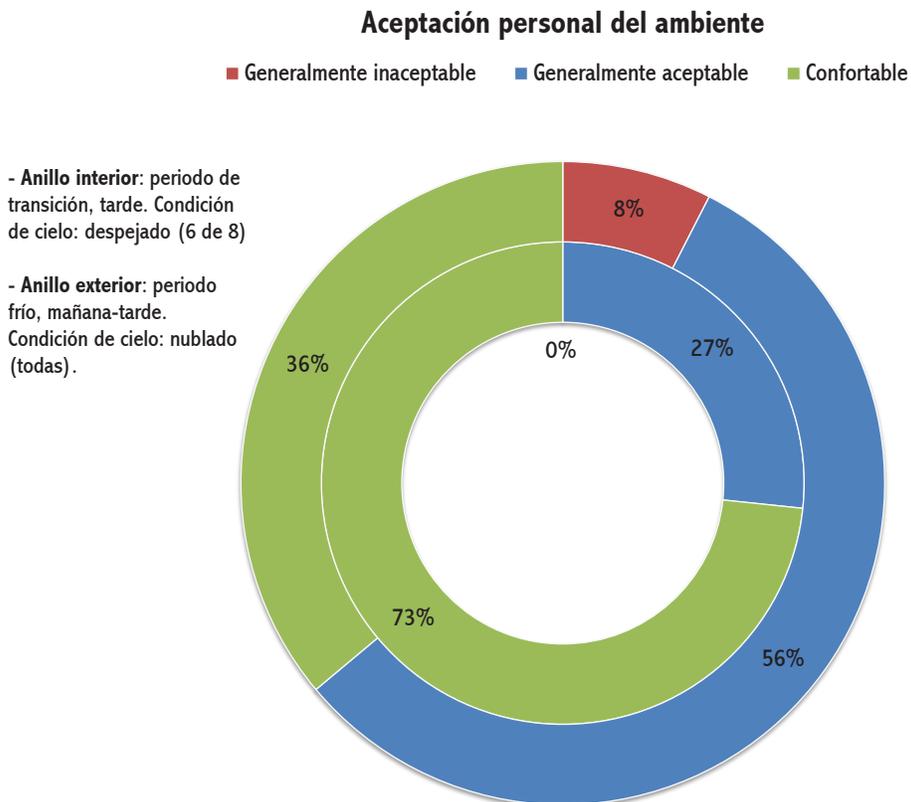
- **Anillo exterior:** periodo frío, mañana-tarde. Condición de cielo: nublado (todas).



Gráfica 47 Preferencia térmica



Gráfica 48 Preferencia de ventilación



Gráfica 49 Aceptación personal del ambiente

Los resultados fueron los siguientes:

**Percepción de la temperatura interior.** En promedio, más de la mitad de los participantes calificó el ambiente térmico interior como “fresco” en comparación al exterior, esto en términos de magnitud es un indicador de que el espacio tiene una temperatura levemente menor a la exterior, tampoco debe olvidarse el efecto radiante de las superficies interiores.

La tendencia del periodo de transición se podría considerar relativamente positiva, ya que es en la tarde cuando se espera que los espacios interiores estén más frescos que las condiciones exteriores.

En el periodo frío, la tendencia de los votos tuvo una desviación marcada hacia el polo frío de la escala, los votos “Frío” e “Igual” sumaron un 63%. La tendencia es objetivamente negativa pero coherente, considerando que durante los días de las evaluaciones la diferencia promedio entre la TBS interior y el límite inferior del rango de confort fue de  $-6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y el amortiguamiento promedio de  $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (comparaciones en la tabla 30).

En conclusión, se puede afirmar que la envolvente tuvo un desempeño relativamente aceptable durante el periodo de transición, sin embargo las condiciones térmicas en el periodo frío padecen de bajo calentamiento, por lo tanto no proveen el confort térmico necesario.

**Percepción de la humedad interior.** La tendencia central de las dos evaluaciones se inclinaron hacia el voto “Igual”, lo cual es un indicador de que las personas no percibieron una diferencia marcada entre la humedad interior y exterior.

Sin embargo, la peculiaridad del periodo de transición estuvo marcada por el porcentaje de los votos “Mucho más húmedo” y “Poco más

húmedo”, que registró un valor mayor comparado al periodo frío. Esta tendencia se puede comprobar cuantitativamente con las mediciones de la tabla 30, la diferencia promedio de la HR interior fue 15% más alta que la exterior.

El periodo frío registró un porcentaje alto del voto “Más seco”, seguido de “Igual”; en este caso el promedio de la HR interior fue 3% mayor. A pesar de la poca diferencia, la razón posible del porque las personas consideraron más seco el interior fue la gran cantidad de precipitación pluvial acumulada a lo largo de los días, que en total sumaron 72 mm los días 8 y 9 de noviembre, las condiciones de cielo fueron nubladas en las dos evaluaciones.

**Sensación de ventilación.** La tendencia de los votos estuvo inclinada hacia una percepción ligera de ventilación con más o menos el 50% de los votos, la segunda respuesta fue “En calma”. Lo anterior denota que el movimiento de las corrientes de aire no fueron especialmente percibidas, a pesar que durante las evaluaciones se mantuvo abierta al menos una de las aberturas (puerta o ventana).

En el periodo frío hubo un incremento del voto “En calma” este alcanzó una participación del 30%, cabe la posibilidad que esto fue debido principalmente al promedio de arropamiento de los participantes, por lo que les fue más difícil percibir las corrientes de aire.

**Preferencia térmica.** Los resultados obtenidos presentaron dos vertientes evidentemente diferenciadas por el periodo térmico. En el periodo de transición la preferencia de las personas se inclinó hacia la ausencia de cambio, mientras que en el periodo frío la tendencia estuvo dirigida hacia el incremento de temperatura, sumando un 73% hacia el respectivo polo de la escala.

En el periodo frío cabe destacar que a pesar de que

hubo un incremento en el aislamiento térmico por vestimenta, este aparentemente no fue de ayuda para mejorar la sensación térmica. La diferencia térmica promedio entre la temperatura neutral y la temperatura interior fue de  $-9^{\circ}\text{C}$ , el nivel de actividad siempre fue pasivo.

**Preferencia de ventilación.** En contraste con la escala anterior, en esta fue evidente la tendencia de los votos para los dos periodos. La mayor parte de las preferencias personales estuvo de acuerdo en no desear más movimiento de aire, por tanto resulta evidente que la ventilación en estos periodos debería enfocarse solo al tema sanitario, para evitar las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y contaminantes.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el nivel de actividad de estas evaluaciones fueron sedentarias, la tendencia en las opiniones podría cambiar para actividades moderadas e intensas, las cuales necesitan acelerar el balance de calor generado por el cuerpo.

**Aceptación personal del ambiente.** Esta escala se consideró como análoga al voto estimado para la sensación de confort, por la similitud de los términos y el criterio de porcentajes que se maneja en el modelo adaptativo, el cual se había estimado para un 90% de población con sensación comfortable.

Los votos para el periodo de transición fueron ampliamente positivos, ya que la tendencia de las respuestas se concentró en el voto “Comfortable” con 73%, y el resto en “Generalmente aceptable” con 27%, lo relevante en estos resultados fue la ausencia de los votos en el punto “Generalmente inaceptable”, por lo tanto no existe ninguna cifra de insatisfacción o intolerancia al clima del local.

Algo importante a considerar, es que los votos que están en el punto medio de la escala (27% )son los más propensos a variar con el transcurso del

tiempo, sobre todo sin las condiciones térmicas no se mantienen o no mejoran de acuerdo a la preferencia votada por los usuarios (21% de preferencia hacia el polo fresco).

En el periodo frío, la tendencia central de los votos se concentró en el punto medio de la escala “Generalmente aceptable” con 56%; por su parte el porcentaje del voto “Comfortable” disminuyó 37% respecto al periodo anterior, lo cual fue prácticamente la mitad.

La diferencia más notable en este periodo es la aparición del polo negativo de la escala: “Generalmente inaceptable” con 8%, lo cual se asemeja al Porcentaje estimado de insatisfechos (PPD). Si sobreponemos la preferencia térmica de los votos (73% hacia el calor), se puede aseverar que la incomodidad térmica del local fue producida por la falta de un calentamiento insuficiente.

TABLA 31. PARÁMETROS CLIMÁTICOS MEDIDOS EN LAS PRUEBAS

Clave de las observaciones	TBS Interior °C	TBS Exterior °C	Diferencia térmica interior-exterior (°C)	Diferencia con el límite inferior del RC (°C)	Diferencia con la TN del RC	"HR Interior %" "	"HR Exterior %" "	Diferencia interior-exterior (%)	Diferencia con el límite de HR (70%)	Precipitación acumulada 24h antes (mm)	P. atm hPa	R.G. W/m2"
V	17.6	17.9	-0.3	-3.2	-5.7	71	64	+7	+1	0.4	783	383
24Ag2	18.9	18.7	+0.2	-2.0	-4.5	70	61	+9	0	0.4	782	540
07Se1	19.3	19.5	-0.2	-1.5	-4.0	68	49	+19	-2	1.4	783	947
07Se2	19.9	19.5	+0.4	-0.9	-3.5	65	49	+16	-5	1.4	783	947
07Se3	20.2	20.6	-0.4	-0.6	-3.1	68	46	+22	-2	1.4	783	947
07Se4	21.9	20.6	+1.3	+1.1	-1.4	64	46	+18	-6	1.4	783	905
07Se5	22.1	20.6	+1.5	+1.3	-1.2	63	46	+17	-7	1.4	783	905
07Se6	22.1	20.6	+1.5	+1.3	-1.3	61	46	+15	-9	1.4	783	905
09No1	14.8	13.7	+1.1	-6.0	-8.5	81	77	+4	+11	43	780	302
09No2	14.9	13.7	+1.2	-5.9	-8.4	81	77	+4	+11	43	780	302
09No3	15.0	13.7	+1.3	-5.8	-8.3	81	77	+4	+11	43	780	302
09No4	15.2	13.7	+1.5	-5.7	-8.2	80	77	+3	+10	43	780	302
09No5	15.4	13.7	+1.7	-5.4	-7.9	80	77	+3	+10	43	780	302
09No6	15.5	13.7	+1.8	-5.4	-7.9	80	77	+3	+10	43	780	302
09No7	15.6	13.7	+1.9	-5.2	-7.7	80	77	+3	+10	43	780	302
10No1	12.7	11.4	+1.3	-8.2	-10.7	90	91	-1	+20	29	781	119
10No2	13.3	11.4	+1.9	-7.5	-10.0	90	91	-1	+20	29	781	119
10No3	13.5	11.4	+2.1	-7.4	-9.9	89	91	-2	+19	29	781	119
10No4	13.6	12.3	+1.3	-7.2	-9.7	88	86	+2	+18	29	781	154
10No5	13.5	12.9	+0.6	-7.3	-9.8	88	80	+8	+18	29	781	184
10No6	13.8	12.9	+0.9	-7.1	-9.6	87	80	+7	+17	29	781	184
10No7	14.1	12.9	+1.2	-6.8	-9.3	87	80	+7	+17	29	781	184
10No8	14.5	12.9	+1.6	-6.3	-8.8	86	80	+6	+16	29	781	184

## 10 | 1.5 Comparación de resultados de confort térmico: cuantitativo vs cualitativo

En general, ambos métodos demostraron que el desempeño térmico de la envolvente no es suficiente para proveer condiciones de confort, especialmente durante el periodo frío.

Los resultados y la comparación entre el rango de confort proyectado por el modelo y los respuestas cualitativas son los siguientes:

### Periodo de transición - 24 Ago y 7 Sep

Temperatura promedio mensual: 18.4 °C.

Rango de Confort: limite inferior 21 °C (20.8), temperatura neutral 23.3 °C y limite superior 26 °C (25.8).

TBS promedio en las evaluaciones: Interior 20.2 °C y Exterior 19.7 °C.

Temperatura fuera del rango: del límite inferior -0.6 °C, de Tn -3.1 °C y del limite superior -5.6 °C.

Porcentaje de personas con sensación confortable: 73 %, expectativa: 90%, diferencia: 17%.

A pesar de no obtener los resultados proyectados, la **gráfica 50.1** revela que estos cumplen con la norma ASHRAE-55, obtenida de la herramienta digital "CBE Thermal Comfort Tool"<sup>61</sup>.

En este caso la TBS promedio interior fue ligeramente superior a la exterior (+0.5 °C) la tendencia de la percepción térmica fue "Más fresco", posiblemente por el efecto de la temperatura de las superficies interiores. Por su parte, la preferencia térmica marcó 22% hacia el polo fresco (cooling), este indicador subjetivo supone que una temperatura menor daría mayor sensación confortable las personas, a pesar de que la norma supone que estarían está fuera de

los límites de confort (p.ej. 19 °C), gráfica 50.2.

### Periodo de frío - 9 y 10 Noviembre

Temperatura promedio mensual: 14.7 °C.

Rango de Confort: limite inferior 19.6 °C, temperatura neutral 22.1 °C y limite superior 24.6 °C.

TBS promedio en las evaluaciones: TBS Interior 14.3 °C y TBS Exterior 12.9 °C.

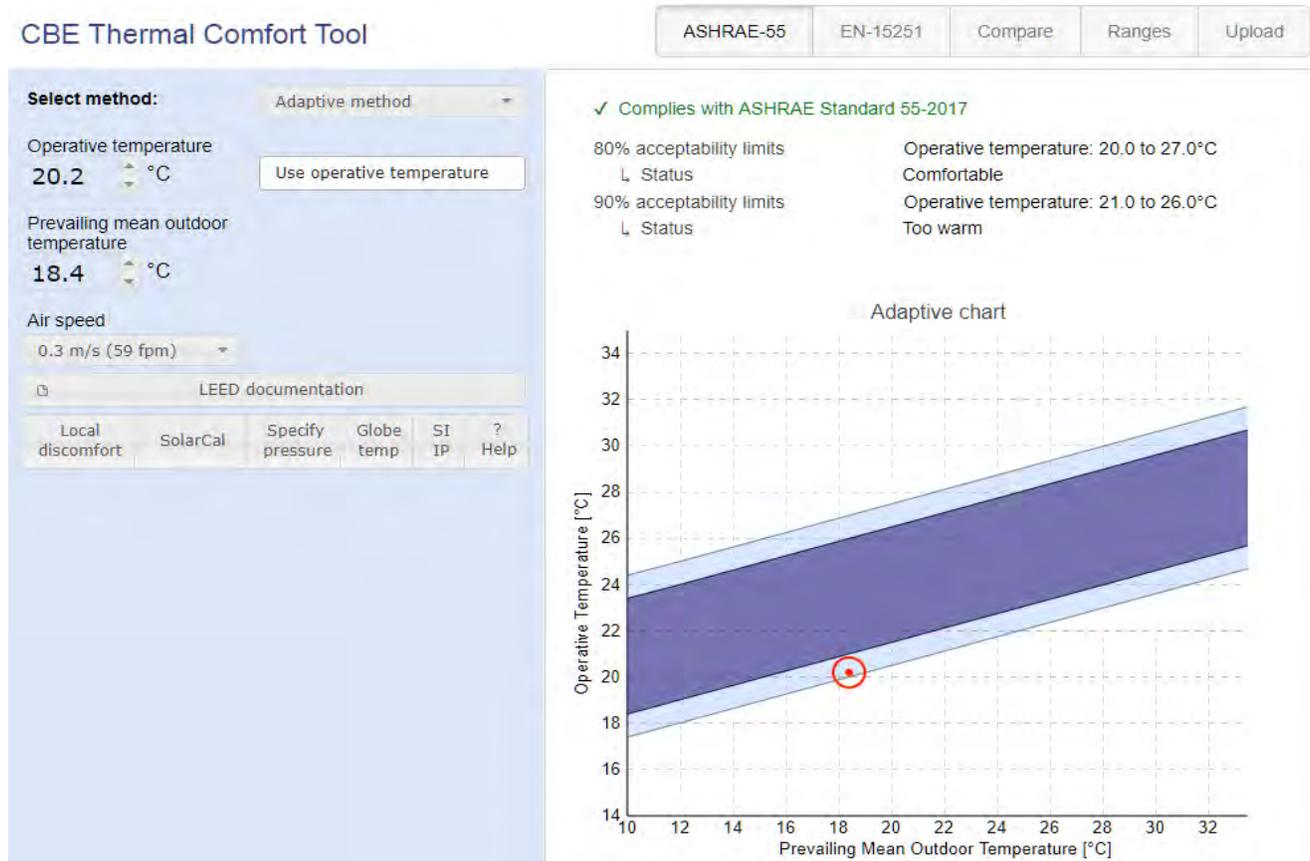
Temperatura fuera del rango: del limite inferior -5.3 °C, de Tn -7.8 °C y del limite superior -10.3 °C.

Porcentaje de personas con sensación confortable: 36%, expectativa: 90%, diferencia: 54%.

En este caso, la evaluación subjetiva y la estimación de la norma ASHRAE-55 resultó evidentemente concordante, tanto los votos como la gráfica 51.1 demuestran que la temperatura interior esta lejos de ser confortable.

En la gráfica se puede observar que la TBS interior durante las evaluaciones estuvo por abajo del promedio mensual (-0.4 °C), cabe resaltar que las temperaturas registradas se dieron en condiciones atípicas; sin embargo, este registro vislumbra el posible comportamiento térmico de la envolvente durante los meses más fríos, los cuales promedian temperaturas más bajas (diciembre, 13.2 °C y enero, 13 °C).

La gráfica 51.2 proyecta el cálculo de la temperatura mínima para cumplir con la norma (19 °C), para lo cual se necesita una magnitud de +5 °C.



Gráfica 50.1 Gráfica de confort adaptativo, evaluación del periodo transición



Gráfica 50.2 Gráfica de confort adaptativo, proyección con base a la preferencia térmica

CBE Thermal Comfort Tool

ASHRAE-55 EN-15251 Compare Ranges Upload

Select method: Adaptive method

Operative temperature: 14.3 °C Use operative temperature

Prevailing mean outdoor temperature: 14.7 °C

Air speed: 0.3 m/s (59 fpm)

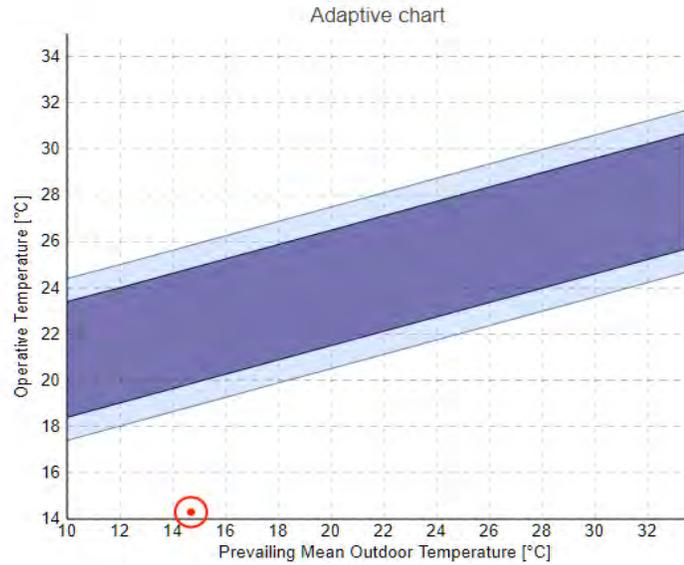
LEED documentation

Local discomfort SolarCal Specify pressure Globe temp SI IP ? Help

**X Does not comply with ASHRAE Standard 55-2017**

80% acceptability limits: Operative temperature: 18.9 to 25.9°C  
Too warm

90% acceptability limits: Operative temperature: 19.9 to 24.9°C  
Too warm



Gráfica 51.1 Gráfica de confort adaptativo, evaluación del periodo frío

CBE Thermal Comfort Tool

ASHRAE-55 EN-15251 Compare Ranges Upload

Select method: Adaptive method

Operative temperature: 19 °C Use operative temperature

Prevailing mean outdoor temperature: 14.7 °C

Air speed: 0.3 m/s (59 fpm)

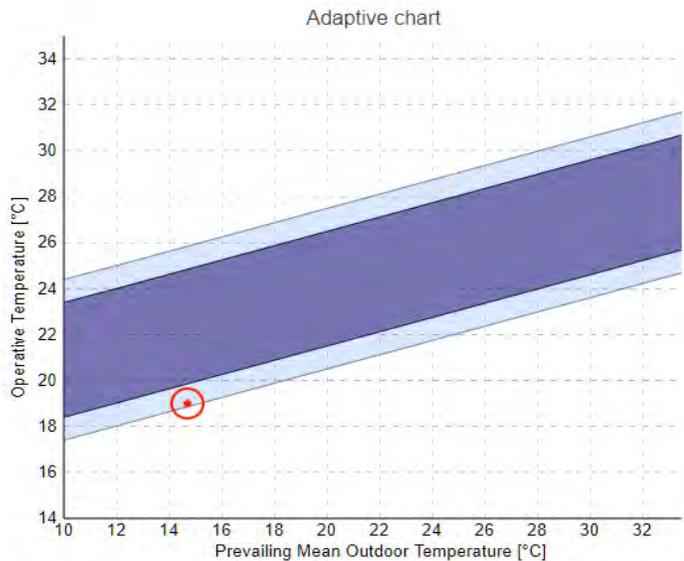
LEED documentation

Local discomfort SolarCal Specify pressure Globe temp SI IP ? Help

**✓ Complies with ASHRAE Standard 55-2017**

80% acceptability limits: Operative temperature: 18.9 to 25.9°C  
Comfortable

90% acceptability limits: Operative temperature: 19.9 to 24.9°C  
Too warm



Gráfica 51.2 Gráfica de confort adaptativo, proyección para cumplir con ASHRAE-55 en periodo frío

## 10|2 Análisis y comprobación del confort visual

El análisis del confort visual se logró aprovechando el modelo geométrico elaborado con el programa de análisis energético Desing Builder, que también integra un módulo de cálculo de iluminación natural, los cuales se llevan a cabo a partir del motor de cálculo de Radiance.

El módulo permite calcular, en múltiples zonas y de forma físicamente realista, los niveles de luz natural sobre planos de trabajo específicos; la simulación considera la transmisión de luz a través de ventanas exteriores e interiores, así como las sombras y reflexiones producidas por dispositivos de sombreado local, bloques de componente y montajes existentes en el modelo.

Si bien la interfaz y las funciones que ofrece el módulo no son las más avanzadas en su campo, la idea fue aprovechar al máximo la construcción geométrica del modelo, que es una representación fidedigna de CASA: hecho a partir del levantamiento arquitectónico actual, integra físicamente todos los elementos de sombreado fijos y las superficies exteriores que reflejan luz indirecta hacia los espacios.

Las simulaciones y los parámetros de entrada aplicados fueron pautados por las condiciones de las fechas de las evaluaciones de campo, son las siguientes:

### Configuración general

- Detalle de la simulación: 5-Accurate (precisa)
- Altura del plano: 0.90 m
- Número de reflexiones consideradas: 3

- Tamaño de la rejilla: 10x10 cm.
- Discriminación porcentual del FDL acorde al criterio del SDE 2014, mínimo 2.5 % y mayor al 4% para aprobar con la prueba.

Periodo de transición Agosto - Septiembre

- Condiciones de cielo: parcialmente nublado
- Hora: 13:00

Periodo frío Noviembre

- Condiciones de cielo: uniformemente nublado, con el modelo gráfico de cielo uniforme de la CIE (10,000 lux).
- Hora: no aplica, se toma como un modelo estático, que no varía con la hora del día ni con la orientación de la abertura

### Presentación de resultados

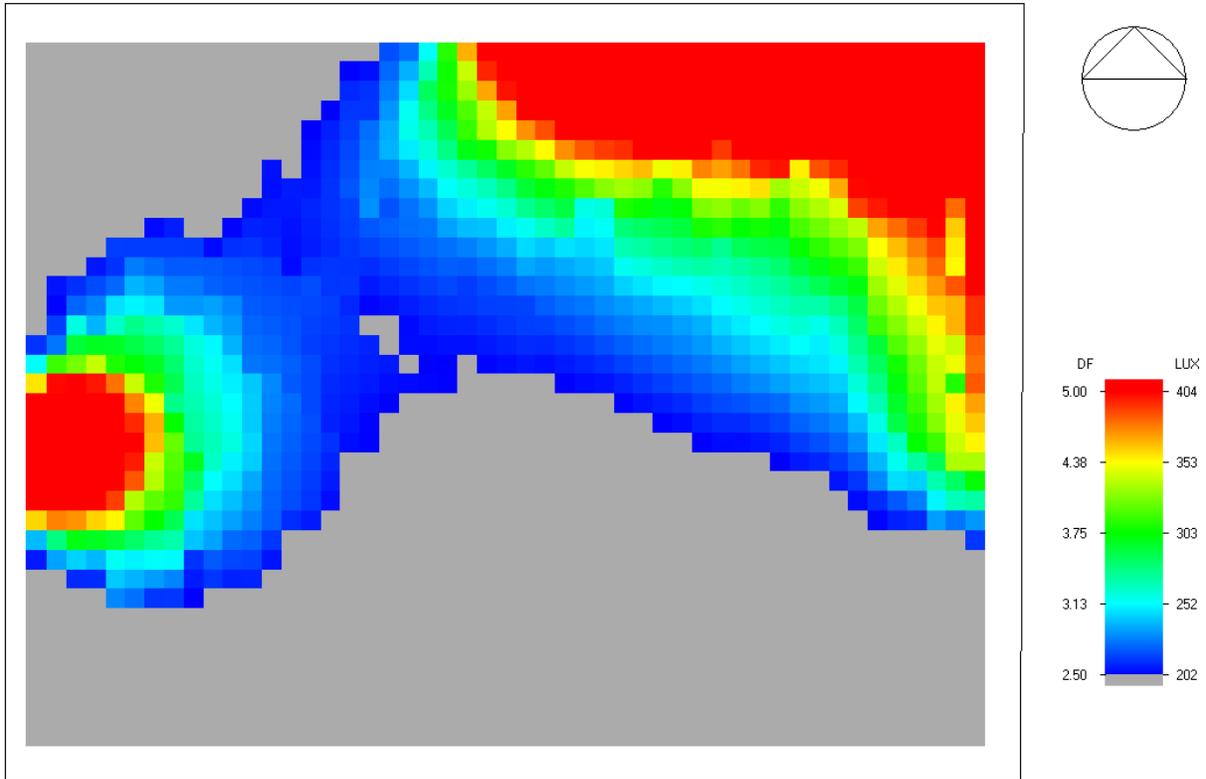
- Mapa de distribución porcentual del factor de luz natural en el plano de trabajo de cada espacio, incluyendo también la iluminancia.
- Tabla estadística de resultados con el promedio del factor de luz natural, incluyendo mínimo y máximo.

- 

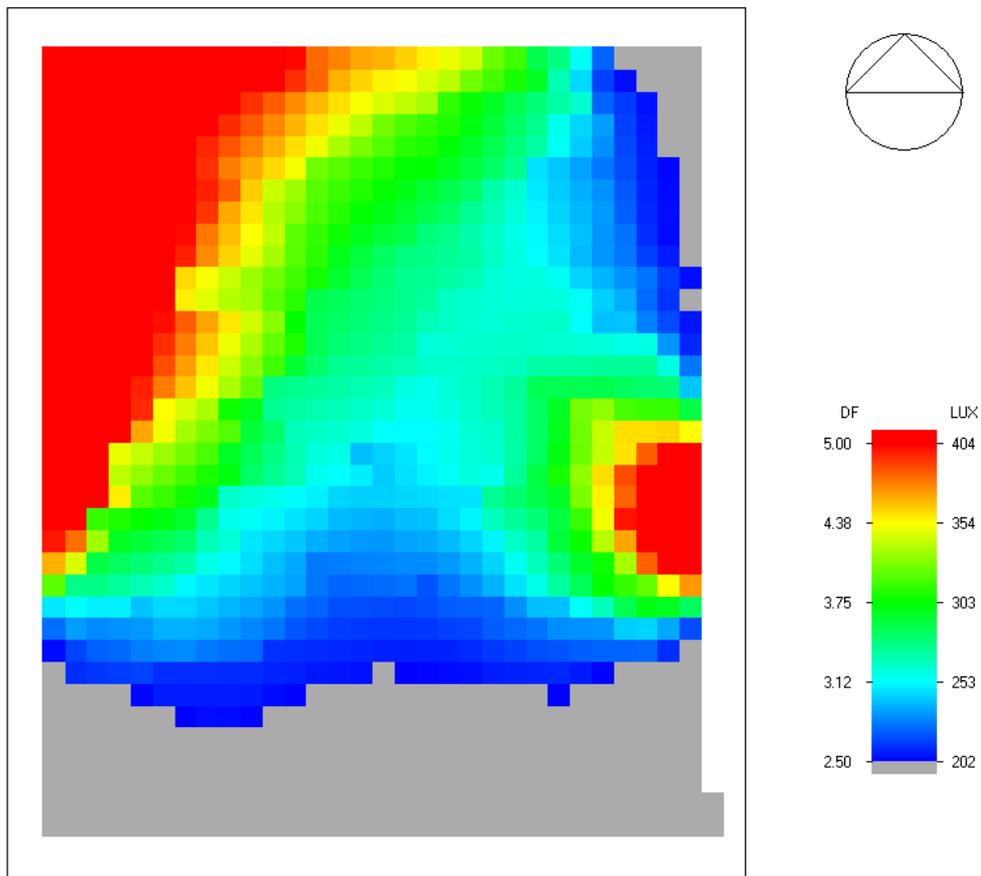
### 10|2.1 Comparación de los resultados con los criterios del SDE

El resultado del desempeño de la iluminación natural según el criterio del SDE, fue diferente de acuerdo a la simulación de las condiciones cielo:

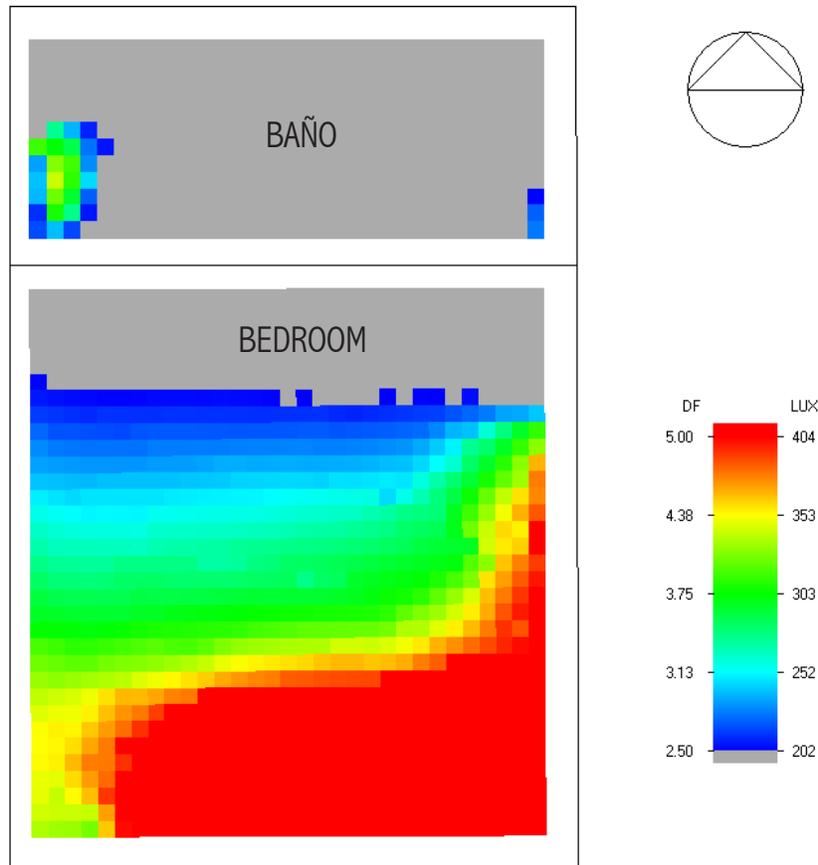
1. Cielo semi despejado (tabla 32). La simulación bajo dicha condición se hizo para estimar el Factor de Luz Promedio (FLP) como en la evaluaciones del mes de Agosto y Septiembre,



Gráfica 52.1 Mapa de nivel de iluminación Agosto: Kitchen



Gráfica 52.2 Mapa de nivel de iluminación Agosto: Community



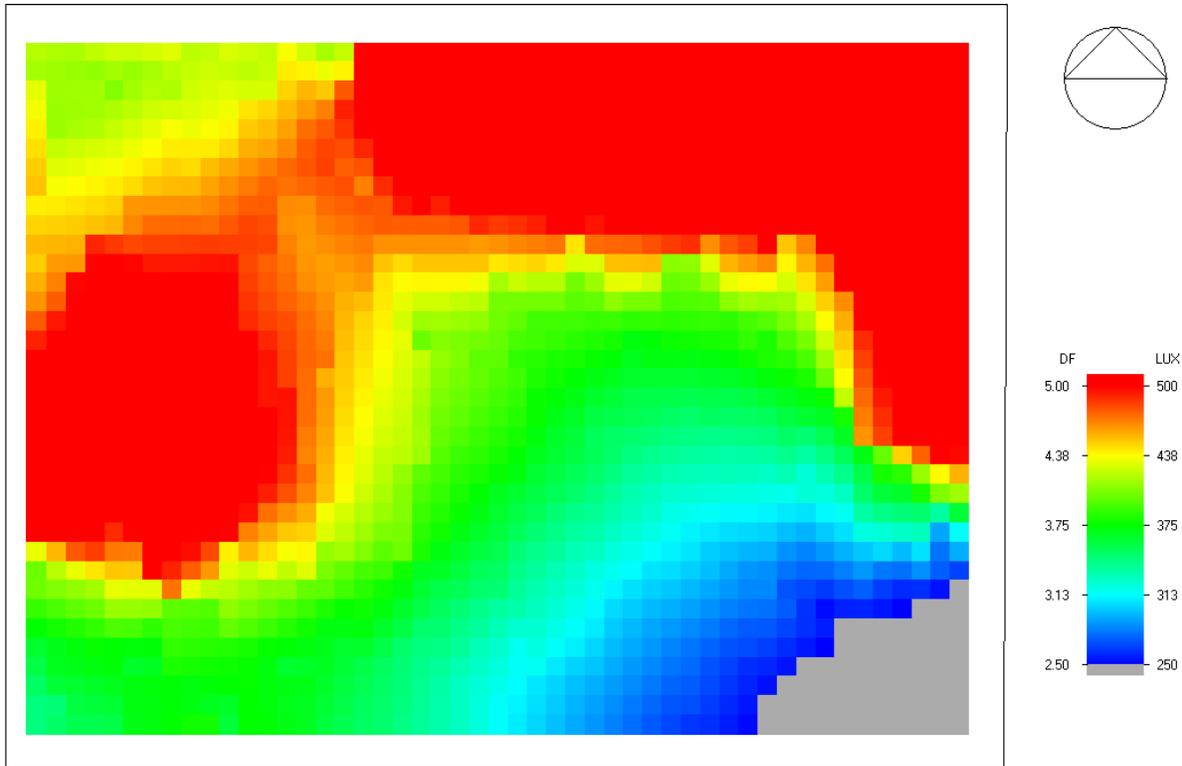
Gráfica 52.3 Mapa de nivel de iluminación Agosto: Bedroom



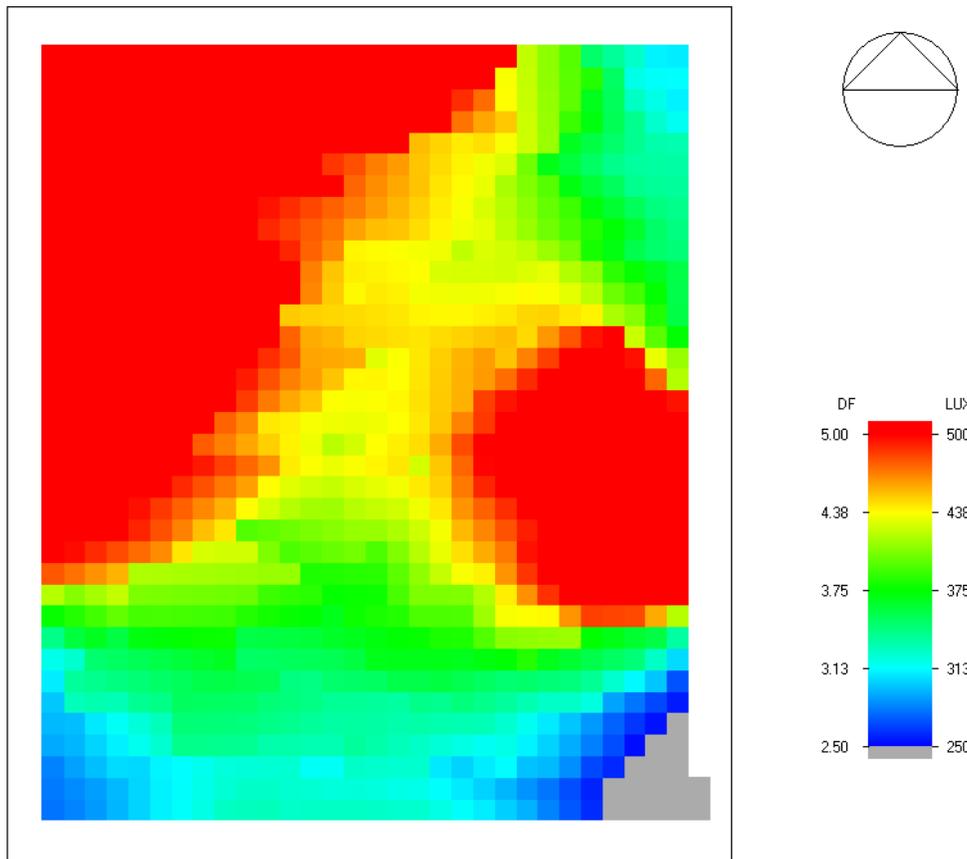
Fig. 100 Vista 3D de simulación FDL Agosto

Tabla 32. Cálculos de iluminación para la evaluación de Agosto (Cielo semi-nublado)

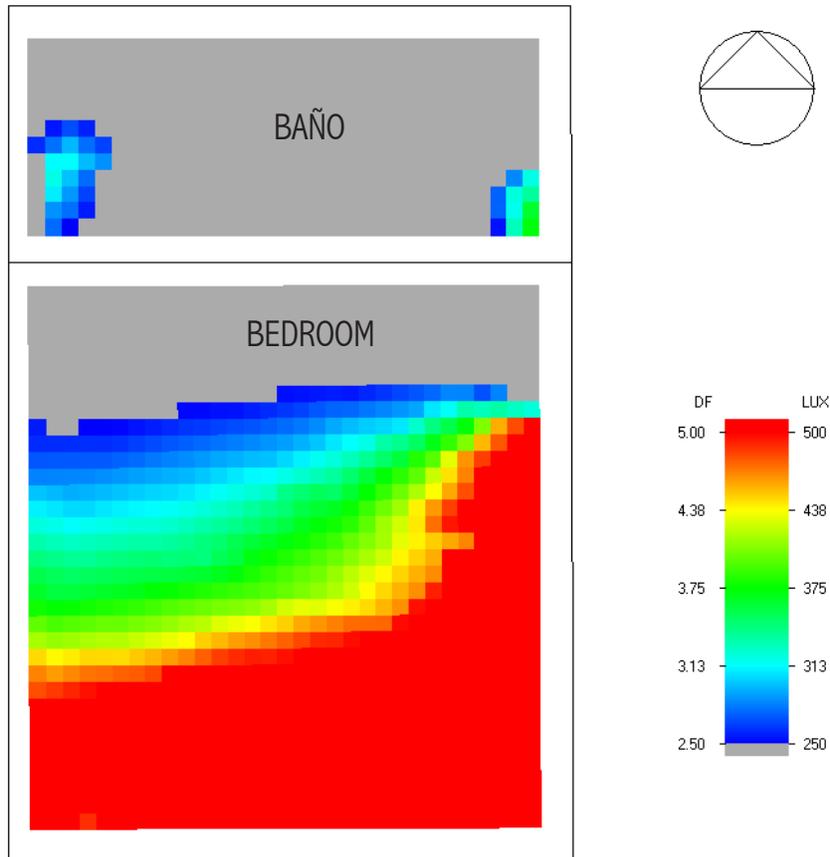
Espacio	Zona	Área (m2)	Daylight Factor Promedio (%)	Daylight Factor Mínimo (%)	Daylight Factor Máximo (%)	Iluminancia mínima (Lux)	Iluminancia máxima (Lux)	Proporción Uniformidad (Min/ Prom)
Lavado	COMMUNITY	13.4	3.5	1.43	7.56	115.3	611.5	0.41
COCINA	KITCHEN	20.7	3.06	1.52	10.35	122.4	836	0.49
RECÁMARA	BEDROOM	12.5	4.06	1.47	9.24	118.5	746.9	0.36
Total		46.6	3.5 prom	1.5 prom	9.1 prom	119 prom	731 prom	0.42 prom



Gráfica 53.1 Mapa de nivel de iluminación: Kitchen



Gráfica 53.2 Mapa de nivel de iluminación: Community



Gráfica 53.3 Mapa de nivel de iluminación: Bedroom

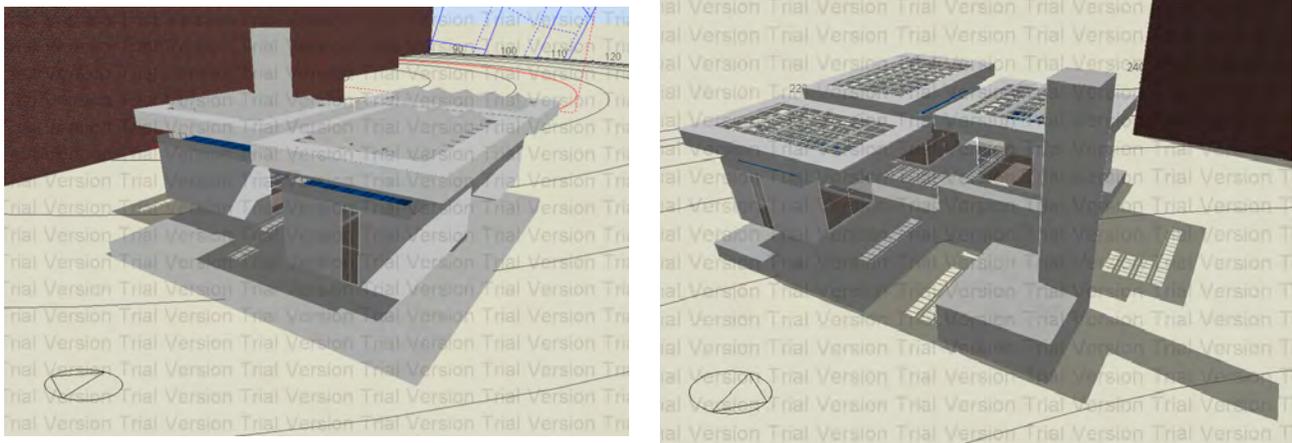


Fig. 101 Vista 3D de simulación FDL Noviembre

Tabla 33. Cálculos de iluminación para la evaluación de Noviembre (cielo uniformemente nublado)

Espacio	Zona	Área (m <sup>2</sup> )	Daylight Factor Promedio (%)	Daylight Factor Mínimo (%)	Daylight Factor Máximo (%)	Iluminancia mínima (Lux)	Iluminancia máxima (Lux)	Proporción Uniformidad (Min/ Prom)
Lavado	COMMUNITY	13.4	4.7	1.8	10.6	181.1	1055.2	0.39
COCINA	KITCHEN	20.7	4.7	2.0	12.8	195.9	1277.8	0.42
RECÁMARA	BEDROOM	12.5	4.51	1.5	10.0	145.0	999.3	0.32
Total		46.6	4.6 prom	1.7 prom	11.1 prom	174 prom	1110 pro	0.38 prom

respectivamente. Los resultados no fueron completamente satisfactorios, ya que el FLP entre los tres espacios arrojaron un valor de 3.5%, sin embargo Bedroom si logró conseguir el valor promedio arriba del 4%.

El valor mínimo promedio entre los tres espacios fue de 1.5% y el máximo de 9.1%, lo cual refleja un contraste iluminancia bastante amplio. Por dicha razón, se puede decir que la distribución de la luz interior no es cómodamente uniforme; sobre todo en el área de trabajo de la cocina, la cual no es apta para trabajar bajo condiciones de luz natural (valor promedio menor al 2.5%)

2. Cielo uniformemente nublado (tabla 33). Esta simulación se hizo para estimar el FLP de las evaluaciones del mes de Noviembre, que a su vez también aplican para cualquier día nublado. Los resultados en este caso si fueron satisfactorios, el FLP entre los tres espacios fue de 4.6%.

El valor mínimo promedio entre los tres espacios fue de 1.7 y el máximo de 11.1%, lo cual resultó un contraste de iluminancia más amplio que el anterior; sin embargo, la distribución de la luz fue relativamente más amplia en superficie y en cantidad.

En conclusión, la simulación con cielo uniformemente nublado (bajo la cual esta diseñado el método del factor de luz de día), tuvo un desempeño de iluminación satisfactorio bajo los criterios del SDE. Ahora bien, de acuerdo al manual de iluminación de la Sociedad de Ingenieros de Iluminación de Norteamérica (IES por sus siglas en inglés), el porcentaje recomendado de FLP debe ser igual o mayor al 5%; si tomáramos en cuenta este último criterio, la prueba del diseño de iluminación natural estaría reprobada.

En dicho manual, también se menciona que el

método solo es adecuado para habitaciones con poca iluminación lateral y/o para sistemas de luz cenital. Por lo tanto, no es un método cuantitativo recomendado para habitaciones con iluminación lateral profunda (ventanas grandes), debido al efecto de la disminución exponencial de la luz a medida que aumenta la distancia desde la ventana.

Algunos investigadores, señalan que el método del factor de luz de día tiene una aplicación limitada para México, principalmente debido a la latitud geográfica, a las condiciones específicas del clima y por ser un método de iluminancia relativa. En ese aspecto, existen otros criterios y métodos mejor tropicalizados, los cuales contemplan como parte esencial el conocimiento de la disponibilidad de la luz natural en la región de estudio (p.ej. mapas iluminancia horaria promedio) y/o los que proveen valores de iluminancia absoluta (varían con el tiempo, la orientación de la abertura y las condiciones de cielo).

## 10|3 Recomendaciones de reacondicionamiento

Con los resultados obtenidos, fue posible conocer las deficiencias y errores cometidos en el proceso de diseño del prototipo de vivienda CASA. Con base en estos, ahora es factible plantear la respectiva implementación de medidas de eficiencia para mejorar tanto el intercambio energético como las condiciones de confort interno.

Si bien la investigación arrojó resultados con diferentes diagnósticos para cada una de las pruebas de confort, siendo la de confort térmico la menos eficiente, se decidió dividir en dos partes las medidas que pueden mejorar el desempeño térmico y lumínico del prototipo.

### 10|3.1 Acondicionamiento térmico

La principal deficiencia energética del sistema constructivo del prototipo fue el poco amortiguamiento térmico, debido a la baja capacidad de almacenamiento térmico de los materiales que conforman la envolvente.

En el diseño térmico pasivo, la inercia térmica es una propiedad esencial que deben considerar los sistemas abiertos para regular los cambios de temperatura interior. La inercia térmica indica la cantidad de calor que puede almacenar una sustancia (o sistema) y la velocidad con que lo cede o absorbe; es una propiedad extensiva, porque su magnitud depende a su vez de tres propiedades térmicas: la masa, el calor específico y del coeficiente de conductividad térmica del material o sistema.

El segundo factor que afectó el desempeño energético, fue la distribución desproporcionada del acristalamiento, el área de la sección transparente

se cargó más a ciertas fachadas que a otras y en diferentes orientaciones para cada habitáculo. Esta decisión, generó un comportamiento térmico diferente entre los habitáculos, principalmente durante las horas de asoleamiento en las diferentes estaciones.

Con base en las deficiencias mencionadas, se proponen las siguientes medidas y estrategias:

1. La integración de materiales con mayor masa térmica al sistema constructivo, que a su vez sean más ligeros que los sistemas tradicionales (concreto armado, block de cemento y tabique prensado).

Algunos de estos podrían ser:

- a) Arcilla expandida, que puede ser a granel para el relleno de sistemas de piso o cubierta, o como agregado al block convencional de cemento;
- b) Concreto celular, tipo de concreto con una estructura interior microalveolar de aire, lograda a partir de aditivo espumígeno; esta característica lo hace hasta un 50% más ligero que un block convencional, pero conservando la vez parte de su masa térmica ;
- c) Materiales que trabajan con energía latente, mejor conocidos como materiales de cambio de fase (PCM's); son los más ligeros pero aún siguen requiriendo de una capa de material aislante, el cual incluye el sistema de envolvente actual.

2. Integrar al diseño arquitectónico un sistema eficiente de captación, almacenamiento y descargar de calor, por ejemplo: muro trombe, invernadero adosado o similares.

3. Reorientación, redimensionamiento y dosificación del acristalamiento. El objetivo de esta medida es controlar de manera más

eficiente la incidencia de la radiación directa del Sol, tanto para evitar el sobre calentamiento en la temporada con mayor insolación, como para captar y aprovechar la energía térmica en invierno.

Esta estrategia debería servir para homogeneizar el diseño de fachadas y las respectivas aberturas de todos los habitáculos con base al emplazamiento actual.

4. Estrategia de operación, relacionada a un estudio más exhaustivo del uso de las protecciones solares móviles (lonarias) para las diferentes estaciones, horarios y condiciones climáticas atípicas.

### 10|3.2 Acondicionamiento de iluminación natural

Si bien los resultados en las pruebas de iluminación fueron satisfactorios bajo el criterio de las reglas del SDE, la simulación energética demostró que la distribución de luz es altamente contrastante, a pesar de que el tamaño de los espacios es relativamente pequeño.

La distribución de luz, resulta poco eficiente desde el punto de vista energético y de confort, en el 4 | 2.2 se señaló que las áreas de trabajo principales (cocina y lavado) quedaron en las áreas con menos cantidad de luz. Esta condición se debe principalmente a la falta de una estrategia clara de iluminación y/o de un sistema que capte y distribuya la luz de manera homogénea.

La principal y única fuente de iluminación de los espacios es la luz lateral (ventanales), la cual ya se había mencionado esta desproporcionalmente dosificada, por este motivo se proponen las siguientes medidas de eficiencia:

Reorientar y modificar la altura de las aberturas, resulta más eficiente que las ventanas sean más pequeñas y estén a una altura considerada del plano de trabajo (dependiendo de la orientación); las orientaciones recomendadas para iluminar es Norte o Sur, cada una con sus diferentes tratamientos necesarios:

Implementar una estrategia de iluminación. Las orientaciones recomendadas son la Norte o Sur, por la disponibilidad y autonomía de la cantidad de horas de luz, cada una con sus diferentes tratamientos necesarios:

a) Orientación Sur, gran parte de la incidencia de luz es directa, por lo cual requiere un control y protección de la radiación infrarroja. Se recomienda el uso de estantes reflejantes que direccionen la luz al plafón, a su vez que funcionan como alero de sombra en los meses de primavera.

La estrategia, se puede combinar con materiales transparentes altamente difusos, louvers o materiales inteligentes como los vidrios electrocrómicos, los cuales modulan su transparencia de acuerdo a las necesidades.

b) Orientación Norte, la luz captada en esta orientación es completamente difusa, por lo que no requiere de protección adicional; sin embargo el sistema de iluminación más eficiente para esta medida es la luz cenital. En este caso, resulta inevitable el cambio del diseño de la cubierta por dientes de sierra o los monitores de techo, que son menos radicales en aspecto.

## Referencias

(61) Hoyt Tyler, Schiavon Stefano, Piccioli Alberto, Cheung Toby, Moon Dustin, and Steinfeld Kyle, 2017, CBE Thermal Comfort Tool. Center for the Built Environment, University of California Berkeley, <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>

## Referencias gráficas

Gráf. 14 Elaboración propia  
Gráf. 15 Elaboración propia  
Gráf. 16 Elaboración propia  
Gráf. 17 Elaboración propia  
Gráf. 18 Elaboración propia  
Gráf. 19 Elaboración propia  
Gráf. 20 Elaboración propia  
Gráf. 21 Elaboración propia  
Gráf. 22 Elaboración propia  
Gráf. 23 Elaboración propia  
Gráf. 24 Elaboración propia  
Gráf. 25 Elaboración propia  
Gráf. 26 Elaboración propia  
Gráf. 27 Elaboración propia  
Gráf. 28 Elaboración propia  
Gráf. 29 Elaboración propia  
Gráf. 30 Elaboración propia  
Gráf. 31 Elaboración propia  
Gráf. 32 Elaboración propia  
Gráf. 33 Elaboración propia  
Gráf. 34 Elaboración propia

Gráf. 35 Elaboración propia  
Gráf. 36 Elaboración propia  
Gráf. 37 Elaboración propia  
Gráfs. 38.1-32 Elaboración propia  
Gráf. 39 Elaboración propia  
Gráf. 40 Elaboración propia  
Gráf. 41 Elaboración propia  
Gráf. 42 Elaboración propia  
Gráf. 43 Elaboración propia  
Gráf. 44 Elaboración propia  
Gráf. 45 Elaboración propia  
Gráf. 46 Elaboración propia  
Gráf. 47 Elaboración propia  
Gráf. 48 Elaboración propia  
Gráf. 49 Elaboración propia  
Gráf. 50.1 Elaboración propia  
Gráf. 50.2 Elaboración propia  
Gráf. 51.1 Elaboración propia  
Gráf. 51.2 Elaboración propia  
Gráf. 52.1 Elaboración propia  
Gráf. 52.2 Elaboración propia  
Gráf. 52.3 Elaboración propia  
Gráf. 53.1 Elaboración propia  
Gráf. 53.2 Elaboración propia  
Gráf. 53.3 Elaboración propia

# **CONCLUSIONES**

Las conclusiones presentadas son la cosecha de los resultados de las metodologías aplicadas en la investigación, expuestas a manera de discusión entre los resultados obtenidos y la hipótesis supuesta generada a partir de las preguntas de investigación, las cuales sirvieron como punto de partida a la presente investigación. Se incluyen también, algunas recomendaciones y nuevas preguntas de investigación con base en la experiencia del trabajo realizado, para futuras investigaciones o casos de estudio.

La hipótesis planteada establece lo siguiente:

“La implementación de estrategias de diseño pasivas para la climatización de los espacios interiores en las edificaciones de la Ciudad de México es suficiente para proveer las condiciones de confort humano”.

Para exponer si la hipótesis fue válida o no, se desarrolló una serie de discusiones por cada parámetro de confort (térmico y el visual) y para los dos periodos de estudio abarcados, respondiendo progresivamente las preguntas de investigación y comparando los resultados del desempeño de CASA con los criterios de las normas seleccionadas.

#### 1. Pregunta principal:

¿Es suficiente la implementación de estrategias pasivas de diseño para el aprovechamiento de la energía presente en el ambiente para la climatización interior de las edificaciones en la Ciudad de México con condiciones de confort térmico y visual?

De acuerdo a la base de información del bioclima obtenida (punto 2 | 3) y su respectivo análisis, podemos afirmar que el potencial estimado de energía solar e iluminación natural en la Ciudad de México es superior al de muchas ciudades con menos recursos solares y condiciones climáticas menos confortables, en las cuales los arquitectos han buscado la manera de resolver las necesidades de confort a través del desarrollo e implementación de tecnologías y diseños de alto desempeño.

Uno de los países más destacados en dicho ámbito

es Alemania, que cuenta excepcionalmente con varios edificios bioclimáticos de gran altura, los cuales presiden de sistemas de acondicionamiento de aire. Algunos ejemplos de este tipo de proyectos son la RWE Headquarters Tower y la torre del Commerzbank.

Con base en el caso de éxito del país mencionado, y teniendo en cuenta el clima templado de la Ciudad de México y su potencial de energía solar (gráficas 6, 9 y 10), se puede asegurar que el diseño arquitectónico y las tecnologías de tipo pasivo son factibles de aprovechar la mayor parte del año, con un alto rendimiento en al menos ocho de los doce meses.

La temperatura y la humedad promedio a lo largo del año en la Ciudad de México es principalmente favorable desde el punto de vista bioclimático. Esto quiere decir, que para alcanzar las condiciones de confort térmico y visual se requiere relativamente de poca energía: 1) la temperatura promedio se encuentra cerca del valor neutral; 2) la cantidad acumulada y el tiempo de horas de luz promedio al año basta para tener ahorros significativos, gracias a que la ciudad se encuentra en una zona intertropical.

Para proveer confort térmico, las estrategias deberán enfocarse principalmente a la captación y almacenamiento de la radiación solar en las fachadas, preferentemente por medio de masa térmica, logrando una descarga de calor progresiva a través de la envolvente en ciclos cada 24 horas.

El periodo del año con menos horas de confort es el periodo frío, ya que además de las bajas temperaturas se pueden presentar precipitaciones (principalmente en las mañanas). Este fenómeno crea un efecto combinado de desconfort por el incremento de humedad en el aire, como lo ocurrido en las evaluaciones del mes de noviembre. La estrategia complementaria para el periodo frío será dosificar racionalmente la ventilación y evitar las filtraciones, reduciendo la pérdida del calor almacenado por convección; como punto de partida de diseño, se sugiere apegarse a las tasas de ventilación mínimas por reglamento.

En el periodo cálido también existe un umbral de discomfort; su duración es relativamente corta y sucede entre los meses de Abril y Mayo. Sin embargo, este periodo se favorece por la baja cantidad de humedad; por lo tanto, el calor tiene la cualidad de ser seco. La estrategia principal será evitar el sobrecalentamiento de la envolvente, haciendo imprescindible el uso de protecciones solares y los acabados de “superficie fresca”. La estrategia complementaria para proveer confort es la convección forzada, con diseños que aprovechen la velocidad natural del viento o de ser necesario, complementar con sistemas mecánicos de impulsión de aire como los ventiladores de techo.

Para aprovechar al máximo las horas de luz, las aberturas deberán orientarse norte-sur, teniendo en cuenta las protecciones pertinentes para esta última. Este criterio de diseño también favorece la oportunidad de hacer espacios con mayor profundidad. Se deberá considerar especialmente a los meses con mayor promedio de días despejados (febrero, marzo y abril). Los cielos de estos meses se caracterizan por la gran cantidad de radiación directa que proveen, provocando grandes contrastes iluminancia y deslumbramientos indirectos originados por superficies adyacentes.

En los resultados se comprobó que la envolvente de CASA jugó un papel relevante para no proveer temperaturas de confort, sobre todo en la mañana y en gran parte del periodo frío. En un sitio como la Ciudad de México el diseño de la envolvente deberá ser el eje principal de diseño térmico; su clima templado provee de oportunidades para la autosuficiencia en términos de climatización, gracias a que carece de oscilaciones extremas de temperatura y de alta humedad, haciendo casi prescindibles los sistemas de enfriamiento y deshumidificación de aire.

La clave para proveer altas condiciones de confort yace en las estrategias secundarias y/o las tecnologías complementarias (sugeridas en párrafos anteriores) las cuales deberán adaptarse a las necesidades y condiciones de cada proyecto individualmente, y de ser posible, también a las preferencias del cliente y/o

los usuarios. Sin embargo, no se debe descartar el uso de sistemas quasi-pasivos, los cuales permitan reducir el consumo energético en menor grado que los tradicionales, los recuperadores de calor como sistema complementario de calefacción serían una buena opción para el clima de la Ciudad de México.

Un aspecto concluyente en la investigación, es que el sobre uso de materiales aislantes en todas las particiones de la envolvente no genera grandes beneficios, mucho menos condiciones de confort eficientes. Térmicamente los materiales aislantes son dependientes de los sistemas activos; su principal cualidad es resistirse al paso de la energía, no el de almacenarla. Por esta razón, se sugiere encarecidamente un uso más racional de estos en construcciones que no cuentan con sistemas de acondicionamiento de aire.

En las figuras 103.1-5 se presentan las conclusiones alusivas del comportamiento térmico de la envolvente de CASA.

- ¿Qué rangos de mínimos y máximos hay que atender para lograr la sensación de confort con base en la aclimatación de las personas?

En cuanto a la temperatura de confort, el modelo empleado demostró ser relativamente congruente con la aceptación térmica de los usuarios aclimatados, especialmente en el periodo de transición. Sin embargo algunas evaluaciones, dieron indicios de que la temperatura de confort para la Ciudad de México podría funcionar ubicándola entre uno y dos grados menos que lo proyectado, 21°C y 20°C para el periodo cálido y de transición; en cuanto al periodo frío, la temperatura neutral podría tomarse incluso de 19 °C.

Esta nueva hipótesis tiene como base dos supuestos: el primero es que el porcentaje de horas debajo del rango de confort a lo largo del año (gráfica 13) es equivalente al 70%, según el rango proyectado por el modelo de confort de la norma. Este hecho deja en evidencia que al menos las condiciones exteriores son regularmente semifrias y frias a lo largo del año. Por lo tanto y de acuerdo a la base teórica del confort térmico adaptativo,

los habitantes aclimatados a la ciudad deberían estar mejor adaptados a las temperaturas semifrías y menos tolerables a las altas temperaturas, como el exceso de calor dentro de los espacios y a los días soleados.

El segundo supuesto, es que los modelos de confort empleados generalmente en México son en su mayoría importados, es decir, que provienen de estudios y de bases de datos hechos en diferentes países; por consiguiente, la variedad de climas abarcados podría diferir bastante con el clima de la Ciudad de México, siendo en el mejor de los casos climas templados similares, diferenciados por aspectos como el periodo de lluvias y la cantidad de radiación solar promedio. En la revisión del estado de arte no se encontró alguna fuente o publicación especializada que hiciera referencia a una investigación o base de datos elaborada en la Ciudad de México. A esto se suma la escasa existencia de normas locales especializadas en el tema del confort térmico.

La idea para estimar un rango de confort para la Ciudad de México, es una propuesta viable si tomamos en cuenta la extensión y el número de habitantes que tiene la ciudad, además del impacto ambiental y del consumo de energía que la urbe genera diariamente. Esta hipótesis podría sustentarse o refutarse en un futuro a través de una respectiva investigación, que tuviera una amplia duración y una gran base de datos de edificios con diferentes tipos y usos, pero siendo fiel a los criterios y normas abordadas en esta investigación.

La metodología planteada en esta investigación tiene aplicación internacional y es reconocida por la mayoría de los investigadores afines al tema

El aplicación de un modelo de confort local podría tener un alcance positivo en temas de sustentabilidad y eficiencia energética, impactando positivamente en calidad de vida de los habitantes a través de diseños normalizados, principalmente en espacios que no requieran grandes exigencias de confort (los espacios con alta exigencia regularmente son solucionados mediante sistemas HVAC).

### Condiciones herméticas en la envolvente

Quando los espacios operan de manera hermética (aberturas completamente cerradas) se genera un régimen estacionario, retardando el intercambio térmico hacia ambos lados de la envolvente, entre el exterior y el interior. Esta forma de conservar la temperatura interior, funciona gracias a las capas de material aislante de toda la envolvente y a la hermeticidad de la cancelería, que si bien impide el intercambio por conducción, el sistema es ineficaz de conservar el calor durante las horas sin asoleamiento, haciendo que las condiciones de confort dependan en gran medida a la temperatura del aire exterior.

Las temperaturas de confort se logran principalmente por el aire caliente ventilado a partir del mediodía. Cuando la temperatura exterior es confortable, una cantidad extra es ganada por la radiación del sol a través del acristalamiento. Para conservar este calor, se instaló en el prototipo el sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor, sin embargo no fue probada su eficiencia durante el estudio por limitaciones técnicas y de operación.

En la figura 103.1 se observa el ejemplo preciso cuando la temperatura interior es confortable gracias al aire caliente, para prolongar este efecto la envolvente deberá funcionar en condiciones herméticas.

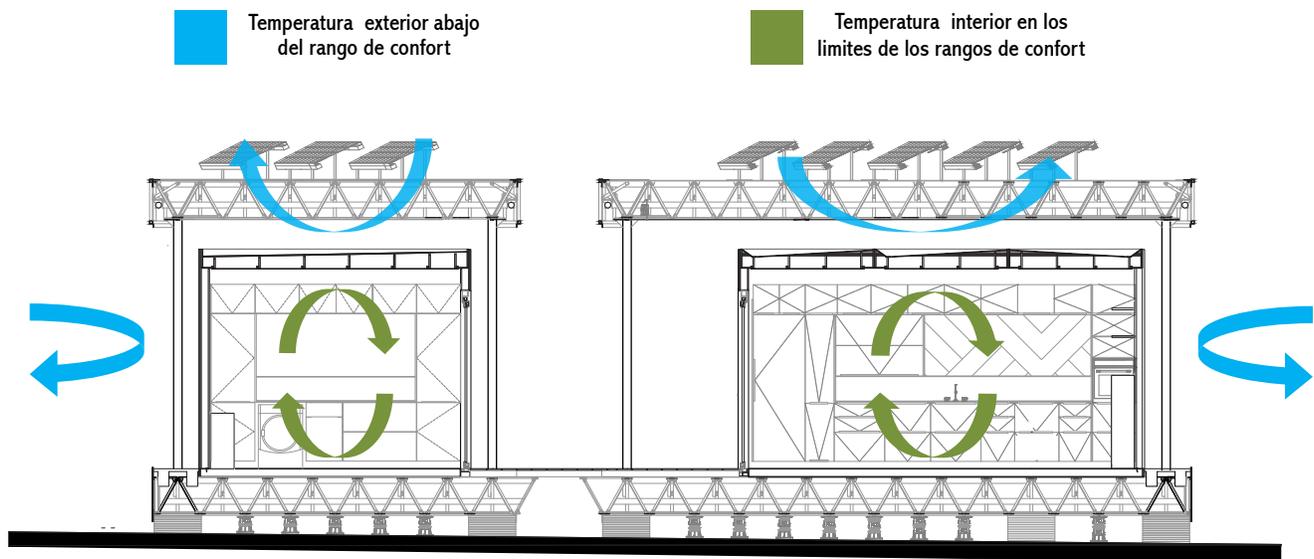


Fig. 102.1 Comportamiento térmico hermético de la envolvente. Elaboración propia

### Efecto invernadero

Si bien durante el invierno resulta favorable el aislamiento y la hermeticidad para conservar el aire caliente, en los meses más cálidos del año resulta lo contrario; la temperatura interior puede incrementarse gradualmente por el efecto de la radiación solar y el exceso de ventilación de aire caliente del exterior. A este fenómeno se le conoce como efecto invernadero, y en el caso de estudio se debe a la gran cantidad de acristalamiento, hermeticidad y secciones con aislamiento, parecido al de un calentador solar; una vez que la radiación y el

calor es capturado de cierta forma, es difícil disiparlo porque toda la envolvente tiene un coeficiente bajo de conducción térmica, figura 103.2.

Una sugerencia para abatir este problema, es el uso de los textiles de sombreado y la ventilación cruzada en las horas más calientes. De esta forma, la ganancia excedente no quedará estancada al interior. A este caso, también aplican situaciones cuando la ganancia interior excedente es causada por aparatos o personas, figura 103.3.

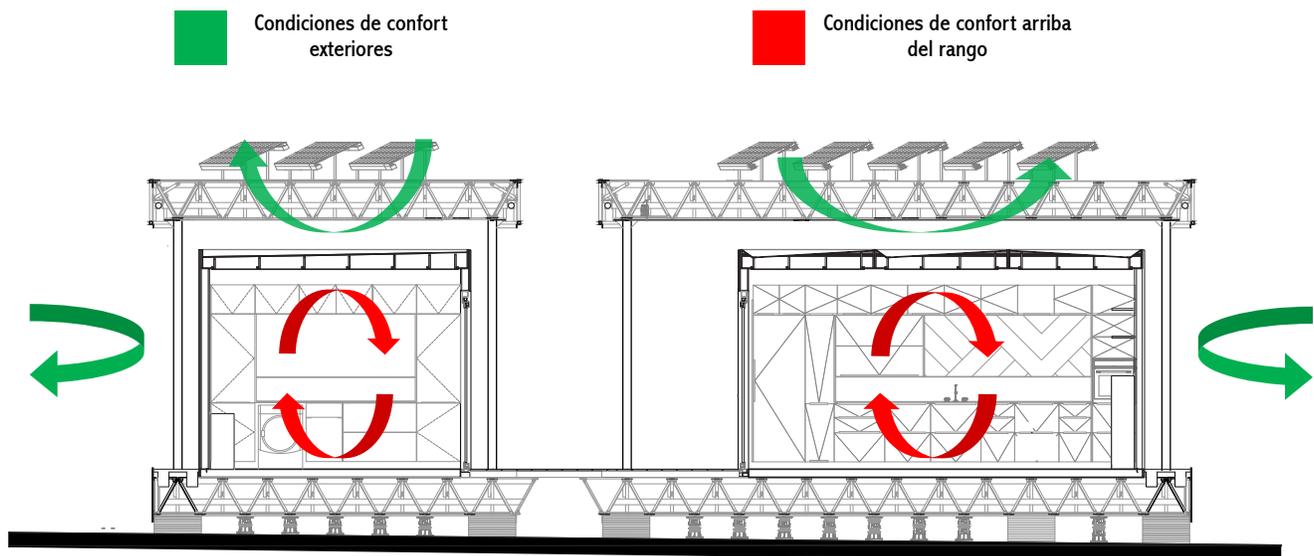


Fig. 102.2 Hermeticidad en la envolvente y el efecto invernadero. Elaboración propia

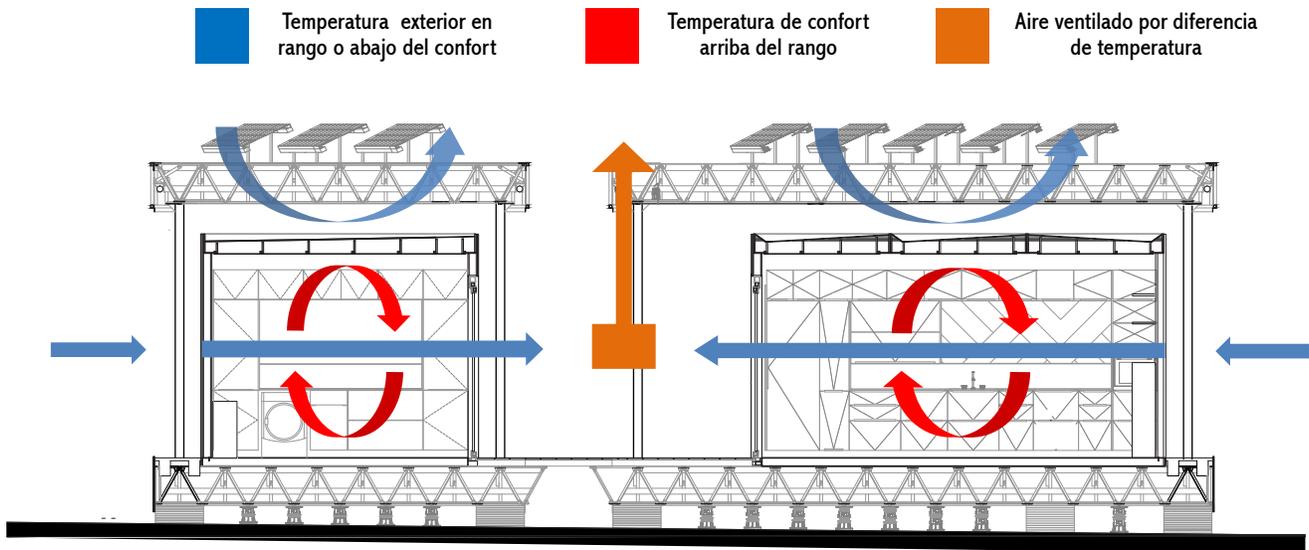


Fig. 102.3 Efecto invernadero y disipación del calor. Elaboración propia

### Condiciones abiertas en la envolvente

Existen ocasiones en que la ventilación excesiva se vuelve conveniente; cuando la temperatura exterior es realmente confortable, por ejemplo. Abrir todas las ventanas ayudará a estabilizar la temperatura interior rápidamente (figura 103.4).

En dicha circunstancia se puede mantener el rango de confort, siempre que la temperatura exterior sea favorable. Sin embargo, este tipo de estrategia se vuelve contraproducente si se exceden los tiempos de ventilación; como ya se había mencionado, la principal fuente de almacenamiento de calor dentro de los espacios de este prototipo en particular es el propio volumen de aire interior.

Si la ventilación se excede cuando la temperatura exterior es mucho más fría, las condiciones de confort ganadas a lo largo del día se perderán en un lapso relativamente corto, haciendo alusión a la estrategia complementaria del periodo frío.

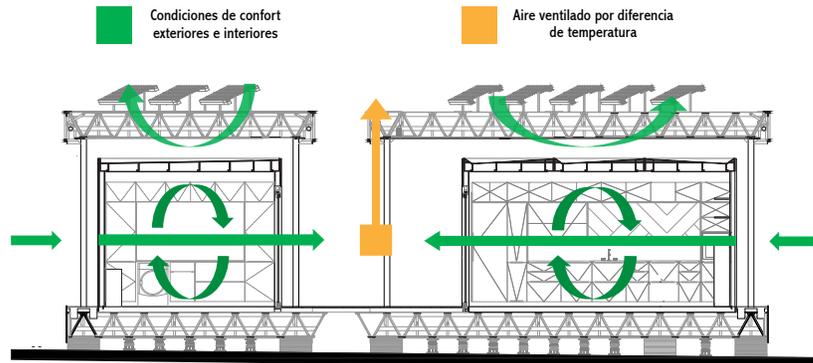


Fig. 102.4 Ventilación y confort térmico. Elaboración propia

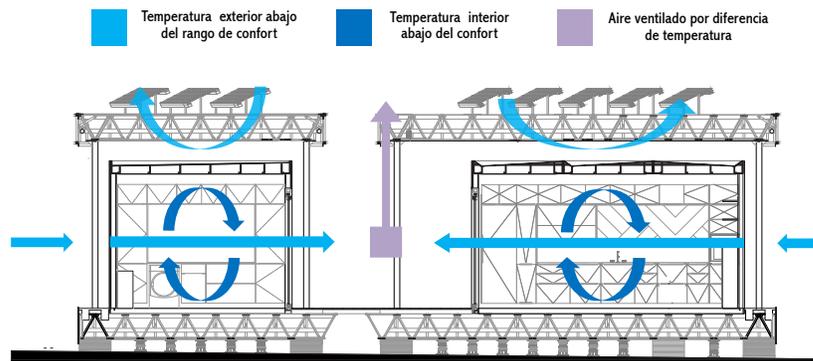
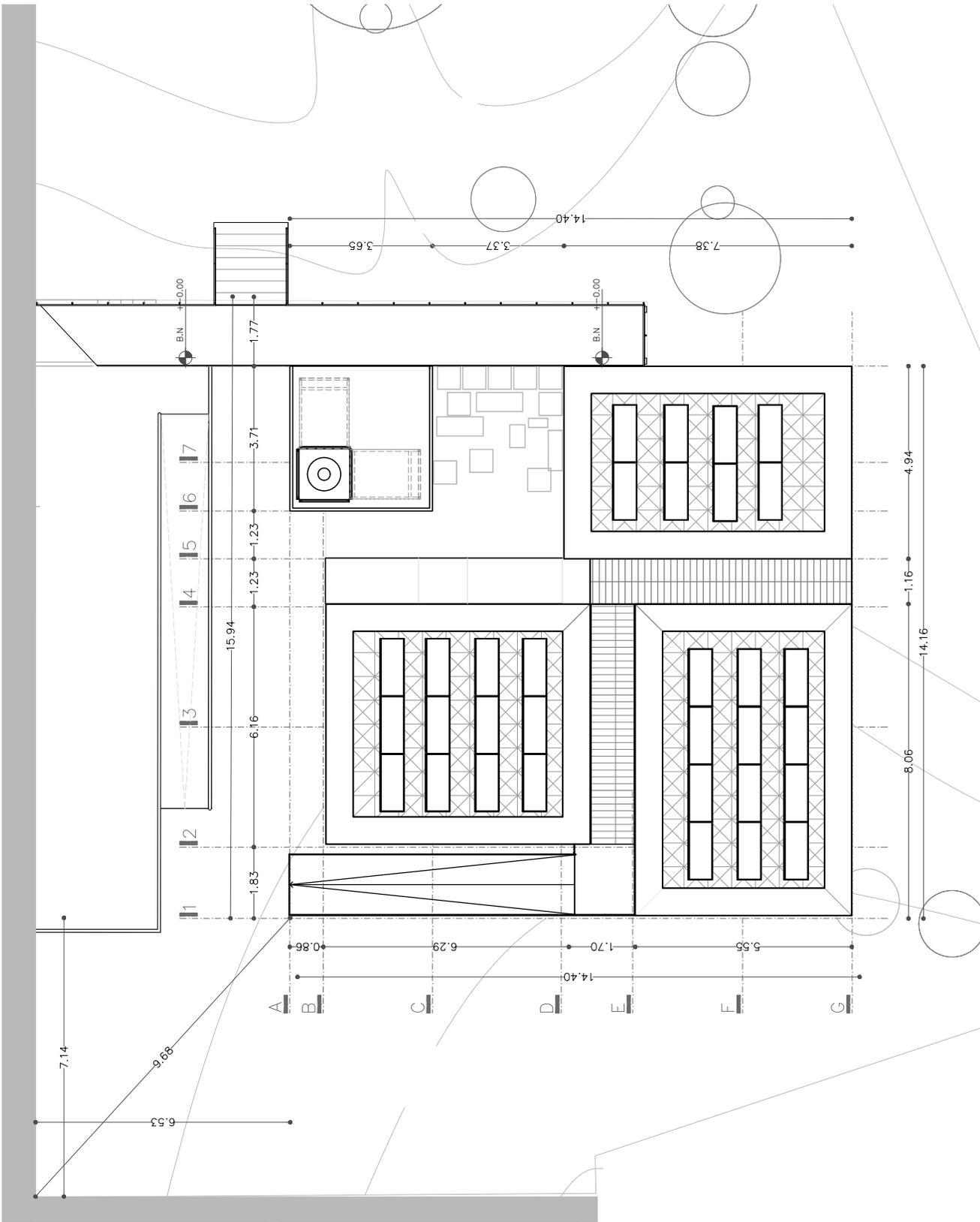


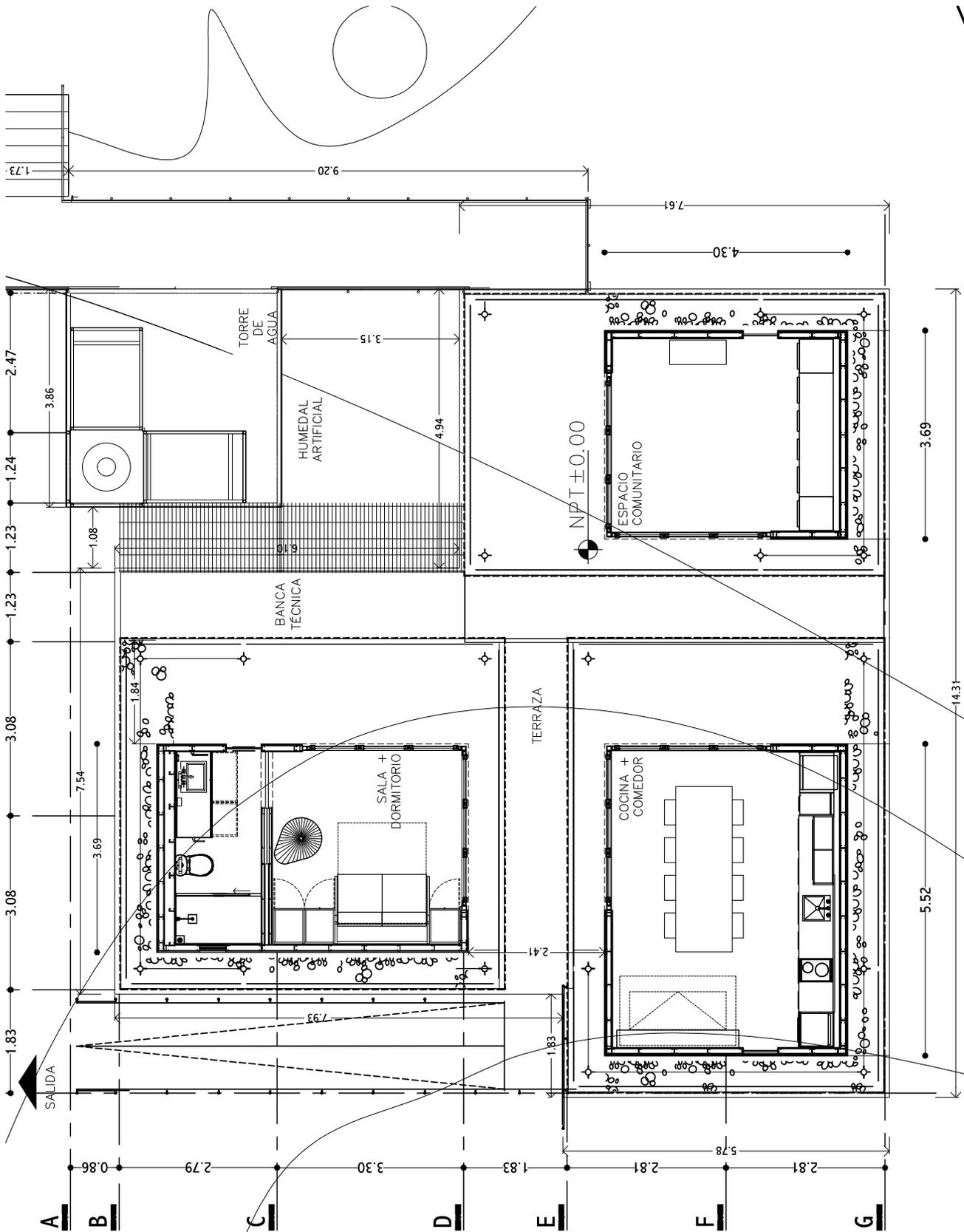
Fig. 102.5 Ventilación y pérdida por convección. Elaboración propia

# APÉNDICES

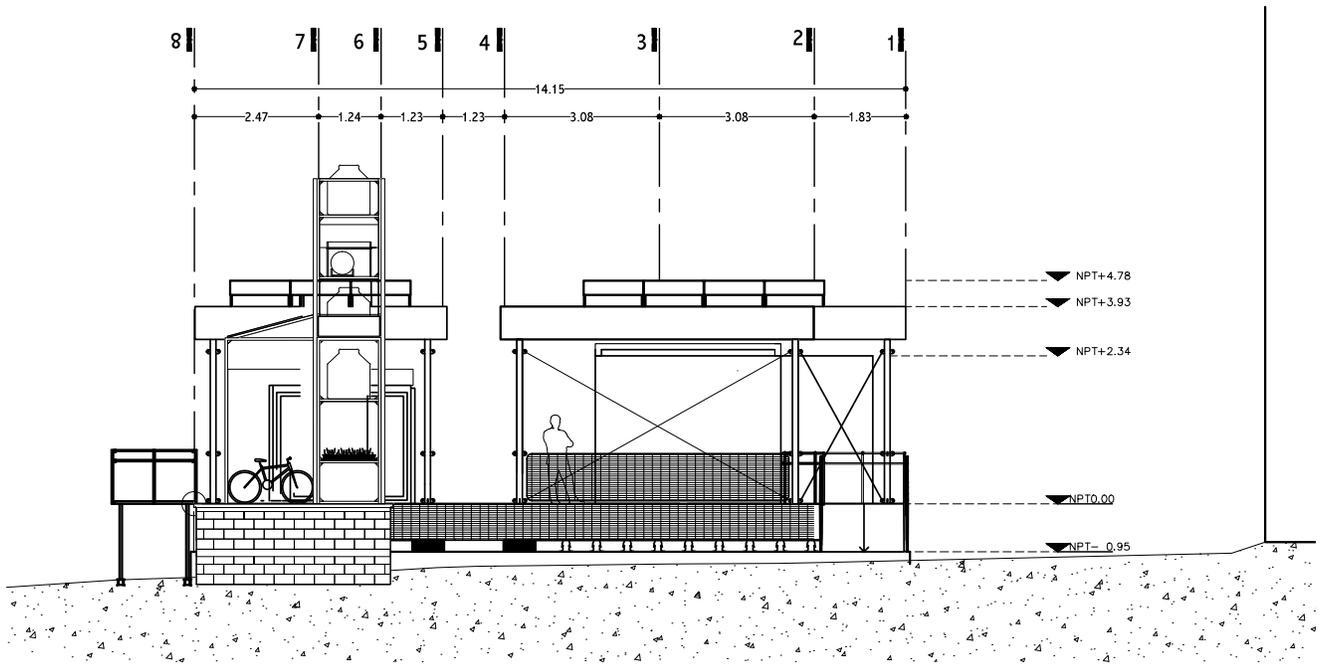
# I. Planos Arquitectónicos CASA



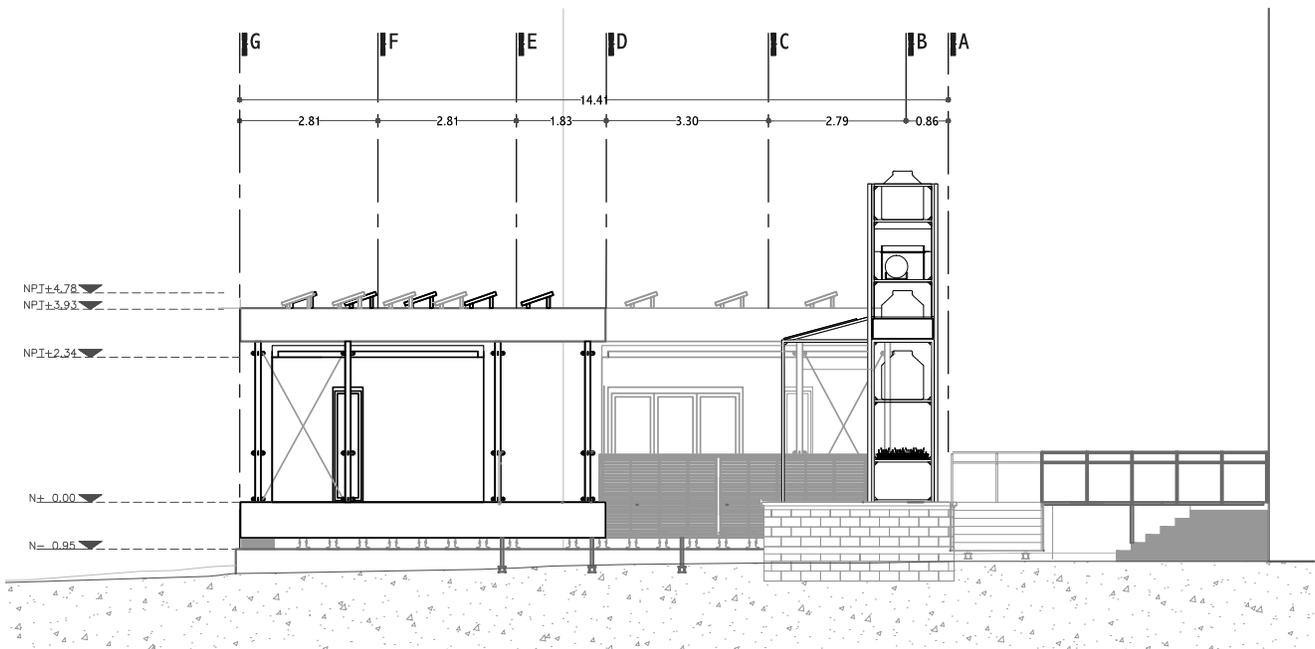
PLANTA DE CONJUNTO



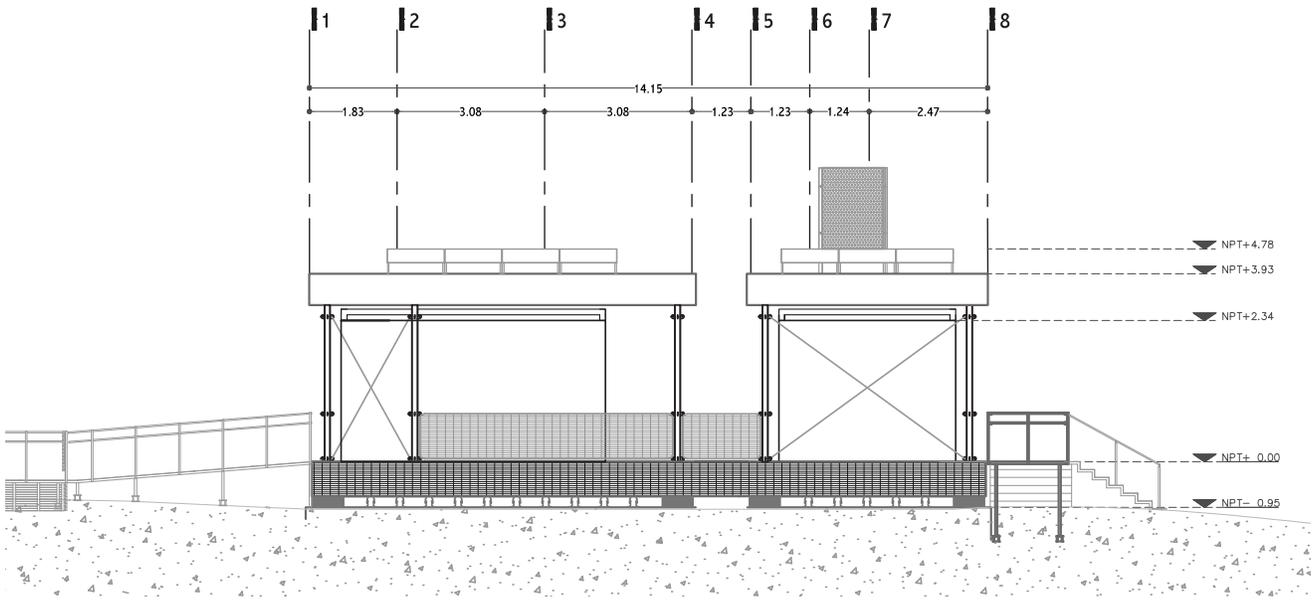
PLANTA ARQUITECTÓNICA



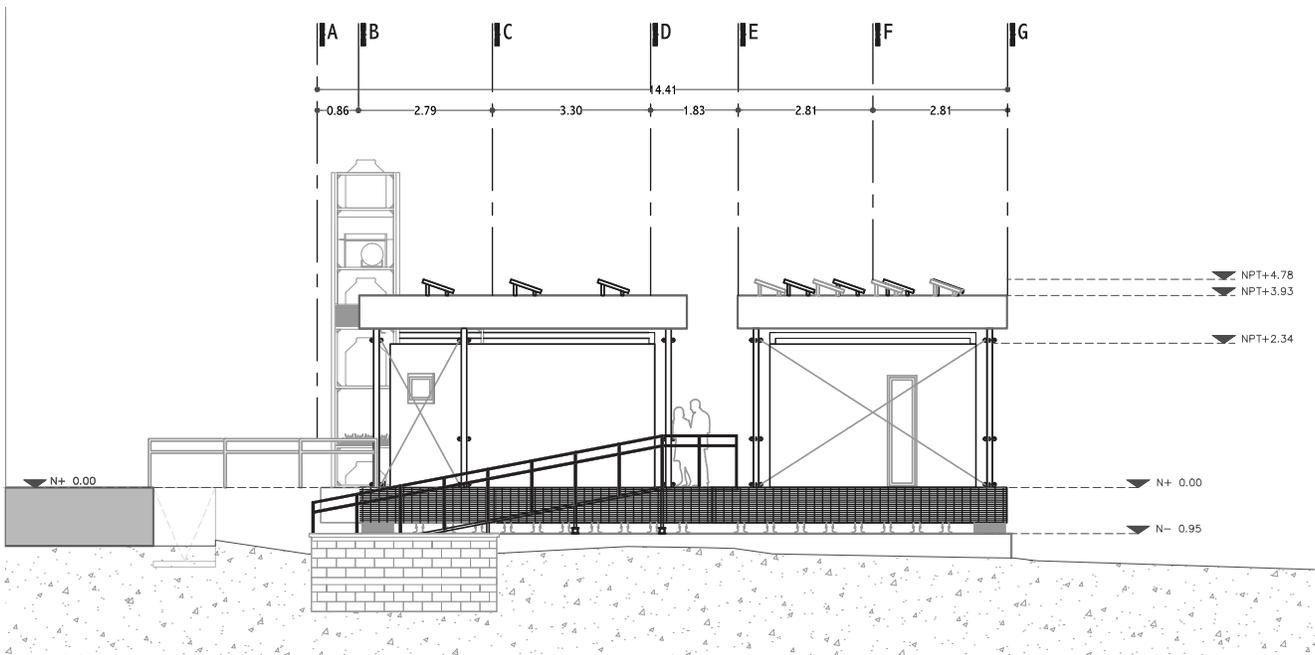
**ALZADO NORTE**



**ALZADO ORIENTE**



**ALZADO SUR**



**ALZADO PONIENTE**

## II. Especificaciones técnicas del sistema constructivo

En este apéndice, se exponen en forma de tabla los valores de las propiedades térmicas de todos los materiales de la envolvente. Algunos valores fueron obtenidos de primera mano con equipo de laboratorio del LES, otros en fichas técnicas de los mismos fabricantes y los menos industrializados, a través de la literatura y la misma base de datos que ofrece Desing Builder ®.

### Muros CASA

Material	Espesor (m)
OUT (Cara exterior)	
"Pintura blanca Comex Pro 1000 Plus®"	0.001
Base coat Protekto Plus®	0.015
Panel Rey Glass®	0.0159
Aislamuro Rolan®	0.088
Panel Rey Regular®	0.0159
Base coat Protekto Plus®	0.015
"Pintura blanca Comex Pro 1000 Plus®"	0.001
IN (Cara interior)	
Espesor total (m)	0.152

### Piso CASA

Material	Espesor (m)
OUT (Cara exterior)	
Triplay	0.06
Aislamuro Rolan®	0.06
Triplay	0.015
Madera de roble (Oak-radial)	0.002
Capa de EPDM	0.004
Capa de HDF (standard)	0.0072
Capa de EPDM	0.004
Madera de roble (Oak-radial)	0.002

IN (Cara interior)	
Espesor total (m)	0.154

### Techo CASA

Material	Espesor (m)
OUT (Cara exterior)	
Impermeabilizante rojo para techo	0.002
Base coat Protekto Plus®	0.015
Panel Rey Glass®	0.0159
Panel Rey Glass®	0.0159
Aire en movimiento	0.025
Lámina de acero galvanizada cal. 18 (losacero)	0.00125
Aire en movimiento, 0.26m (plenum)	0.26
Aislamuro Rolan®	0.088
Panel Rey Regular®	0.0159
Base coat Protekto Plus®	0.015
"Pintura blanca Comex Pro 1000 Plus®"	0.001
IN (Cara interior)	
Espesor total (m)	0.455

### Sistema de ventanas CASA

I. Vidrio. Marca Saint Gobain	
Material	Espesor (m)
OUT (Cara exterior)	
Revestimiento SGG PLANI-THERM® ONE	-
S.G. Planilux Glass	0.0268
Cámara de aire	0.013
S.G. Planilux Glass	0.0268
IN (Cara interior)	
Espesor total (m)	0.0666

Propiedades espectrales del vidrio	
Transmitancia (factor solar ISO-9050)	0.54
Coefficiente de sombreado	0.52
Reflectancia exterior	0.37
Reflectancia interior	0.28
Propiedades ópticas espectrales del vidrio	
Transmitancia de luz	0.69
Reflectancia exterior	0.22
Reflectancia interior	0.22
Propiedades infrarrojas espectrales del vidrio	

Transmitancia infrarrojo	0.36
Emitancia infrarroja (ambos lados)	0.17
Conductividad "k" (W/m-K)	0.0402

II. Cancel marca Kommerling	
Material	PVC Kömalit Z®
Ancho del perfil	70 mm
Espesor de paredes	3 mm
Valor U (solo perfil)	1.3 W/m <sup>2</sup> K
Permeabilidad al aire	Clase 3

## II. Propiedades térmicas de los materiales de CASA

Propiedades térmicas /CASA	Conductividad térmica (W/m K)	Calor específico (J/kg K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Emitancia térmica	Absortancia solar
Material	k	c.e.	p	e	a.s.
"Pintura blanca Comex Pro 1000 Plus®"	0.2	1500	1050	0.25	0.25
Base coat Protekto Plus®	0.42	840	1200		
Panel Rey Glass®	0.16	1000	768.9		
Aislante de lana mineral Aislamuro Rolan®	0.035	960	32		
Panel Rey Regular®	0.16	1000	720.8		
Impermeabilizante rojo para techo	0.17	1400	1200	0.89	0.84
Hoja de triplay de pino	0.15	2500	560		
Capa de madera de roble (Oak-radial)	0.19	2390	700	0.9	0.78
Capa de EPDM (ethylene propylene diene monomer)	0.25	1000	1150		
Capa de HDF (standard)	0.13	2000	900		
Aire en movimiento (0.025m)	R= 0.19 m <sup>2</sup> K/W				
Aire en movimiento (0.26m)	R= 0.18 m <sup>2</sup> K/W				
Lámina de acero galvanizada cal. 18 (losacero)	50	450	7800	0.3	0.3

### III. Manual de encuesta y formato del cuestionario

El fin del apéndice es describir la estructura y los procedimientos para la aplicación del cuestionario de evaluación de confort.

#### I. Acciones

1. Aplicación de una prueba de campo en CASA, la cual consiste en un cuestionario basado en la norma UNE-EN ISO 10551 “Ergonomía del ambiente térmico. Evaluación de la influencia del ambiente térmico empleando escalas de juicio subjetivo”.
2. Calendarización de las pruebas de campo en coordinación con los responsables y los participantes (alumnos), para establecer fechas, horarios y la estimación del número de participantes.
3. Capturar los datos en una base de Excel, para proceder con la parte correspondiente al estudio correlacional (datos cuantitativos de monitoreados con las escalas cualitativas).
4. Obtener un mínimo de 2 muestras por los meses restantes que componen el periodo de estudio (agosto, septiembre, octubre y noviembre), y clasificarlas por periodo térmico anual (periodo cálido, periodo frío, periodo húmedo, etc.).

#### II. Material

1. Formato para el encuestador, para los datos de control, monitoreo y observaciones.
2. Formato-Cuestionario para la evaluación del ambiente térmico: “Confort térmico y visual, Casa UNAM”, para los participantes.
3. Copias suficientes para todos los participantes.

4. Bolígrafos, para proporcionar a los participantes que no dispongan de útiles en el momento de la prueba.

#### III. Equipo e instrumentos de medición

1. Termómetro de bulbo seco, para el monitoreo de la temperatura del aire interior de los espacios, en °C.
2. Sensor de humedad relativa, para el monitoreo de la humedad del aire en el interior de los espacios, en %.
3. Anemómetro, para medir la velocidad del viento en las ventanas durante la prueba.
4. Luxómetro, para medir la luminancia absoluta en el plano de trabajo, al momento de la prueba.
5. Cámara fotográfica, para llevar una memoria de las observaciones o de algún hecho que aporte visualmente al trabajo.

Nota - Investigar si los instrumentos utilizados cumplen con la siguiente normas ISO-7726. La finalidad es poder clasificar el tipo de datos que se obtendrán durante la investigación de campo; Clase I, Clase II y Clase III.

#### IV. Periodos y horarios de prueba

1. Periodos de estudio. Están definidos por las limitaciones temporales de la duración del décimo semestre (8 de agosto al 26 de noviembre), así como del calendario de entregas del seminario de titulación del taller González J. Reyna (28 y 30 de noviembre).
2. Horarios de aplicación de la prueba. Están definidos por la disponibilidad de los recursos humanos que en su mayoría son estudiantes procedentes de la facultad de arquitectura. Por esta

razón, se estima que los horarios de las pruebas ocurrirán en la mañana y el mediodía.

## V. Procedimiento

1. Calendarizar las visitas para la aplicación de la prueba en Casa UNAM, se esperan grupos con un promedio de 30 alumnos (30 observaciones).
2. Llegado el día, los alumnos primero tendrán una visita guiada por Casa UNAM donde se explicará las características y funcionamiento del proyecto.
3. Terminada la visita, se invitará a los asistentes a participar en una dinámica, que consiste en hacer una evaluación subjetiva de la calidad ambiental de uno de los espacios (cocina-comedor, por ejemplo) a través del cuestionario que se diseñó.
4. Dosificar el número de participantes de acuerdo al tamaño y el uso del espacio, con el fin de no sobre estimar el efecto de temperatura del calor metabólico en caso de sobre cupo. No deberán sobre ocuparse los espacios, se sugiere un número de 5 a 6 de ocupantes máximo.
5. Dividir los grupos de participantes en partes iguales
6. Hacer una breve exposición sobre el proyecto y los antecedentes del SDE para despertar el interés de los participantes, evitando así posibles sesgos de información de los participantes (dejando vacíos o llenar sin leer el cuestionario).
7. Repartir un cuestionario por persona, explicar cómo debe llenarse y preguntar si hay posibles dudas.
- 8.1 Dar la señal a los participantes para empezar la prueba, se estima que el tiempo para terminar

es de 5 a 10 minutos.

8.2 Al mismo tiempo, el encuestador deberá tomar los datos de acuerdo al formato de control (fecha, hora, datos de monitoreo, observaciones, etc.).

9. Terminado el tiempo estimado, recoger los cuestionarios y verificar que todos los participantes hayan entregado.

10. Repetir desde el punto 6 hasta que hayan pasado todos los grupos de participantes.

11. Una vez agotados los grupos, se da por terminada la muestra de observaciones y posteriormente se procederá a la captura de los datos para su análisis.

## VI. Observaciones

Este procedimiento solo abarca las pruebas de campo, mientras que en la metodología se expusieron los procesos de análisis de dichos datos los cuales servirán para contestar las preguntas de investigación plasmadas en el planteamiento.

Los resultados y las respuestas de dichas preguntas, finalmente serán parte de las conclusiones.

I. Datos del encuestado						Folio		
Nombre: _____			Edad: _____ años.			Origenario de:		
			CDMX		Área metropolitana	Otro		
Sexo:			Masculino		Femenino			
			CDMX		Área metropolitana	Otro		
Nivel de educación:			Tiempo de residencia en la CDMX:					
<input type="checkbox"/> Básica <input type="checkbox"/> Medio superior		<input type="checkbox"/> Licenciatura <input type="checkbox"/> Posgrado(s)		<input type="checkbox"/> Siempre ha vivido aquí <input type="checkbox"/> + de un 1 año		<input type="checkbox"/> Estoy de visita, viaje <input type="checkbox"/> Menos de 1 año		
II. Vestimenta								
¿Cuál de los siguientes conjuntos de ropa considera que trae puesto en estos momentos? (o el más aproximado)						<input type="checkbox"/> Adicional trae puesto: suéter, sudadera o chamarra.		
<input type="checkbox"/> Muy ligero		<input type="checkbox"/> Ligero		<input type="checkbox"/> Abrigado				
<b>HOMBRE</b> -Ropa interior (calzón, calcetines) -Playera manga corta -Pantalón corto o pants -Tenis ligeros (o calzado abierto)		<b>MUJER</b> -Ropa interior (pantis, bra, calcetines) -Blusa manga corta -Pantalón corto o pants -Tenis ligeros (o calzado abierto)		<b>HOMBRE</b> -Ropa interior -Playera o camisa manga corta -Pantalón (mezclilla o vestir) -Zapatos o tenis casuales		<b>MUJER</b> -Ropa interior -Blusa o camisa manga larga -Pantalón (mezclilla o vestir) -Botas o zapatos gruesos		
III. Percepción del ambiente térmico				1	2	3	4	5
1. Sensación térmica Con relación al exterior, ¿cómo percibe el ambiente (temperatura) al interior del espacio?				Frío	Algo frío (Fresco)	Igual	Algo caliente (tolerable)	Caliente
2. Sensación de humedad Con relación al exterior, ¿cómo percibe la humedad en el aire que respira al interior del espacio?				Mucho más húmedo	Poco más húmedo	Igual	Algo seco	Mucho más Seco
3. Sensación de ventilación ¿Cómo percibe la velocidad del aire al interior?				Rápido (La velocidad es incomoda)	Algo rápido (Velocidad tolerable)	Ligero (Se percibe el viento sobre la piel agradablemente)	En calma (No se percibe movimiento)	_____
4. Preferencia térmica ¿Preferiría sentir el ambiente diferente? ¿Cómo?				Más fresco	Un poco más fresco	No, así está bien	Un poco más de calor	Con más calor
5. Preferencia de ventilación ¿Cómo preferiría el aire en este momento?				Más rápido	Más lento	Igual (así está bien)	_____	_____
6. Aceptación personal del ambiente ¿Cómo considera el ambiente al interior?				Generalmente inaceptable	Generalmente aceptable	Confortable	_____	_____
IV. Iluminación								
1. ¿Puede distinguir claramente TODO el espacio?		1. Si, se distinguen y diferencian los objetos, superficies, texturas, colores.			3. ¿Nota alguna superficie u objeto que este deslumbrando directa o indirectamente, interior o exterior?		1. No. De ningún tipo mencionado en la pregunta.	
		2. Más o menos, pero si se puede distinguir algo de lo mencionado en la opción 1.					2. Si. Directamente. ¿Cuál(es)? _____ interior exterior	
		3. No estoy seguro, causa algo de dificultad ver claro					3. Si. Indirectamente. ¿Cuál(es)? _____ interior exterior	
		4. No, no se distingue con claridad algo de lo mencionado en la opción 1.						
2. ¿Considera el nivel de luz al interior aceptable?		1. Sí, en general para actividades comunes			4. ¿Preferiría tener la luz encendida en este momento?		1. Sí, pero solo para actividades con más detalle como leer o escribir.	
		2. Más o menos, no se podrían hacer actividades más minuciosas como escribir o dibujar.					2. No, ya que puedo leer o escribir sin esfuerzo	
		3. No, creo que la luz en este momento solo sirve para moverse dentro del espacio.					3. No estoy seguro.	



I. Datos de control		Folio de la muestra	
		Clave de las observaciones	
Nombre del encuestador: _____ Joel Barajas F. _____ Facultad: _____ Arquitectura _____ Contaco: _____ arqjowell2012@gmail.com _____		Fecha: _____ de 2016. Hora de inicio: _____ Hora de finalización: _____	
II. Información del grupo o habitante(s)		Espacio donde se aplicó:	
Describir la actividad: _____ Clasificación de la actividad: <input type="checkbox"/> Sedentaria <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Intensa Nivel metabólico estimado: _____ mets. _____ W/m2		<input type="checkbox"/> Coc.-Comedor <input type="checkbox"/> Recámara <input type="checkbox"/> Area común Número de personas encuestadas = _____ observaciones.	
		Sexo del grupo:	
		<input type="checkbox"/> Masc. <input type="checkbox"/> Fem. <input type="checkbox"/> Mixto	
		Edad promedio del grupo:	
		<input type="checkbox"/> 15-20 <input type="checkbox"/> 30-39 <input type="checkbox"/> 20-29 <input type="checkbox"/> 40-50	
III. Datos de monitoreo del espacio		IV. Condiciones de aplicación	
Temp de Bulbo Seco (TBS) EN °C	Velocidad del viento (Vv) en m/s	Momento del día	Condiciones de cielo
_____	_____	<input type="checkbox"/> Mañana <input type="checkbox"/> Mediodía <input type="checkbox"/> Tarde	<input type="checkbox"/> Despejado <input type="checkbox"/> Parcialmente nublado <input type="checkbox"/> Nublado
Húmedad Relativa (HR) en %	Humedad absoluta (Ha) en grs/m3	Estación del año: <input type="checkbox"/> Prim. <input type="checkbox"/> Ver. <input type="checkbox"/> Otoño <input type="checkbox"/> Inv.	
_____	_____		
V. Observaciones			

II. Formato para el encuestador

# **BIBLIOGRAFÍA**

### **Bibliografía diseño bioclimático**

Lechner, Norbert. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2015.

---

Szokolay, S. V., and Christopher Brisbin. Introduction to architectural science : the basis of sustainable design. Amsterdam Boston: Elsevier, Architectural Press, 2004.

---

Fortin, Jacques. Para comprender el clima y el medio ambiente. Tlalneantla, Mex: Publicaciones CITEM, 2002.

---

Lacomba, Ruth, et al. Arquitectura solar y sustentabilidad. México: Editorial Trillas, 2012.

---

S. V. Szokolay. Solar Geometry. . Brisbane, Qld: PLEA in association with Dept. of Architecture, University of Queensland, 2007.

---

### **Bibliografía termodinámica y confort térmico**

Victorio S., and Raúl O. Barreneche. Acondicionamiento térmico de edificios. Buenos Aires, Argentina: Nobuko, 2005.

---

Auliciems, Andris, and S. V. Szokolay. Thermal comfort. Brisbane, Qld: PLEA in association with Dept. of Architecture, University of Queensland, 1997.

---

2009 ASHRAE Handbook: fundamentals. Atlanta, Ga: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009.

---

ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, Ga: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.

---

ISO-7726:1998. "Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities". Switzerland: International Organization for Standardization, 1998.

---

ISO-7730: 2005. "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". Switzerland: International Organization for Standardization, 2005.

---

ISO-10551:1995. "Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales". Switzerland: International Organization for Standardization, 1995.

---

### **Bibliografía iluminación**

Gordon, Gary. Interior lighting for designers. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2013.

---

Winchip, Susan M. Fundamentals of lighting. New York: Fairchild Books, 2011.

---

Rea, Mark S. The IESNA lighting handbook : reference & application. New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.

---

Livingston, Jason. Designing with light : the art, science and practice of architectural lighting design. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2014.

---

Hernández Calleja, Ana y Ramos Pérez, Fernando. Condiciones necesarias para el confort visual. Tecun: Rincón Técnico, 2011. <http://studylib.es/doc/5336038/condiciones-necesarias-para-el-confort-visual>

---

### **Bibliografía ventilación**

Mermet, Alejandro G., and Eduardo Yarke. Ventilación Natural en Edificios: fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos. Buenos Aires: Nobuko, 2005.

---

### **Planos**

Project Drawings #7. Team Mexico, UNAM. Design Adjustments Documentation & Dissemination Materials. June 2nd- 2014.

