



6 de febrero de 2024

**H. Consejo Divisional
Ciencias y Artes para el Diseño
Presente**

La Comisión encargada de la revisión, registro y seguimiento de los proyectos, programas y grupos de investigación, así como de proponer la creación, modificación, seguimiento y supresión de áreas de investigación, para su trámite ante el órgano colegiado correspondiente, da por recibido el Informe Global del Proyecto de Investigación N-293 "Arquitectura Bioclimática Tropical en Latinoamérica", cuyo responsable es el Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet, presentado por el Departamento del Medio Ambiente.

Las siguientes personas integrantes de la Comisión que estuvieron presentes en la reunión y se manifestaron a favor de recibir el Informe Global: Mtro. Hugo Armando Carmona Maldonado, Mtra. Sandra Luz Molina Mata, Dra. Marcela Burgos Vargas, Mtro. Sergio Dávila Urrutia, así como el Asesor: Dr. Fernando Rafael Minaya Hernández.

**Atentamente
Casa abierta al tiempo**

Mtra. Areli García González
Coordinadora de la Comisión

JDMA. 050/02.2024
Ciudad de México, a 2 de febrero de 2024

Mtra. Areli García González

Secretaria Académica en funciones de
Presidente del H. Consejo Divisional
División de Ciencias y Artes para el Diseño

P r e s e n t e

Estimada Mtra Areli

Por este medio me permito presentar al H. Consejo Divisional que usted preside el **Informe global** para la **terminación** del proyecto de investigación: **N-233, “Arquitectura Bioclimática Tropical en Latinoamérica”**, cuyo responsable es el **Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet**.

Sin más por el momento, hago propicia la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente

Casa abierta al tiempo



Mtro. Luis Yoshiaki Ando Ashijara

Jefe del Departamento del Medio Ambiente

C.c.p. Archivo

Universidad
Autónoma
Metropolitana

Casa abierta al tiempo



División de Ciencias y Artes para el Diseño
Departamento del Medio Ambiente

Ciudad de México, a 29 de enero de 2024

Mtro. Luis Yoshiaki Ando Ashijara
Jefe del Departamento del Medio Ambiente
P r e s e n t e

Por medio de la presente, me permito solicitar su apoyo para que se efectúen los trámites ante Consejo Divisional de CyAD, para dar por terminado el Proyecto de Investigación **N-233** Titulado "**ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA TROPICAL EN LATINOAMERICA**", cuyo responsable es el **Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet**.

Anexo documento final y reporte de terminación.

Sin más por el momento, quedo de usted.



Dra. Gloria María Castorena Espinosa
Jefa del Área de Arquitectura Bioclimática
Departamento de Medio Ambiente

29 de enero 2024

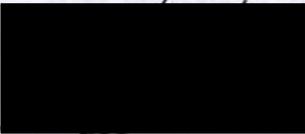
DRA. GLORIA MARÍA CASTORENA ESPINOSA

Jefa del Área de Arquitectura Bioclimática
Departamento de Medio Ambiente

Por medio del presente me permito solicitar que se efectúen los trámites ante el Consejo Divisional de CyAD para dar por terminado el proyecto de investigación **N-233** titulado: "**ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA TROPICAL EN LATINOAMERICA**", mencionando que los objetivos del proyecto fueron cumplidos.

Se anexa el documento final y reporte de terminación.

Sin mas por el momento quedo de usted


Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet.
Profesor del Departamento de Medio Ambiente.

ARQUITECTURA BICLIMÁTICA TROPICAL EN LATINOAMERICA

REPORTE FINAL

Proyecto de investigación N-233

Víctor Armando Fuentes Freixanet

Justificación del Proyecto.

El proyecto de investigación buscó recopilar e integrar distintos análisis sobre la arquitectura tropical en Latinoamérica. A partir de esto, se identificaron los conceptos bioclimáticos y sustentables que se han utilizado a través de tres períodos en el tiempo: arquitectura vernácula, arquitectura colonial y arquitectura contemporánea.

Se seleccionaron y analizaron ejemplos significativos de diversos países latinoamericanos (México, Centroamérica y Sudamérica) que están dentro de los trópicos; dichos proyectos se entienden como una muestra limitada, pero representativa, de la multiplicidad de casos que se presentan en la realidad.

A partir de esta investigación, se pretendió definir el estado actual de la arquitectura tropical mexicana y se establecen estrategias de diseño bioclimático y sustentables que pudieran aplicarse en otros casos

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General:

Definir los conceptos de diseño bioclimático y sustentable de la arquitectura tropical (clima cálido-húmedo) en Latinoamérica.

Objetivos específicos:

- Identificar y compilar ejemplos significativos de la arquitectura tropical vernácula, colonial y contemporánea en Latinoamérica (principalmente México, Colombia y Brasil) y hacer un breve análisis histórico para entender las motivaciones de las tendencias actuales de este tipo de arquitectura.
- Mostrar las estrategias utilizadas de adecuación bioclimática (principalmente control solar, ventilación natural y materiales y sistemas constructivos) así como las tipologías y elementos arquitectónicos distintivos de la región.
- Identificar los puntos comunes y las divergencias en las estrategias utilizadas en función de sus condicionantes climáticas y ambientales de los casos analizados.
- Establecer el estado actual de la arquitectura tropical mexicana en función de los puntos de referencia encontrados en el análisis regional.

Como casos de estudio se abordará la arquitectura: Mexicana, Colombiana y Brasileña, correspondientes a los climas cálido-húmedos.

Actividades realizadas.

- Identificación y recopilación de información de los casos más significativos de arquitectura tropical de México, Colombia y Brasil. Correspondientes a la arquitectura vernácula, colonial y contemporánea.
- Análisis bioclimático de los casos seleccionados de acuerdo con su regionalización y ubicación geográfica
- Análisis de los casos seleccionados e identificación de los puntos comunes o divergentes en el uso de estrategias de diseño bioclimático utilizadas.

Relación con la docencia

Los resultados obtenidos han servido como referentes de la arquitectura bioclimática y sustentable principalmente en los cursos de licenciatura en arquitectura UEA 1401056: Desarrollo Sustentable y Diseño, pero también en la UEA: 141408 Climatología y Geometría Solar. Así como en los cursos de Seminario de Diseño Bioclimático del Posgrado en Diseño.

Relación con la difusión de la cultura

A partir de la UEA de Desarrollo Sustentable y Diseño y el proyecto ERASMUS+ con la Unión Europea se retomó el análisis de casos de estudio similares con los alumnos de licenciatura tomando como base esta investigación y se publicaron varios libros con los análisis de los alumnos: Arquitectura Vernácula, Arquitectura Contemporánea y Tecnologías sostenibles.

Estos documentos están disponibles en: http://www.eurobios-arch.azc.uam.mx/?page_id=99 y se utilizan como material de apoyo a la docencia de manera regular.

Aportes al campo de conocimiento

Comprender las estrategias de diseño utilizadas en la arquitectura vernácula, colonial y contemporánea en Latinoamérica es un referente importante para entender la importancia que tiene el medio físico y el clima como factores determinantes o condicionantes del diseño arquitectónico y fundamentales para el diseño bioclimático.

Coherencia entre metas, objetivos y resultado final

El número de casos de arquitectura analizados son limitados para considerarse como una muestra representativa de toda la arquitectura tropical latinoamericana, sin embargo, son ejemplos significativos que permiten entender la importancia de la adecuación de la arquitectura al medio físico ambiental. De tal forma se considera que los objetivos y metas se alcanzaron.

Trascendencia social

La arquitectura bioclimática y sustentable es fundamental para la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible planteados por las Naciones Unidas y de vital importancia para contribuir a la reducción de los consumos de energía y de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por otro lado, el objetivo fundamental de la arquitectura bioclimática es brindar espacios saludables y confortables para el desarrollo integral de las personas y de la sociedad en general. De tal forma entender a la arquitectura vernácula, colonial y contemporánea aporta al conocimiento y aplicación de una arquitectura pensada en beneficio del hombre y la sociedad.

ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA TROPICAL EN LATINOAMERICA

Proyecto de investigación N-233

Víctor Armando Fuentes Freixanet

Área de Arquitectura Bioclimática
Departamento de Medio Ambiente
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco

ARQUITECTURA BIOLIMÁTICA TROPICAL EN LATINOAMERICA

REPORTE FINAL

Proyecto de investigación N-233

Víctor Armando Fuentes Freixanet

Justificación del Proyecto.

El proyecto de investigación buscó recopilar e integrar distintos análisis sobre la arquitectura tropical en Latinoamérica. A partir de esto, se identificaron los conceptos bioclimáticos y sustentables que se han utilizado a través de tres períodos en el tiempo: arquitectura vernácula, arquitectura colonial y arquitectura contemporánea.

Se seleccionaron y analizaron ejemplos significativos de diversos países latinoamericanos (México, Centroamérica y Sudamérica) que están dentro de los trópicos; dichos proyectos se entienden como una muestra limitada, pero representativa, de la multiplicidad de casos que se presentan en la realidad.

A partir de esta investigación, se pretendió definir el estado actual de la arquitectura tropical mexicana y se establecen estrategias de diseño bioclimático y sustentables que pudieran aplicarse en otros casos

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General:

Definir los conceptos de diseño bioclimático y sustentable de la arquitectura tropical (clima cálido-húmedo) en Latinoamérica.

Objetivos específicos:

- Identificar y compilar ejemplos significativos de la arquitectura tropical vernácula, colonial y contemporánea en Latinoamérica (principalmente México, Colombia y Brasil) y hacer un breve análisis histórico para entender las motivaciones de las tendencias actuales de este tipo de arquitectura.
- Mostrar las estrategias utilizadas de adecuación bioclimática (principalmente control solar, ventilación natural y materiales y sistemas constructivos) así como las tipologías y elementos arquitectónicos distintivos de la región.
- Identificar los puntos comunes y las divergencias en las estrategias utilizadas en función de sus condicionantes climáticas y ambientales de los casos analizados.
- Establecer el estado actual de la arquitectura tropical mexicana en función de los puntos de referencia encontrados en el análisis regional.

Como casos de estudio se abordará la arquitectura: Mexicana, Colombiana y Brasileña, correspondientes a los climas cálido-húmedos.

Actividades realizadas.

- Identificación y recopilación de información de los casos más significativos de arquitectura tropical de México, Colombia y Brasil. Correspondientes a la arquitectura vernácula, colonial y contemporánea.
- Análisis bioclimático de los casos seleccionados de acuerdo con su regionalización y ubicación geográfica
- Análisis de los casos seleccionados e identificación de los puntos comunes o divergentes en el uso de estrategias de diseño bioclimático utilizadas.

Relación con la docencia

Los resultados obtenidos han servido como referentes de la arquitectura bioclimática y sustentable principalmente en los cursos de licenciatura en arquitectura UEA 1401056: Desarrollo Sustentable y Diseño, pero también en la UEA: 141408 Climatología y Geometría Solar. Así como en los cursos de Seminario de Diseño Bioclimático del Posgrado en Diseño.

Relación con la difusión de la cultura

A partir de la UEA de Desarrollo Sustentable y Diseño y el proyecto ERASMUS+ con la Unión Europea se retomó el análisis de casos de estudio similares con los alumnos de licenciatura tomando como base esta investigación y se publicaron varios libros con los análisis de los alumnos: Arquitectura Vernácula, Arquitectura Contemporánea y Tecnologías sostenibles.

Estos documentos están disponibles en: http://www.eurobios-arch.azc.uam.mx/?page_id=99 y se utilizan como material de apoyo a la docencia de manera regular.

Aportes el campo de conocimiento

Comprender las estrategias de diseño utilizadas en la arquitectura vernácula, colonial y contemporánea en Latinoamérica es un referente importante para entender la importancia que tiene el medio físico y el clima como factores determinantes o condicionantes del diseño arquitectónico y fundamentales para el diseño bioclimático.

Coherencia entre metas, objetivos y resultado final

El número de casos de arquitectura analizados son limitados para considerarse como una muestra representativa de toda la arquitectura tropical latinoamericana, sin embargo, son ejemplos significativos que permiten entender la importancia de la adecuación de la arquitectura al medio físico ambiental. De tal forma se considera que los objetivos y metas se alcanzaron.

Trascendencia social

La arquitectura bioclimática y sustentable es fundamental para la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible planteados por las Naciones Unidas y de vital importancia para contribuir a la reducción de los consumos de energía y de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por otro lado, el objetivo fundamental de la arquitectura bioclimática es brindar espacios saludables y confortables para el desarrollo integral de las personas y de la sociedad en general. De tal forma entender a la arquitectura vernácula, colonial y contemporánea aporta al conocimiento y aplicación de una arquitectura pensada en beneficio del hombre y la sociedad.

INTRODUCCIÓN

Hábitat se refiere al lugar en donde se puede habitar o morar; es decir, al lugar que ofrece las condiciones adecuadas para poder vivir, de lo contrario no sería “habitabile”. Mientras que sustentable se refiere a que las condiciones de habitabilidad están basadas en las potencialidades propias de medio ambiente y del ecosistema particular del emplazamiento. Aunque el concepto “*hábitat sustentable*” es muy amplio, generalmente se le da una connotación temporal y espacial particulares de actualidad y en un ámbito urbano. Lo cierto es que el hábitat sustentable se ha dado de manera natural a lo largo de la historia en los más distintos ámbitos del mundo... La arquitectura vernácula es un ejemplo de cómo el hombre ha encontrado la forma empírica de lograr las condiciones adecuadas para poder vivir con base en el ambiente que le rodea. Y es esta la que ha influido en conceptos de adaptación bioclimática a lo largo de la historia, desde la época colonial hasta nuestros días.

Desarrollo Sustentable

El Desarrollo Sustentable puede entenderse a través del esquema clásico mostrado a continuación; en el esquema se plantea que el Desarrollo Sustentable puede lograrse cuando hay equilibrio entre los medios social, económico y ambiental (Fig.1).

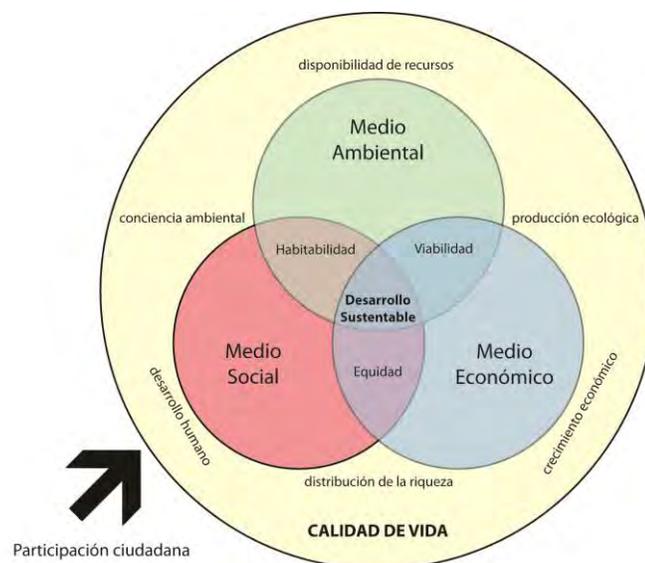


Fig.1 Esquema del Desarrollo Sustentable ¹

¹ Basado en: Rodríguez, Sandra, et al. Sustainability Assessment and Reporting for the University of Michigan's Ann Arbor Campus. University of Michigan, Report No. CSS02-04 April, USA 2002

El equilibrio entre el medio social y económico, se logra cuando hay una distribución de la riqueza justa y por lo tanto se consigue la equidad, pero este término no sólo se refiere a la equidad en términos de recursos económicos, sino en función de que las personas y sociedad en su conjunto puedan satisfacer sus necesidades básicas. De acuerdo a Paul Ekins (1992)² estas necesidades humanas fundamentales son las de: Subsistencia, Protección, Afecto, Comprensión, Participación, Creación, Recreo, Identidad y Libertad. De manera agrupada las podemos enlistar de la siguiente manera:

- *Subsistencia*: Las necesidades de subsistencia se dan cuando se tiene salud, trabajo, una buena alimentación y se vive en un ambiente sano;
- *Seguridad*: se dan cuando se cuenta con un refugio (casa), cuando se cuenta con seguridad física y social, cuando se respetan los derechos humanos y la privacidad.
- *Legitimidad*: La legitimidad se da cuando se tiene identidad (individual y social), y reconocimiento. Cuando se ejercen los derechos, pero se cumple cabalmente con las responsabilidades.
- *Confianza*: La confianza se basa en la autoestima, en la permanencia y estabilidad.
- *Aprobación*: Cuando se tiene afecto y respeto
- *Comprensión*: Cuando se cuenta con educación y conocimiento
- *Recreación*: Se refiere a contar con tiempo libre, esparcimiento y tranquilidad.
- *Libertad*: Cuando se tiene autonomía, capacidad de decisión y territorialidad.

El medio Social y el medio Ambiente estarán en equilibrio cuando exista una conciencia ambiental, cuando se da un equilibrio entre ambos se logra la habitabilidad. Un medio ambiente equilibrado se consigue al respetar los ecosistemas, la biodiversidad, la capacidad productiva y capacidad de carga.

El medio Ambiente y el medio Económico, logran su equilibrio mediante una producción ecológica lo cual asegura la viabilidad; si este equilibrio es alcanzado, habrá un desarrollo donde se integran lo humano, económico y la disponibilidad de recursos.

Dentro del esquema clásico de sustentabilidad existen dos aspectos fundamentales, basados en el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas y donde el Desarrollo Sustentable requiere de la participación de todos los actores involucrados, es decir la sociedad en su conjunto.

Por desgracia, los esquemas de desarrollo actuales se basan en mayor medida en el desarrollo económico olvidándose del medio social y ambiental. Se piensa erróneamente que la generación de la

² Ekins Paul. Riqueza sin límites, EDAF. Madrid, España. 1992

riqueza por sí sola, repercutirá en una mejor y mayor distribución, a la vez que se genera la idea equivocada de que los ecosistemas naturales son ilimitados... El principal problema es que existen una infinidad de intereses creados que impiden romper la inercia de este sistema injusto y carente de sentido común, que nos está acarreado enormes problemas económicos, sociales y ambientales. Es por eso que todos como sociedad debemos presionar para romper este círculo vicioso y dar el cambio hacia un nuevo paradigma, la evolución de la conciencia humana, la evolución del hombre basada en el concepto holístico de la sustentabilidad; pero, ¿cuál es el papel que juega la arquitectura en este nuevo paradigma?

Arquitectura y sustentabilidad.

En 1993 la Unión Internacional de Arquitectos emitió una “Declaración de Interdependencia para un Futuro Sustentable³”; donde se reconoce que el medio está seriamente degradado con un desarrollo no sustentable, basados en la premisa de que somos ecológicamente interdependientes con el medio ambiente y que el medio construido, juega un papel muy importante en el impacto sobre el medio natural y calidad de vida de sus habitantes.

En el año 2008, se aprobó la declaración en “Sustentabilidad y Biodiversidad Cultural⁴” dentro del congreso mundial de la Unión Internacional de Arquitectos. Sin embargo, esta declaración ambiental se enfocó más en la energía y sus soluciones tecnológicas. El siguiente año, en la “Declaración de Copenhague⁵” se reconoce que la tecnología por sí sola, no puede solucionar todos los problemas, sino que se requiere un trabajo conjunto entre diseño y tecnología; que tenga como objetivo central la calidad de vida de los usuarios, ya que ambos conceptos: sustentabilidad y calidad de vida son inseparables.

Por lo cual, la Unión Internacional de Arquitectos, se fija como objetivo reducir y revertir los impactos negativos que tiene el ambiente construido sobre el clima global, e inicia su estrategia de “Sustentabilidad a través del Diseño⁶”, donde establece esta relación como un concepto arquitectónico universal, al tener como objetivos: mejorar el conocimiento, estrategias y métodos para diferentes contextos climáticos, políticos, sociales y culturales – al considerar que *“La Arquitectura debe utilizar métodos holísticos de integración, desde la escala más pequeña hasta la planificación urbana y regional, sin olvidar que los edificios, el paisaje, el medio ambiente natural y la infraestructura, son elementos esenciales en la creación continua de un futuro sustentable...⁷”*

³ *Declaration of Interdependence for a Sustainable Future.* UIA/AIA World Congress of Architects, Chicago, USA. 18-21 June, 1993.

⁴ XXIII UIA World Congress of Architecture, Torino 2008.

⁵ Declaración de Copenhague sobre desarrollo social, ONU, 2009.

⁶ UIA/AIA, World Congress of Architects, Chicago, 1993.

⁷ Ibidem.

En esta declaración se establecen varias estrategias, de la cuales hemos extraído las siguientes sobre sustentabilidad a través del diseño, donde:

- *Reconoce que todos los proyectos de arquitectura y planificación son parte de un sistema interactivo complejo, integrado a su más amplio entorno natural y refleja la herencia, cultura y valores sociales de la vida diaria de la comunidad.*
- *Se esfuerza en mejorar la calidad de vida, promover la igualdad tanto global como local, avanzar en el bienestar económico y proveer oportunidades para lograr el compromiso y autosuficiencia de la comunidad.*
- *Reconoce la interdependencia local y planetaria de toda la gente. Admite que los sistemas de soporte de vida urbana (agua y aire limpio, comida, protección, oportunidades de trabajo, educación, salud, etc.) dependen de un sistema rural-urbano integrado, interdependiente y sustentable.*
- *Respalda la declaración de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en cuanto a que la diversidad cultural, como fuente de intercambio, innovación y creatividad, es tan necesaria para la humanidad como la biodiversidad lo es para la naturaleza.*

Lo anterior se resume en el “mapa de estrategias de diseño sustentable” de Sebastian El Khouli⁸ donde muestra los diferentes métodos y estrategias de la arquitectura sustentable de manera relacionada con las tres esferas de la sustentabilidad (economía, ecología y sociedad). Y menciona, que estas estrategias o formas de abordar el tema de sustentabilidad en arquitectura, generalmente no se dan solas, sino que se dan de manera combinada (Fig. 2).

⁸ El Khouli, Sebastian. *Sustainable by Design. The Responsibility of the Architect*. UIA Open Forum and Student Workshops. Sustainable by Design. International Union of Architects. Copenhagen, Denmark 2009.

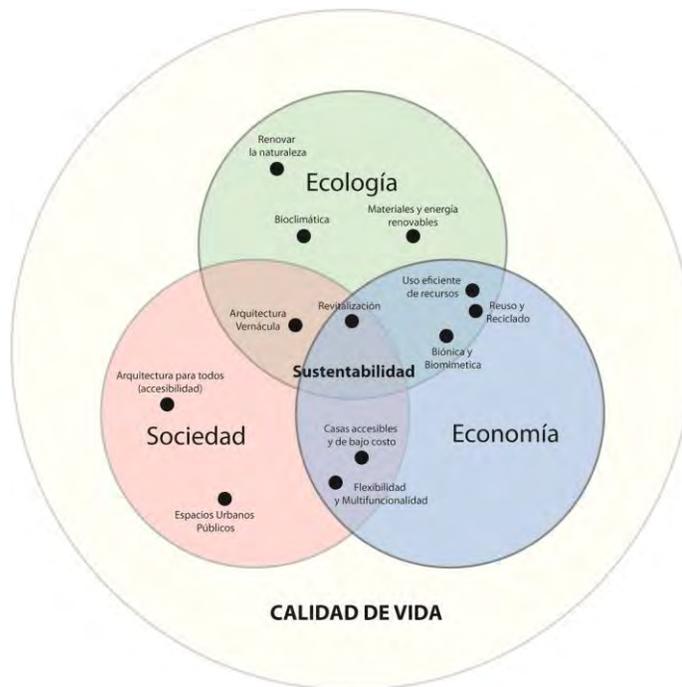


Fig.2 Diferentes formas o estrategias de Arquitectura Sustentable (El Khouli)

De manera general, las estrategias se agrupan en cuatro grupos:

- Uso Eficiente de los Recursos y Recursos renovables.
- Espacio Urbano Público y Accesibilidad
- Estrategias de Revitalización y Reciclamiento
- Arquitectura Vernácula y de Bajo Costo.

Como se puede observar, Khouli ubica a la arquitectura vernácula en equilibrio entre la componente social y la ambiental, pero fuera de la esfera económica... mientras que las casas accesibles de bajo costo están en equilibrio social y económico, pero fuera de la esfera ambiental o ecológica. Sin embargo, ¿Sería posible hacer arquitectura de bajo costo utilizando los principios de adecuación que ofrece la arquitectura vernácula?, ¿Se podría emplear el diseño bioclimático y el uso de energías renovables haciendo un uso eficiente de la energía con mayor enfoque social de “arquitectura para todos” ?; si las respuestas son afirmativas, entonces este tipo de arquitectura se ubicaría en el centro del diagrama caracterizándose como arquitectura sustentable.

Es decir que el “Diseño Sustentable” debe ubicarse al centro del diagrama, logrando el equilibrio de las tres esferas de la sustentabilidad. El Khouli afirma que *“los arquitectos somos responsables de diseñar y construir buenos ejemplos para crear imágenes positivas de esta otra forma de pensar y actuar, y de*

aceptar esta nueva, o quizá vieja, pero diferente actitud. Sustentabilidad significa responsabilidad, no como una carga, sino como una oportunidad y un reto para diseñar y construir nuestro futuro. Significa ser responsables con el medio ambiente reduciendo el consumo de recursos como la energía, el agua o la tierra, y también la producción de residuos o emisiones. Significa ser responsables con la economía, contribuyendo con la innovación de la industria de la construcción y con los objetivos de los inversionistas, así como diseñando viviendas accesibles (y eficientes). Significa ser responsables con la sociedad y la cultura, optimizando el impacto sobre los espacios públicos y el contexto social y cultural, a través de la calidad de los espacios diseñados⁹”.

Como se puede apreciar, el Desarrollo Sustentable debe ir forzosamente vinculado al Diseño Sustentable. Se pueden definir políticas de desarrollo, social, económico y ambiental sustentables, pero es el diseño, quien finalmente les da una expresión tangible a través de los espacios y objetos creados; esta idea dio origen al presente trabajo, al explorar la relación entre el concepto de la sustentabilidad y arquitectura vernácula, para resaltar los valores intrínsecos de esta tipología arquitectónica como manifestaciones materiales e intangibles de la cultura de los pueblos que la producen, y cómo muchos de los conceptos lógicos se han utilizado a través de la historia hasta nuestros días.

Como menciona, el Consejo Internacional de Sitios y Monumentos (ICOMOS) “el patrimonio arquitectónico tradicional o vernáculo es la expresión fundamental de la identidad de una comunidad de sus relaciones con su territorio y, al mismo tiempo, la expresión de la diversidad cultural del mundo. El Patrimonio Vernáculo construido constituye el modo natural y tradicional en que las comunidades han producido su propio hábitat. Al considerar grupos de edificios y sitios construidos de forma empírica que forman parte de un proceso continuo, que incluye cambios necesarios y una continua adaptación como respuesta a los requerimientos sociales y ambientales...” “...Es toda esta tradición cultural de gran importancia desde el punto de vista de la sustentabilidad, pero debido a su alta vulnerabilidad, están siendo amenazados por la “homogenización cultural y la globalización socio-económica¹⁰”.

Cuando se habla de urbanismo o hábitat sustentable, generalmente se piensa en el concepto actual de sustentabilidad, sin embargo, se olvida que muchos de estos conceptos han sido aplicados de manera empírica a través de toda la historia de la humanidad en la arquitectura tradicional y vernácula, por ello es pertinente no sólo revisarlos sino rescatarlos y protegerlos.

⁹ El Khouli. Op. Cit.

¹⁰ Carta del Patrimonio Vernáculo Construido, ICOMOS, 12° asamblea General, México, 1999.

La arquitectura tropical latinoamericana tiene características comunes. Las culturas olmecas, mayas y todas las amazónicas, siempre mostraron una relación simbiótica con la naturaleza, con visiones cosmogónicas particulares que están vinculadas a su arquitectura. Con la llegada de los españoles la arquitectura colonial tuvo que adaptarse a las características tropicales y la arquitectura moderna encuentra lazos que la reencuentran a sus raíces... Las características climáticas y ambientales son similares en toda la región y por lo tanto las estrategias de adaptación bioclimáticas también lo son... de manera lógica el hombre encuentra soluciones análogas a problemas comunes.

MÉXICO

Caso de estudio: Mérida, Yucarán

- **Condicionantes físicas, ambientales y climáticas de Mérida**
 - **La arquitectura maya**
 - **Yaxcopoil**
 - **Universidad La Salle**

1. Condicionantes físicas, ambientales y climáticas

1.1. Ubicación Geográfica:

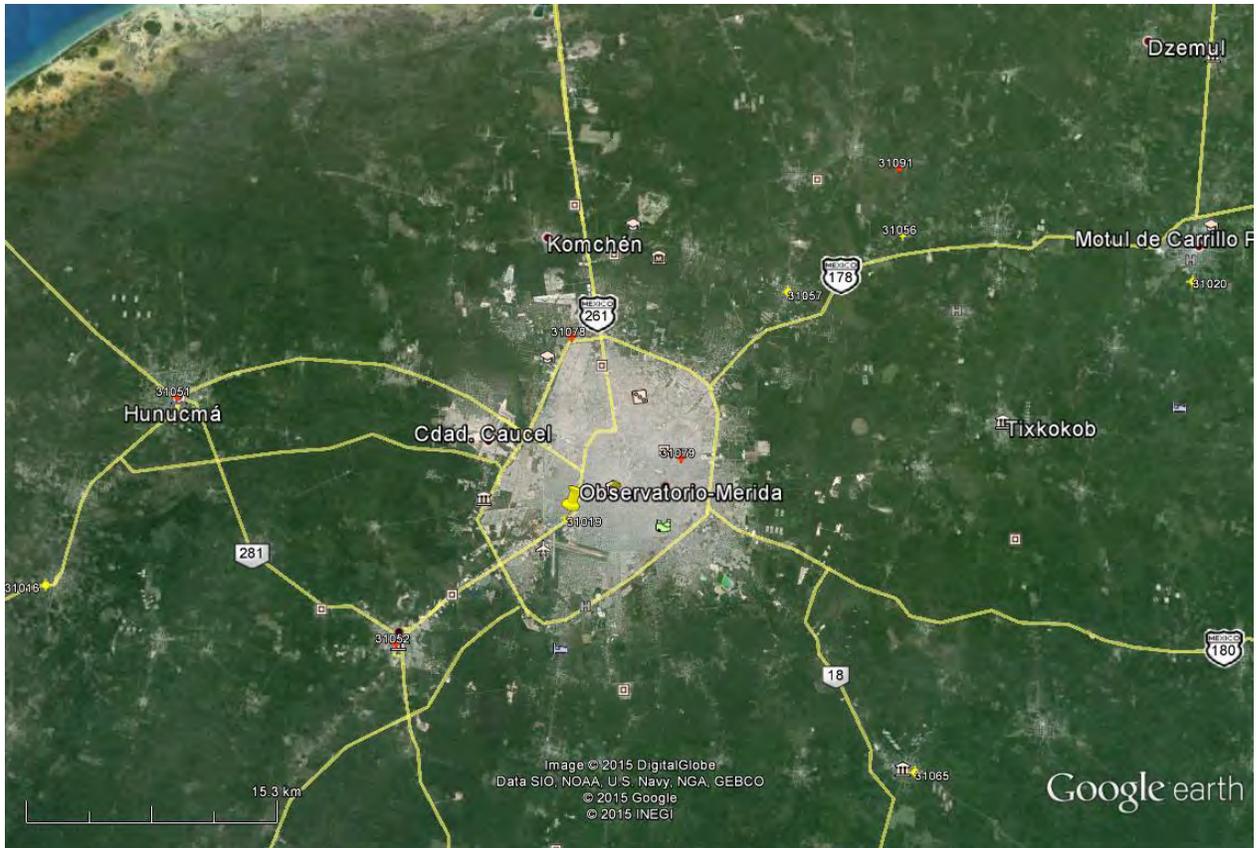


Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto (Imagen de Google Earth¹¹)

Los datos climatológicos corresponden al observatorio de la ciudad de Mérida, Yucatán del período 1981-2010.

La Ubicación Geográfica es:

Latitud: 20° 57' 00"
Longitud: -89° 39' 00"
Altitud: 11 msnm

¹¹ Google Earth. Google Inc. 2015

1.2. Análisis Climático

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen-García (García, 1973), el clima del observatorio de Mérida es **A x'(w1) igw''** (Cálido húmedo, isotermal, clima tipo Ganges con presencia de canícula). Esta clasificación se interpreta de la siguiente manera:

- **A** define al clima como *cálido*; con temperatura media anual mayor a 22 °C y la temperatura media del mes más frío mayor de 18 °C.
- **x'(w1)** corresponde a un clima *subhúmedo* con régimen de *lluvias intermedio*, es decir que la precipitación se encuentra en la mitad caliente del año, pero no llega a 10 veces la del mes más seco; el porcentaje de precipitación invernal es menor a 18, con un cociente entre la precipitación y la temperatura (P/T) entre 43.2 y 55.3
- **i** define al clima con *isotermal*; con una oscilación anual menor a 5 °C
- **g** define la marcha de temperatura tipo Ganges, es decir que el mes más caluroso (con la temperatura media más elevada) se presenta antes del solsticio de verano (junio).
- **w''** indica presencia de canícula presente en el mes de agosto.

f	Mérida, Yucatán	1981-2010		
I	CLIMA	Ax'(w1)igw"		
J	BIOCLIMA	CÁLIDO HUMEDO		
A	LATITUD	20°.57'	20.95	
A	LONGITUD	89°.39'	89.65	
A	ALTITUD	11	msnm	

Estación: 31019

f	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
----------	----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	--------------

TEMPERATURAS

A	MÁXIMA EXTREMA	°C	44.0	43.0	45.0	44.0	43.0	43.0	41.0	40.0	40.0	39.0	39.0	39.0	45.0
A	MÁXIMA	°C	32.7	33.8	34.8	35.6	36.0	35.3	35.1	34.8	34.4	33.6	32.8	31.7	34.2
A	MEDIA	°C	24.3	25.1	25.8	27.0	28.2	27.7	27.5	27.3	27.2	26.4	25.3	23.8	26.3
A	MÍNIMA	°C	15.8	16.4	16.8	18.4	20.4	20.1	19.9	19.8	20.1	19.3	17.8	15.9	18.4
A	MÍNIMA EXTREMA	°C	6.0	8.0	9.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	7.0	6.0
E	OSCILACION	°C	16.9	17.4	18.0	17.2	15.6	15.2	15.2	15.0	14.3	14.3	15.0	15.8	15.8

HUMEDAD

E	TEMP.BULBO HÚMEDO	°C	19.9	20.2	20.8	22.5	23.8	24.7	24.6	24.7	24.7	23.5	22.1	20.6	22.7
E	H.R. MÁXIMA	%	97	95	88	89	85	96	97	98	100	100	100	100	95.5
D	H.R. MEDIA	%	70	68	63	64	63	71	72	73	76	75	75	73	70.3
E	H.R. MÍNIMA	%	43	41	38	39	41	46	47	48	52	50	50	46	45.0
E	PRESIÓN DE VAPOR MEDIA	hPa	20.40	20.00	21.70	22.90	25.10	27.10	27.50	27.90	28.40	26.00	23.40	21.30	24.3
B	EVAPORACIÓN	mm	102.9	119.3	142.4	155.1	167.6	155.1	163.3	149.2	119.2	115.9	103.6	104.7	1,598.3

PRESIÓN

D	MEDIA	hPa	1,014.9	1,012.7	1,010.4	1,008.8	1,009.4	1,010.3	1,012.7	1,009.1	1,008.1	1,011.6	1,010.8	1,014.4	1,011.1
---	-------	-----	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

PRECIPITACIÓN

A	MEDIA (TOTAL)	mm	48.9	44.3	43.9	38.0	90.5	150.7	161.9	141.2	290.2	157.1	62.8	53.3	1,282.8
A	MÁXIMA	mm	184.5	252.0	160.8	169.2	266.0	322.8	405.0	223.7	1231.8	493.6	169.2	232.5	1,231.8
A	MÁXIMA EN 24 HRS.	mm	60.0	54.0	80.0	60.0	124.5	104.7	51.5	67.8	193.5	117.8	60.0	45.4	193.5
A	MÁXIMA EN 1 HR.	mm	57.8	30.0	32.5	35.6	71.7	81.3	65.0	67.0	50.0	43.5	60.0	46.4	81.3
B	MÍNIMA	mm	0.5	0.5	0.6	0.5	2.0	40.0	70.3	41.6	55.5	15.2	1.0	0.5	0.5

RADIACIÓN SOLAR															
C	RADIACIÓN MÁXIMA DIRECTA	W/m ²	358.0	369.0	405.0	433.0	486.0	463.0	479.0	490.0	457.0	383.0	471.0	336.0	427.5
E	RADIACIÓN MÁXIMA DIFUSA	W/m ²	182.0	201.0	218.0	226.0	221.0	220.0	219.0	218.0	215.0	205.0	171.0	176.0	206.0
C	RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL	W/m²	540.0	570.0	623.0	659.0	707.0	683.0	698.0	708.0	672.0	588.0	642.0	512.0	633.5
	INSOLACIÓN TOTAL	h	179.0	188.0	223.0	234.0	268.0	212.0	193.0	212.0	183.0	196.0	182.0	158.0	2,428.0

FENOMENOS ESPECIALES															
A	LLUVIA APRECIABLE	días	3.9	3.4	3.1	2.3	5.4	10.0	13.4	11.8	13.6	10.6	4.7	4.1	86.3
B	LLUVIA INAPRECIABLE	días	3.0	2.1	1.7	1.5	2.1	3.6	3.4	3.4	2.8	3.6	2.5	2.2	32.0
B	DÍAS DESPEJADOS	días	7.8	8.2	12.1	10.4	7.7	3.7	3.6	3.6	2.7	8.4	8.4	7.9	84.5
B	MEDIO NUBLADOS	días	18.3	16.2	13.0	17.4	17.8	16.3	20.2	19.8	18.5	16.9	16.0	15.3	205.7
B	DÍAS NUBLADOS	días	4.9	3.6	5.9	2.2	5.5	10.0	7.3	7.5	8.8	5.8	5.6	7.8	74.9
B	DÍAS CON ROCÍO	días	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A	DÍAS CON GRANIZO	días	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
B	DÍAS CON HELADAS	días	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A	DÍAS CON TORM. ELÉCTRICA	días	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
A	DÍAS CON NIEBLA	días	2.6	1.6	0.3	0.3	0.1	2.3	1.7	1.9	3.5	4.7	2.1	1.5	22.6
B	DÍAS CON NEVADA	días	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	VISIBILIDAD DOMINANTE	km	4.0	0.5	10.0	1.0	0.5	10.0	0.2	0.2	4.0	0.2	0.2	0.2	2.6

VIENTO															
D	DIRECCIÓN DOMINANTE		ESE	ESE	ESE	SE	ESE	ESE	ESE	ESE	ESE	NE	NNE	NNE	ESE
D	CALMAS	%	32.7	30.6	26.8	27.6	31.0	27.5	35.6	49.4	55.2	40.0	32.1	36.2	35.4
D	VELOCIDAD MEDIA	m/s	2.5	2.7	2.8	3.1	2.6	2.6	2.4	1.9	2.0	2.3	2.4	2.3	2.5
D	VELOCIDAD MÁXIMA	m/s	3.6	4.1	4.7	4.8	4.5	3.5	4.0	3.0	3.0	3.3	3.8	3.5	3.8
D	MÁXIMO DIARIO	m/s	8.5	9.2	10.3	10.5	10.7	10.3	10.5	9.8	8.8	8.2	8.3	8.3	9.5

A Normales Climatológicas, Observatorio Sinóptico (1981-2010), Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua [<http://smn.cna.gob.mx/>]

B Normales Climatológicas de la red sinóptica básica de superficie y estaciones climatológicas de primer orden, (1951,1980) Col. Escandón Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos D.G.S.M.N. (Periodo 30 años)

C Cálculo de la Radiación Solar Instantánea en la República Mexicana. J.F. Zayas I.I. UNAM 472. 1983

D Atlas del Agua - Wind Finder. Aeropuerto de Mérida.

E Datos calculados.

E2 Datos calculados con base en los algoritmos del Dr. Adalberto Tejeda M., Programa para el cálculo de la Humedad Relativa. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. s/f

F Cf. NOAA - National Geophysical Data Center. National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/>

G Cf. Environment Canada. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=5FBF816A-1>

H Cf. Environment Canada. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=86C0425B-1#h2>

I Cf. García, Enriqueta. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Talleres de Offset Larios, S.A., México. D.F. 1988

J Cf. Schjetnan, Mario; Figueroa, Anibal y Fuentes F., Víctor. Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura. IMSS 7300, México, D.F. 1991

Paralelamente a la clasificación climática de Köppen-García, se determinó la agrupación bioclimática del sitio en estudio. Este sistema bioclimático tiene por objeto la agrupación simplificada de localidades de acuerdo a sus requerimientos bioclimáticos; no pretende sustituir a la primera clasificación, sino complementarse con ella desde el punto de vista de diseño bioclimático (Fuentes y Figueroa, 1989).

Este sistema de agrupación se basa en la relación de la temperatura media del mes más caluroso con la precipitación pluvial total anual. La primera determina los requerimientos de calentamiento o enfriamiento para la estación más cálida del año, mientras que la segunda determina los requerimientos de humidificación o deshumidificación. La figura 2 muestra esquemáticamente la relación y los límites entre ambas variables climáticas encargadas de definir cada uno de los bioclimas locales según las condiciones ambientales del sitio en que se ubiquen.

		Precipitación Pluvial Total Anual			
		650mm	1000mm		Temperatura Media del Mes más Caluroso
26°C	26°C	Cálido Seco	Cálido	Cálido Húmedo	
	21°C	Templado Seco	Templado	Templado Húmedo	
	21°C	Semi-Frío Seco	Semi-Frío	Semi-Frío Húmedo	

Fig. 2. Sistema de agrupación bioclimática local a partir de la temperatura media del mes más caluroso y la precipitación pluvial anual (Fuentes y Figueroa, 1989).

Con base en lo anterior, la agrupación bioclimática de la zona de estudio corresponde al bioclima *Cálido Húmedo*, ya que la temperatura media del mes más caluroso (mayo) es 28.2°C y la precipitación pluvial anual es de 1 282.8 mm, lo que representa un régimen de lluvias alto.

1.3. Análisis Paramétrico

El análisis paramétrico consiste en analizar cada una de las variables, o parámetros climáticos, con el fin de observar su comportamiento mensual y anual durante el periodo de tiempo definido; con ello se pretende definir las características climáticas y los requerimientos bioclimáticos básicos.

Para este análisis se requiere establecer parámetros de referencia; en algunos casos son zonas o rangos de confort, en otros límites de referencia o interrelación de dos parámetros.

1.3.1. Temperatura

En parámetro de referencia para analizar las temperaturas es la zona de confort, la cual se define a partir de la Temperatura Neutra (T_n), empleado la ecuación lineal de Auliciems (Auliciems y Szokolay, 1997):

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_{med}$$

Este modelo de confort plantea aplicar una amplitud térmica de $\pm 2.5K$ sobre la T_n para periodos anuales. De esta manera, los Límites Superior e Inferior de la Zona de Confort (ZC_s y ZC_i , respectivamente) para Mérida quedan definidos de la siguiente manera:

$$ZC_s = 28.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_n = 25.8$$

$$ZC_i = 23.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura óptima de confort anual —Temperatura neutra (T_n)— es de 25.8°C , con un rango aceptable (Zona de Confort) entre los 23.3°C y 28.3°C . La temperatura media (T_{med}) anual es de 26.3°C ; la media del mes más caluroso es de 28.2°C en mayo y la media del mes más frío es de 23.8°C en diciembre.

Todo el año es caluroso, ya que las temperaturas máximas (T_{max}) de todos meses se encuentran por arriba de la zona de confort —generalmente alrededor de las 15:00h—(Fig3). Incluso de abril a julio las temperaturas máximas promedio superan los 35°C . Mientras que las temperaturas medias (T_{med}) durante todo el año se encuentran dentro de la zona de confort; y las mínimas (T_{min}) todo el año se encuentran por debajo de la zona de confort —generalmente alrededor de las 06:00h—.

Se puede observar que las temperaturas máximas extremas en todos los meses, pueden llegar a sobrepasar los 39°C ; incluso en el mes de abril se puede sobrepasar los 45°C . Del mismo modo las temperaturas mínimas extremas en invierno, pueden descender por debajo de los 6°C .

La oscilación anual de temperatura es muy baja, corresponde a 3.7 K , por lo que se considera un clima isotermal; mientras que la oscilación diaria promedio anual es alta, corresponde a 15.8 K .

TEMPERATURAS Y ZONA DE CONFORT TÉRMICO

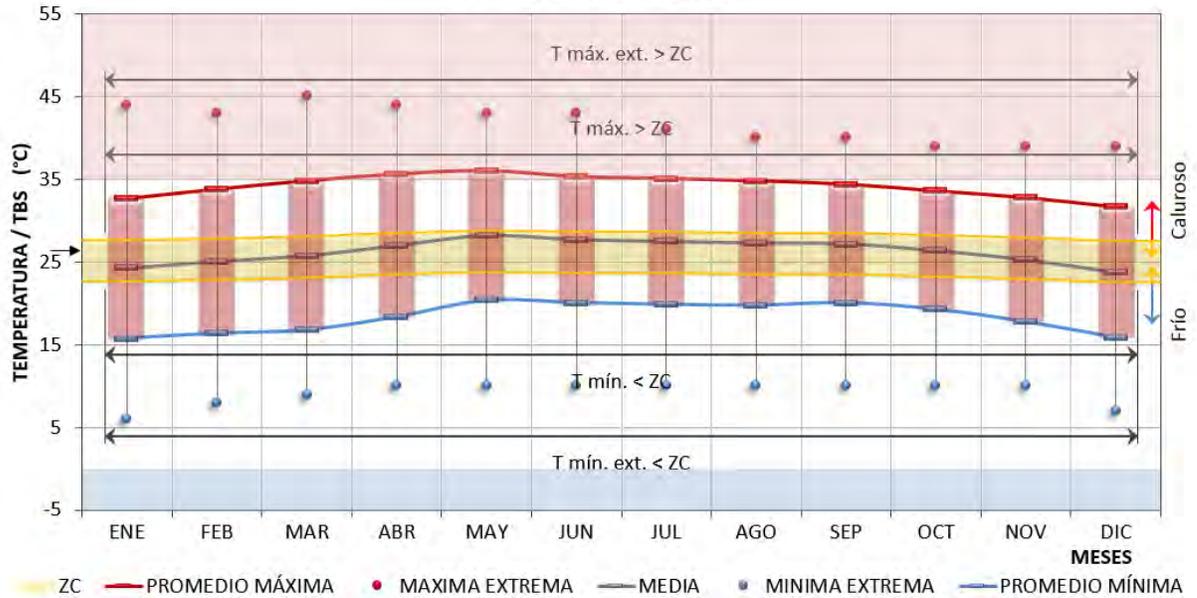


Fig. 3. Comportamiento de la temperatura

Al observar los datos horarios de temperatura se aprecia que el periodo de sobrecalentamiento se presenta todos los meses entre las 12 y 21 horas. Analizando estos datos se obtiene que el 36.5 % de las horas se encuentran por debajo del confort; y por lo tanto se presentan requerimientos de calentamiento. El 21.5 % de las horas están dentro de la zona de confort y el 42 % se encuentra por arriba de esta zona presentándose requerimientos de enfriamiento.

PROM. TEMP.		TEMPERATURAS HORARIAS																								BC	CF	SC	
Min.	Max.	HORA	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	%	%	%
15.8	32.7	ENE	16.0	15.8	16.3	17.8	20.0	22.8	25.7	28.5	30.7	32.2	32.7	32.5	32.0	31.1	29.9	28.5	26.9	25.1	23.4	21.6	20.0	18.6	17.4	16.5	41.7	20.8	37.5
16.4	33.8	FEB	16.6	16.4	16.9	18.4	20.8	23.6	26.6	29.5	31.8	33.3	33.8	33.6	33.0	32.1	30.9	29.5	27.8	26.0	24.2	22.4	20.8	19.3	18.1	17.2	41.7	20.8	37.5
16.8	34.8	MAR	17.0	16.8	17.3	18.9	21.3	24.2	27.4	30.3	32.7	34.3	34.8	34.6	34.0	33.1	31.8	30.3	28.6	26.7	24.9	23.0	21.3	19.8	18.5	17.6	41.7	16.7	41.7
18.4	35.6	ABR	18.6	18.4	18.9	20.4	22.7	25.5	28.5	31.3	33.6	35.1	35.6	35.4	34.9	34.0	32.8	31.3	29.7	27.9	26.1	24.3	22.7	21.2	20.0	19.1	37.5	20.8	41.7
20.4	36.0	MAY	20.6	20.4	20.9	22.2	24.3	26.8	29.6	32.1	34.2	35.5	36.0	35.8	35.3	34.5	33.4	32.1	30.6	29.0	27.4	25.8	24.3	23.0	21.9	21.1	29.2	20.8	50.0
20.1	35.3	JUN	20.3	20.1	20.6	21.9	23.9	26.4	29.0	31.5	33.5	34.8	35.3	35.1	34.6	33.8	32.8	31.5	30.0	28.5	26.9	25.4	23.9	22.6	21.6	20.8	29.2	25.0	45.8
19.9	35.1	JUL	20.1	19.9	20.4	21.7	23.7	26.2	28.8	31.3	33.3	34.6	35.1	34.9	34.4	33.6	32.6	31.3	29.8	28.3	26.7	25.2	23.7	22.4	21.4	20.6	29.2	25.0	45.8
19.8	34.8	AGO	20.0	19.8	20.3	21.6	23.6	26.0	28.6	31.1	33.0	34.3	34.8	34.6	34.2	33.4	32.3	31.1	29.6	28.1	26.5	25.0	23.6	22.3	21.2	20.4	37.5	16.7	45.8
20.1	34.4	SEP	20.3	20.1	20.5	21.8	23.7	26.0	28.5	30.8	32.7	34.0	34.4	34.2	33.8	33.0	32.0	30.8	29.5	28.0	26.5	25.0	23.7	22.5	21.5	20.7	29.2	29.2	41.7
19.3	33.6	OCT	19.5	19.3	19.7	21.0	22.9	25.2	27.7	30.0	31.9	33.2	33.6	33.4	33.0	32.2	31.2	30.0	28.7	27.2	25.7	24.2	22.9	21.7	20.7	19.9	37.5	20.8	41.7
17.8	32.8	NOV	18.0	17.8	18.3	19.6	21.6	24.0	26.6	29.1	31.0	32.3	32.8	32.6	32.2	31.4	30.3	29.1	27.6	26.1	24.5	23.0	21.6	20.3	19.2	18.4	37.5	25.0	37.5
15.9	31.7	DIC	16.1	15.9	16.4	17.7	19.9	22.4	25.2	27.8	29.9	31.2	31.7	31.5	31.0	30.2	29.1	27.8	26.2	24.6	23.0	21.4	19.9	18.5	17.4	16.6	45.8	16.7	37.5
18.4	34.2	ANUAL	18.6	18.4	18.9	20.2	22.3	24.9	27.7	30.3	32.4	33.7	34.2	34.0	33.5	32.7	31.6	30.3	28.7	27.1	25.5	23.9	22.3	21.0	19.9	19.1	36.5	21.5	42.0

Tabla 2. Datos horarios de Temperatura

Temperatura	Comportamiento	Total (%)
	Sobrecalentamiento (SC)	42.0
	Confort (CF)	21.5
	Bajo Calentamiento (BC)	36.5

Tabla 3. Porcentajes del comportamiento térmico

De acuerdo con la tabla de temperaturas horarias (tabla 2), la temperatura más elevada del día comprende entre las 14:00h - 16:00h, mientras que la temperatura mínima da lugar alrededor de las 06:00h. De igual manera, es posible apreciar el recorrido horario de las temperaturas diarias desde dos criterios distintos de trazado:

- *Isotermas trazadas a partir del umbral de confort térmico mensual (figura 4).* En este gráfico, el trazado de las isolíneas converge en las temperaturas comprendidas en un rango de igual valor. Estos rangos, con amplitud de 2K —para el caso específico en estudio.

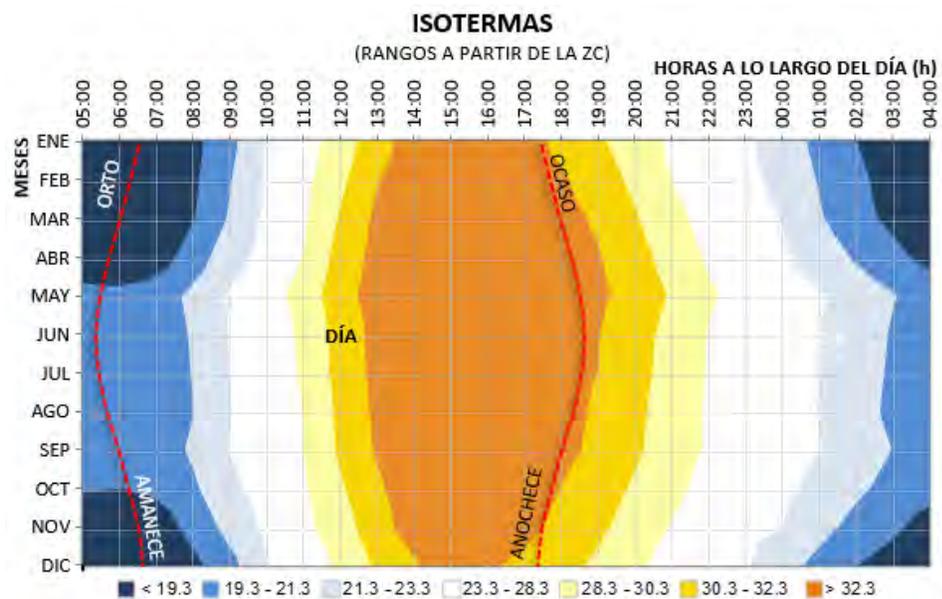


Fig. 4. Isotermas horarias trazadas a partir del umbral de confort térmico estimado para cada mes

Con esto, es posible visualizar la zona de confort térmico y las zonas de sobrecalentamiento y bajo calentamiento a lo largo de año. El mes más caluroso es abril.

- *Isotermas trazadas a partir de la estratificación térmica diaria* (figura 5). El trazado de esta gráfica se basa en rangos de igual valor de temperatura; en este caso la variación se fijó en 5 K. Esta estratificación térmica permite evaluar las variaciones horarias de manera más detallada.

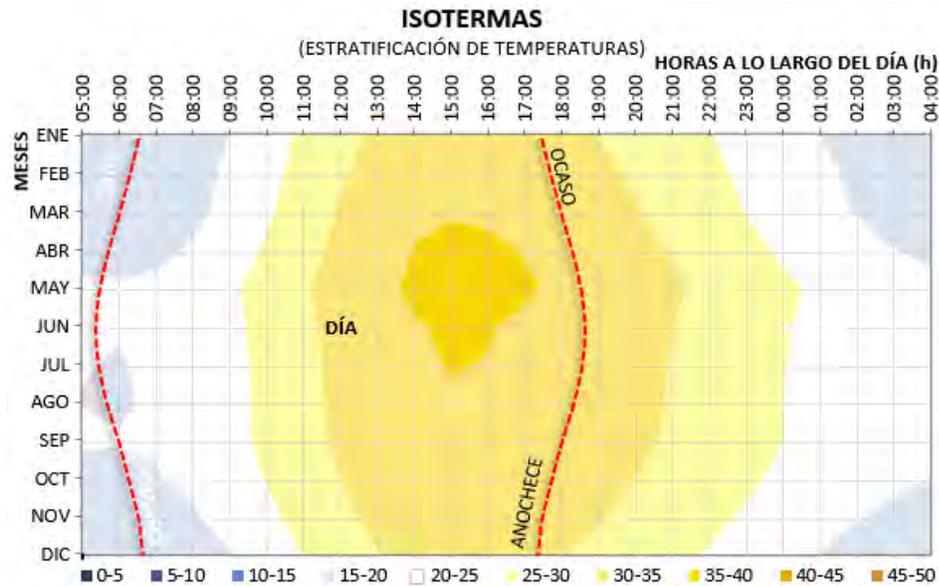


Fig. 5. Isotermas horarias trazadas a partir de la estratificación térmica diaria de cada mes

En la figura 5 se aprecia el comportamiento horario de las temperaturas a lo largo del día. Como puede observarse, los días con mayor temperatura se presentan durante los meses de primavera, mientras que aquellos con menor temperatura se presentan en los meses de invierno.

1.3.2. Humedad Relativa

El parámetro de referencia para el análisis del confort higrico es 50% con un rango de confort de $\pm 20\%$, es decir entre 30 % y 70%.

Con base en los datos climáticos de Mérida, la Humedad Relativa media (HR_{med}) anual 70.3% con una oscilación anual promedio de 14.4%. En el mes más seco (marzo) se presenta una HR_{med} igual a 45%, mientras que en el mes más húmedo (septiembre) 95.5%.

La figura 6 muestra el comportamiento mensual de la Humedad Relativa a lo largo del año. En la gráfica se aprecia que durante todo el año la Humedad Relativa máxima (HR_{max}) —presente generalmente a las 6:00 h— sobrepasa la zona de confort por arriba de 85%, y a excepción de marzo, abril y mayo se supera el 90%; lo cual indica posible condensación de la humedad.

La Humedad Relativa media (HR_{med}) se encuentra dentro de la zona de confort de febrero a mayo; los demás meses se sale de confort. La Humedad Relativa mínima (HR_{min}) nunca desciende por debajo del límite confort de 30%.

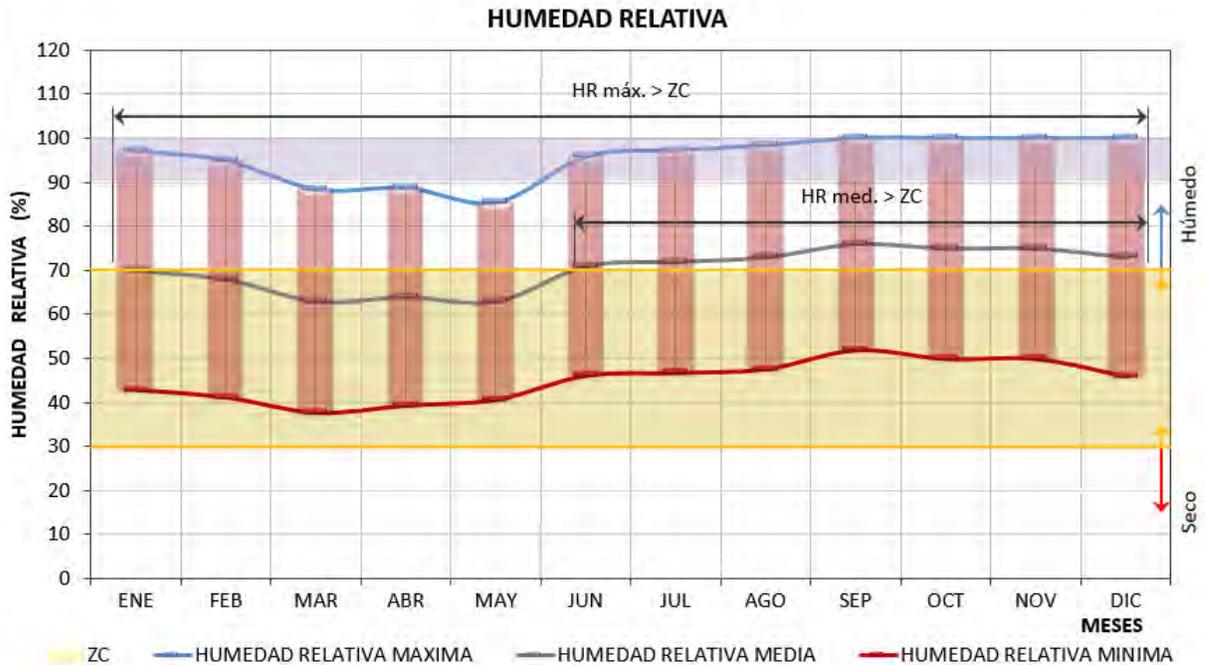


Fig. 6. Comportamiento de la humedad relativa

El análisis horario de la Humedad Relativa (tabla 4) muestra requerimientos de des-humidificación en un 50.3 % del año —Las altas humedades se presentan en general desde las 23 h hasta las 10 am. El resto del tiempo las humedades son confortables entre las 11 y 22 h. el porcentaje de humedades dentro de confort es el 49.7 %. (tabla 5).

PROM. HUM.		HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS																								HB	CF	HA	
Min.	Max.	HORA	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	%	%	%
42.9	97.1	ENE	96.5	97.1	95.5	90.8	83.6	74.7	65.3	56.4	49.2	44.5	42.9	43.5	45.2	48.1	51.9	56.4	61.6	67.2	72.8	78.4	83.6	88.1	91.9	94.8	0.0	50.0	50.0
41.1	94.9	FEB	94.3	94.9	93.3	88.6	81.4	72.7	63.3	54.6	47.4	42.7	41.1	41.7	43.4	46.3	50.0	54.6	59.7	65.2	70.8	76.3	81.4	86.0	89.7	92.6	0.0	50.0	50.0
37.6	88.4	MAR	87.8	88.4	86.9	82.5	75.7	67.4	58.6	50.3	43.5	39.1	37.6	38.2	39.8	42.5	46.0	50.3	55.2	60.3	65.7	70.8	75.7	80.0	83.5	86.2	0.0	58.3	41.7
39.3	88.7	ABR	88.2	88.7	87.2	82.9	75.4	68.3	59.7	51.6	45.1	40.8	39.3	39.8	41.4	44.0	47.4	51.6	56.4	61.4	66.6	71.6	76.4	80.6	84.0	86.6	0.0	58.3	41.7
40.6	85.4	MAY	84.9	85.4	84.1	80.2	74.2	66.9	59.1	51.8	45.8	41.9	40.6	41.1	42.5	44.9	48.0	51.8	56.1	60.7	65.3	69.9	74.2	78.0	81.1	83.5	0.0	62.5	37.5
48.1	85.3	JUN	95.3	95.9	94.4	90.0	83.4	75.3	66.7	58.6	52.0	47.6	46.1	46.7	48.3	50.9	54.4	58.6	63.3	68.4	73.6	78.7	83.4	87.6	91.1	93.7	0.0	50.0	50.0
48.8	87.2	JUL	96.7	97.2	95.7	91.3	84.8	76.4	67.6	59.4	52.7	48.3	46.8	47.3	48.9	51.6	55.1	59.4	64.2	69.4	74.6	79.2	84.6	88.9	92.4	95.1	0.0	50.0	50.0
47.6	88.4	AGO	97.6	98.4	96.8	92.4	85.7	77.4	68.6	60.3	53.6	49.2	47.6	48.2	49.8	52.5	56.0	60.3	65.2	70.3	75.7	80.8	85.7	90.0	93.5	96.2	0.0	45.8	54.2
52.0	100.0	SEP	99.5	100.0	98.6	94.4	88.0	80.2	71.8	64.0	57.6	53.4	52.0	52.5	54.1	56.6	59.9	64.0	68.6	73.5	78.5	83.4	88.0	92.1	95.4	97.9	0.0	41.7	58.3
50.0	100.0	OCT	99.5	100.0	98.5	94.2	87.5	79.3	70.7	62.5	55.8	51.5	50.0	50.5	52.2	54.8	58.3	62.5	67.3	72.4	77.6	82.7	87.5	91.7	95.2	97.8	0.0	41.7	58.3
50.0	100.0	NOV	99.5	100.0	98.5	94.2	87.5	79.3	70.7	62.5	55.8	51.5	50.0	50.5	52.2	54.8	58.3	62.5	67.3	72.4	77.6	82.7	87.5	91.7	95.2	97.8	0.0	41.7	58.3
46.0	100.0	DIC	99.4	100.0	98.4	93.7	86.5	77.7	68.3	59.5	52.3	47.6	46.0	46.6	48.5	51.2	54.9	59.5	64.7	70.2	75.8	81.3	86.5	91.1	94.8	97.7	0.0	45.8	54.2
45.0	95.2	ANUAL	95.0	95.5	94.0	89.6	82.9	74.6	65.9	57.6	50.9	46.5	45.0	45.5	47.2	49.8	53.4	57.6	62.4	67.6	72.9	78.1	82.9	87.1	90.7	93.3	0.0	49.7	50.3

Tabla 4. Humedad Relativa horaria

	Comportamiento Hígrico	Total (%)
Humedad Relativa	Humedad Baja (HB)	0
	Confort (CF)	49.7
	Humedad Alta (HA)	50.3

Tabla 5. Porcentajes del comportamiento de la humedad relativa

De acuerdo a la gráfica horaria de *Humedad Relativa* (Tabla 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), la Humedad Relativa más baja del día comprende de las 14:00h a las 16:00h, mientras que la Humedad Relativa máxima se presenta en las primeras horas del día, siendo las más alta alrededor de las 06:00h. Al igual que las temperaturas, es posible apreciar el recorrido horario de las humedades relativas diarias desde dos criterios distintos de trazado:

- *Isohigras trazadas a partir del umbral de confort higrico anual* (figura 7). En este gráfico, el trazado de las isolíneas converge en las HR comprendidas en un rango de igual valor. Estos rangos, con amplitud de 5% —para el caso específico en estudio—, resultan equidistantes al umbral de confort higrico anual considerado (de 30% a 70)

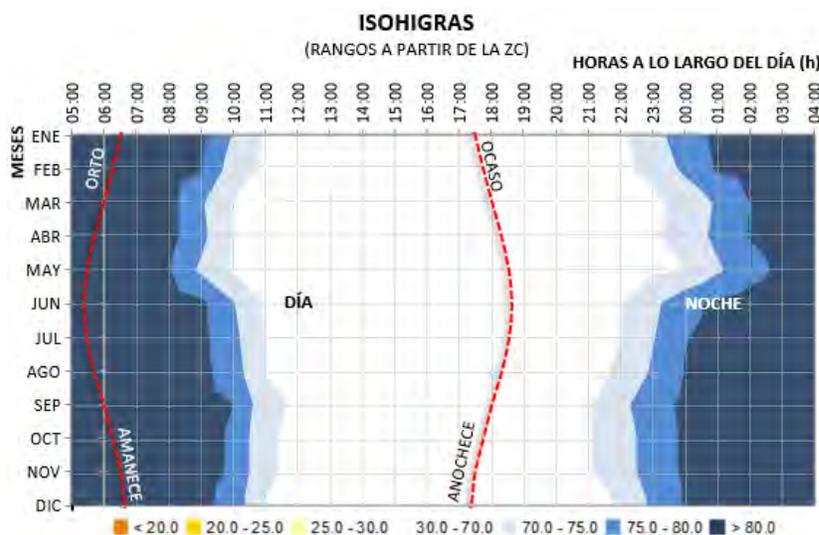


Fig. 7. Isohigras horarias trazadas a partir del umbral de confort higrico considerado de 30% - 70% HR

- *Isohigras trazadas a partir de la estratificación higrca diaria (figura 8). El factor determinante que permite el trazo de las isolíneas en este gráfico se centra en el conjunto de Humedades relativas que convergen en rangos de humedad de igual valor. La amplitud de dichos rangos es de 5%, lo que permite analizar los horarios y meses donde se acentúan las peores o mejores condiciones de humedad a lo largo del año.*

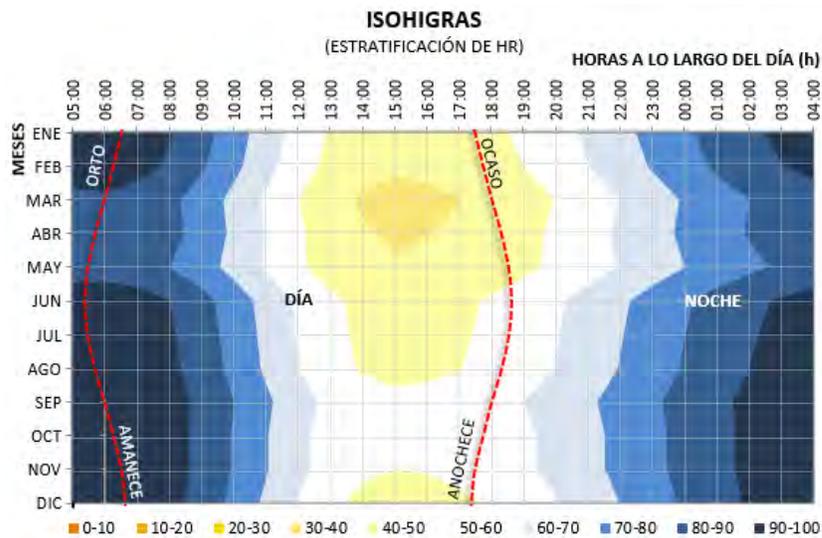


Fig. 8. Isohigras horarias trazadas a partir de la estratificación diaria de HR

1.3.3. Precipitación Pluvial y Evaporación

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN)¹², la precipitación pluvial se define como el conjunto de partículas de agua líquidas o sólidas que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. Con base en Fuentes (2004, p.169):

“La precipitación total anual sirve para definir si una localidad es seca, de precipitación moderada o húmeda (...); en términos generales, el rango definido para una precipitación moderada está comprendido entre los 650 mm y 1000 mm. Por debajo de esta cifra la localidad será seca y por arriba será húmeda¹³”

¹² *Glosario de Términos del Servicio Meteorológico Nacional*, Comisión Nacional del Agua, México [on-line]. Disponible en: smn.cna.gob.mx/glosario/glosario.html [Consultado el 11 de octubre de 2013].

¹³ Generalmente, un sitio que presenta lluvias anuales inferiores a los 400 mm se considera con clima desértico (Fuentes, 2004).

Con lo anterior, el clima de Mérida es de precipitación alta al presentarse una anual de 1,282.8 mm. Sin embargo, de acuerdo con la intensidad en que se presentan las precipitaciones¹⁴, se pueden apreciar tres periodos de lluvia a lo largo del año (figura 9):

- *Precipitación baja (escasa)*: Durante el mes abril las precipitaciones son inferiores a los 40 mm. Con una precipitación total de 38 mm; muy cerca del límite de precipitaciones medias.
- *Precipitación media (moderada)*: con precipitaciones entre los 40 mm y 150 mm Comprende los meses de noviembre a marzo y mayo y agosto.
- *Precipitación alta (intensa)*: La precipitación alta, mayor a 150 mm en un mes, se presenta de junio a octubre; con presencia de canícula en agosto; siendo la mayor en septiembre con 290.2 mm. Cabe señalar que esta alta precipitación se da también debido a la época de huracanes.

Septiembre es el mes con mayor precipitación total, y también el que presenta la mayor precipitación diaria. El mes con menor lluvia es abril.

Si se relaciona la evaporación y la precipitación en un mismo escenario (figura 9) se puede apreciar que agosto a octubre la precipitación es mayor que la evaporación, siendo ésta la época de lluvias intensas.

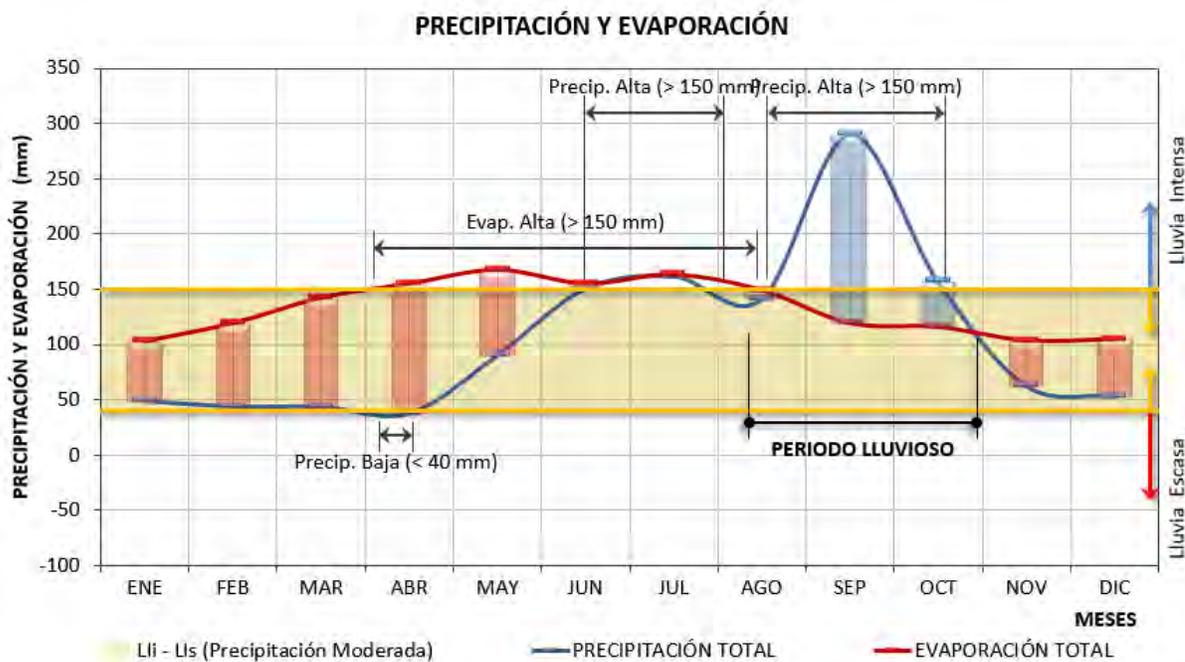


Fig. 9. Comportamiento mensual de la precipitación pluvial y la evaporación

¹⁴ Se considera lluvia fuerte cuando se sobrepasan los 150mm de precipitación total mensual y poca lluvia cuando no se alcanzan los 40 mm (Fuentes, 2004).

Asimismo, al comparar la temperatura con la precipitación pluvial (Índice Ombrotérmico) se puede observar que el periodo lluvioso se presenta de mediados de principios de mayo a mediados de noviembre (figura 10). Los meses relativamente con poca precipitación son de diciembre a abril.

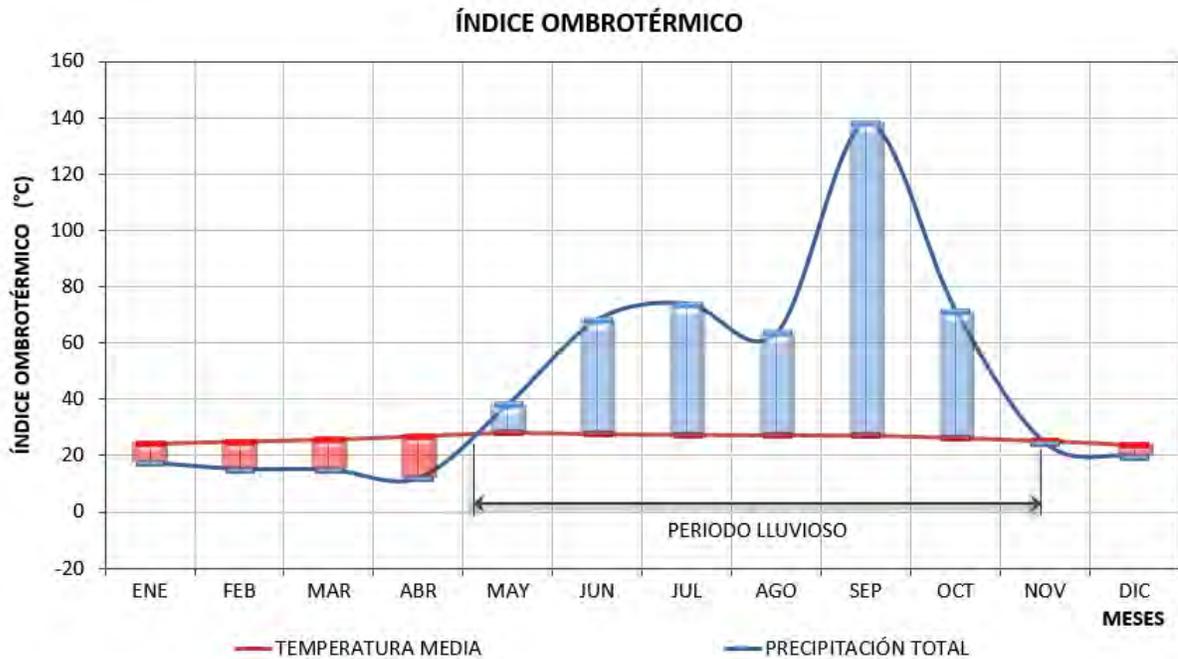


Fig. 10. Índice Ombrotérmico. Comportamiento mensual de la precipitación pluvial con respecto a la temperatura

1.3.4. Radiación Solar

De acuerdo con la figura 11, la Radiación Solar Total máxima diaria (es decir a las 12:00 h) en la zona de estudio es alta de mayo a agosto, al presentar registros superiores a los 700.0 W/m². pero por muy poco. La radiación total máxima se presenta en agosto (708.0 W/m²) y la mínima en diciembre (512.0 W/m²)

La Radiación Solar Directa máxima diaria (a las 12:00 h) durante todo el año es inferior a los 500 W/m².

La Radiación Solar Difusa se presenta con niveles bajos durante todo el año por debajo de los 226 W/m².

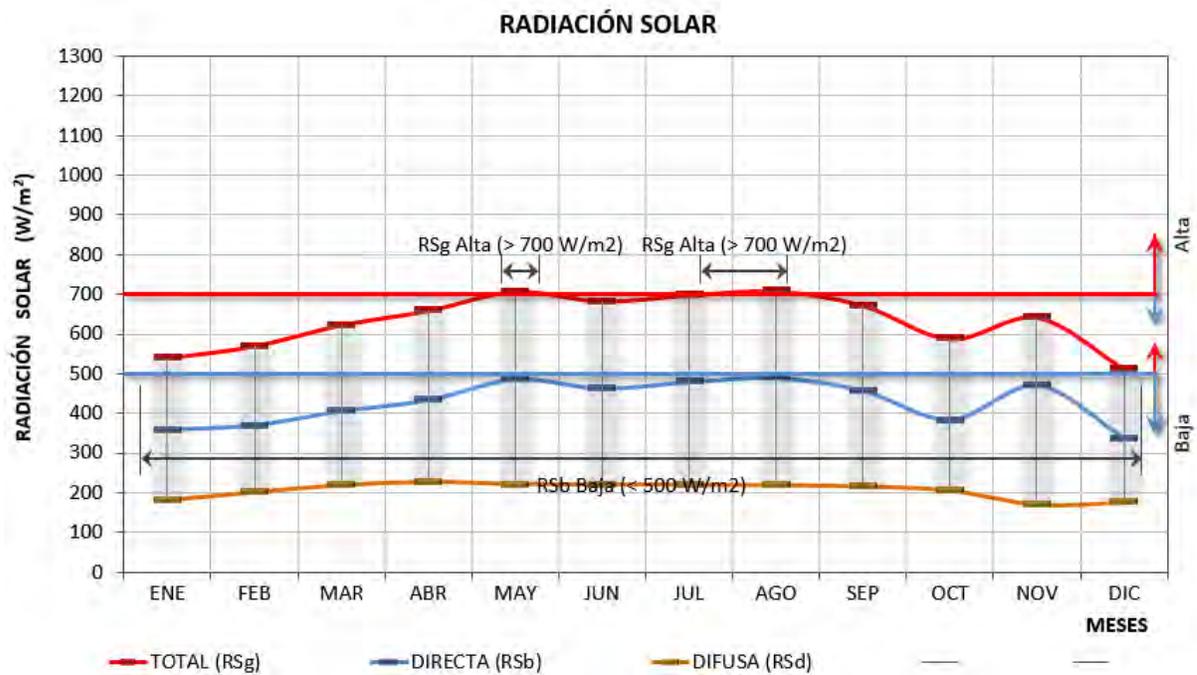


Fig. 11. Radiación solar total, directa y difusa.

De acuerdo a la latitud, el Sol pasa por el cenit los días

- El 26 de mayo, inclinándose hacia el norte.
- El 19 de julio, regresando su declinación hacia el sur.

Lo anterior indica que durante el periodo comprendido entre estas dos fechas el Sol realiza su recorrido hacia el norte. (54 días del año: 14.8 % de los días del año)

1.3.5. Nubosidad

En la ciudad de Mérida predominan los días medio nublados; (52 % del año) Los días despejados solo se presentan el 21.3 %, mientras que los nublados el 19.1 % (figura 12) Correspondiéndose con la precipitación, la mayor nubosidad se presenta en septiembre; mientras que el mayor número de días despejados se presenta en marzo.

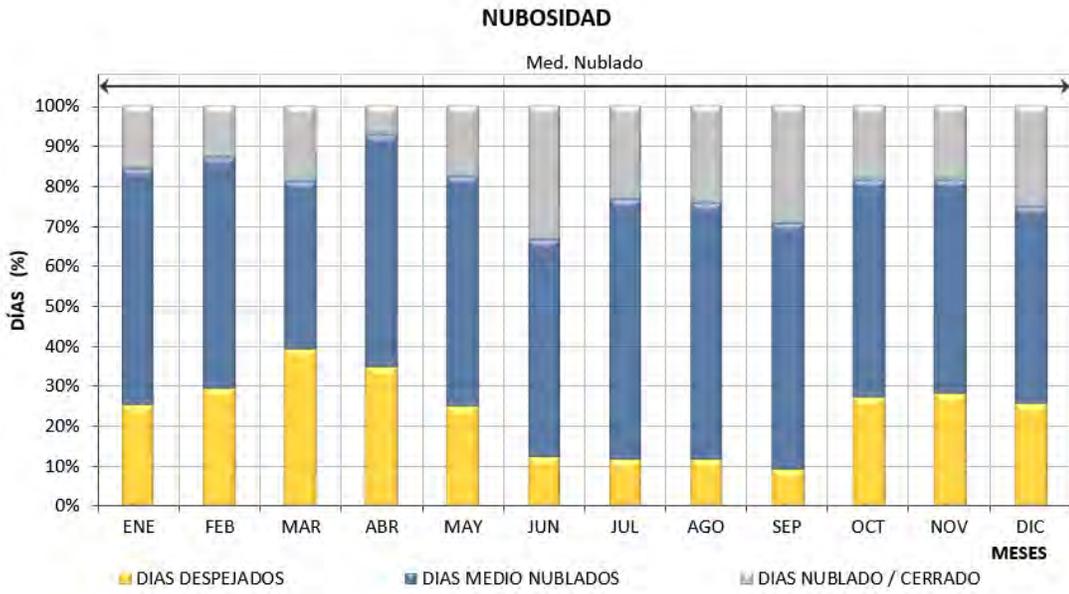


Figura 12. Nubosidad

1.3.6. Viento

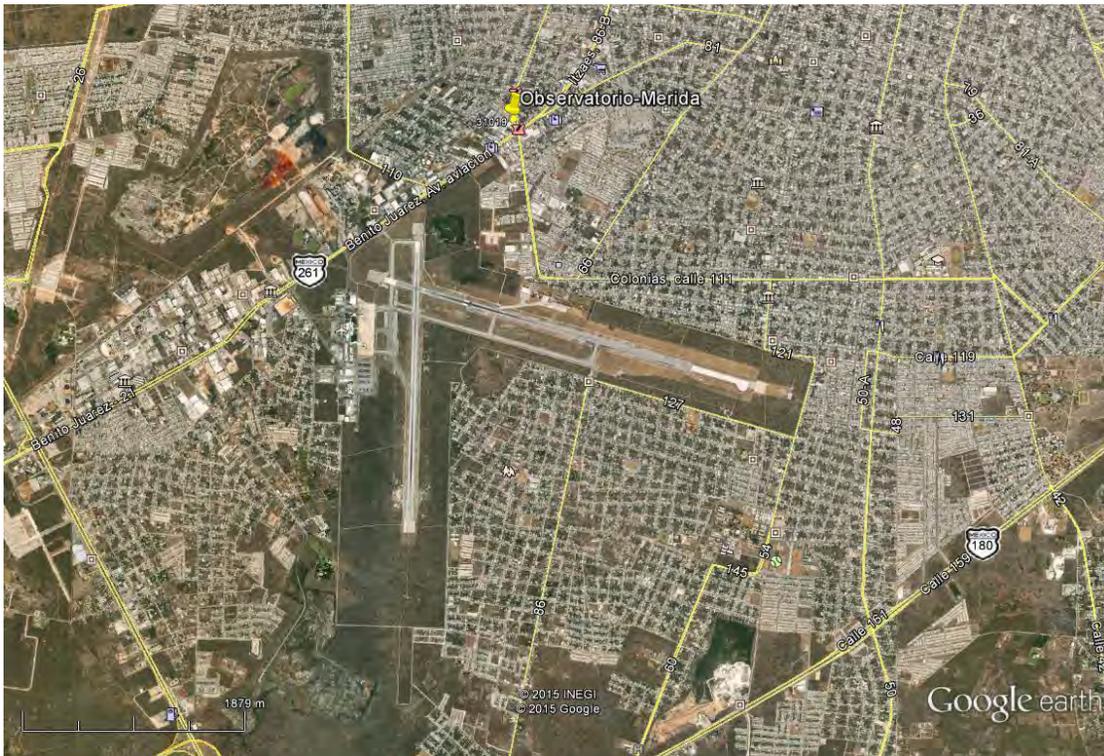


Figura 13. Ubicación del observatorio de Mérida con respecto al aeropuerto

Los datos de viento disponibles la ciudad de Mérida, corresponden al aeropuerto. Aunque se tomaron datos del Atlas del Agua para compararse.

La Tabla 6 muestra los datos de frecuencia y velocidad mensual, anual y por rumbo del viento presentado a lo largo del año.

VIENTO MENSUAL (Frecuencia / Velocidad)													
MESES	PARÁMETRO	UNIDAD	DIRECCIONES								CALMAS (%)	PROMEDIO	MÁXIMA
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW			
ENERO	Frecuencia	%	13.3	16.8	14.8	14.6	2.9	0.0	1.0	3.9	32.7	8.4	16.8
	Velocidad	m/s	3.6	2.6	2.5	2.7	2.5	0.0	1.2	2.6			
FEBRERO	Frecuencia	%	14.1	10.6	11.8	22.2	4.3	0.4	0.4	5.6	30.6	8.7	22.2
	Velocidad	m/s	3.8	3.7	2.7	3.2	4.1	1.0	0.3	3.0			
MARZO	Frecuencia	%	14.5	10.6	11.9	26.5	5.2	0.6	1.3	2.6	26.8	9.2	26.5
	Velocidad	m/s	4.3	2.9	2.4	3.9	4.7	0.9	1.7	1.3			
ABRIL	Frecuencia	%	6.0	9.0	8.0	44.0	2.0	1.3	0.7	1.4	27.6	9.1	44.0
	Velocidad	m/s	4.8	3.4	2.7	3.7	4.8	2.0	1.3	1.9			
MAYO	Frecuencia	%	11.0	13.2	11.7	30.1	0.7	0.7	0.9	0.7	31.0	8.6	30.1
	Velocidad	m/s	3.0	4.5	3.5	3.5	0.8	0.5	2.2	2.8			
JUNIO	Frecuencia	%	6.4	12.0	17.7	33.0	1.0	0.7	1.0	0.7	27.5	9.1	33.0
	Velocidad	m/s	3.3	2.9	2.7	3.4	1.2	0.8	3.5	2.6			
JULIO	Frecuencia	%	4.2	10.9	26.1	20.3	1.9	0.3	0.0	0.7	35.6	8.1	26.1
	Velocidad	m/s	1.8	3.3	3.0	2.8	1.4	0.5	0.0	4.0			
AGOSTO	Frecuencia	%	3.9	6.4	19.4	19.0	0.3	0.3	1.0	0.3	49.4	6.3	19.4
	Velocidad	m/s	2.9	1.5	2.5	2.8	3.0	0.2	0.6	1.5			
SEPTIEMBRE	Frecuencia	%	6.7	7.3	12.7	14.0	1.4	1.3	0.7	0.7	55.2	5.6	14.0
	Velocidad	m/s	2.8	1.7	2.4	3.0	2.2	1.4	0.8	1.3			
OCTUBRE	Frecuencia	%	18.8	19.6	8.3	6.8	1.3	1.0	1.3	2.9	40.0	7.5	19.6
	Velocidad	m/s	3.1	2.7	2.0	2.1	2.4	1.7	1.4	3.3			
NOVIEMBRE	Frecuencia	%	24.7	18.7	8.4	9.7	0.4	0.0	2.0	4.0	32.1	8.5	24.7
	Velocidad	m/s	3.5	3.8	2.4	2.4	0.4	0.0	1.5	3.1			
DICIEMBRE	Frecuencia	%	16.4	14.5	14.9	13.9	1.2	0.7	0.4	1.8	36.2	8.0	16.4
	Velocidad	m/s	3.2	2.9	2.4	3.5	2.0	2.1	0.7	1.4			
ANUAL	Frecuencia	%	11.7	12.5	13.8	21.2	1.9	0.6	0.9	2.1	35.4	8.1	21.2
	Velocidad	m/s	3.3	3.0	2.6	3.1	2.5	1.1	1.4	2.4			

VIENTO	UNIDAD	MESES												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DOMINANTE		NE	SE	SE	SE	SE	SE	E	E	SE	NE	N	N	
REINANTE		N	S	S	N	NE	W	NW	S	SE	NW	NE	N	
MÁXIMA	m/s	3.6	4.1	4.7	4.8	4.5	3.5	4.0	3.0	3.0	3.3	3.8	3.5	
PROMED.	m/s	2.5	2.7	2.8	3.1	2.6	2.6	2.4	1.9	2.0	2.3	2.4	2.3	
CALMAS	(%)	32.7	30.6	26.8	27.6	31.0	27.5	35.6	49.4	55.2	40.0	32.1	36.2	

Tabla 6a. Datos de viento Atlas del Agua.

Mérida, Yucatán			
LATITUD	20°59'		
LONGITUD	89°39'		
ALTITUD	9		msnm

mes		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	% Calmas	prom.	máx.
ENERO	f	4.3	13.9	11.2	10.2	10.2	18.7	13.9	5.3	1.1	0.5	0.5	1.1	0.5	1.6	2.7	4.3	0.0		18.7
	v																		4.0	
FEBRERO	f	4.3	8.1	6.5	7.0	9.1	23.1	19.9	11.3	2.2	0.0	0.0	0.4	1.1	0.5	2.2	4.3	0.0		23.1
	v																		5.0	
MARZO	f	3.2	13.8	9.0	7.9	10.6	19.6	18.0	9.5	2.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	2.6	2.6	0.1		19.6
	v																		5.0	
ABRIL	f	3.2	7.9	3.7	3.7	9.5	24.2	25.8	10.5	1.6	1.1	0.5	0.5	0.4	1.1	2.6	3.7	0.0		25.8
	v																		5.0	
MAYO	f	2.2	9.4	5.5	6.6	16.6	29.3	18.2	6.6	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.5	1.1	2.2	0.1		29.3
	v																		5.0	
JUNIO	f	0.6	2.8	4.4	8.3	21.7	30.0	15.6	6.1	1.7	1.7	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.7	0.0		30.0
	v																		5.0	
JULIO	f	0.6	1.1	3.4	10.8	27.3	34.7	17.0	4.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1		34.7
	v																		4.0	
AGOSTO	f	1.1	5.4	5.4	7.1	20.7	29.9	14.7	6.5	1.6	1.6	0.5	0.0	0.5	1.1	2.2	1.6	0.1		29.9
	v																		4.0	
SEPTIEMBRE	f	1.1	3.3	3.9	8.3	19.9	28.2	17.1	8.8	2.2	1.7	1.1	1.1	0.5	0.5	0.6	1.7	0.0		28.2
	v																		4.0	
OCTUBRE	f	3.3	7.1	8.7	17.9	17.4	17.9	8.2	3.8	1.6	2.2	1.1	0.5	1.6	2.2	2.7	3.8	0.0		17.9
	v																		4.0	
NOVIEMBRE	f	5.7	20.0	15.7	12.9	12.1	13.6	5.7	3.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	2.1	4.3	0.1		20.0
	v																		4.0	
DICIEMBRE	f	4.3	17.1	10.7	10.7	11.4	17.1	17.1	6.4	1.4	0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7	1.4	0.3		17.1
	v																		4.0	
ANUAL	f	2.7	8.8	7.1	9.2	15.6	24.1	16.1	7.0	1.5	0.9	0.5	0.5	0.6	0.8	1.7	2.6	0.3		24.1
	v																		4.4	

Tabla 6b. Datos de viento Wind Finder (Aeropuerto).

A partir de los datos de frecuencia y velocidad se definen los vientos dominantes (la dirección con mayor frecuencia) y los reinantes (la dirección en donde se presenta las velocidades más altas). Como se puede apreciar, en promedio anual el viento proviene del ESE, mientras que los vientos con mayor fuerza provienen del Norte. Predominan los vientos de ESE, sin embargo, en noviembre y diciembre se cargan hacia el norte. Esto puede corroborarse viendo la orientación de las pistas del aeropuerto.

Wind direction distribution in (%)

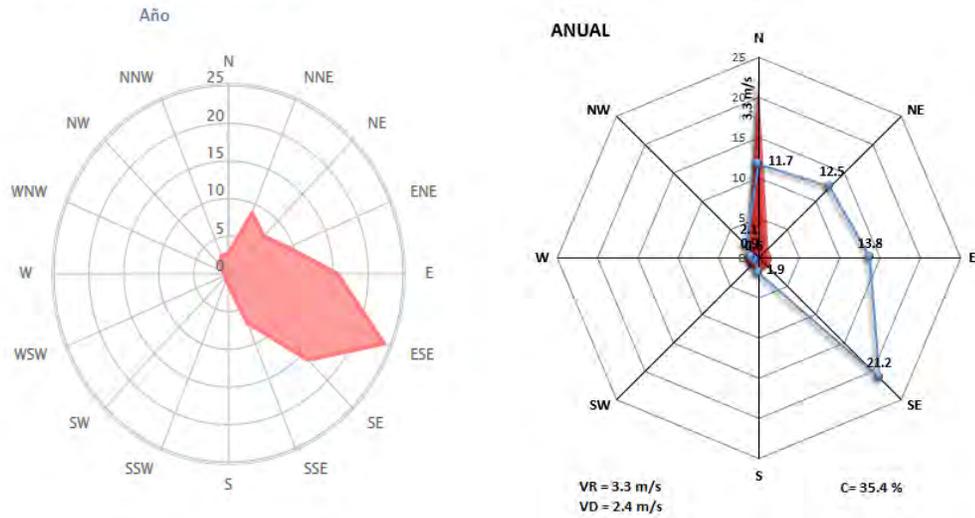


Figura 14. Rosa anual de los vientos (comparación)

Como se aprecia en la rosa de vientos anual, la dirección dominante es ESE con presencia de vientos reinantes del NNE. Las calmas representan el 35.4% y generalmente se presentan en las horas de la mañana. Incrementándose la actividad del viento en las horas de la tarde cuando se presenta la temperatura máxima.

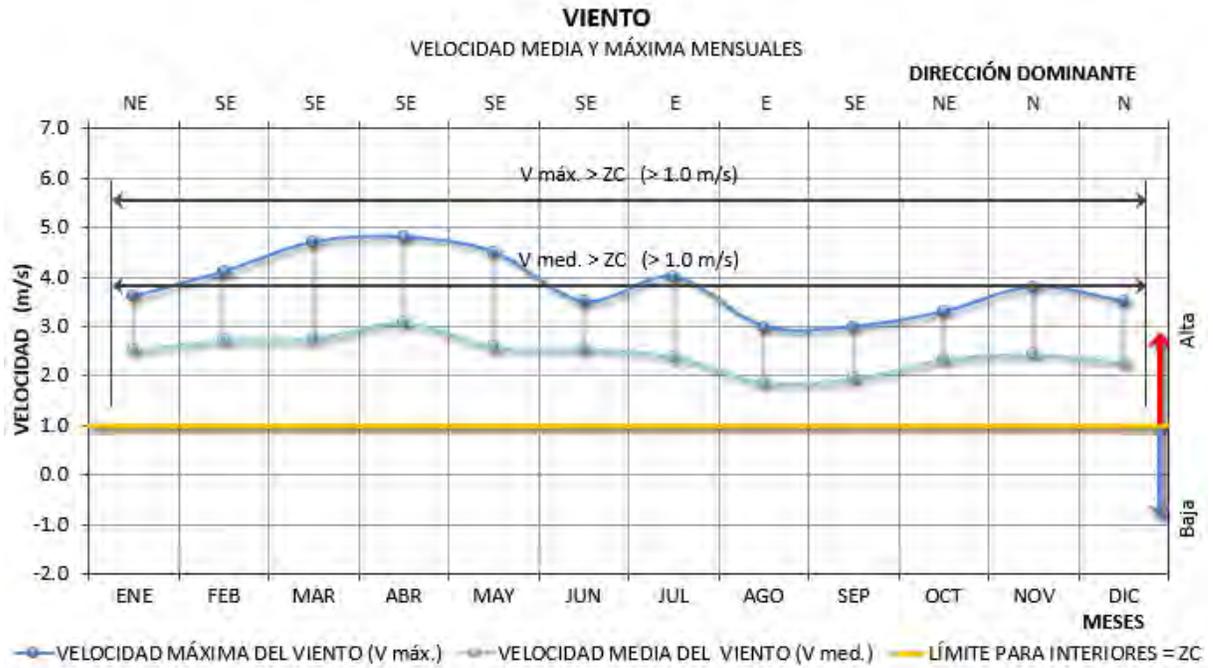


Figura 15. Velocidades de los vientos

Las velocidades promedio de todos los meses se ubican por arriba del límite máximo recomendado para espacios interiores de 1.5 m/s. pudiendo sobrepasar los 4.5 m/s.

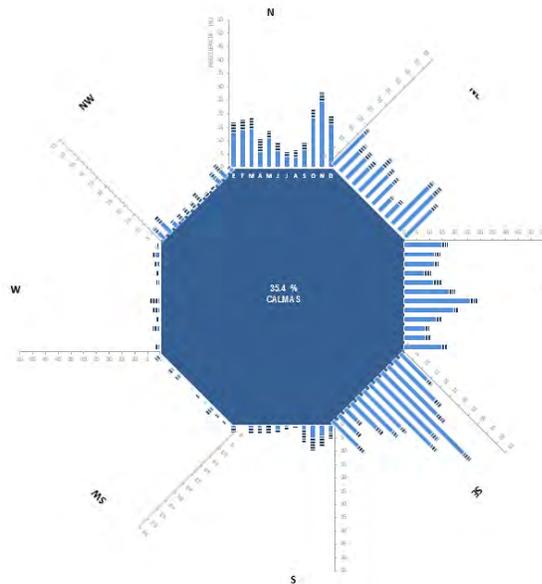


Figura 16. Rosa de vientos octogonal – con datos mensuales

La figura 16 muestra la rosa de vientos octogonal con los datos mensuales de viento, mientras que las figuras 18 y 19 muestran los vientos mensuales en rosas independientes.

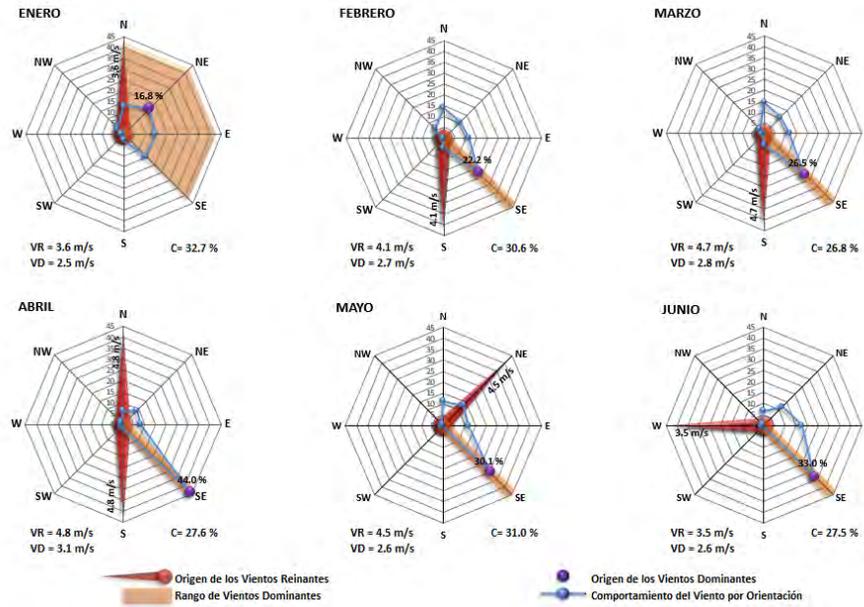


Figura 17. Rosa de vientos mensuales primer semestre

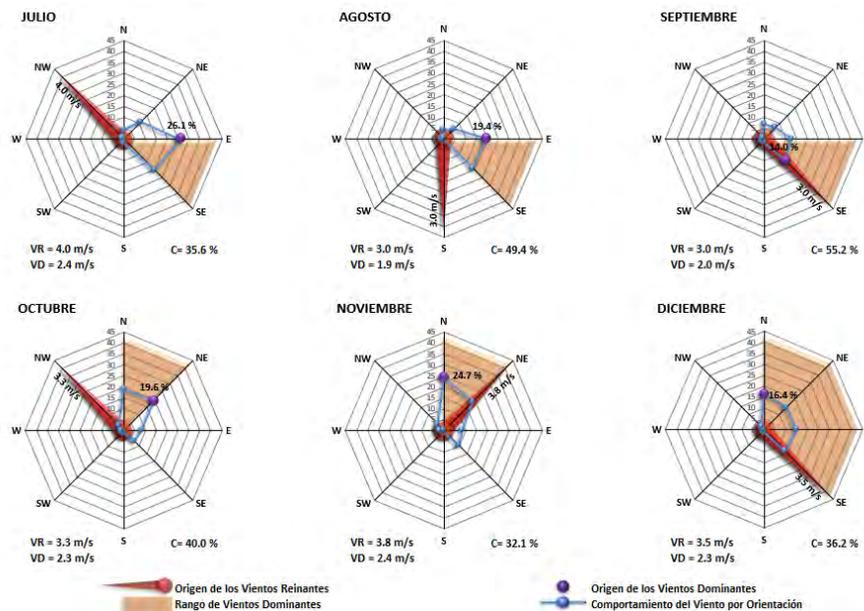


Figura 18. Rosa de vientos mensuales segundo semestre

1.3.7. Días Grado

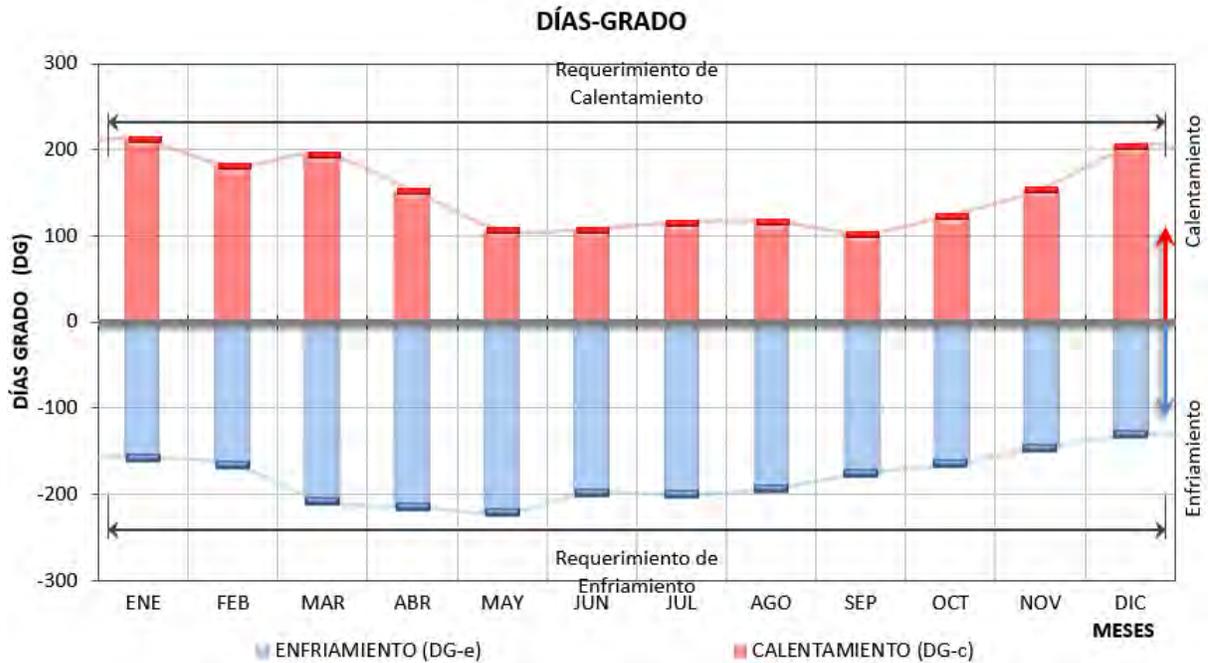


Figura 19. Días Grado

Los Días Grado (DG) se definen como los requerimientos de calentamiento o enfriamiento, acumulados en un cierto periodo de tiempo, necesarios para lograr condiciones de confort térmico. El cálculo de los DG se puede hacer con respecto a una ZC general (18.0°C – 26.0°C) o bien con base en la ZC anual (20.3 °C – 25.3 °C) o mensual del sitio de estudio. Para el cálculo de Días Grado se ha utilizado la ZC mensual local.

Como se aprecia en la figura 19 a lo largo de todo el año se presentan requerimientos tanto de calentamiento como enfriamiento durante todo el año.

Los requerimientos de enfriamiento más importantes se presentan en primavera y verano, mientras que los de calentamiento durante el invierno.

1.3.8. Confort y sensaciones térmicas

Se presentan los índices de confort del modelo adaptativo y predictivo, así como los índices de sensación térmica por viento frío (Wind chill) y por humedad (Humidex).

1.3.8.1. Modelo de confort adaptativo

Para el cálculo de la temperatura óptima de confort (temperatura neutra) se utilizó la fórmula original de Auliciems: $17.6 + (0.31 * T_m)$; la zona de confort se consideró simétrica con un rango de ± 2.5 °C, es decir que se consideró una amplitud total de confort de 5 °C. Para Mérida, la temperatura óptima de confort anual es 25.8 °C; la zona de confort queda comprendida entre 23.3 °C y 28.3 °C.

fte	Datos	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Zona de confort térmico mensual															
E	ZCs	°C	27.6	27.9	28.1	28.5	28.8	28.7	28.6	28.6	28.5	28.3	27.9	27.5	28.3
E	Tn	°C	25.1	25.4	25.6	26.0	26.3	26.2	26.1	26.1	26.0	25.8	25.4	25.0	25.8
E	ZCi	°C	22.6	22.9	23.1	23.5	23.8	23.7	23.6	23.6	23.5	23.3	22.9	22.5	23.3

Tabla 7. Temperatura neutra y zona de confort con base en la fórmula de Auliciems

1.3.8.2. PMV-PPD

El Voto Medio Previsto (PMV) es la representación cuantitativa de la sensación térmica de un grupo de individuos —sanos, sometidos a un mismo clima— expuestos a ciertas condiciones ambientales (Fanger, 1972). Establece una tensión térmica basada en la transferencia de calor —en estado estacionario— entre el cuerpo y el ambiente, representada a partir de un voto de confort en una escala de 7 valores: de -3 (igual a frío) a +3 (igual a sofocante) (Figura 20).

PREDICTED MEAN VOTE (PMV) - PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED (PPD)																
FUENTE	PARÁMETROS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TEMPERATURA PROMEDIO MÁXIMA	°C	10	32.7	33.8	34.8	35.6	36.0	35.3	35.1	34.8	34.4	33.6	32.8	31.7	34.2
a	TEMPERATURA MEDIA	°C	10	24.3	25.1	25.8	27.0	28.2	27.7	27.5	27.3	27.2	26.4	25.3	23.8	26.3
a	TEMPERATURA PROMEDIO MÍNIMA	°C	10	15.8	16.4	16.8	18.4	20.4	20.1	19.9	19.8	20.1	19.3	17.8	15.9	18.4
a	HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA	%	10	97.1	94.9	88.4	88.7	85.4	95.9	97.2	98.4	100.0	100.0	100.0	100.0	95.5
a	HUMEDAD RELATIVA MEDIA	%	10	70.0	68.0	63.0	64.0	63.0	71.0	72.0	73.0	76.0	75.0	75.0	73.0	70.3
a	HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA	%	10	42.9	41.1	37.6	39.3	40.6	46.1	46.8	47.6	52.0	60.0	50.0	46.0	45.0
<i>Predicted Mean Vote (PMV)</i>																
	PMV (Mínima)			-2.1	-1.9	-1.8	-1.4	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8	-1.0	-1.5	-2.0	-1.3
	PMV (Media)			0.3	0.5	0.7	1.0	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	0.9	0.6	0.1	0.9
	PMV (Máxima)			2.5	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.7	2.3	3.0
<i>Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)</i>																
	PPD (Mínima)	%		80.8	73.5	69.3	44.2	18.5	19.4	21.3	22.1	18.5	27.9	50.4	79.0	42.3
	PPD (Media)	%		6.4	10.0	14.1	27.5	45.0	41.0	38.4	35.8	35.7	24.0	12.8	5.4	21.2
	PPD (Máxima)	%		94.4	98.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.7	96.4	87.7	100.0

Tabla 8. Escala de valoración térmica de Fanger (1972).

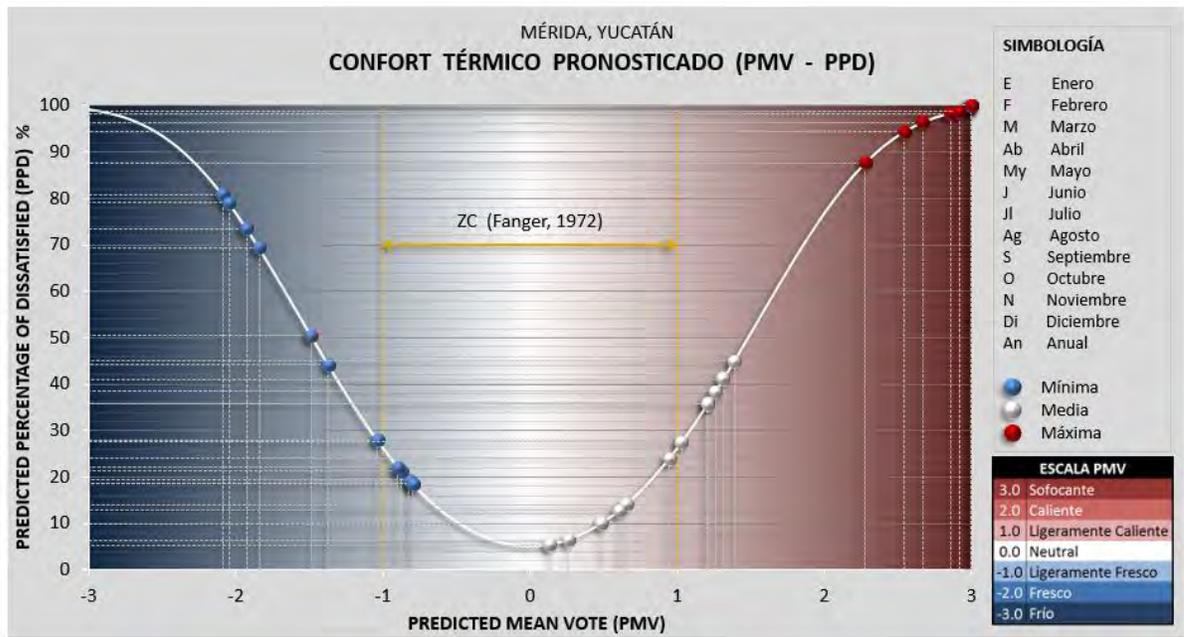


Figura 20. Relación del PMV con respecto al PPD de acuerdo a la sensación térmica y porcentaje de insatisfacción

Como se puede apreciar en la figura 20, la temperatura mínima se encuentra fuera de confort de octubre a abril, siendo más crítica en diciembre y enero con una insatisfacción hasta del 80 %. De mayo a septiembre se tienen condiciones confortables con temperatura mínima, aproximadamente a las 6 h.

Considerando la temperatura media, se tienen condiciones confortables de octubre a marzo, pero de abril a septiembre las condiciones son calurosas con una insatisfacción hasta del 45 %.

Tomando en cuenta la temperatura máxima, aproximadamente a las 15 h, la insatisfacción se presenta durante todo el año, con una insatisfacción del 100 %.

1.3.8.3. Wind Chill - Humidex

El Índice de Viento Frío (Wind Chill) es un índice que expresa la sensación térmica percibida en espacios exteriores en condiciones de frío intenso. Fue desarrollado en una cámara climática en función del efecto de enfriamiento convectivo sobre el rostro de 12 adultos (6 hombres y 6 mujeres). El nivel de actividad fue moderado con ropa abrigadora. Las variables incluidas en el modelo son: temperatura de bulbo seco y velocidad de viento (Auliciems y Szokolay, 1997), por lo tanto, es un índice que muestra el efecto del viento frío sobre la sensación térmica de las personas.

El índice de humedad, Humidex (Humidity index) es un índice de sensación térmica —para actividad pasiva, moderada e intensa; con arropamiento ligero— para espacios exteriores en condiciones calurosas y húmedas. Las variables incluidas en el modelo son: temperatura de bulbo seco y humedad relativa, por lo tanto, este índice trata de mostrar el efecto que tiene la humedad en la sensación térmica de las personas.

Nuevo Wind Chill															
G	Minima	°C	15.80	16.40	16.80	18.40	20.40	20.10	19.90	19.80	20.10	19.30	17.80	15.90	18.39
G	Diferencia	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Humidex															
H	Máxima	°C	38.90	40.23	40.83	42.69	43.80	44.36	44.19	43.92	44.52	42.46	41.03	38.06	42.08
H	Diferencia	°C	6.20	6.43	6.03	7.09	7.80	9.06	9.09	9.12	10.12	8.86	8.23	6.36	7.87

Tabla 9. Valores de Índice de viento frío (Wind chill) y de humedad (Humidex)

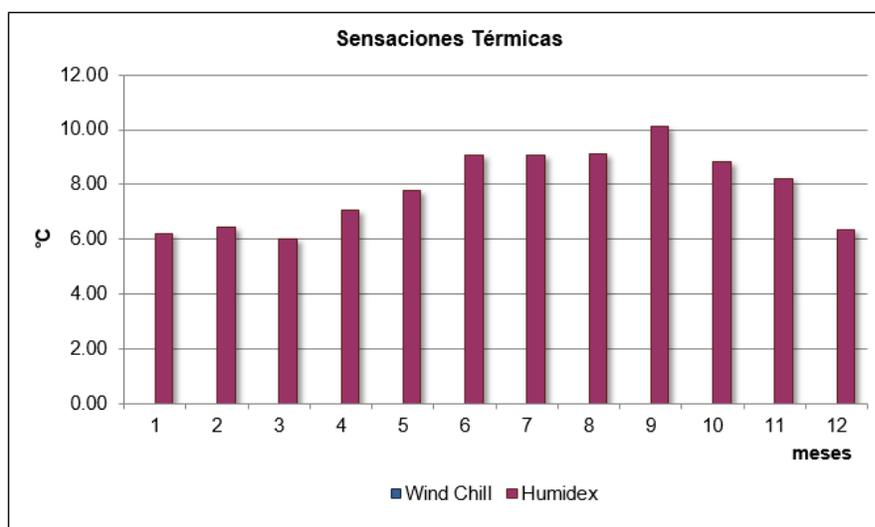


Figura 21. Sensaciones térmicas de viento frío y humedad.

Como se aprecia en la figura 21, el Wind Chill para Mérida muestra el viento frío que tiene ninguna afectación en la sensación de las personas. Sin embargo, el índice Humidex (Figura 21) muestra que únicamente durante todo el año la humedad influye en la sensación térmica de las personas en hasta 10 °C. pero el valor menor es en marzo con 6 °C. Lo que significa que la humedad es crítica en la sensación térmica durante todo el año.

1.3.9. Análisis Solar

La posición del Sol y los ángulos solares están determinados por la latitud de Mérida (20°57' N), mientras que el horario civil o legal es definido con base en su longitud (89°39' W). Durante los equinoccios (primavera y otoño / 21 de marzo y 21 de septiembre, respectivamente) el Sol sale a las 06:00h por el Este y se oculta a las 18:00h por el Oeste (horario solar). En el solsticio de verano (21 de junio) el Sol sale a las 05:22 h y se oculta a las 18:38 h, lo que representa una duración del día de 13.06 horas. En el solsticio de invierno (21 de diciembre) sale a las 06:38 h y se oculta a las 17:22 h, con una duración del día de 10.44 horas (13).

Debido a que el sitio de estudio se ubica dentro del trópico de Cáncer, el Sol pasa por el cenit dos veces al año: el 24 de mayo y el 19 de julio; 28 días antes y después del solsticio de verano, es decir que hay 56 días del año en que el Sol declina hacia el norte. El 21 de junio el Sol sobrepasa el cenit en 2.5 °

ANÁLISIS SOLAR (Día 21 / 12:00 h)

PARÁMETROS	UNIDAD	MESES												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Día Juliano	21	21	52	80	111	141	172	202	233	266	294	325	355	
Hora	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Ángulo diario	radianes	0.34	0.88	1.36	1.89	2.41	2.94	3.46	3.99	4.56	5.04	5.58	6.09	
Declinación	gr (°)	-20.09	-10.84	0.00	11.58	20.02	23.45	20.64	12.38	0.00	-10.42	-19.76	-23.45	
Altura Solar	gr (°)	48.96	58.21	69.05	80.63	89.07	87.50	89.69	81.43	69.05	58.63	49.29	45.60	
Azimut	gr (°)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orto	h.m	6.32	6.17	6.00	5.42	5.28	5.22	5.27	5.41	6.00	6.16	6.32	6.38	6.00
Ocaso	h.m	17.28	17.43	18.00	18.18	18.32	18.38	18.33	18.19	18.00	17.44	17.28	17.22	18.00
Duración del día	h.m	10.56	11.26	12.00	12.36	13.04	13.16	13.06	12.39	12.00	11.28	10.57	10.44	12.00

Tabla 10. Análisis solar

La figura 22 muestra los ángulos de altura solar a las 12 del día para todos los meses del año.

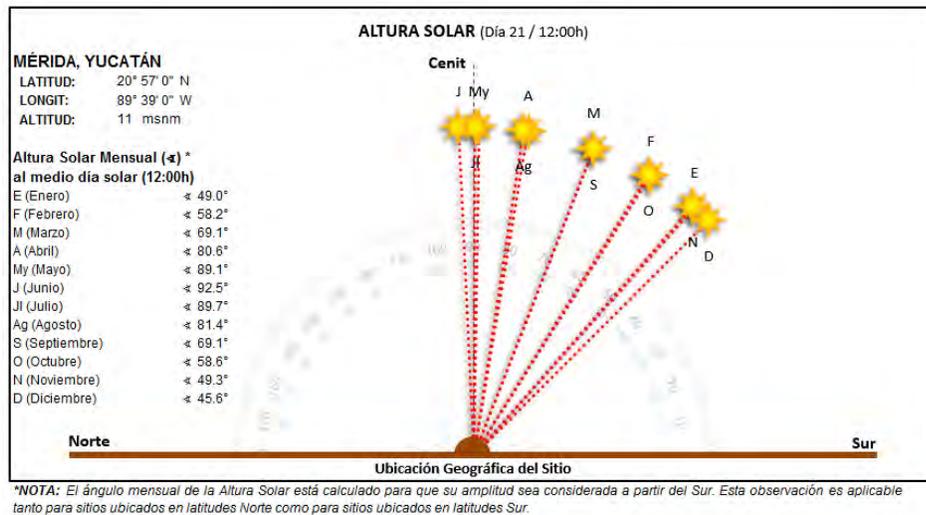


Figura 22. Altura solar mensual – para el día 21 de cada mes a las 12:00 h

La declinación magnética en noviembre del 2015 es de 0.04° E, es decir que en esta fecha el norte magnético se ubica 0.04° hacia el este del norte geográfico. Es decir que prácticamente coincide el norte magnético con el geográfico.

La figura 23 muestra la gráfica solar de proyección estereográfica para la latitud 21° norte.

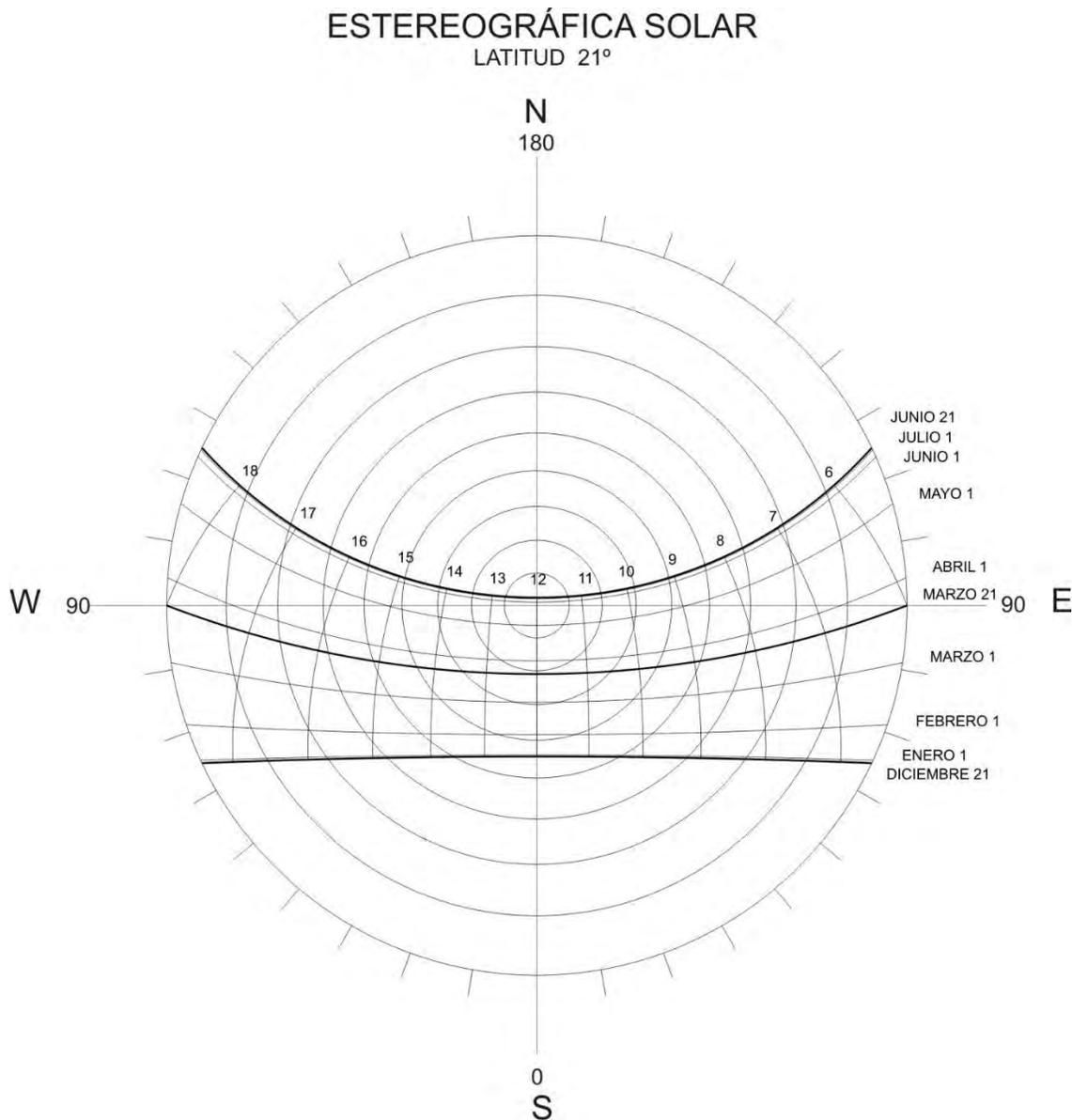


Figura 23. Grafica solar estereográfica con horario solar

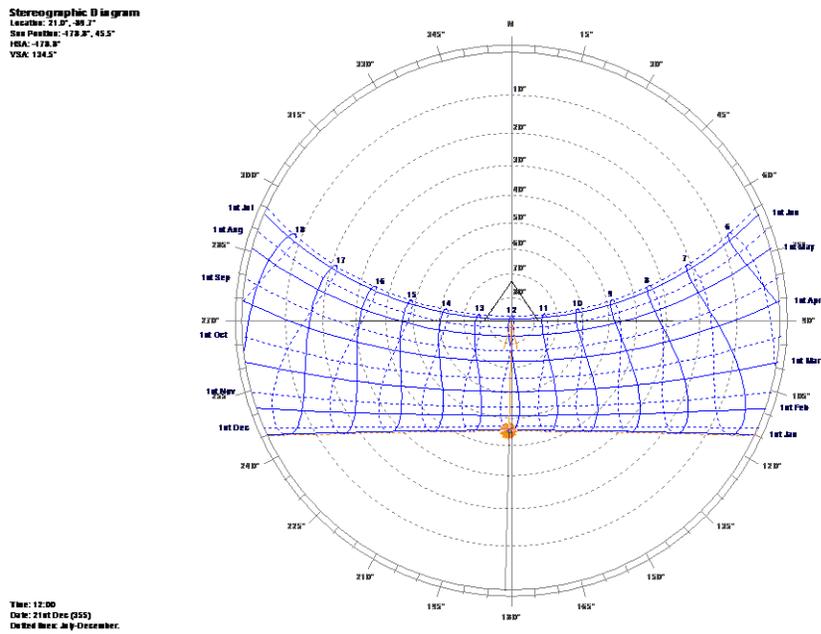


Fig.24 Gráfica solar estereográfica con horario civil

La figura 24 muestra la gráfica solar de proyección estereográfica con horario civil o legal.

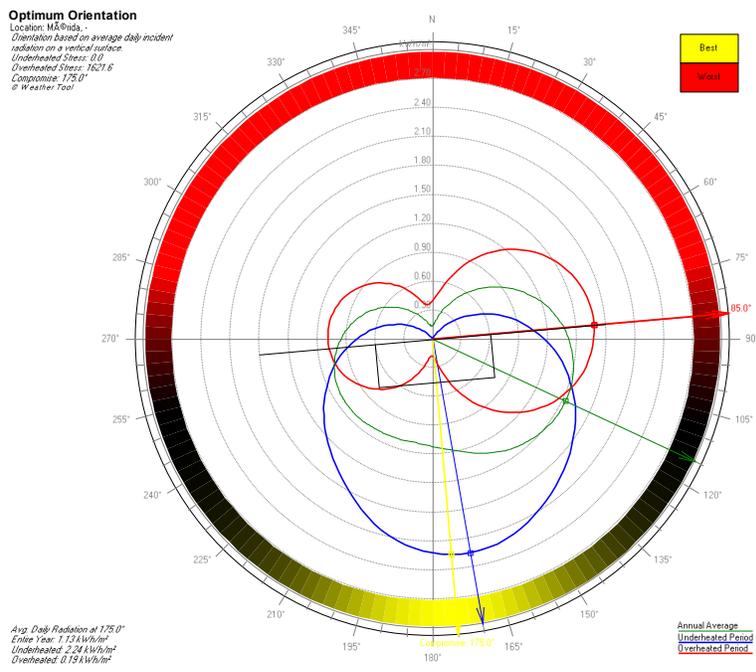


Figura 25. Orientación óptima

La figura 25 muestra la orientación óptima para el sitio en estudio con base en la temperatura y radiación. Aquí se muestra que la mejor orientación es el rumbo 175° desde el norte, es decir 5° del sur hacia el este. Desde luego por el tipo de clima que se presenta en este sitio la orientación preferente será con respecto al eje eólico.

1.4. Análisis Bioclimático

El análisis bioclimático se realiza a través de las siguientes herramientas: tablas de Mahoney, triángulos de confort, diagrama bioclimático, diagrama psicrométrico, gráfica estereográfica y matriz de climatización.

1.4.1. Tablas de Mahoney

De acuerdo a los indicadores de Mahoney (Tabla 11), para Mérida se recomiendan las siguientes estrategias:

MÉRIDA, YUCATÁN
TABLAS DE MAHONEY

INDICADORES	1	2	3	4	5	6		No.	RECOMENDACIONES
NÚM. INDICADORES	8	0	4	4	0	0			
DISTRIBUCIÓN							X	1	Orientación Norte-Sur, eje largo Este-Oeste
								2	
ESPACIAMIENTO							X	3	
								4	Igual a 3 pero con protección de vientos
								5	
VENTILACIÓN							X	6	Locales de una galería. Ventilación constante
								7	
								8	
TAMAÑO DE ABERTURAS							X	9	
								10	Medianas (30% - 50%)
								11	
								12	
POSICIÓN DE ABERTURAS							X	14	En muros N y S, a la altura de los ocupantes en barlovento
								15	
PROTECCIÓN DE ABERTURAS							X	16	Sombreado total y permanente
							X	17	Protección contra la lluvia
MUROS Y PISOS							X	18	
								19	Masivos (arriba de 8 h de retardo térmico)
TECHUMBRE							X	20	
								21	Ligera y bien aislada
								22	
ESPACIOS NOCTURNOS EXT.							X	23	
								24	Grandes drenajes pluviales

Tabla 11. Recomendaciones bioclimáticas sugeridas por los indicadores y tablas de Mahoney.

- **Distribución:** *Orientación alargada sobre el eje norte-sur* con el fin de reducir el área de fachadas expuestas hacia el este y oeste.
- **Espaciamento:** *Configuración extendida* para propiciar la ventilación, pero con protección (ventilación selectiva)
- **Ventilación:** *Ventilación en una galería para propiciar la ventilación cruzada*. La estrategia de ventilación natural es muy importante durante todo el día, pero en las noches la temperatura desciende por debajo de la zona de confort.
- **Tamaño de las aberturas:** Tamaño de las *aberturas medianas* (30% a 50%) con el objeto de tener buena ventilación.
- **Posición de las aberturas:** *en barlovento* a la altura de los ocupantes, para favorecer el enfriamiento de la superficie de la piel.
- **Protección de las aberturas:** *Sombreado total y permanente* durante las tardes de todo el año para evitar el asoleamiento y así evitar el sobrecalentamiento de los espacios interiores. Así

mismo se recomienda *protección contra la lluvia*, principalmente de junio a octubre donde la precipitación supera los 150 mm

- **Muros y pisos:** Deberán ser *masivos* (con un retardo térmico superior a ocho horas) con el objeto de almacenar el calor durante el día y aprovecharlo durante las noches y madrugadas.
- **Techumbres:** Deberán ser *ligeras y bien aisladas*. Con materiales de baja conductividad térmica. El exterior las techumbres conviene sombrearse.
- **Espacios Nocturnos Exteriores.** Grandes drenajes pluviales debido a la presencia de precipitaciones intensas en la época lluviosa.

1.4.2. Triángulos de Confort (Evans)

Los triángulos de confort relacionan la temperatura media de bulbo seco con la oscilación térmica. De acuerdo con esta herramienta, las temperaturas en Mérida no están dentro del confort en interiores, ni para espacios con actividades sedentarias ni nocturnos. Únicamente de abril a octubre se presentan dentro de la zona de confort de circulaciones interiores.

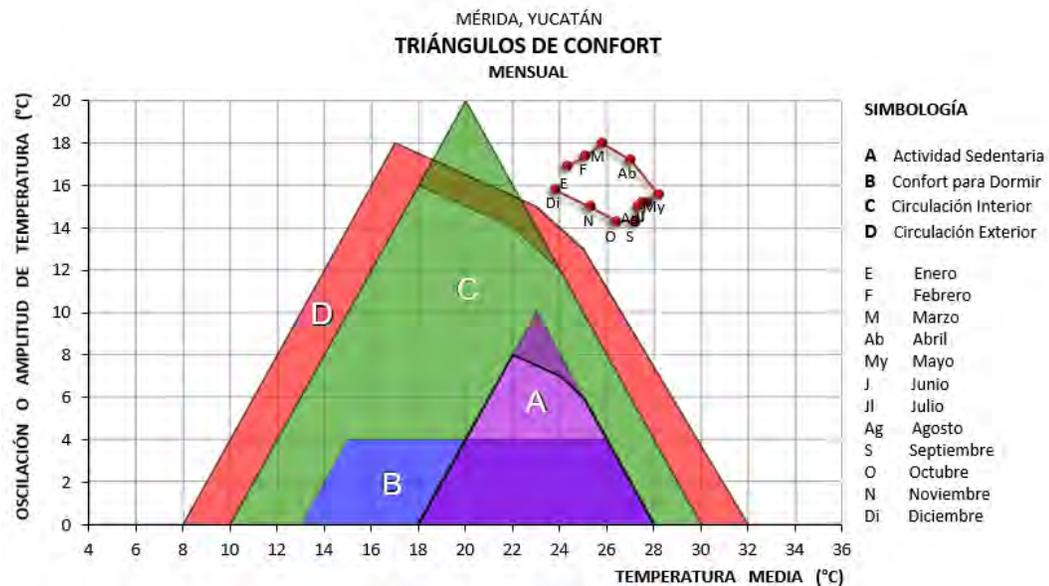


Figura 26. Triángulo de Confort (Evans)

De acuerdo con el triángulo de confort, las estrategias recomendadas son: De octubre a abril se recomienda el uso de inercia térmica; de marzo a noviembre se recomienda ventilación selectiva, por lo tanto, marzo, abril, octubre y noviembre comparte ambas recomendaciones.

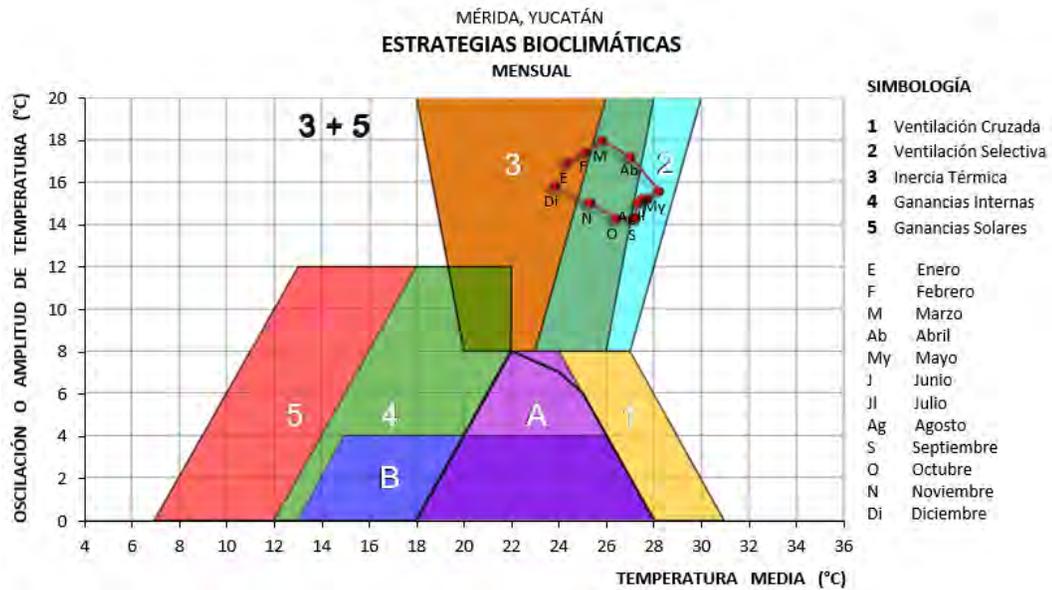


Figura 27. Estrategias recomendadas con base en el triángulo de confort (Evans)

1.4.3. Diagrama Bioclimático

El centro de la zona de confort corresponde con la temperatura neutra de 25.8 °C y el 50% de humedad relativa. Todas las mañanas se presentan temperaturas por debajo de confort. Con base en las temperaturas mínimas (aproximadamente a las 6 de la mañana) se requieren entre 70 W/m² (en verano) y 210 W/m² (en invierno) para tener condiciones confortables. Estos requerimientos térmicos son bajos. Sin embargo, las humedades relativas son elevadas, llegando a estar por arriba del 90 %.

Las tardes de todos los meses (aproximadamente a las 15 h) las temperaturas se encuentran por arriba de la zona de confort. De hecho, de marzo a octubre la estrategia de ventilación ya no es suficiente para obtener condiciones de confort. Sólo de diciembre a abril se presentan algunas horas del día que entran en la zona de confort.

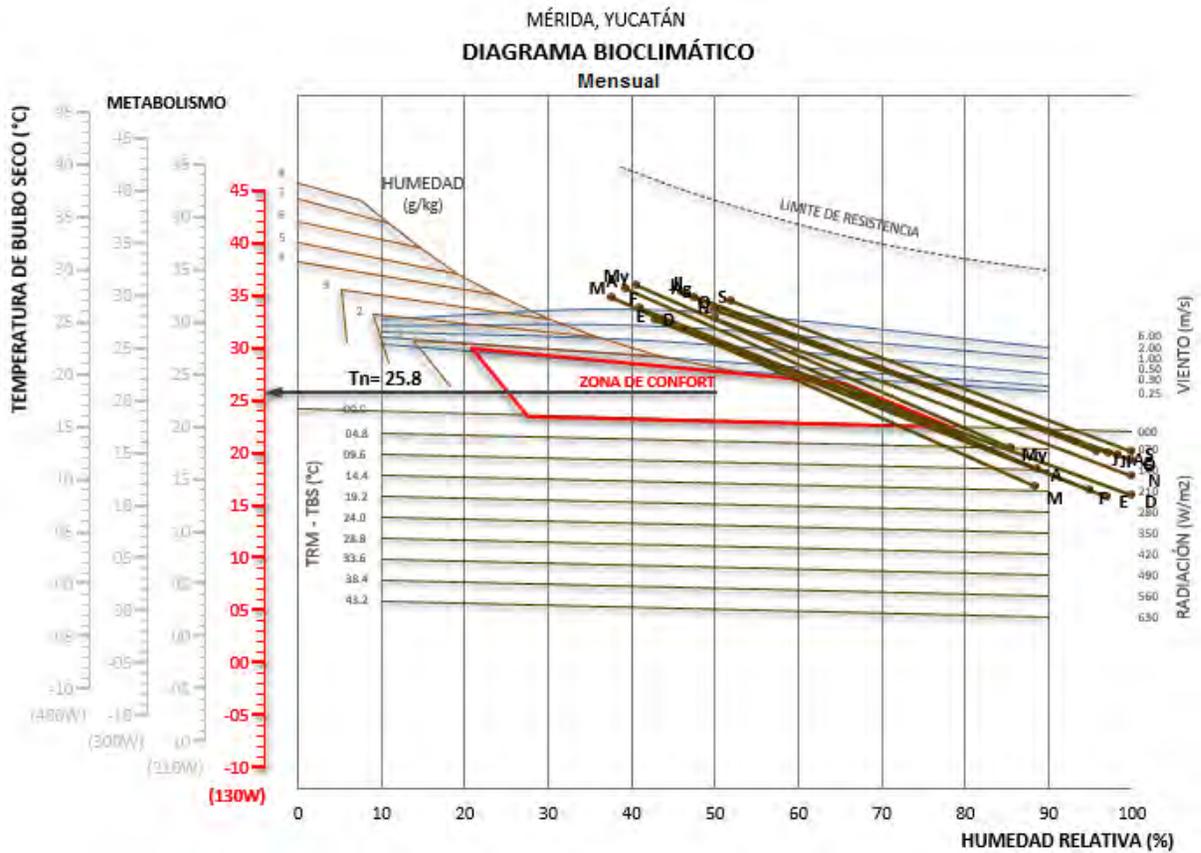


Figura 28. Diagrama Bioclimático

1.4.4. Diagrama Psicrométrico

De acuerdo con el diagrama psicrométrico para Mérida (Figura 29), y considerando los valores de temperaturas máximas y mínimas promedio, todos los meses se está fuera de confort prácticamente todo el año. En todas las noches y madrugadas, la masa térmica ayuda a tener condiciones confortables, la mayor parte del día se pueden tener condiciones adecuadas con el uso de la ventilación; pero casi todos los meses (excepto de diciembre a febrero), por la tarde la estrategia de ventilación es insuficiente para conseguir condiciones confortables.

Psychrometric Chart

Location: Mérida
Display: Monthly Mean Minimum/Maximum
Barometric Pressure: 101.36 kPa
© Weather Tool

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. natural ventilation

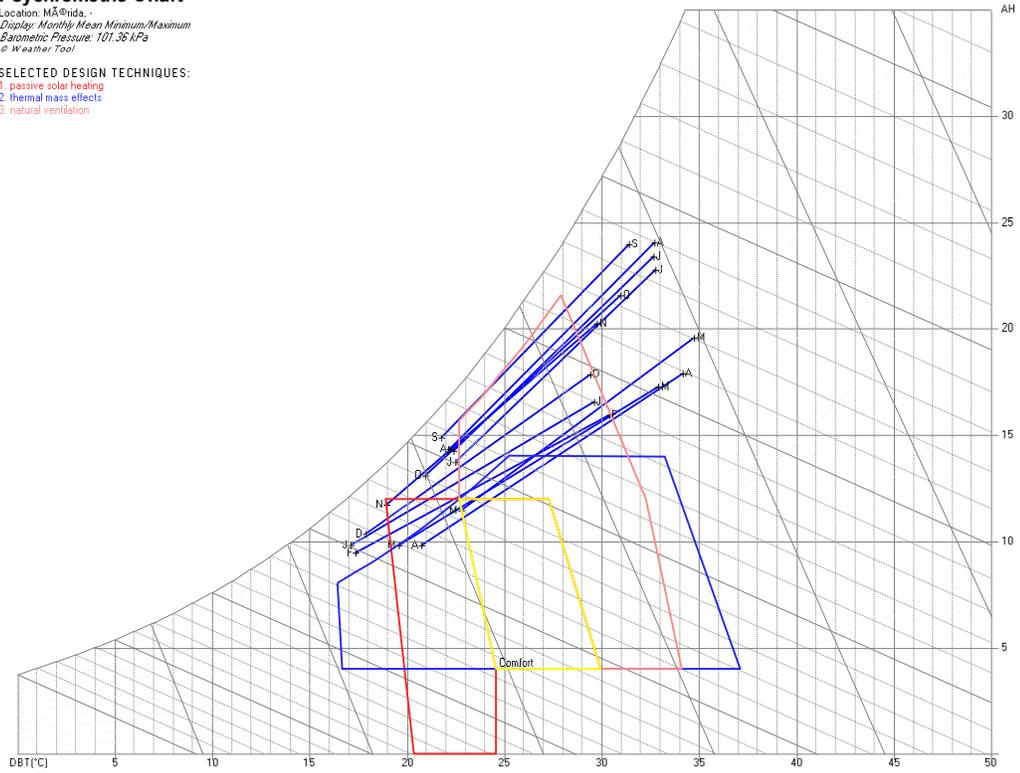


Figura 29. Diagrama Psicrométrico para Mérida

La figura 30 muestra el diagrama psicrométrico para Mérida (Weather Tool¹⁵), considerando todos los valores anuales de temperatura y humedad. En ella se aprecia claramente el alto contenido de humedad y las altas temperaturas.

¹⁵ Weather Tool. Ecotect de Autodesk.

Psychrometric Chart

Location: Mérida, -
Data Points: 1st January to 31st December
Weekday Times: 00:00-24:00 Hrs
Weekend Times: 00:00-24:00 Hrs
Barometric Pressure: 101.36 kPa
© Weather Tool

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. natural ventilation

January
February
March
April
May
June
July
August
September
October
November
December

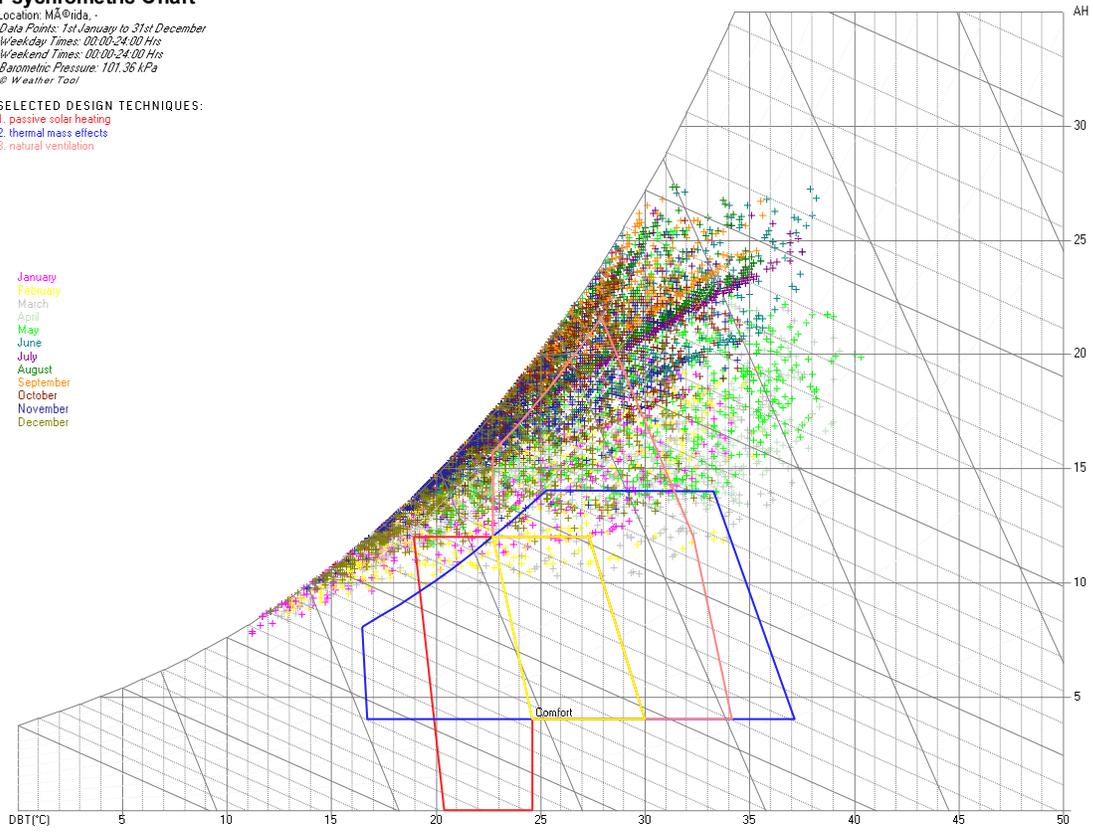


Figura 30. Diagrama Psicrométrico horario para Mérida

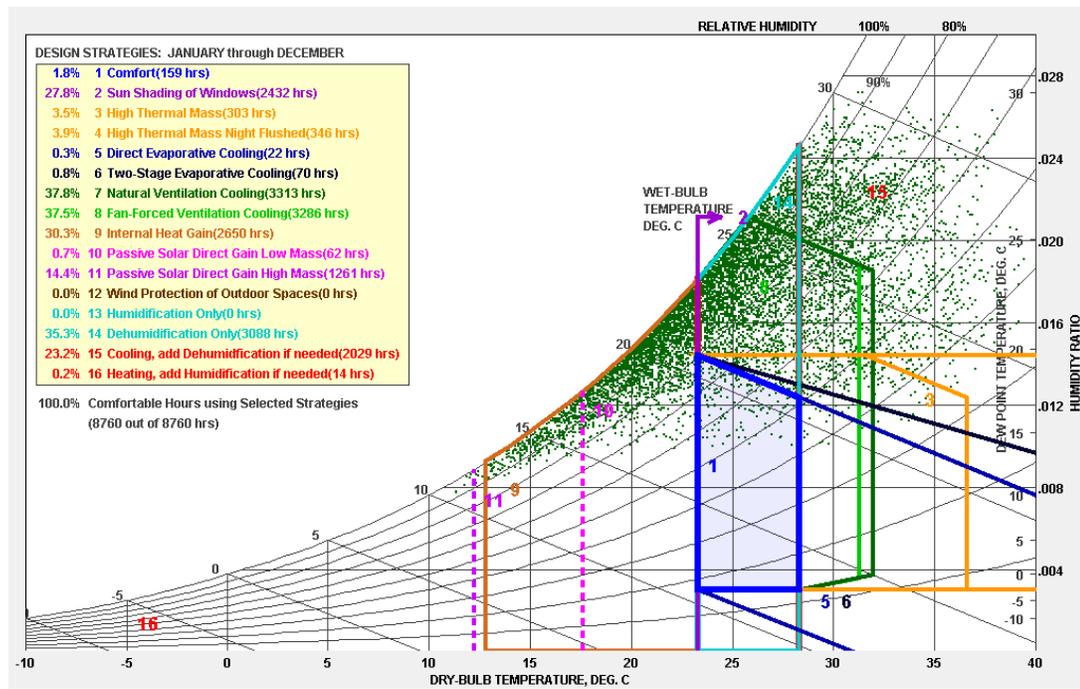


Figura 31. Diagrama Psicrométrico horario para Mérida, Porcentajes anuales para cada estrategia.

De acuerdo con el modelo de confort del código de energía California, 2013, (Climate Consultant¹⁶) los porcentajes correspondientes para cada estrategia se muestran en la figura 31 y son:

- Las condiciones son confortables el 1.8 % del tiempo,
- El 27.8 % del tiempo se requiere de protección solar
- El 3.5 % se requiere de masa térmica en verano.
- El 0.5 % se requiere de masa térmica con ventilación nocturna.
- Enfriamiento evaporativo directo 0.5 %
- Enfriamiento evaporativo indirecto 0.3 %
- Ventilación natural y con ventiladores el 37.8 %
- Aprovechar las ganancias internas generadas en los espacios interiores 30.3 % del tiempo
- Ganancias solares directas con baja masa térmica 15.9%
- Ganancias solares directas con alta masa térmica 14.4 %
- Humidificación 0.0 %
- Enfriamiento y des-humidificación 25.2 %

¹⁶ Climate Consultant. Robin Liggett and Murray Milne. UCLA Energy Design Tools Group. USA.

Algunas de las estrategias están contenidas en otras por lo que los porcentajes no se ajustan al 100%

Porcentajes de las principales estrategias pasivas recomendadas

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Confort	4.6	7.6	4.0	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.2	1.8
Sombreado	21.4	24.1	29.3	33.2	33.1	32.4	34.5	31.7	26.9	24.7	22.5	19.1	27.8
Masa térmica en verano	7.4	6.4	11.2	10.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	3.9
Ventilación natural	36.3	35.7	38.7	45.3	41.1	38.5	33.7	32.1	30.4	44.1	42.1	39.2	37.8
enfriamiento y des-humidificación	4.7	5.7	16.9	22.1	38.3	37.6	41.7	41.7	32.8	21.0	9.4	4.7	23.2
Ganancias internas y Masa de invierno	52.4	49.4	32.8	24.4	13.4	15.3	16.7	17.5	22.4	26.1	46.1	48.0	30.3
Ganancia solar directa con masa térmica	21.9	19.9	18.8	13.6	6.6	8.5	11.6	8.7	12.1	11.6	18.9	21.0	14.4
Calentamiento	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2

Tabla 12. Porcentajes de estrategias por mes

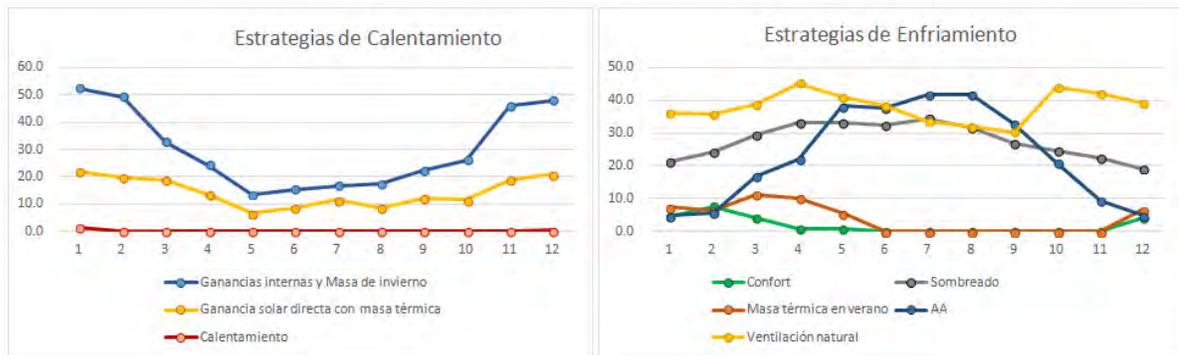


Figura 32. Porcentajes de estrategias bioclimáticas por meses

De acuerdo con los porcentajes analizados en Climate Consultant, se aprecia que la principal estrategia de enfriamiento es la ventilación con un 37.8 %. La masa térmica no es tan significativa (3.9 %) pero también conviene utilizarse. El sombreado también es muy importante, así como reducir las ganancias solares en las horas y épocas calurosas, por lo que el aislamiento de la cubierta es significativo.

El calentamiento requerido puede lograrse simplemente aprovechando las ganancias internas y las ganancias solares directa e indirectas.

Del análisis de estrategias se desprende que las estrategias pasivas funcionan para el 74.6 % del tiempo.

Otra forma de analizar las estrategias recomendadas es a través de Weather Tool¹⁷. Las figuras inferiores muestran los porcentajes de confort. Las barras amarillas muestran los porcentajes de confort antes de incorporar alguna estrategia. Mientras que las barras rojas muestran los porcentajes de confort a los que se podría llegar utilizando cierta estrategia.

La figura 33 muestra los porcentajes de confort a los que se podría llegar utilizando únicamente la estrategia de ventilación natural. Desde luego las mayores aportaciones se dan de octubre a mayo, comparando las condiciones originales sin ninguna estrategia. Los porcentajes máximos a los que se llega con esta estrategia están entre el 30 y 40 %. Como se aprecia en la gráfica, en la época más cálida y lluviosa la estrategia pierde efectividad.

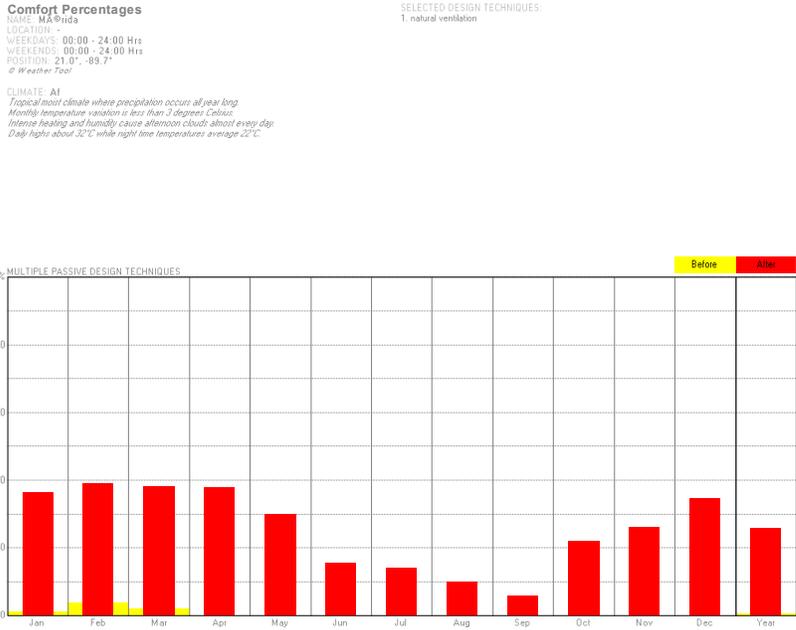


Figura 33. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de ventilación natural

Si se utiliza adicionalmente masa térmica y ventilación nocturna (ver figura 34), los beneficios aumentan ligeramente, pero no de manera significativa, por lo que la ventilación es la estrategia más adecuada.

¹⁷ Weather Tool. Ecotect de Autodesk

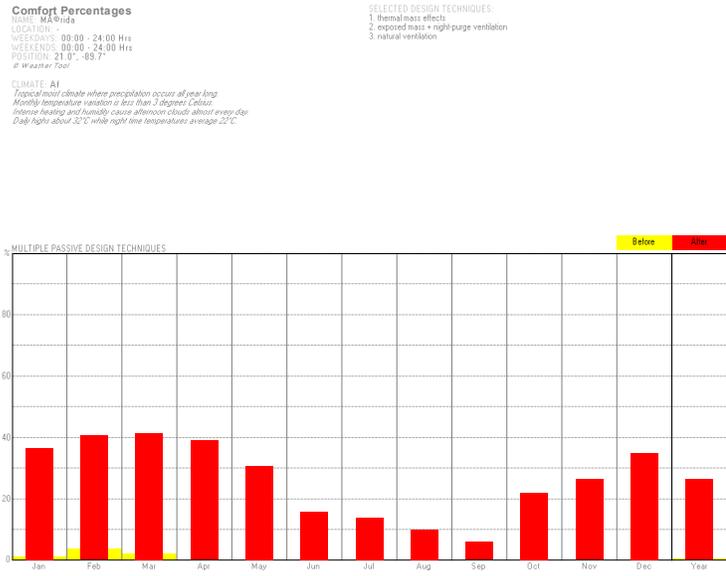


Figura 34. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de ventilación natural, masividad y ventilación nocturna

Si se analiza individualmente el efecto de la masa se ve en la gráfica que no es significativo su efecto.

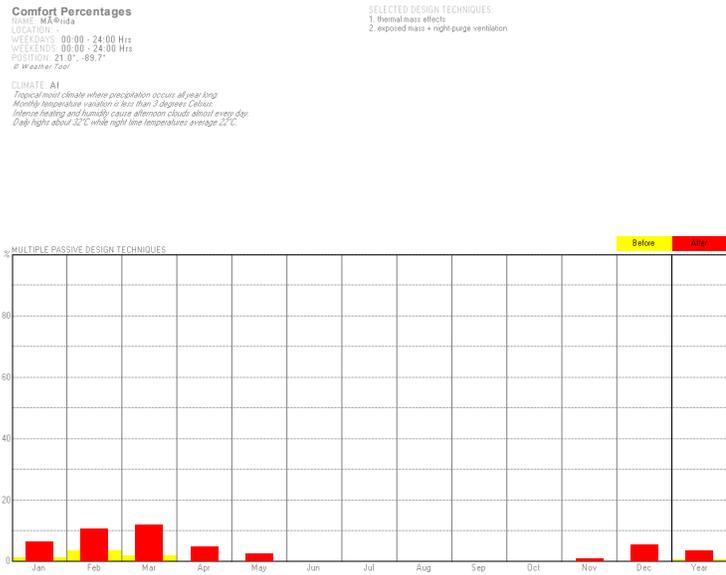


Figura 35. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de masividad y ventilación nocturna

1.4.5. Estrategias de Climatización

CARTA BIOCLIMÁTICA temperatura			RESUMEN DE ESTRATEGIAS Mérida, Yucatán		DIAGRAMA PSICROMÉTRICO temperatura	
			TRIÁNGULOS DE CONFORT temperatura			
	mínima ≈ 6:00	máxima ≈ 15:00	media ≈ 10:30	media ≈ 22:30	mínima ≈ 6:00	máxima ≈ 15:00
ENERO	C	V		M	Cp - Mi	V
FEBRERO	C	V		M	Cp - Mi	V
MARZO	C	AA		M - Vs	Cp - Mi	AA
ABRIL	C	AA		M - Vs	Cp - Mi	AA
MAYO	C	AA		Vs	Mi	AA
JUNIO	C	AA		Vs	Mi	AA
JULIO	C	AA		Vs	Mi	AA
AGOSTO	C	AA		Vs	Mi	AA
SEPTIEMBRE	C	AA		Vs	Mi	AA
OCTUBRE	C	V		M - Vs	Cp - Mi	AA
NOVIEMBRE	C	V		M - Vs	Cp - Mi	AA
DICIEMBRE	C	V		M	Cp - Mi	V

entre 70 y 210 W/m² entre 1 y 2 m/s

ESTRATEGIAS DE CALENTAMIENTO					
calentamiento	C	ganancias solares	Gs	C. solar pasivo	Cp
		ganancias internas	Gi	C. solar activo	Ca
				masa de invierno	Mi

ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO					
ventilación	V	ventilación cruzada	Vc	ventilación	V
humidificación	H	ventilación selectiva	Vs	masa de verano	Mv
sombreado	S	Inercia térmica	M	masa-ventilación noct	Mvn
				humidificación dir.	Hd
				humidificación indir.	Hi

Tabla 13. Resumen de estrategias

En la tabla 13 se resumen las estrategias de diseño bioclimáticas recomendadas. La carta bioclimática recomienda para calentamiento (ligero) en las mañanas de todos los meses (entre 70 y 210 W/m²); Ventilación natural de octubre a febrero con una velocidad entre 1 y 2 m/s. de marzo a septiembre la carta indica que la ventilación es insuficiente por lo que se requerirá de sistemas activos o acondicionamiento artificial.

Los triángulos de confort recomiendan inercia térmica de diciembre a febrero; inercia térmica más ventilación selectiva en marzo, abril, octubre y noviembre; mientras que de mayo a septiembre pueden utilizarse únicamente ventilación selectiva.

El diagrama Psicrométrico recomienda calentamiento pasivo y masa de invierno durante todas las mañanas de octubre a abril, de mayo a septiembre la masividad de invierno puede ayudar a conseguir condiciones confortables. En las tardes de diciembre a febrero la ventilación puede ser suficiente para obtener condiciones confortables, pero los demás meses, de marzo a noviembre se requiere acondicionamiento artificial.

En resumen, las recomendaciones más importantes son: en las mañanas aprovechar las ganancias internas y la masividad de la construcción. Durante las tardes de invierno se puede utilizar la ventilación natural. El resto del año se puede utilizar ventilación selectiva y posiblemente ésta sea insuficiente, por lo que se requerirá de algún sistema activo o acondicionamiento artificial. El sistema de enfriamiento evaporativo indirecto puede ser de utilidad en ciertas horas y meses del año.

2. El caso de Mérida, Yucatán

2.1 Arquitectura vernácula: La vivienda Maya

Una de las culturas mesoamericanas más importante es la maya. Sus imponentes construcciones han perdurado y muestran el enorme conocimiento técnico, científico y artístico que tenía sus constructores. Los mayas estaban vinculados con la naturaleza y el cosmos. Para ellos, el universo está sostenido por ceibas¹⁸ de distintos colores (árbol sagrado de los mayas) y el hombre fue creado a partir del maíz.

“La creación de un sistema de numeración, la creación de calendarios exactos que registran y proyectan no sólo el transcurrir de los días, sino también sus cualidades, la creación de un sistema de escritura y la creación del maíz, dan testimonio de la rigurosidad integral humana en comunión profunda con el Cosmos” (Aguilar, 2006)

1.1. Delimitación física espacial

La cultura maya se ubicó geográficamente en el sureste de México, abarcando los estados actuales de Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo; además de Guatemala, Belice, y parte de Honduras y el Salvador.

2.2 Delimitación temporal

Con fines de estudio, la cultura maya se divide en tres periodos:

Preclásico (de 2000 a.C. a 250 d.C.):

La fecha precisa del inicio de la cultura maya no es precisa, pero evidencias de muestras de polen revelan que la práctica de tala, roza, quema y el cultivo del maíz ya se practicaba antes del año 2000 a.C. Evidencias de los asentamientos más antiguos datan del año 1200 a.C. (Hammond, 2008) Por lo tanto, el periodo preclásico temprano queda comprendido entre estas dos fechas. Este periodo se caracteriza por el inicio del sedentarismo agrícola y la elaboración de cerámica. Concentración de viviendas en pequeñas aldeas de no más de veinte chozas. No hay evidencias de una estructura social jerárquica, por lo se piensa en una organización tribal igualitaria (López, 2000)

El periodo preclásico medio se establece entre los años 1200 a.C. y 400 a.C. En este periodo se cuenta con técnicas agrícolas más desarrolladas a partir del control del agua. Se tiene el perfeccionamiento de la cerámica y empieza la talla en piedra. Se empieza a dar una clara jerarquización social a partir de linajes, por la división del trabajo y por el intercambio de materias primas y productos entre las distintas aldeas. Surge la escritura y la construcción de templos sobre plataformas y esculturas religiosas.

El preclásico tardío se da ente el año 400 a.C. y 250 d.C. En este periodo se da un crecimiento de población, se desarrolla el comercio con otras culturas y por lo tanto se presentan influencias culturales y conflictos bélicos. Surge una organización política y religiosa muy marcada y con ello la arquitectura monumental. Se afina la escritura, la observación astronómica y medición del tiempo, así como el desarrollo de la numeración.

¹⁸ POPOL-VUH o Libro del Consejo de los Indios Quichés.

Algunos autores (Quiñones, 2006) señalan un periodo "Protoclásico" de 150 d.C. a 250 d.C.

Clásico (de 250 d.C. a 900 d.C.):

Clásico Temprano entre el año 250 d.C. y 650 d.C.

Clásico Tardío entre el año 650 d.C. y 900 d.C.

El calendario maya más antiguo se encuentra en las ruinas arqueológicas de Xultún en Guatemala que corresponde al año 813 d.C. (Vance, 2012)

Algunos autores señalan un periodo "Clásico Terminal" entre en año 800 y 900 d.C.

Posclásico (de 900 d.C. a 1521 d.C.):

Temprano entre 900 y 1200

Posclásico tardío entre 1200 y 1521

2.3 Descripción de la vivienda Maya

El solar maya

Al inicio de la cultura maya, la organización social era tribal, con conjuntos de caseríos o aldeas que no pasaban de 20 chozas. Sin embargo, ya durante el esplendor maya, se contaba con grandes centros urbanos consolidados y bien estructurados. La organización social compleja basada en una jerarquización estricta, con elites de poder político y religioso bien definidos. Espacialmente se organizaban a partir de los centros urbanos con influencia regional y poblados periurbanos o aldeas satélites y caseríos dispersos pero articulados social, política y económicamente.

En todos los casos la vivienda se organizaba a partir del solar. El solar como unidad territorial básica que cumple con diversas funciones importantes para sus habitantes; no sólo como espacio de convivencia social y producción de alimentos y bienes para el sustento familiar, sino también desde el punto de vista ambiental y sustentable. En este sentido no se puede pensar en la casa maya aislada, ya que el espacio interior y exterior forman una sola unidad habitable. La vivienda es inherente al solar.

El solar maya yucateco es un predio o terreno de entre 250 y 1000 metros cuadrados en donde se realizan la mayor parte de las actividades de la familia. El solar se separa del exterior por medio de una albarrada.

"El solar se conforma tradicionalmente con los espacios descritos a continuación:

El hogar (*Naj*) es el espacio para el descanso familiar y la realización de actividades sociales, religiosas y artesanales, así como el aseo personal. La cocina (*K'oben*) es un cuerpo secundario o anexo a la construcción principal, tradicionalmente, el techo de esta construcción es de madera y palma de guano y los muros de bajareque sin recubrimiento o barro (*colox-ché*), que permite que el humo de la cocina se disperse. Es un espacio esencial para la vida cotidiana, ya que gran parte de las actividades están relacionadas con él. Cuenta con un fogón usualmente constituido de tres piedras entre las que se coloca la leña para producir fuego. El troje (*Ch'iiil*) es una estructura de madera para almacenar el maíz, se utiliza más en las áreas del Estado donde el sistema milpa complementa al sistema del solar. El semillero

(*K'anché*) es una estructura elevada para almacenamiento de mazorcas de maíz, siembra de hortalizas y plantas medicinales. Se utiliza como apoyo para el manejo de cultivos y como semillero de plántulas de otras especies mayores... El chiquero (*U naj k'éek*) es una construcción para alojar a los cerdos. El gallinero (*U najil kaax*): Es una construcción para alojar a las gallinas, está hecha de madera o piedra. El pozo (*Ch'e'en*) era un elemento importante en la composición del solar, ya que proveía de agua a las familias. La batea (*Nukulí p'o'o*) es un espacio para lavar la ropa y en algunas ocasiones, los utensilios de la cocina; se ubica bajo un gran árbol o bajo un techo de palma de guano. La letrina (*Kuchil ta*) es un espacio destinado a realizar las necesidades fisiológicas."¹⁹

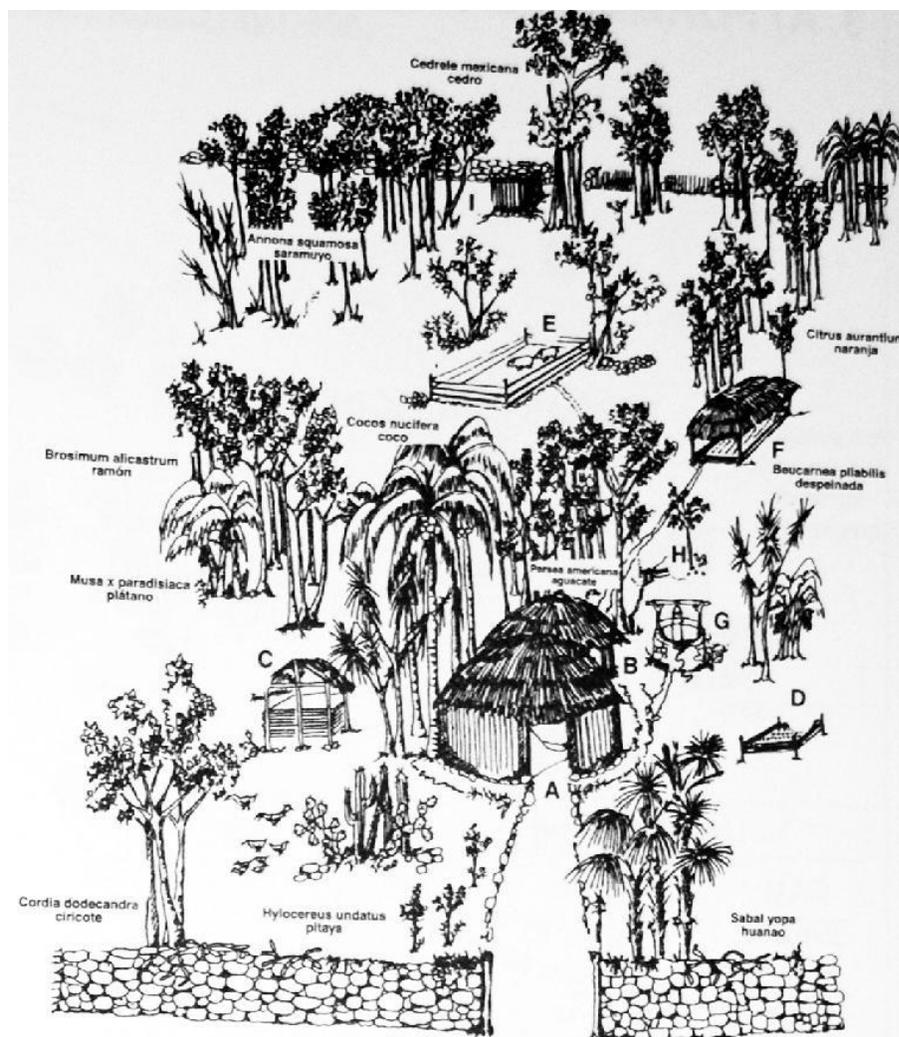


Fig. 35 Composición del solar maya yucateco. A-vivienda; B-cocina; C-troje; D-semillero; E-chiquero; F-gallinero; G-pozo; H-huerto; I-letrina. Fuente: Aké Gómez *et al.* (1999).

¹⁹ Cabrera Pacheco, Ana Julia. Estrategias de sustentabilidad en el solar maya Yucateco en Mérida, México. *GeoGraphos*. [En línea]. Alicante: Grupo Interdisciplinario de Estudios Críticos y de América Latina (GIECRYAL) de la Universidad de Alicante, 2 de enero de 2014, vol. 5, nº 56, p. 1- 32 [ISSN: 2173-1276] [DL: A 371-2013] [DOI: 10.14198/GEOGRA2014.5.56].

La vivienda maya

La casa habitación propiamente está compuesta por dos elementos importantes: la estancia-dormitorio y la cocina. Generalmente la cocina está separada del cuerpo principal, sin embargo, en ocasiones ésta puede estar adosada o incluso dentro del cuerpo de estancia-dormitorio.

La construcción de la vivienda maya está llena de significados, no sólo se requiere de conocimientos técnicos y constructivos, sino también de aspectos ambientales y rituales. La orientación se basa en los puntos cardinales (sin embargo, hay que entender que para los mayas son cinco éstos puntos, siendo el quinto el eje vertical en el centro que, a través de una ceiba, conecta a través de sus raíces a los 9 niveles del inframundo y a través de sus ramas con los 13 cielos); de tal forma se busca que K'iin, el sol, entre por las puertas tanto en la mañana como en la tarde; es decir que el eje longitudinal de la vivienda sea norte-sur preferentemente. Pero otro elemento importante para determinar la orientación es "ik", el viento; No sólo considerada como la brisa o movimiento del aire, sino el aliento divino y comunicación con el espíritu. Por esa razón el viento no sólo es un elemento que refresca a la vivienda, sino un elemento, que junto con el sol nutren y dan vida a todos sus habitantes.

Una vez definida la orientación idónea se procede a hacer el trazo, el cual resulta de ubicar un eje longitudinal norte sur y sobre él se trazan dos círculos tangentes de 2 metros de radio cada uno. Ambos círculos se unen con líneas sobre el eje transversal de los círculos; dando por resultado la típica configuración absidal de 8 m de largo por 4 m de ancho.

El proceso constructivo detallado se menciona en (Sánchez, A. 2006):

"Se traza el cuadro de 16 metros cuadrados, cuatro por cuatro [que conforman los *nohhocom*, horcones principales], entonces de cuatro por cuatro lo que, a dar el *balo*, le mides a la mitad del *balo* y le pones dos metros. De esos dos metros, le giras para que llegue al otro para sacar el *moy*, el *moy* es los dos redondos, la curvatura [son las ábsides de la vivienda orientadas hacia el sur y el norte cuando es posible]. Deben ser cuatro *noh-ocom* y pueden ser cuatro o cinco *ocom-moy*, lo que lleve [para sostener el ábside de la cubierta]. Puede ser que en esta curvatura, en medio haya uno, dos más a los lados; entonces llevaría cinco por lado... Y además tampoco va a agarrar el *ocom*, porque va a tener al lado del *ocom*, a la altura del *pach-nah* que también va a llevar, a lo mejor, dos más hasta llegar donde va a estar la puerta [*holnah*] de cada lado, puede ser nueve en total [para la mitad de la vivienda, duplicándose con la otra mitad para hacer un total de 18 *ocom-moy* que estructuran el muro y sostienen las ábsides].

Después de colocados los *ocom-moy* se construye el *holmuch'*, formado por varios rollos delgados y flexibles, que posteriormente se amarran, en grupos de tres o cuatro, por los extremos. Se agregarán los rollos que sean necesarios para cubrir la longitud requerida para cubrir el perímetro del ábside trazado. Se saca punta a los rollos que queden en los extremos para poder incrustarlos en la unión entre el *ocom*, el *balo* y el *pach-nah*; sosteniéndose en las horquetas de los *ocom-moy* y amarrándose a estas (Véanse figura 1).

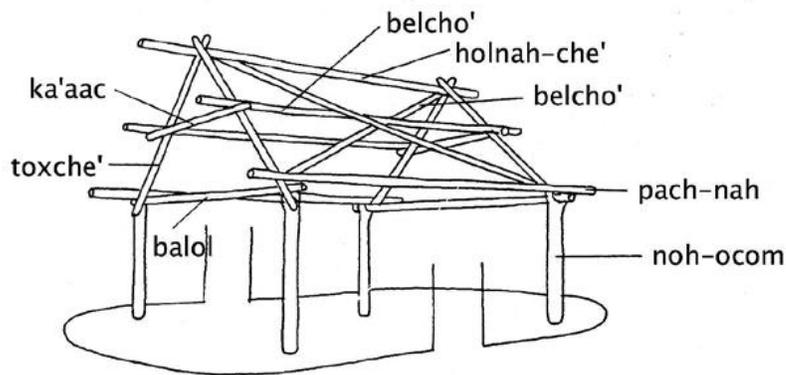


Fig. 36 Proceso de construcción de la estructura.

El *ocom* sólo va a servir para sostener el techo, no la pared. Después cuando ya está fijado, ya está sembrado el *ocom*, entonces se procede a medir la tijera [*toxche*] y abajo se amarra la tijera, en medio del *balo* se pone una madera provisional para amarrar, hay quienes primero hacen la "A" que es la tijera, bien medido lo amarran. Una vez fijado las dos tijeras, la madera que está entre *ocom* y *ocom* [el *pach-nah* se] fija para que no se mueva y entonces ya se le pone el *holnah-che'* [en el amarre que se llama *ec*] y después del *holnah-che'* se le fijan las otras dos tijeras laterales, puede ser por dentro, va desde el extremo del *ocom* hasta el *holnah-che'* diagonalmente, ya no puede ir de aquí pa'cá... ya casi se armó la estructura. Después de eso se arma el segundo el *bel-ch'o'*, y se hace el *copmoy* [el ábside intermedio de la cubierta] un poquito desnivelado, sobresale un poquito para que cuando le ponga el *huincli-che'*, cuando se amarre al de abajo se forza y se amarra y hace una curvatura hacia afuera. Después que se pone el *huincli-che'*, se pone el *ka'aac*, brazo de tortuga, una horqueta que va del *pach-nah* al *belcho'* para que no se fuerce cuando se suba a componer

[Posteriormente se colocan los hiil que estarán a la distancia de los huanos y se amarran con los *huincli-che'*] para poner el huano [la distancia] puede ser 20 o 30 centímetros, si quieres que engruese [*sic*] tu techo se pone a 20 centímetros y aguanta muchos años; para 30 años debe de ser que le hagan la primera composición, porque no lo vas a cambiar todo, nada más donde comience a podrirse [*sic*]

La colocación del huano se realiza separando las hojas de la guía central, la cual va por debajo de la cubierta, anclada en el *hiil*, quedando las hojas por el exterior; se acomodarán de abajo a arriba, buscando traslapar las palmas. En la parte superior de la cubierta se coloca el *pac-hool* (caballete), que asegura los huanos que se entrelazan de lado a lado y se refuerza colocando el *chac-zuuc*, en la acción denominada *ziic-zuuc*; de esta manera se refuerza el área que es la más susceptible de verse dañada por las lluvias. La cubierta debe tener *chi'nah*, alero que protege a los muros de tierra de las lluvias "antes del *colox-che'* se pone una fila de piedras, el *tzoltún*, es enfilear piedras, entonces ya sobre eso se le pone el *colox-che'*"...²⁰

²⁰ Información obtenida de la entrevista efectuada al Sr. Cervando Suárez Chí y a su anciano suegro que no habla el castellano. El proceso constructivo que se narra es de una vivienda de muros de bajareque de planta absidal. La cubierta siempre será la misma, independientemente del tipo de material que se emplee en los muros.

Una vez terminada la vivienda se construye la albarrada (*cof*) con piedras sobrepuestas y con forma abocinada hacia el acceso para propiciar la canalización del viento, además de cumplir con una función vestibular.

Bibliografía

Aguilar, I. -Editora. (2006) *Raxalaj Mayab' K'aslemalil*, Cosmovisión Maya, plenitud de la vida. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. PNUD Guatemala.

Hammond, Norman. (2008) *Ciudades Mayas Preclásicas, raíces y evolución: El Preclásico Medio en Cuello, Belice – Estudios de Cultura Maya Vol. 31*. Instituto de Investigaciones Filológicas, UNAM. México

Quiñones, Lucia. (2006) *Del preclásico medio al clásico temprano: una propuesta de fechamiento para el área nuclear de Izamal, Yucatán*. Estudios de Cultura Maya Vol. 28. Instituto de Investigaciones Filológicas, UNAM. México

Sharer, Robert. (2001). *El mundo Clásico Maya*. En *Maya amaq. El Mundo Maya*. Eggebrecht, Eva y Arne; Seipel, Wilfried. FODIGUA – Fondo de Desarrollo Indígena Guatemalteco.

López, Alfredo y López, Leonardo. (2000) *La periodización de la historia mesoamericana*. *Tiempo Mesoamericano I*. Revista Arqueología Mexicana No. 43. mayo-junio 2000.

Vance, Erik (2012) *Unprecedented Maya Mural Found, Contradicts 2012 “Doomsday” Myth*. National Geographic News. Published in may12, 2012. (calendar was found by Saturno, William)

Sánchez, Aurelio (2006). *La casa maya contemporánea. Usos, costumbres y configuración espacial*. Península. vol. I, núm. 2. Revista semestral UACSHUM/Coordinación de Humanidades UNAM, p. 81

3. Hacienda de Yaxcopoil

Yaxcopoil en maya significa el lugar de los álamos verdes. Es una de las haciendas más antiguas de Yucatán que data del siglo XVII. En 1853 contaba con más de 2 000 cabezas de ganado vacuno, aunque también contaba con caballar y porcino. Sin embargo, después se convirtió en una de las haciendas henequeneras más importantes.

El imponente doble arco morisco de su entrada norte representa las 2 000 cabezas de ganado con que contaba, ya que cada arco representaba 1 000 cabezas.

Descripción general

La hacienda se organiza por medio de una gran plaza alrededor de la cual se ubican: al sur, los cuartos de máquinas (henequeneras), la desfibradora y las bodegas; al norte la tienda de raya, la escuela y la enfermería; y la casa grande al este.

La casa grande o principal, está formada por varios cuerpos. Los salones principales se ubican en dos cuerpos alargados paralelos con su eje longitudinal orientado ESE- WNW, y el eje transversal con orientación NNE-SSW; coincidiendo con la dirección del viento dominante. Ambos cuerpos son de una sola galería de gran altura con ventanas y puertas alineadas unas frente a otras para propiciar la ventilación cruzada.

A partir del eje longitudinal ESE-WNW sale un eje perpendicular al centro formando corredores abiertos en forma de T. sobre este último eje se organizan las habitaciones privadas de la hacienda.

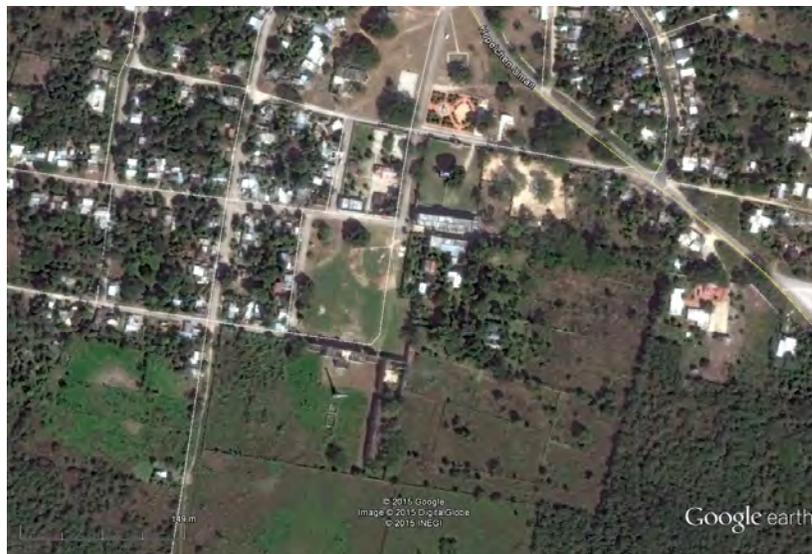


Fig. 37 Vista aérea, Hacienda Yaxcopoil,



Fig. 38 Arco doble morisco, Hacienda de Yaxcopoil



Fig. 39 Fachada norte, salones Hacienda Yaxcopoil

Las estrategias bioclimáticas utilizadas en la hacienda de Yaxcopoil son precisas las recomendadas para este tipo de clima: ventilación cruzada y controlada, masividad en muros y cubiertas, sombreado total y enfriamiento evaporativo en exteriores.



Fig. 40 Salones principales contiguos, Hacienda Yaxcopoil

Los salones del cuerpo principal están dispuestos de manera alineada y en una sola galería, con ventanas y puertas alineadas para propiciar la ventilación cruzada para los vientos del nornordeste.



Fig. 41 Puertas y ventanas para propiciar la ventilación cruzada

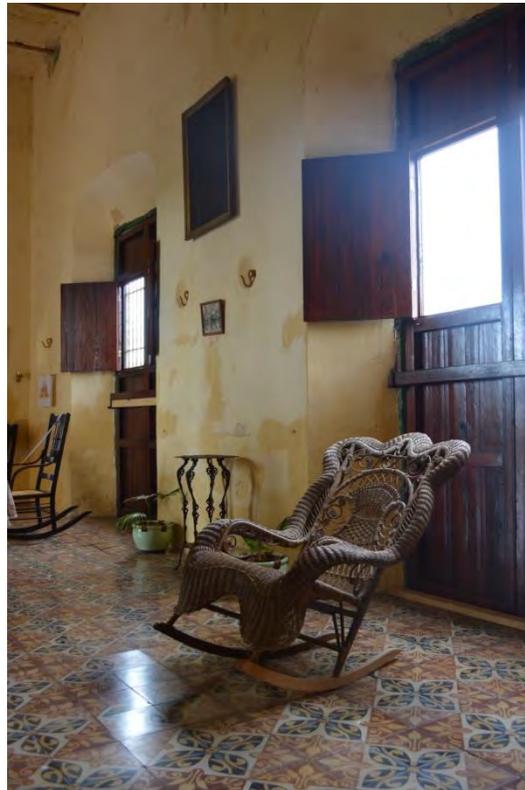


Fig. 42 Postigos de ventana en puertas

Las puertas tienen postigos a manera de ventanas para poder ofrecer ventilación controlada de acuerdo a los requerimientos, ya sea abriendo el total de la hoja o sólo la abertura correspondiente a la ventana.

Las habitaciones tienen gran altura para permitir la estratificación del aire caliente fuera de la zona de ocupación. Los muros son de piedra caliza, material masivo de gran inercia térmica para amortiguar las oscilaciones térmicas. Las cubiertas también están construidas con terrados para ofrecer inercia térmica y controlar el fuerte asoleamiento que reciben.



Fig. 43 Ventanas y puertas alineadas para propiciar la ventilación cruzada



Fig. 44 Pórtico amplio para ofrecer sombreado

Las puertas se ubican una frente a otra para propiciar la ventilación cruzada. Amplios pórticos con arcadas de medio punto permiten tener espacios de uso exterior sombreados permanentemente.

Tanto en los espacios interiores como en los exteriores se utilizan las hamacas para descansar y dormir.



Fig. 45 Corredor exterior con pórticos opuestos en ambos cuerpos

El conjunto de las habitaciones se separa en varios cuerpos que distinguen usos más públicos y de servicios, de aquellos privados. entre los dos cuerpos principales se forma un corredor exterior que canaliza el viento dominante del ESE, permitiendo tener una corriente de aire en los espacios porticados. en la entrada del aire se ubica un estanque de agua que permite el enfriamiento evaporativo para que la corriente de aire sea más fresca. Esta estrategia se utiliza tanto en el eje longitudinal como en el transversal a través de una fuente.



Fig. 46 Estanque para enfriamiento evaporativo



Fig. 47 Fuente para enfriamiento evaporativo



Fig. 48 Canal de recolección de agua pluvial

La captación de agua pluvial es muy importante no sólo para aprovechar el agua para el ganado, sino que es utilizada como sistema de enfriamiento de la terraza norte y por tanto del cuerpo principal.

De las azoteas se canaliza el agua de lluvia hacia unos canales abiertos que sirven como bebederos para los animales, ese canal desemboca en los aljibes que se ubican en la parte inferior de la terraza, los aljibes no son cerrados, sino que están abiertos al viento a través de varias aberturas con forma ovoide a manera de "ojo de buey".

De esta forma el aire provee enfriamiento evaporativo, pero también los muros y piso de la terraza se mantienen frescos debido a la corriente constante de aire fresco y húmedo.

El agua para consumo humano se obtiene de un pozo ubicado en la parte sur del conjunto.



Fig. 49 Terraza exterior en fachada norte



Fig. 50 Aljibes debajo de terraza en fachada norte

En el cuerpo interior se ubican habitaciones de servicio y privadas, rodeadas de jardines y la huerta. Entre los locales de servicio y privados se ubica una poza que funciona como alberca para refrescarse en los días más calurosos.

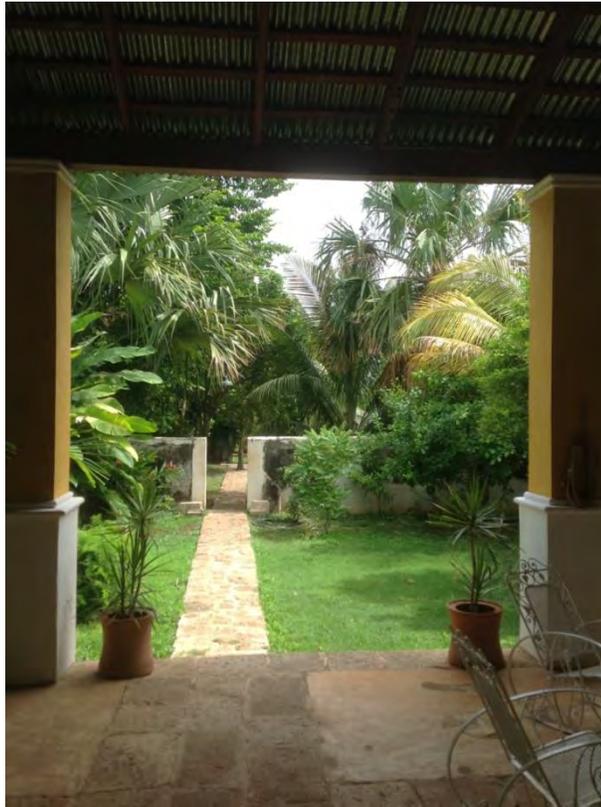


Fig. 51 Corredor hacia huerto y habitaciones privadas



Fig. 52 Alberca

4. Universidad del Mayab

Mérida, Yucatán, México 1982-1984.

La Universidad La Salle del Mayab se ubica al norte de Mérida, en el km 15.5 de la carretera Mérida a Progreso, a 2 km entrando por la carretera a Chablekal, a 2 km antes de la zona arqueológica de Dzibilchaltún.

El proyecto fue encargado en 1982 al arquitecto yucateco Augusto Quijano, quien se inspiró en la arquitectura maya para el desarrollo de su concepto arquitectónico.

El complejo se desarrolló en etapas, el edificio de la rectoría en 1993-1994, y el edificio extensión de la escuela de medicina en el 2012-2013



Fig. 53. Vista aérea de la Universidad La Salle del Mayab

Descripción general

El terreno tiene una forma rectangular con su eje longitudinal este-oeste; la mayoría de los edificios siguen esta misma orientación, con sus fachadas largas norte-sur, para permitir una buena iluminación del norte. Sólo el edificio de Ingeniería y Arquitectura, y un ala del edificio de Rectoría tienen orientación este-oeste.

Las estrategias bioclimáticas utilizadas son en primer lugar el control solar a través de grandes pórticos, partesoles y celosías; elementos masivos y ventilación natural cruzada y canalizada.



Fig. 54 Partesoles del edificio de Rectoría

El edificio de Rectoría tiene forma de "L" con un gran pórtico en el vértice con pergolado que cubre principalmente los rayos solares provenientes del poniente. Tanto en la fachada sur como en la oeste se dispusieron partesoles inclinados con vegetación intermedia para proteger del sol. Los acristalamientos son mayores en la fachada norte.



Fig. 55 Edificio de Rectoría, fachada sur, vista del pórtico de acceso.



Fig. 56 Edificio de Rectoría, fachada norte.

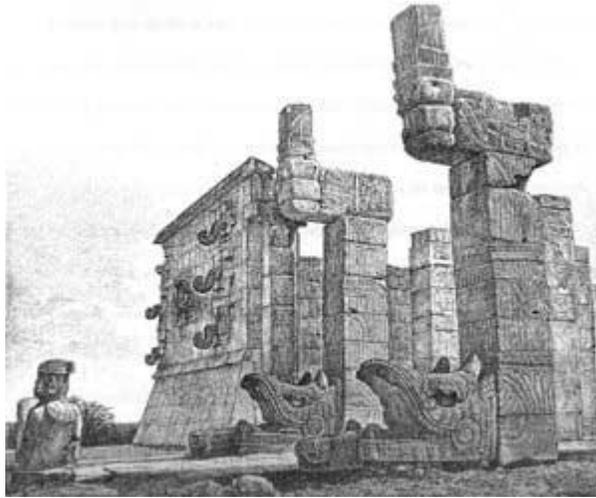


Fig. 57 El templo de los Guerreros en Chichén Itzá, cuyo pórtico está enmarcado por dos cuerpos de serpientes descendentes, labrados en sus cuatro lados. Dibujo de Raúl Velázquez. En: Enrique Florescano. "Chichén Itzá, Teotihuacán y los orígenes del *Popol Vuh*". <http://www.jornada.unam.mx/2005/06/12/sem-enrique.html>

En la parte posterior del edificio de Rectoría, se dispusieron dos grandes columnas como marco de acceso al edificio, que tienen una reminiscencia a las serpientes descendentes del Templo de los Guerreros en Chichén Itzá.



Fig. 58 Edificio 6, Fachada sur. Laboratorios de ingeniería y Comunicación y Diseño

En el edificio 6, de laboratorios de ingeniería y aulas de la comunicación y diseño se aprecia el control solar que se da por medio de grandes corredores cubiertos y protegidos por grandes partesoles inclinados, pantallas y pérgolas.



Fig. 59 Edificio 3. Fachada norte. División de Ciencias Jurídicas y Sociales



Fig. 60 Edificio 3. Fachada sur. Escalinata de acceso.

El edificio 3 es el más grande del campus. En su fachada sur cuenta con pasillos porticados, mientras que, en la sur, la fachada es inclinada con ventanas remetidas y con carteles a manera de partesoles.



Fig. 61 Cafetería. Fachada sur

La cafetería se ubica como cabecera del edificio 3. Se parecía el sistema de pórtico, partesoles y repisas de control solar. Apoyado por el uso de vegetación y sombrillas individuales para uso exterior.



Fig. 62 Escuela de Medicina, fachada sur.



Fig. 63 Escuela de medicina. Vista este. Augusto Quijano arquitectos SCP. Universidad Anáhuac Mayab. Escuela de Medicina. Extensión. Chablekal, Yucatán. 2012-2013.
<http://www.augustoquijano.com/proyectoq.php?p=1&c=2&l=7&s=195>



Fig. 64 Escuela de medicina. Vista del pórtico sur. Augusto Quijano arquitectos SCP. Universidad Anáhuac Mayab. Escuela de Medicina. Extensión. Chablekal, Yucatán. 2012-2013.
<http://www.augustoquijano.com/proyectoq.php?p=1&c=2&l=7&s=195>

La escuela de medicina tiene orientación norte sur- La fachada sur está protegida por grandes partesoles inclinados y por los propios pasillos de las aulas. Los pasillos protegen el asoleamiento sur, mientras que los partesoles los rayos del poniente. Este concepto ofrece espacios exteriores utilizables y protegidos.

Nótese las estrategias utilizadas de grandes áreas sombreadas, ventilación natural de los espacios y la masividad de edificio.

COLOMBIA

Caso de estudio: Medellín, Antioquia y Amazonas

- **Condicionantes físicas, ambientales y climáticas de Medellín**
 - **La arquitectura amazónica – la Maloca**
 - **Espacios Deportivos de Medellín**

Condicionantes Físicas, ambientales y climáticas de Medellín

Ubicación Geográfica:

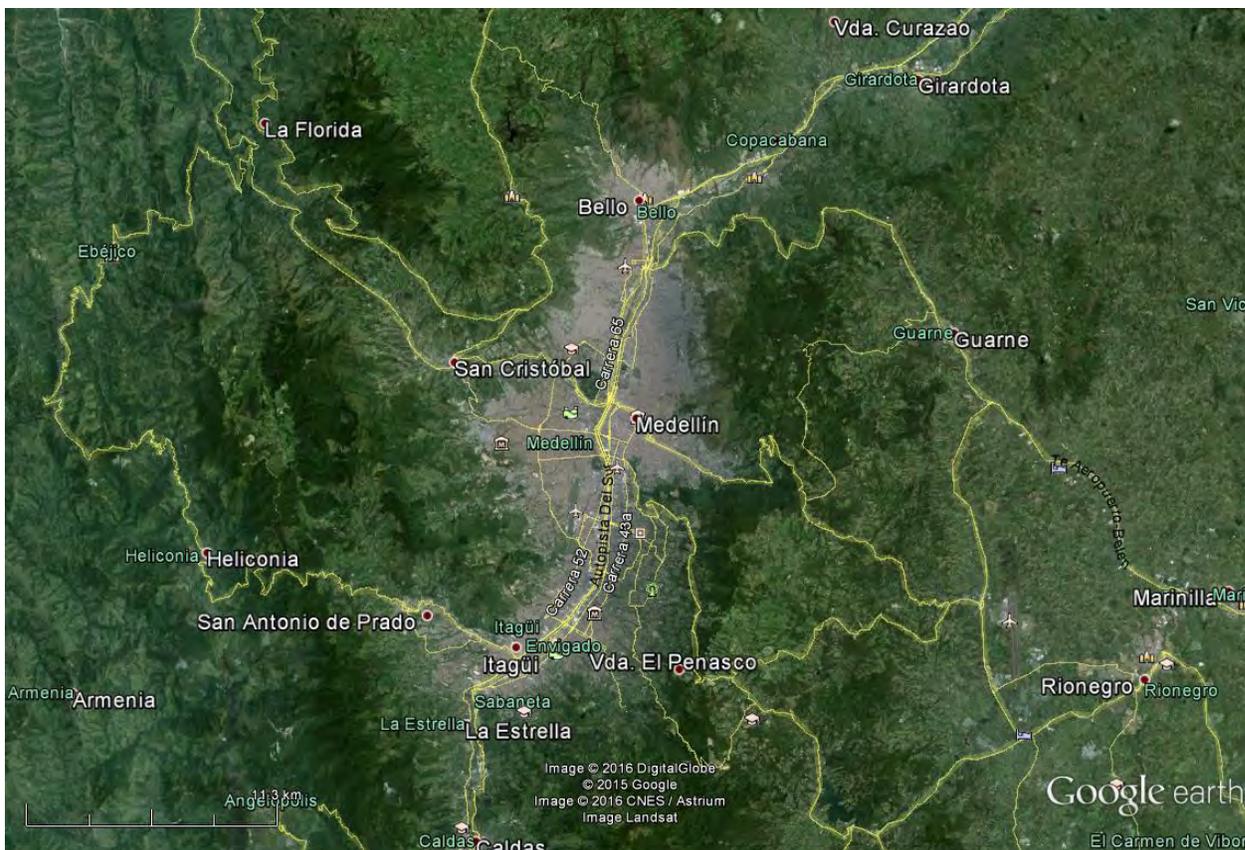


Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto (Imagen de Google Earth²¹)

Los datos climatológicos corresponden al observatorio de la ciudad de Medellín, Antioquía en Colombia del período 1981-2010. (Aeropuerto Olaya Herrera)

La Ubicación Geográfica es:

Latitud: 6° 14' 41"
Longitud: -75° 34' 29"
Altitud: 1495 msnm

²¹ Google Earth. Google Inc. 2015

1.5. Análisis Climático

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen-García (García, 1973), el clima del aeropuerto de Medellín es **Af(m)iw"** (Cálido húmedo, isotermal, con presencia de canícula). Esta clasificación se interpreta de la siguiente manera:

- **A** define al clima como *cálido*; con temperatura media anual mayor a 22 °C y la temperatura media del mes más frío mayor de 18 °C.
- **f(m)** corresponde a un clima *húmedo* con régimen de *lluvias intermedio*, es decir que la precipitación se encuentra en la mitad caliente del año, pero no llega a 10 veces la del mes más seco; el porcentaje de precipitación invernal es menor a 18; con una precipitación del mes más seco superior a 60 mm.
- **i** define al clima con *isotermal*; con una oscilación anual menor a 5 °C
- **w"** indica presencia de canícula, presente en los meses de junio a septiembre.

f	Medellín, Antioquía. Col.	1981-2010
I	CLIMA	A f(m)iw"
J	BIOCLIMA	TEMPLADO HUMEDO
A	LATITUD	6°.14 6.24
A	LONGITUD	75°.34' 75.57
A	ALTITUD	1,495 msnm

Estación: 31019

f	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURAS														
A	MÁXIMA EXTREMA	°C	31.6	33.0	33.4	32.8	32.2	32.0	33.6	33.1	31.3	31.1	32.8	33.6
A	MÁXIMA	°C	27.8	28.2	28.1	27.6	27.8	28.2	28.4	28.5	28.0	27.2	27.1	27.8
A	MEDIA	°C	22.4	22.7	22.7	22.4	22.6	22.9	23.1	23.1	22.4	21.8	21.8	21.9
A	MÍNIMA	°C	17.2	17.5	17.7	17.8	17.8	17.4	17.2	17.0	17.0	17.3	17.2	17.4
A	MÍNIMA EXTREMA	°C	12.4	12.4	13.0	13.9	12.8	10.4	10.0	11.4	10.2	11.2	10.8	10.0
E	OSCILACION	°C	10.6	10.7	10.4	9.8	10.0	10.8	11.3	11.3	11.0	10.2	9.8	10.5
HUMEDAD														
E	TEMP.BULBO HÚMEDO	°C	18.1	18.3	18.5	18.7	18.8	18.6	18.3	18.3	18.3	18.3	18.4	18.4
E2	H.R. MÁXIMA	%	84	83	86	89	89	84	80	86	91	92	89	86.1
A	H.R. MEDIA	%	66	65	67	70	70	66	63	63	67	71	72	70
E2	H.R. MÍNIMA	%	48	47	48	51	51	48	46	46	48	51	52	48.9
E	PRESIÓN DE VAPOR MEDIA	hPa	17.20	17.30	17.80	18.40	18.50	17.70	16.80	16.90	17.50	18.00	18.20	17.90
A	EVAPORACIÓN	mm	135.6	121.6	130.6	121.8	114.7	125.9	148.3	147	123.5	106.7	103	109.7
PRESIÓN														
E	MEDIA	hPa	852.9	853.0	853.0	852.9	853.0	853.1	853.2	853.2	852.9	852.6	852.6	852.6
PRECIPITACIÓN														
A	MEDIA (TOTAL)	mm	63.0	81.0	129.0	171.0	214.0	152.0	133.0	140.0	182.0	227.0	159.0	105.0
A	MÁXIMA	mm	50.0	57.0	64.0	56.0	110.0	64.0	55.0	78.0	64.0	79.0	55.0	67.0
A	MÁXIMA EN 24 HRS.	mm	50.0	57.0	64.0	56.0	110.0	64.0	55.0	78.0	64.0	79.0	55.0	67.0
	MÁXIMA EN 1 HR.	mm												
	MÍNIMA	mm												

RADIACIÓN SOLAR

E	RADIACIÓN MÁXIMA DIRECTA	W/m ²	499.2	496.6	478.2	456.8	439.0	466.0	505.6	504.6	510.9	497.6	450.6	474.8	481.7
E	RADIACIÓN MÁXIMA DIFUSA	W/m ²	124.8	124.2	119.6	114.2	109.8	116.5	126.4	126.1	127.7	124.4	112.7	118.7	120.4
A	RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL	W/m²	624.0	620.8	597.8	571.0	548.8	582.5	632.0	630.7	638.6	622.0	563.3	593.5	602.1
A	INSOLACIÓN TOTAL	h	175.5	149.0	154.2	127.9	138.9	173.0	203.2	191.6	153.4	132.9	136.4	156.2	1,892.2

FENOMENOS ESPECIALES

A	LLUVIA APRECIABLE	días	12.0	13.0	18.0	23.0	23.0	18.0	17.0	19.0	22.0	25.0	21.0	16.0	227.0
	LLUVIA INAPRECIABLE	días													
	DÍAS DESPEJADOS	días													
	MEDIO NUBLADOS	días													
	DÍAS NUBLADOS	días													
	DÍAS CON ROCÍO	días													
	DÍAS CON GRANIZO	días													
	DÍAS CON HELADAS	días													
	DÍAS CON TORM. ELÉCTRICA	días													
	DÍAS CON NIEBLA	días													
	DÍAS CON NEVADA	días													
	VISIBILIDAD DOMINANTE	km													

VIENTO

D	DIRECCIÓN DOMINANTE		NNE	NNE	NNE	NNE	N	NNE	E	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	ESE
D	CALMAS	%	0.0												0.0
D	VELOCIDAD MEDIA	m/s	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.4	2.4	2.3	2.1	2.1	2.3	2.3
A	VELOCIDAD MÁXIMA	m/s	5.0	4.0	4.5	4.0	4.0	4.5	5.0	4.5	5.0	4.0	4.0	4.5	4.4
D	MÁXIMO DIARIO	m/s													

A Normales Climatológicas, IDEAM (1981-2010), Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>]

B

C

D Wind Finder. Aeropuerto de Olaya Herrera.

E Datos calculados.

E2 Datos calculados con base en los algoritmos del Dr. Adalberto Tejeda M., Programa para el cálculo de la Humedad Relativa. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. s/f

F Cf. NOAA - National Geophysical Data Center. National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/>

G Cf. Environment Canada. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=5FBF816A-1>

H Cf. Environment Canada. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=86C0425B-1#h2>

I Cf. García, Enriqueta. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Talleres de Offset Larios, S.A., México. D.F. 1988

J Cf. Schjetnan, Mario; Figueroa, Anibal y Fuentes F., Víctor. Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura. IMSS 7300, México, D.F. 1991

Paralelamente a la clasificación climática de Köppen-García, se determinó la agrupación bioclimática del sitio en estudio. Este sistema bioclimático tiene por objeto la agrupación simplificada de localidades de acuerdo a sus requerimientos bioclimáticos; no pretende sustituir a la primera clasificación, sino complementarse con ella desde el punto de vista de diseño bioclimático (Fuentes y Figueroa, 1990).

Este sistema de agrupación se basa en la relación de la temperatura media del mes más caluroso con la precipitación pluvial total anual. La primera determina los requerimientos de calentamiento o enfriamiento para la estación más cálida del año, mientras que la segunda determina los requerimientos de humidificación o deshumidificación. La figura 3 muestra esquemáticamente la relación y los límites entre ambas variables climáticas encargadas de definir cada uno de los bioclimas locales según las condiciones ambientales del sitio en que se ubiquen.

		Precipitación Pluvial Total Anual			
			650mm	1000mm	Temperatura Media del Mes más Caluroso
26°C	26°C	Cálido Seco	Cálido	Cálido Húmedo	
	21°C	Templado Seco	Templado	Templado Húmedo	
	21°C	Semi-Frío Seco	Semi-Frío	Semi-Frío Húmedo	

Figura 3. Sistema de agrupación bioclimática local a partir de la temperatura media del mes más caluroso y la precipitación pluvial anual (Fuentes y Figueroa, 1990).

Con base en lo anterior, la agrupación bioclimática de la zona de estudio corresponde al bioclima *Templado Húmedo*, ya que la temperatura media del mes más caluroso (julio y agosto) es 23.1°C y la precipitación pluvial anual es de 1 756.0 mm, lo que representa un régimen de lluvias alto.

1.6. Análisis Paramétrico

El análisis paramétrico consiste en analizar cada una de las variables, o parámetros climáticos, con el fin de observar su comportamiento mensual y anual durante el periodo de tiempo definido; con ello se pretende definir las características climáticas y los requerimientos bioclimáticos básicos.

Para este análisis se requiere establecer parámetros de referencia; en algunos casos son zonas o rangos de confort, en otros límites de referencia o interrelación de dos parámetros.

1.6.1. Temperatura

En parámetro de referencia para analizar las temperaturas es la zona de confort, la cual se define a partir de la Temperatura Neutra (T_n), empleado la ecuación lineal de Auliciems (Auliciems y Szokolay, 1997):

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_{med}$$

Este modelo de confort plantea aplicar una amplitud térmica de $\pm 2.5K$ sobre la T_n para periodos anuales. De esta manera, los Límites Superior e Inferior de la Zona de Confort (ZC_s y ZC_i , respectivamente) para Medellín quedan definidos de la siguiente manera:

$$ZC_s = 27.1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_n = 24.6$$

$$ZC_i = 22.1 \text{ }^\circ\text{C}$$

La temperatura óptima de confort anual —Temperatura neutra (T_n)— es de $24.6 \text{ }^\circ\text{C}$, con un rango aceptable (Zona de Confort) entre los $22.1 \text{ }^\circ\text{C}$ y $27.1 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura media (T_{med}) anual es de $22.5 \text{ }^\circ\text{C}$; la media del mes más caluroso es de $23.1 \text{ }^\circ\text{C}$ en julio y agosto, y la media del mes más frío es de $22.4 \text{ }^\circ\text{C}$ en enero.

Todo el año es caluroso, ya que las temperaturas máximas (T_{max}) de todos meses se encuentran por arriba de la zona de confort —generalmente alrededor de las 15:00h—(Fig4). En ningún mes las temperaturas máximas promedio ni extremas superan los $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Mientras que las temperaturas medias (T_{med}) durante todo el año se encuentran dentro de la zona de confort, cerca del límite inferior; y las mínimas (T_{min}) todo el año se encuentran por debajo de la zona de confort —generalmente alrededor de las 06:00h—.

Del mismo modo las temperaturas mínimas extremas en invierno, no descienden por debajo de los $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

La oscilación anual de temperatura es muy baja, corresponde a 1.3 K , por lo que se considera un clima isotermal; mientras que la oscilación diaria promedio anual también es baja, corresponde a 10.5 K .

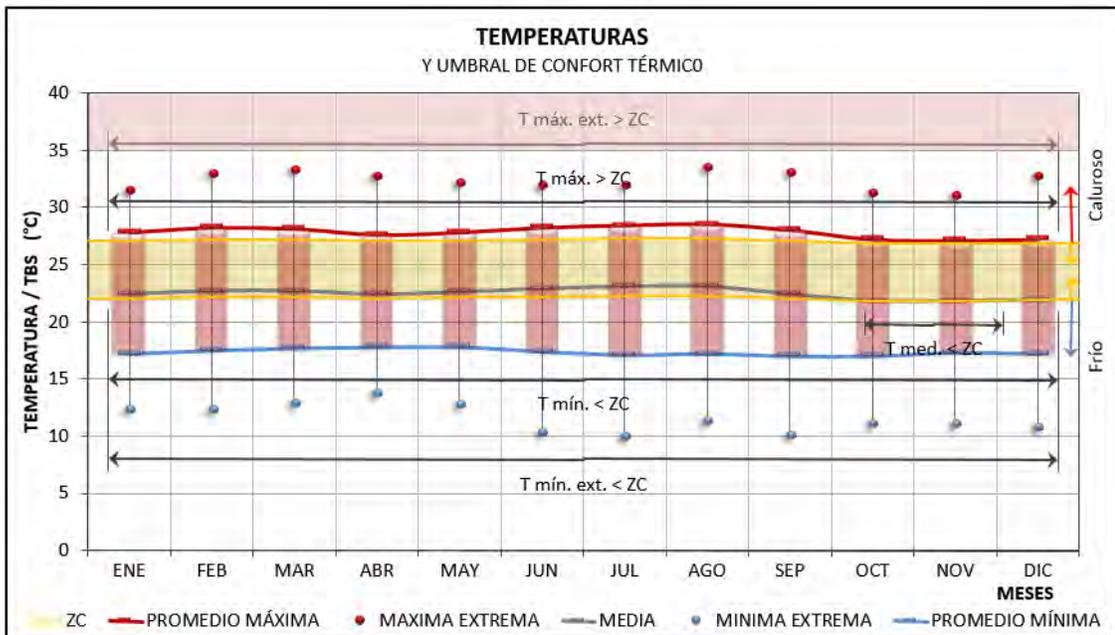


Figura 4. Comportamiento de la temperatura

Al observar los datos horarios de temperatura se aprecia que el periodo de sobrecalentamiento se presenta todos los meses entre las 12 y 21 horas. Analizando estos datos se obtiene que el 36.5 % de las horas se encuentran por debajo del confort; y por lo tanto se presentan requerimientos de calentamiento. El 21.5 % de las horas están dentro de la zona de confort y el 42 % se encuentra por arriba de esta zona presentándose requerimientos de enfriamiento.

PROM. TEMP.		TEMPERATURAS HORARIAS																								BC %	CF %	SC %	
Min.	Max.	HORA	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00				04:00
17.2	27.8	ENE	17.3	17.5	18.4	19.9	21.6	23.4	25.2	26.6	27.5	27.8	27.7	27.3	26.8	26.0	25.2	24.1	23.1	21.9	20.9	19.3	19.0	18.2	17.7	50.0	33.3	16.7	
17.5	28.2	FEB	17.6	17.8	18.8	20.2	21.9	23.8	25.5	26.9	27.9	28.2	28.1	27.7	27.2	26.4	25.5	24.5	23.4	22.3	21.2	20.2	19.3	18.5	18.0	45.8	33.3	20.9	
17.7	28.1	MAR	17.8	17.7	18.0	18.9	20.3	22.0	23.8	25.5	26.9	27.8	28.1	28.0	27.7	27.1	26.4	25.5	24.5	23.4	22.4	21.3	20.3	19.4	18.7	18.1	45.8	33.3	20.9
17.8	27.8	ABR	17.9	17.9	18.1	18.9	20.3	21.8	23.6	25.2	26.5	27.3	27.6	27.5	27.2	26.7	26.0	25.2	24.2	23.2	22.2	21.2	20.3	19.4	18.7	18.2	45.8	37.5	16.7
17.8	27.8	MAY	17.9	17.8	18.1	19.0	20.3	21.9	23.7	25.3	26.6	27.5	27.8	27.7	27.4	26.8	26.1	25.3	24.3	23.3	22.3	21.3	20.3	19.5	18.8	18.2	45.8	37.5	16.7
17.4	28.2	JUN	17.5	17.4	17.7	18.7	20.1	21.9	23.7	25.5	26.9	27.9	28.2	28.1	27.7	27.2	26.4	25.5	24.5	23.4	22.2	21.1	20.1	19.2	18.4	17.9	45.8	37.5	16.7
17.1	28.4	JUL	17.2	17.1	17.4	18.4	19.9	21.8	23.7	25.6	27.1	28.1	28.4	28.3	27.9	27.3	26.5	25.6	24.5	23.3	22.2	21.0	19.9	19.0	18.2	17.6	50.0	29.2	20.8
17.2	28.5	AGO	17.3	17.2	17.5	18.5	20.0	21.9	23.8	25.7	27.2	28.2	28.5	28.4	28.0	27.4	26.6	25.7	24.6	23.4	22.3	21.1	20.0	19.1	18.3	17.7	50.0	29.2	20.8
17.0	28.0	SEP	17.1	17.0	17.3	18.3	19.8	21.5	23.5	25.3	26.7	27.7	28.0	27.9	27.5	26.9	26.2	25.3	24.2	23.1	21.9	20.8	19.8	18.8	18.1	17.5	50.0	33.3	16.7
17.0	27.2	OCT	17.1	17.0	17.3	18.2	19.6	21.2	23.0	24.7	26.0	26.9	27.2	27.1	26.8	26.2	25.5	24.7	23.7	22.6	21.6	20.5	19.6	18.7	18.0	17.4	50.0	41.7	8.3
17.3	27.1	NOV	17.4	17.3	17.6	18.4	19.8	21.3	23.1	24.7	26.0	26.8	27.1	27.0	26.7	26.2	25.5	24.7	23.7	22.7	21.7	20.7	19.8	18.9	18.2	17.7	50.0	41.7	8.3
17.2	27.2	DIC	17.3	17.2	17.5	18.4	19.7	21.3	23.1	24.7	26.0	26.9	27.2	27.1	26.8	26.2	25.5	24.7	23.7	22.7	21.7	20.7	19.7	18.9	18.2	17.6	50.0	41.7	8.3
17.4	27.8	ANUA	17.5	17.4	17.7	18.6	20.0	21.7	23.5	25.2	26.6	27.5	27.8	27.7	27.4	26.8	26.1	25.2	24.2	23.1	22.0	21.0	20.0	19.1	18.4	17.8	48.3	35.8	16.0

Tabla 3. Datos horarios de Temperatura

	Comportamiento Térmico	Total (%)
Temperatura	Sobrecalentamiento (SC)	16.0
	Confort (CF)	35.8
	Bajo Calentamiento (BC)	48.3

Tabla 4. Porcentajes del comportamiento térmico

De acuerdo con la tabla de temperaturas horarias (Tabla 3), la temperatura más elevada del día comprende entre las 14:00h - 16:00h, mientras que la temperatura mínima da lugar alrededor de las 06:00h. De igual manera, es posible apreciar el recorrido horario de las temperaturas diarias desde dos criterios distintos de trazado:

- *Isotermas trazadas a partir del umbral de confort térmico mensual* (Figura 5). En este gráfico, el trazado de las isolíneas converge en las temperaturas comprendidas en un rango de igual valor. Estos rangos, con amplitud de 2K —para el caso específico en estudio.

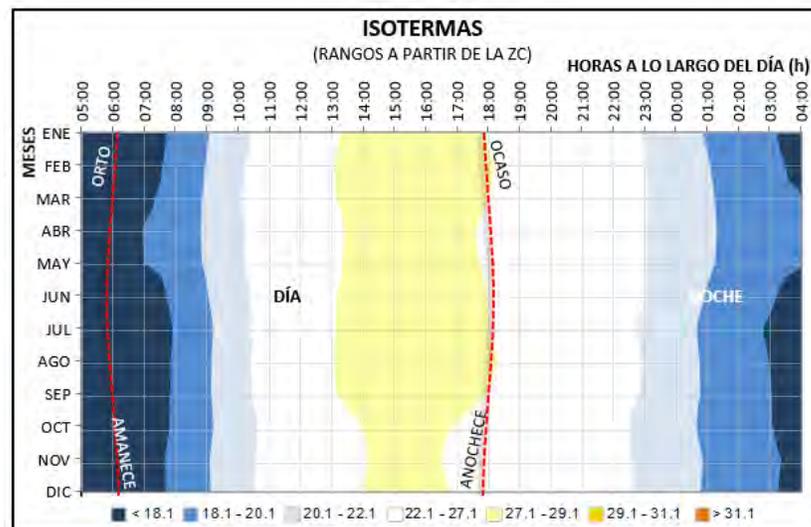


Figura 5. Isotermas horarias trazadas a partir del umbral de confort térmico estimado para cada mes

Con esto, es posible visualizar la zona de confort térmico y las zonas de sobrecalentamiento y bajo calentamiento a lo largo de año.

- *Isotermas trazadas a partir de la estratificación térmica diaria* (Fig). El trazado de esta gráfica se basa en rangos de igual valor de temperatura; en este caso la variación se fijó en 5 K. Esta estratificación térmica permite evaluar las variaciones horarias de manera más detallada.

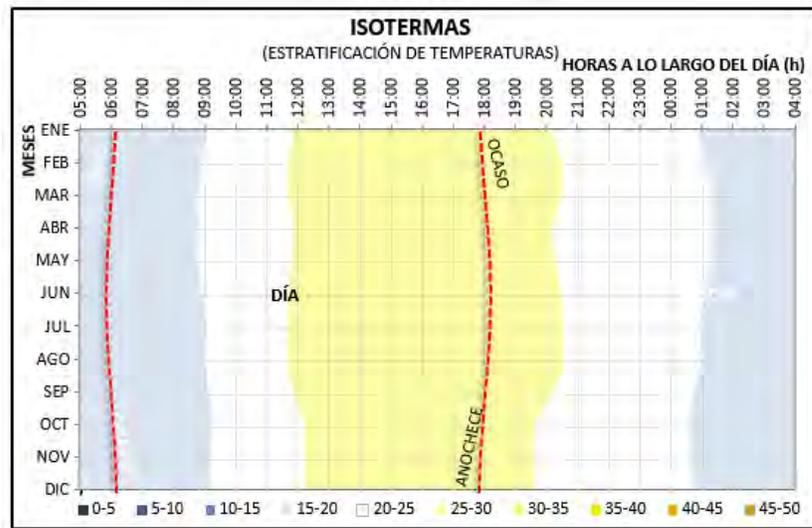


Figura 6. Isotermas horarias trazadas a partir de la estratificación térmica diaria de cada mes

En la figura 6 se aprecia el comportamiento horario de las temperaturas a lo largo del día. Como se puede observar, el comportamiento de la temperatura es bastante uniforme a lo largo del año.

1.6.2. Humedad Relativa

El parámetro de referencia para el análisis del confort higrico es 50% con un rango de confort de $\pm 20\%$, es decir entre 30 % y 70%.

Con base en los datos climáticos de Medellín, la Humedad Relativa media (HR_{med}) anual 67.5% con una oscilación anual promedio de 9%. En el mes más seco (febrero) se presenta una HR_{med} igual a 65%, mientras que en el mes más húmedo (noviembre) 72%.

La Figura 7 muestra el comportamiento mensual de la Humedad Relativa a lo largo del año. En la gráfica se aprecia que durante todo el año la Humedad Relativa máxima (HR_{max}) —presente generalmente a las 6:00 h— sobrepasa la zona de confort por arriba de 80%, en octubre y noviembre se supera el 90%; lo cual indica posible condensación de la humedad.

La Humedad Relativa media (HR_{med}) se encuentra dentro de la zona de confort de enero a septiembre; los demás meses se sale de confort. La Humedad Relativa mínima (HR_{min}) siempre está dentro de la zona de confort, y nunca desciende por debajo del 40%. Se aprecia que la humedad está determinada en gran medida por los patrones de la precipitación, la cual es más elevada en abril y mayo, y octubre y noviembre.

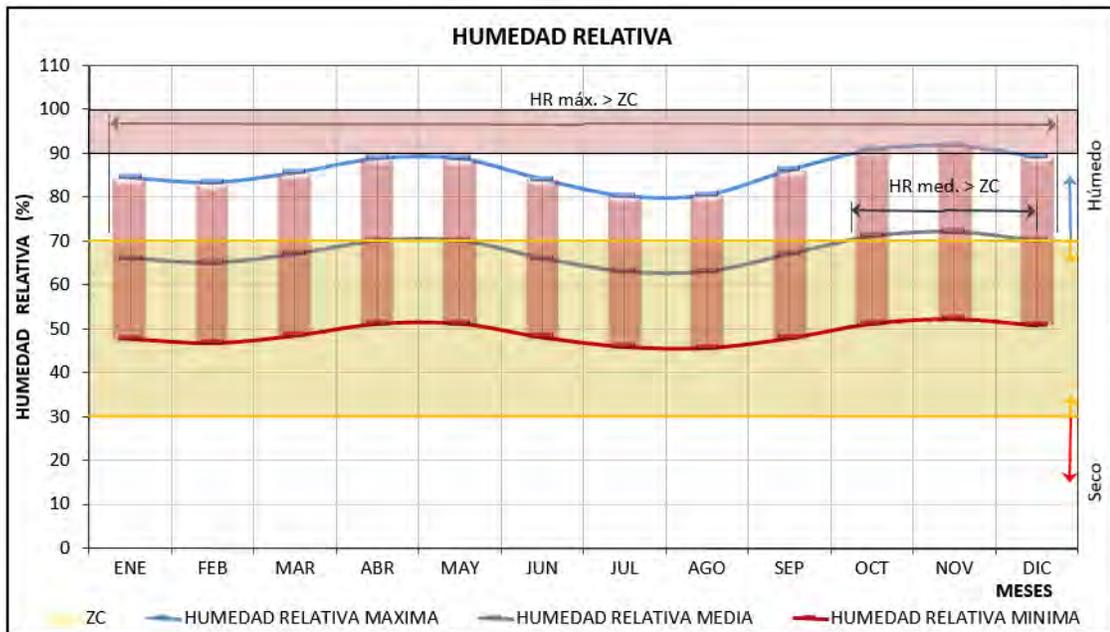


Figura 7. Comportamiento de la humedad relativa

El análisis horario de la Humedad Relativa (Tabla 5) muestra requerimientos de des-humidificación en un 45.1% del año —Las altas humedades se presentan en general desde las 24 h hasta las 9 am. El resto del tiempo las humedades son confortables entre las 10 y 23 h. el porcentaje de humedades dentro de confort es el 54.9%. (Tabla 6).

PROM. HUM.		HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS																								HR	CF	HA	
Min.	Max.	HORA	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	%	%	%
47.7	84.3	ENE	83.9	84.3	83.2	80.0	75.2	69.2	62.8	56.8	52.0	48.8	47.7	48.1	49.3	51.2	53.8	56.8	60.3	64.1	67.9	71.7	75.2	78.2	80.8	82.7	0.0	58.3	41.7
46.7	83.3	FEB	82.9	83.3	82.2	79.0	74.1	68.2	61.8	55.9	51.0	47.8	46.7	47.1	48.3	50.2	52.8	55.9	59.4	63.1	66.9	70.6	74.1	77.2	79.8	81.7	0.0	58.3	41.7
48.5	85.5	MAR	85.1	85.5	84.4	81.2	76.3	70.2	63.8	57.7	52.8	49.6	48.5	48.9	50.1	52.0	54.6	57.7	61.3	65.1	68.9	72.7	76.3	79.4	82.0	83.9	0.0	54.2	45.8
51.2	88.8	ABR	88.4	88.8	87.7	84.4	79.4	73.3	66.7	60.6	55.6	52.3	51.2	51.6	52.8	54.9	57.4	60.6	64.2	68.0	72.0	75.8	79.4	82.6	85.2	87.2	0.0	50.0	50.0
51.2	88.8	MAY	88.4	88.8	87.7	84.4	79.4	73.3	66.7	60.6	55.6	52.3	51.2	51.6	52.8	54.9	57.4	60.6	64.2	68.0	72.0	75.8	79.4	82.6	85.2	87.2	0.0	50.0	50.0
48.0	84.0	JUN	83.6	84.0	82.3	79.8	75.0	69.1	62.9	57.0	52.2	49.1	48.0	48.4	49.6	51.5	54.0	57.0	60.5	64.1	67.9	71.5	75.0	78.0	80.5	82.4	0.0	58.3	41.7
45.9	80.1	JUL	79.7	80.1	79.1	76.1	71.6	66.0	60.0	54.4	49.9	46.9	45.9	46.3	47.4	49.2	51.5	54.4	57.7	61.2	64.8	68.3	71.6	74.5	76.8	78.6	0.0	62.5	37.5
45.6	80.4	AGO	80.0	80.4	79.3	76.3	71.7	66.0	60.0	54.3	49.7	46.7	45.6	46.0	47.1	48.9	51.4	54.3	57.6	61.2	64.8	68.4	71.7	74.6	77.1	78.9	0.0	62.5	37.5
47.9	86.1	SEP	85.7	86.1	85.0	81.7	76.6	70.3	63.7	57.4	52.3	49.0	47.9	48.3	49.5	51.5	54.2	57.4	61.1	65.0	69.0	72.9	76.6	79.8	82.5	84.5	0.0	54.2	45.8
51.2	90.8	OCT	90.3	90.8	89.6	86.2	80.9	74.4	67.6	61.1	55.8	52.4	51.2	51.7	52.9	55.0	57.8	61.1	64.9	68.9	73.1	77.1	80.9	84.2	87.0	89.1	0.0	50.0	50.0
52.2	91.9	NOV	91.9	91.9	90.6	87.1	81.9	75.4	68.6	62.1	56.9	53.4	52.2	52.7	54.0	56.0	58.8	62.1	65.9	69.9	74.1	78.1	81.9	85.2	88.0	90.0	0.0	50.0	50.0
50.8	89.2	DIC	89.8	89.2	88.0	84.7	79.5	73.3	66.7	60.4	55.3	52.0	50.8	51.2	52.5	54.5	57.2	60.4	64.1	68.0	72.0	75.9	79.5	82.8	85.5	87.5	0.0	50.0	50.0
48.9	86.1	ANUAL	85.7	86.1	85.0	81.7	76.8	70.7	64.3	58.2	53.3	50.0	48.9	49.3	50.5	52.5	55.1	58.2	61.8	65.6	69.4	73.2	76.8	79.9	82.5	84.5	0.0	54.9	45.1

Tabla 5. Humedad Relativa horaria

		Comportamiento Hígrico	Total (%)
Humedad Relativa	Humedad Baja (HB)		0
	Confort (CF)		54.9
	Humedad Alta (HA)		45.1

Tabla 6. Porcentajes del comportamiento de la humedad relativa

De acuerdo a la gráfica horaria de *Humedad Relativa* (Tabla 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), la Humedad Relativa más baja del día comprende de las 14:00h a las 16:00h, mientras que la Humedad Relativa máxima se presenta en las primeras horas del día, siendo las más alta alrededor de las 06:00h. Al igual que las temperaturas, es posible apreciar el recorrido horario de las humedades relativas diarias desde dos criterios distintos de trazado:

- *Isohigras trazadas a partir del umbral de confort higrico anual* (figura 7). En este gráfico, el trazado de las isolíneas converge en las HR comprendidas en un rango de igual valor. Estos rangos, con amplitud de 5% —para el caso específico en estudio—, resultan equidistantes al umbral de confort higrico anual considerado (de 30% a 70)

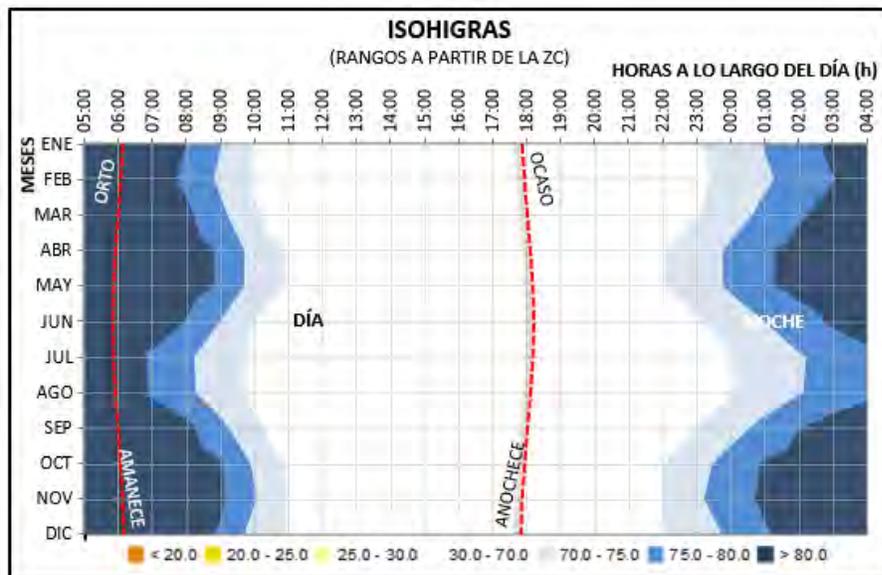


Figura 1. Isohigras horarias trazadas a partir del umbral de confort higrico considerado de 30% - 70% HR

- *Isohigras trazadas a partir de la estratificación higrica diaria* (figura 8). El factor determinante que permite el trazo de las isolíneas en este gráfico se centra en el conjunto de humedades relativas que convergen en rangos de humedad de igual valor. La amplitud de dichos rangos es de 5%, lo que permite analizar los horarios y meses donde se acentúan las peores o mejores condiciones de humedad a lo largo del año. En este gráfico se aprecian los dos períodos húmedos del año.

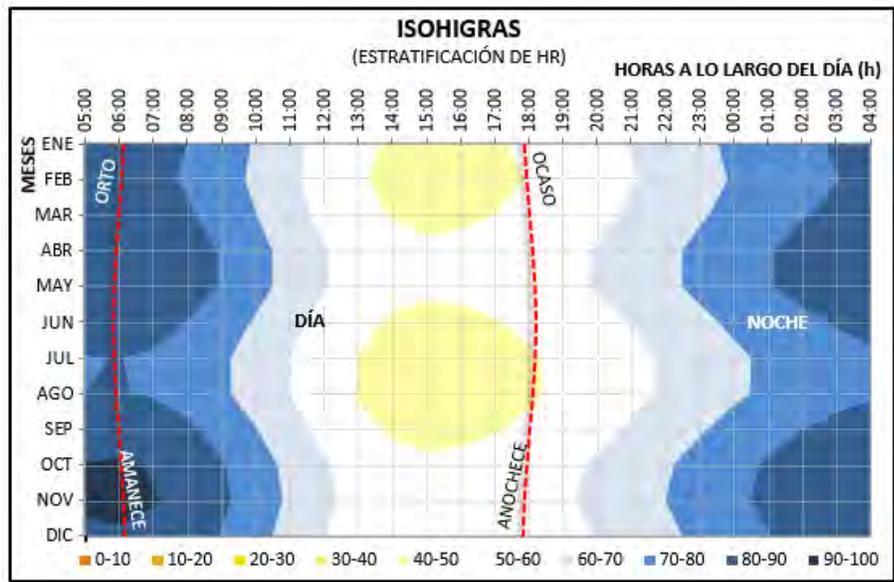


Figura 2. Isohigras horarias trazadas a partir de la estratificación diaria de HR

1.6.3. Precipitación Pluvial y Evaporación

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN)²², la precipitación pluvial se define como el conjunto de partículas de agua líquidas o sólidas que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. Con base en Fuentes (2004, p.169):

“La precipitación total anual sirve para definir si una localidad es seca, de precipitación moderada o húmeda (...); en términos generales, el rango definido para una precipitación moderada está comprendido entre los 650 mm y 1000 mm. Por debajo de esta cifra la localidad será seca y por arriba será húmeda²³”

Con lo anterior, el clima de Medellín es de precipitación alta al presentarse 1,756 mm anuales.

El clima de Medellín muestra un comportamiento húmedo con precipitaciones intermedias, ya que se presenta una precipitación del mes más seco con más de 60 mm, sin embargo, de acuerdo con la

²² *Glosario de Términos del Servicio Meteorológico Nacional*, Comisión Nacional del Agua, México [on-line]. Disponible en: smn.cna.gob.mx/glosario/glosario.html [Consultado el 11 de octubre de 2013].

²³ Generalmente, un sitio que presenta lluvias anuales inferiores a los 400 mm se considera con clima desértico (Fuentes, 2004).

intensidad en que se presentan las precipitaciones²⁴, se pueden apreciar dos periodos de lluvia a lo largo del año (figura 9):

- *Precipitación media (moderada)*: con precipitaciones entre los 40 mm y 150 mm Comprende los meses de enero, febrero, marzo; julio y agosto; y diciembre.
- *Precipitación alta (intensa)*: La precipitación alta, mayor a 150 mm en un mes, se presenta en dos periodos al año, en abril, mayo, junio; y en septiembre, octubre y noviembre; Aunque en realidad son dos períodos separados, podría decirse que hay presencia de canícula en julio y agosto. La mayor precipitación se da en mayo y octubre, con 214 y 227 mm respectivamente.

Octubre es el mes con mayor precipitación total, sin embargo, mayo es el mes que presenta la mayor precipitación diaria con 110 mm. El mes con menor lluvia es enero con 63 mm.

Si se relaciona la evaporación y la precipitación en un mismo escenario (figura 9) **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede apreciar un patrón inverso a la precipitación, es decir que cuando la precipitación es elevada la evaporación disminuye. La evaporación más baja se presenta en noviembre con 103 mm. y la mayor, en julio con 148.3.

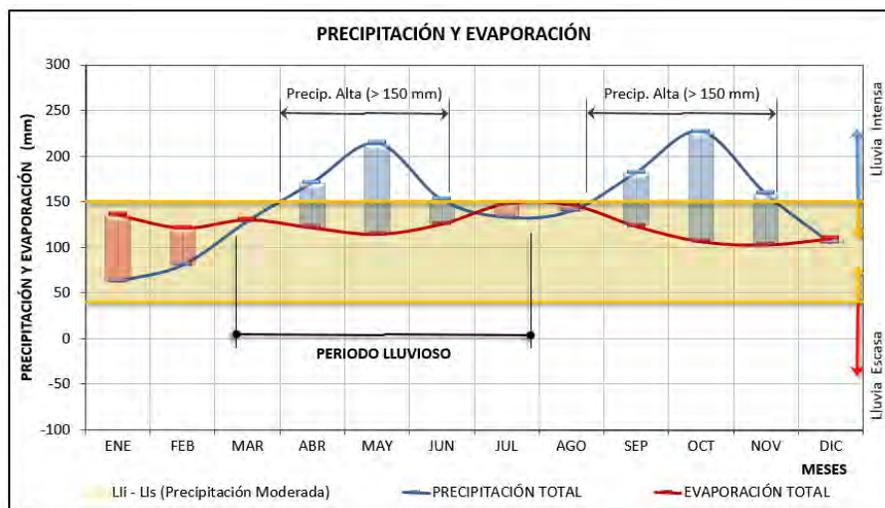


Figura 3. Comportamiento mensual de la precipitación pluvial y la evaporación

Asimismo, al comparar la temperatura con la precipitación pluvial (Índice Ombrotérmico) se puede observar que durante todo el año la precipitación se ubica por arriba de la temperatura, por lo que claramente se trata de un clima húmedo sin períodos de secas. (figura 10) **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** El invierno es el período relativamente con poca precipitación.

²⁴ Se considera lluvia fuerte cuando se sobrepasan los 150mm de precipitación total mensual y poca lluvia cuando no se alcanzan los 40 mm (Fuentes, 2004).

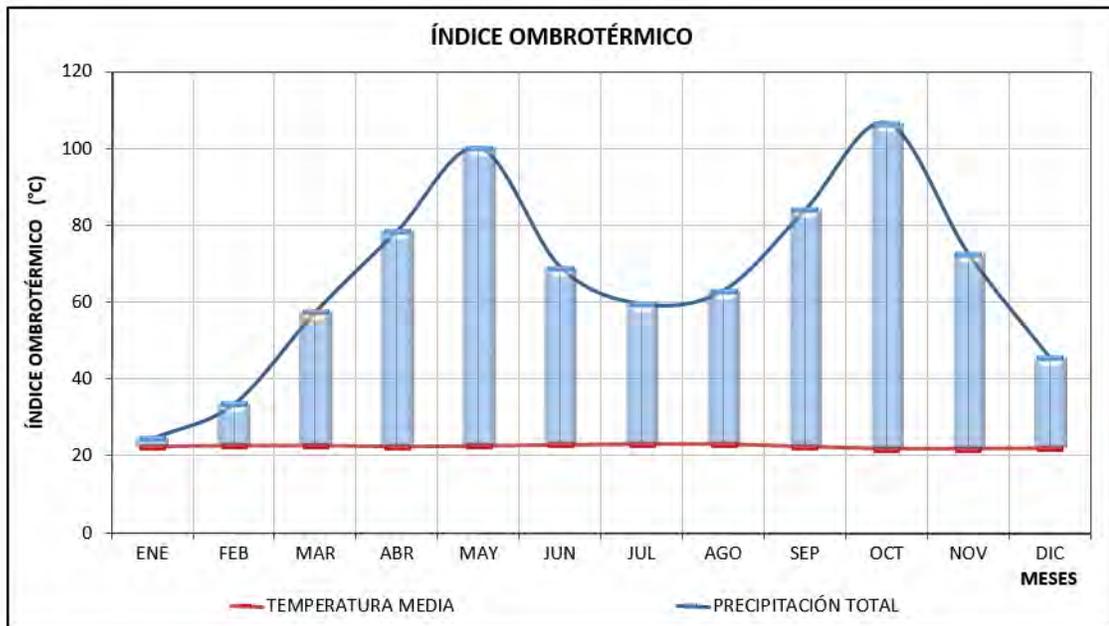


Figura 4. Índice Ombrotérmico. Comportamiento mensual de la precipitación pluvial con respecto a la temperatura

1.6.4. Radiación Solar

De acuerdo con la figura 11; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la Radiación Solar Total máxima diaria (es decir a las 12:00 h) en la zona de estudio es media durante todo el año, al presentar registros entre 500 y 700 W/m². La radiación total máxima se presenta en septiembre (638.6 W/m²) y la mínima en mayo (548.8 W/m²), correspondiendo con los periodos de lluvia.

La Radiación Solar Directa²⁵ máxima diaria (a las 12:00 h) durante todo el año es inferior a los 500 W/m² a excepción de los meses de julio, agosto y septiembre, en los cuales la radiación apenas supera el límite inferior con un valor máximo en septiembre de 510.9 W/m².

La Radiación Solar Difusa se presenta con niveles muy bajos durante todo el año por debajo de los 130 W/m².

²⁵ Los valores de radiación solar directa y difusa fueron calculados matemáticamente de acuerdo con el modelo de ASHRAE, pero no se consideran factores atmosféricos locales, por lo que no son muy confiables.

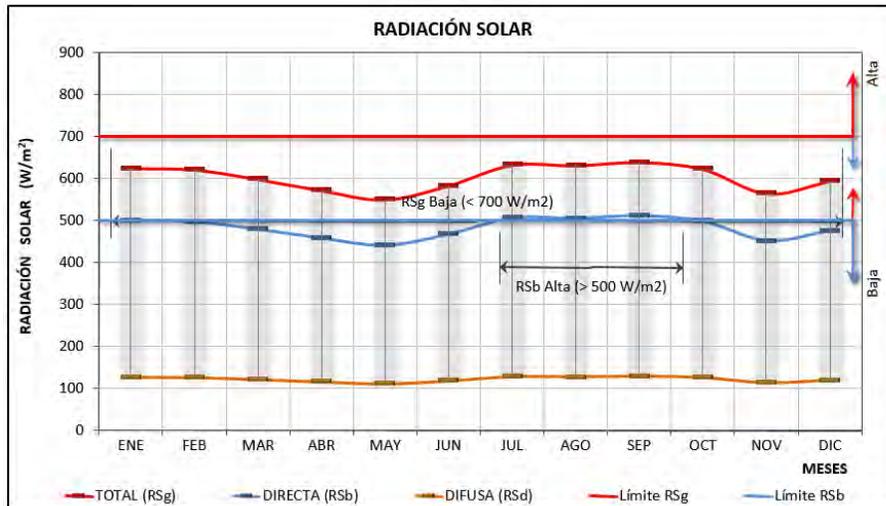


Figura 5. Radiación solar total, directa y difusa.

De acuerdo a la latitud, el Sol pasa por el cenit los días

- Alrededor del 8 de abril, inclinándose hacia el norte.
- alrededor del 6 de septiembre, regresando su declinación hacia el sur.

Lo anterior indica que durante el periodo comprendido entre estas dos fechas el Sol realiza su recorrido hacia el norte. (151 días del año: 41.4 % de los días del año)

1.6.5. Viento

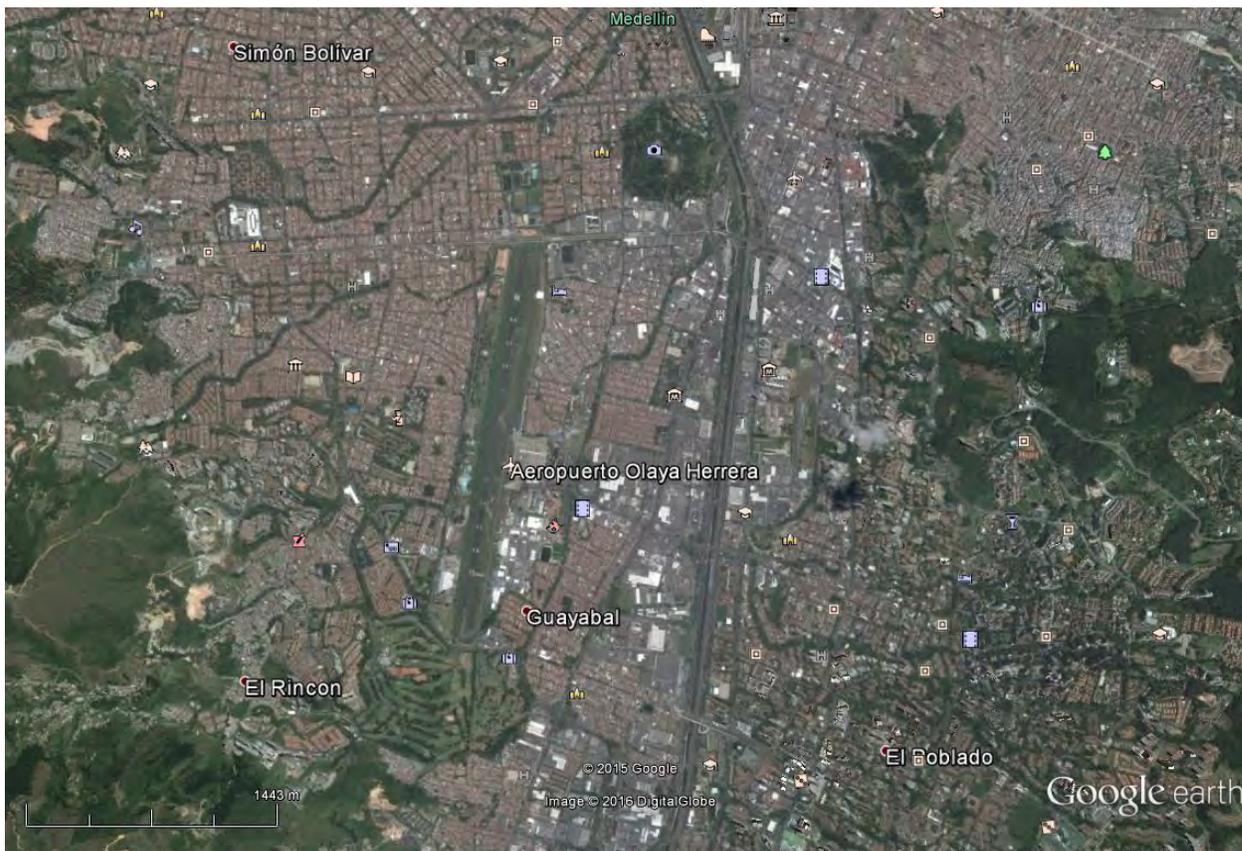


Figura 14. Ubicación del aeropuerto Olaya Herrera

Los datos de viento disponibles la ciudad de Medellín corresponde al aeropuerto Olaya Herrera.

La Tabla 7 muestra los datos de frecuencia y velocidad mensual, anual y por rumbo del viento presentado a lo largo del año.

VIENTO MENSUAL (Frecuencia / Velocidad)

MESES	PARÁMETRO	UNIDAD	DIRECCIONES									CALMAS (%)	PROMEDIO	MÁXIMA
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW				
ENERO	Frecuencia	%	19.9	38.3	17.4	6.3	6.8	4.1	4.4	3.0	0.0	12.5	38.3	
	Velocidad	m/s	2.5	2.5										2.5
FEBRERO	Frecuencia	%	26.5	33.3	13.4	4.4	7.1	6.7	5.6	3.2	0.0	12.5	33.3	
	Velocidad	m/s	2.5	2.5										2.5
MARZO	Frecuencia	%	24.6	30.4	11.9	3.5	12.4	6.9	5.2	5.3	0.0	12.5	30.4	
	Velocidad	m/s	2.4	2.4										2.4
ABRIL	Frecuencia	%	21.4	20.5	12.9	6.3	16.3	9.7	5.5	7.6	0.0	12.5	21.4	
	Velocidad	m/s	2.3	2.3										2.3
MAYO	Frecuencia	%	25.5	23.1	10.2	3.9	14.5	11.8	5.7	5.5	0.0	12.5	25.5	
	Velocidad	m/s	2.2	2.2										2.2
JUNIO	Frecuencia	%	18.0	27.9	18.2	10.1	12.7	7.5	2.6	3.1	0.0	12.5	27.9	
	Velocidad	m/s	2.2	2.2										2.2
JULIO	Frecuencia	%	20.7	22.8	22.6	10.9	10.1	4.9	3.0	5.2	0.0	12.5	22.8	
	Velocidad	m/s	2.4	2.4										2.4
AGOSTO	Frecuencia	%	20.4	26.1	11.6	7.8	12.0	10.9	5.8	5.6	0.0	12.5	26.1	
	Velocidad	m/s	2.4	2.4										2.4
SEPTIEMBRE	Frecuencia	%	15.0	21.0	21.6	8.4	12.9	12.1	5.0	4.2	0.0	12.5	21.6	
	Velocidad	m/s	2.3	2.3										2.3
OCTUBRE	Frecuencia	%	19.9	25.9	10.1	3.7	15.7	14.5	7.2	3.3	0.0	12.5	25.9	
	Velocidad	m/s	2.1	2.1										2.1
NOVIEMBRE	Frecuencia	%	18.7	23.2	8.4	5.8	19.1	15.3	4.9	4.7	0.0	12.5	23.2	
	Velocidad	m/s	2.1	2.1										2.1
DICIEMBRE	Frecuencia	%	19.7	28.3	12.6	4.9	15.4	10.3	4.7	4.3	0.0	12.5	28.3	
	Velocidad	m/s	2.3	2.3										2.3
ANUAL	Frecuencia	%	20.8	26.7	14.2	6.3	12.9	9.5	4.9	4.6	0.0	12.5	26.7	
	Velocidad	m/s	2.3	2.3	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				2.3

VIENTO	UNIDAD	MESES												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DOMINANTE		NE	NE	NE	N	N	NE	NE	NE	E	NE	NE	NE	NE
REINANTE		NE	NE	NE	N	N	NE	NE	NE	E	NE	NE	NE	NE
MÁXIMA	m/s	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.4	2.4	2.3	2.1	2.1	2.3	2.3
PROMED.	m/s	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.4	2.4	2.3	2.1	2.1	2.3	2.3
CALMAS	(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 7a. Datos de viento

Medellin, Colombia		
LATITUD	6° 14'	
LONGITUD	75.3429	
ALTITUD	1495	msnm

mes		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	% Calmas	Variable	prom.	máx.
ENERO	f	6.0	26.1	17.9	14.7	7.6	4.9	3.3	1.1	4.9	2.7	1.6	2.2	2.7	1.1	1.6	1.6	0.0	0.0	2.5	26.1
	v																			2.5	5.0
FEBRERO	f	14.7	21.8	18.2	8.4	6.7	4.9	1.3	1.3	4.0	4.9	3.1	2.2	3.1	2.7	0.9	1.8	0.0	0.0	2.5	21.8
	v																			2.5	4.0
MARZO	f	12.3	21.9	15.1	8.7	6.4	2.3	1.4	1.8	8.2	6.5	2.7	1.8	2.7	3.2	2.3	2.7	0.0	0.0	2.4	21.9
	v																			2.4	4.5
ABRIL	f	12.9	13.8	11.5	4.1	8.8	4.1	2.3	3.8	11.1	6.5	5.5	1.8	3.2	2.8	4.6	3.2	0.0	0.0	2.3	13.8
	v																			2.3	4.0
MAYO	f	14.9	14.0	13.6	5.0	6.8	1.8	1.8	2.3	9.0	8.6	5.9	3.2	3.6	0.9	1.4	7.2	0.0	0.0	2.2	14.9
	v																			2.2	4.0
JUNIO	f	7.9	18.0	14.9	7.9	10.5	7.5	4.8	3.1	7.0	8.3	3.1	0.4	1.3	2.2	0.9	2.2	0.0	0.0	2.2	18.0
	v																			2.2	4.5
JULIO	f	11.7	12.7	13.1	6.6	15.5	7.5	5.2	3.8	5.6	5.2	1.9	0.8	1.9	1.4	1.9	5.2	0.0	0.0	2.2	15.5
	v																			2.2	5.0
AGOSTO	f	8.4	18.7	13.8	5.8	6.2	4.9	4.0	2.7	5.3	10.7	4.4	2.2	3.6	2.2	1.8	5.3	0.0	0.0	2.4	18.7
	v																			2.4	4.5
SEPTIEMBRE	f	7.0	14.1	9.3	9.3	13.2	7.5	2.6	4.0	6.2	9.3	5.7	3.5	2.6	1.3	2.6	1.8	0.0	0.0	2.3	14.1
	v																			2.3	5.0
OCTUBRE	f	8.3	20.8	13.9	3.2	6.9	3.2	0.9	2.3	9.3	10.4	7.4	3.7	4.6	1.4	1.4	2.3	0.0	0.0	2.1	20.8
	v																			2.1	4.0
NOVIEMBRE	f	8.0	18.6	11.9	4.0	5.3	2.2	2.7	4.0	10.9	12.4	7.5	3.1	1.8	3.1	1.8	2.7	0.0	0.0	2.1	18.6
	v																			2.1	4.0
DICIEMBRE	f	7.3	20.9	14.3	7.1	7.7	2.7	2.7	1.6	11.5	6.2	6.6	1.1	3.3	1.6	1.6	3.8	0.0	0.0	2.3	20.9
	v																			2.3	4.5
ANUAL	f	10.0	18.5	14.0	7.1	8.5	4.5	2.8	2.7	7.8	7.6	4.6	2.2	2.9	2.0	1.9	3.3	0.0	0.0	2.3	18.5
	v																			2.3	4.4

Tabla 7b. Datos de viento Wind Finder (Aeropuerto).

A partir de los datos de frecuencia y velocidad se definen los vientos dominantes (la dirección con mayor frecuencia) y los reinantes (la dirección en donde se presenta las velocidades más altas). Como se puede apreciar, en promedio anual el viento proviene del NNE, mientras que los vientos con mayor fuerza de la misma dirección. Esto puede corroborarse viendo la orientación de las pistas del aeropuerto.

Distribución de la dirección del viento en (%)



Figura 15. Rosa anual de los vientos (comparación)

Como se aprecia en la rosa de vientos anual, la dirección dominante es NNE con presencia de vientos reinantes del de la misma dirección.

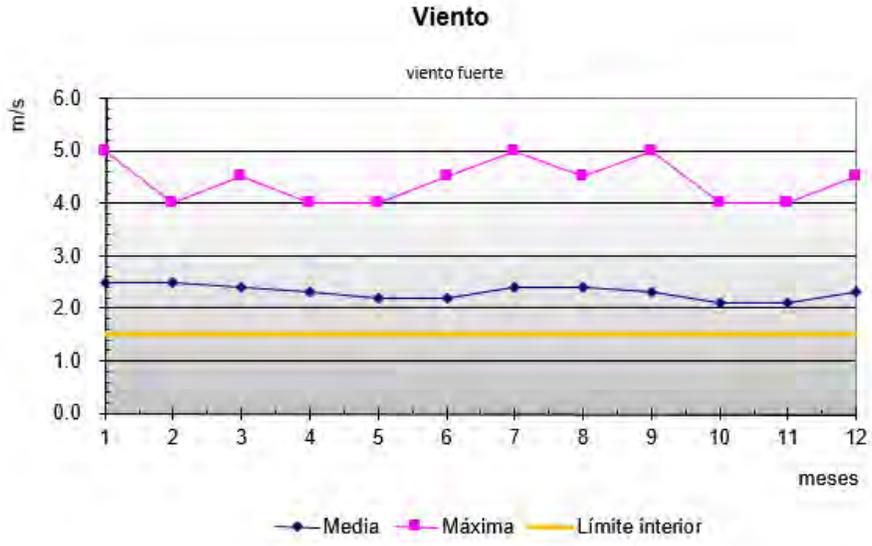


Figura 16. Velocidades de los vientos

Las velocidades promedio de todos los meses se ubican por arriba del límite máximo recomendado para espacios interiores de 1.5 m/s. pudiendo sobrepasar los 2.4 m/s.

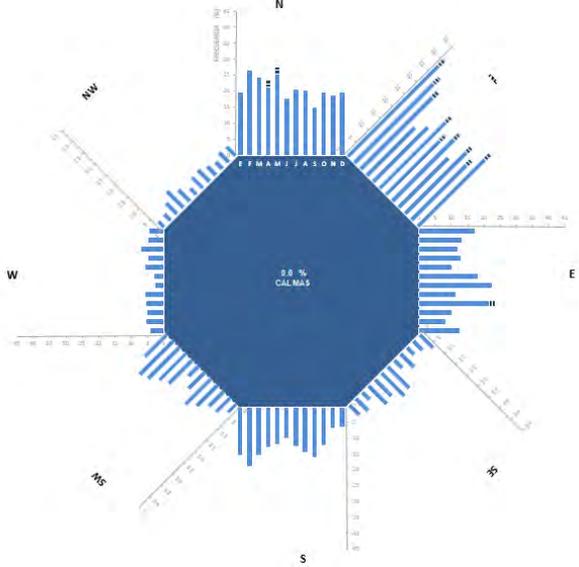


Figura 17. Rosa de vientos octogonal – con datos mensuales

La figura 17 muestra la rosa de vientos octogonal con los datos mensuales de viento, mientras que las figuras 18 y 19 muestran los vientos mensuales en rosas independientes.

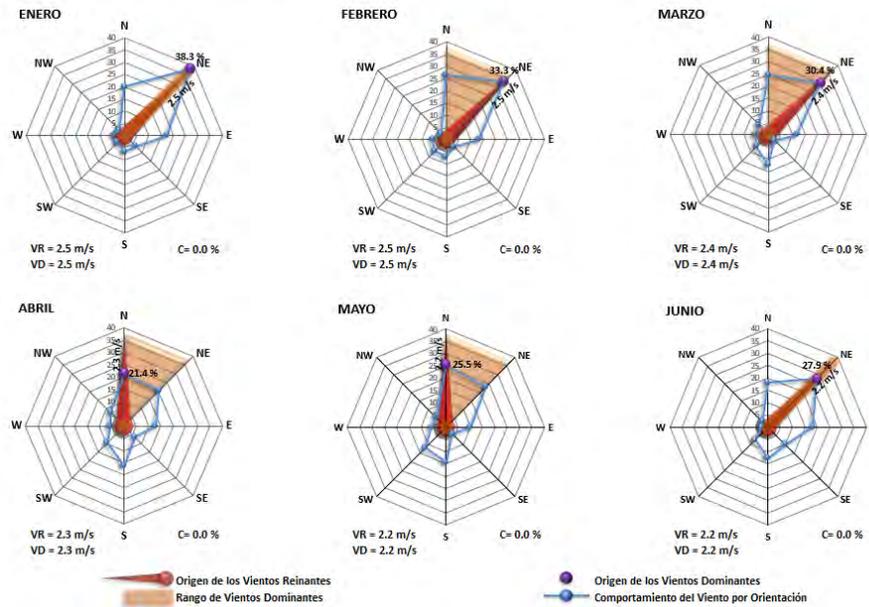


Figura 18. Rosa de vientos mensuales primer semestre

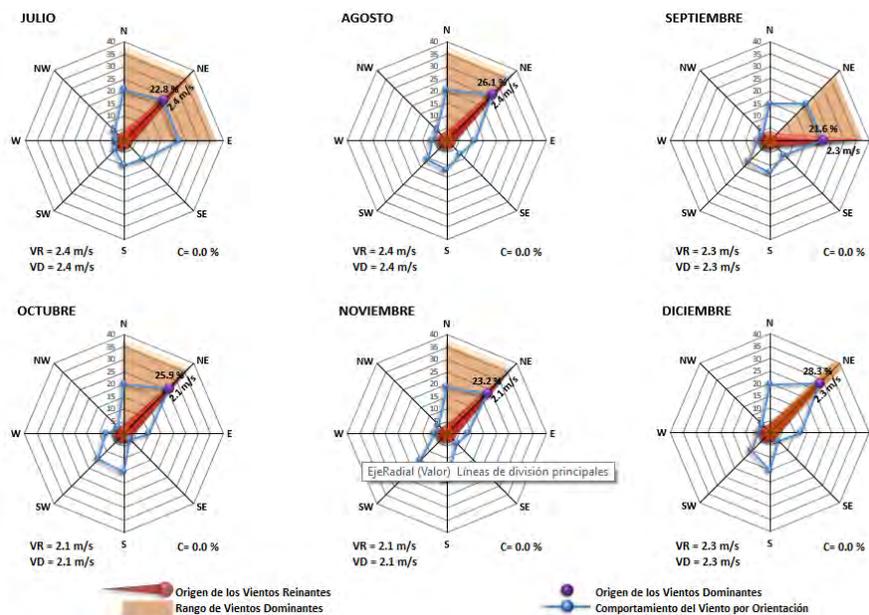


Figura 19. Rosa de vientos mensuales segundo semestre

1.6.6. Días Grado

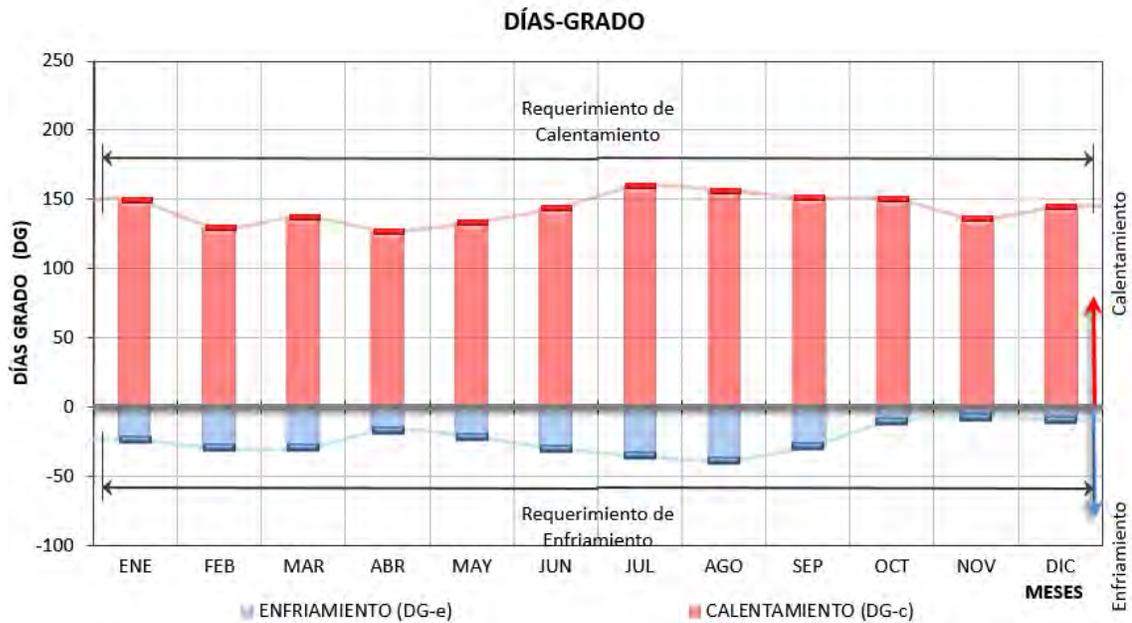


Figura 20. Días Grado

Los Días Grado (DG) se definen como los requerimientos de calentamiento o enfriamiento, acumulados en un cierto periodo de tiempo, necesarios para lograr condiciones de confort térmico. El cálculo de los DG se puede hacer con respecto a una ZC general (18.0°C – 26.0°C) o bien con base en la ZC anual (22.1 °C – 27.1 °C) o mensual del sitio de estudio. Para el cálculo de Días Grado se ha utilizado la ZC mensual local.

Como se aprecia en la figura 20, a lo largo de todo el año se presentan requerimientos tanto de calentamiento como enfriamiento durante todo el año.

Los requerimientos de enfriamiento más importantes se presentan en verano, mientras que los de calentamiento durante el otoño.

1.6.7. Confort y sensaciones térmicas

Se presentan los índices de confort del modelo adaptativo y predictivo, así como los índices de sensación térmica por viento frío (Wind chill) y por humedad (Humidex).

1.6.7.1. Modelo de confort adaptativo

Para el cálculo de la temperatura óptima de confort (temperatura neutra) se utilizó la fórmula original de Auliciems: $17.6 + (0.31 * T_m)$; la zona de confort se consideró simétrica con un rango de ± 2.5 °C, es decir que se consideró una amplitud total de confort de 5 °C. Para Mérida, la temperatura óptima de confort anual es 24.6 °C; la zona de confort queda comprendida entre 22.1 °C y 27.1 °C.

Íte	Datos	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Zona de confort térmico mensual															
E	ZC _z	°C	27.0	27.1	27.1	27.0	27.1	27.2	27.3	27.3	27.0	26.9	26.9	26.9	27.1
E	T _n	°C	24.5	24.6	24.6	24.5	24.6	24.7	24.8	24.8	24.5	24.4	24.4	24.4	24.6
E	ZC _i	°C	22.0	22.1	22.1	22.0	22.1	22.2	22.2	22.3	22.0	21.9	21.9	21.9	22.1

Tabla 8. Temperatura neutra y zona de confort con base en la fórmula de Auliciems

1.6.7.2. PMV-PPD

El Voto Medio Previsto (PMV) es la representación cuantitativa de la sensación térmica de un grupo de individuos —sanos, sometidos a un mismo clima— expuestos a ciertas condiciones ambientales (Fanger, 1972). Establece una tensión térmica basada en la transferencia de calor —en estado estacionario— entre el cuerpo y el ambiente, representada a partir de un voto de confort en una escala de 7 valores: de -3 (igual a frío) a +3 (igual a sofocante) (Figura 21).

PREDICTED MEAN VOTE (PMV) - PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED (PPD)																
FUENTE	PARÁMETROS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TEMPERATURA PROMEDIO MÁXIMA	°C	10	27.8	28.2	28.1	27.6	27.8	28.2	28.4	28.5	28.0	27.2	27.1	27.2	27.8
a	TEMPERATURA MEDIA	°C	10	22.4	22.7	22.7	22.4	22.6	22.9	23.1	23.1	22.4	21.8	21.8	21.9	22.5
a	TEMPERATURA PROMEDIO MÍNIMA	°C	10	17.2	17.5	17.7	17.8	17.8	17.4	17.1	17.2	17.0	17.0	17.3	17.2	17.4
a	HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA	%	10	84.3	83.3	85.5	88.8	88.8	84.0	80.1	80.4	86.1	90.8	91.8	89.2	86.1
a	HUMEDAD RELATIVA MEDIA	%	10	66.0	65.0	67.0	70.0	70.0	66.0	63.0	63.0	67.0	71.0	72.0	70.0	67.5
a	HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA	%	10	47.7	46.7	48.5	51.2	51.2	48.0	45.9	45.6	47.9	51.2	52.2	50.8	48.9
<i>Predicted Mean Vote (PMV)</i>																
	PMV (Mínima)			-1.7	-1.7	-1.6	-1.5	-1.5	-1.7	-1.8	-1.8	-1.8	-1.7	-1.7	-1.7	
	PMV (Media)			-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.5	-0.3	
	PMV (Máxima)			1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.0	0.9	1.0	
<i>Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)</i>																
	PPD (Mínima)	%		64.4	60.1	56.2	53.7	53.7	61.4	67.1	65.5	67.0	65.7	60.8	63.1	61.6
	PPD (Media)	%		7.4	6.4	6.2	7.0	6.3	5.7	5.5	5.5	7.3	9.8	9.7	9.4	6.9
	PPD (Máxima)	%		31.2	36.5	35.9	30.1	32.9	37.2	39.1	40.5	34.1	25.0	24.1	24.8	32.4

Tabla 9. Escala de valoración térmica de Fanger (1972).

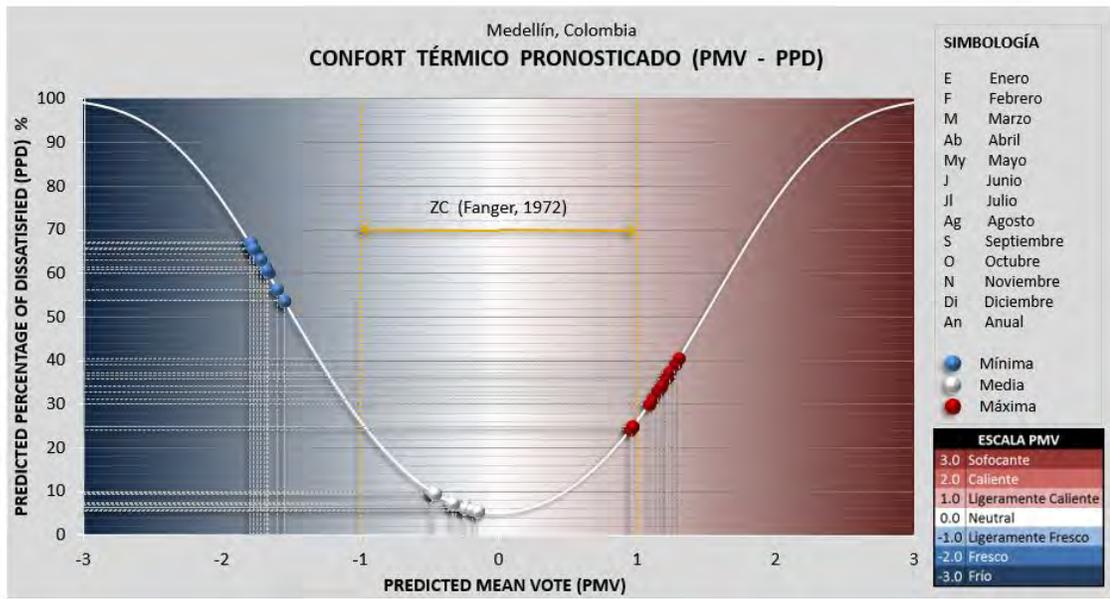


Figura 21. Relación del PMV con respecto al PPD de acuerdo a la sensación térmica y porcentaje de insatisfacción

Como se puede apreciar en la figura 21, la temperatura mínima se encuentra fuera de confort todo el año, con una insatisfacción hasta del 67%.

Considerando la temperatura media, se tienen condiciones confortables todo el año, con una insatisfacción hasta del 9.7%.

Tomando en cuenta la temperatura máxima, aproximadamente a las 15 h, la insatisfacción se presenta de enero a septiembre, con una insatisfacción hasta del 40.5%.

1.6.7.3. Wind Chill - Humidex

El Índice de Viento Frío (Wind Chill) es un índice que expresa la sensación térmica percibida en espacios exteriores en condiciones de frío intenso. Fue desarrollado en una cámara climática en función del efecto de enfriamiento convectivo sobre el rostro de 12 adultos (6 hombres y 6 mujeres). El nivel de actividad fue moderado con ropa abrigadora. Las variables incluidas en el modelo son: temperatura de bulbo seco y velocidad de viento (Auliciems y Szokolay, 1997), por lo tanto, es un índice que muestra el efecto del viento frío sobre la sensación térmica de las personas.

El índice de humedad, Humidex (Humidity index) es un índice de sensación térmica —para actividad pasiva, moderada e intensa; con arropamiento ligero— para espacios exteriores en condiciones calurosas y húmedas. Las variables incluidas en el modelo son: temperatura de bulbo seco y humedad relativa, por lo tanto, este índice trata de mostrar el efecto que tiene la humedad en la sensación térmica de las personas.

Nuevo Wind Chill															
G	Minima	°C	17.20	17.50	17.70	17.80	17.80	17.40	17.10	17.20	17.00	17.00	17.30	17.20	17.35
G	Diferencia	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Humidex															
H	Máxima	°C	32.12	32.55	32.76	32.52	32.85	32.83	32.69	32.79	32.47	31.89	31.93	31.81	32.44
H	Diferencia	°C	4.32	4.35	4.66	4.92	5.05	4.63	4.29	4.29	4.47	4.69	4.83	4.61	4.60

Tabla 10. Valores de Índice de viento frío (Wind chill) y de humedad (Humidex)

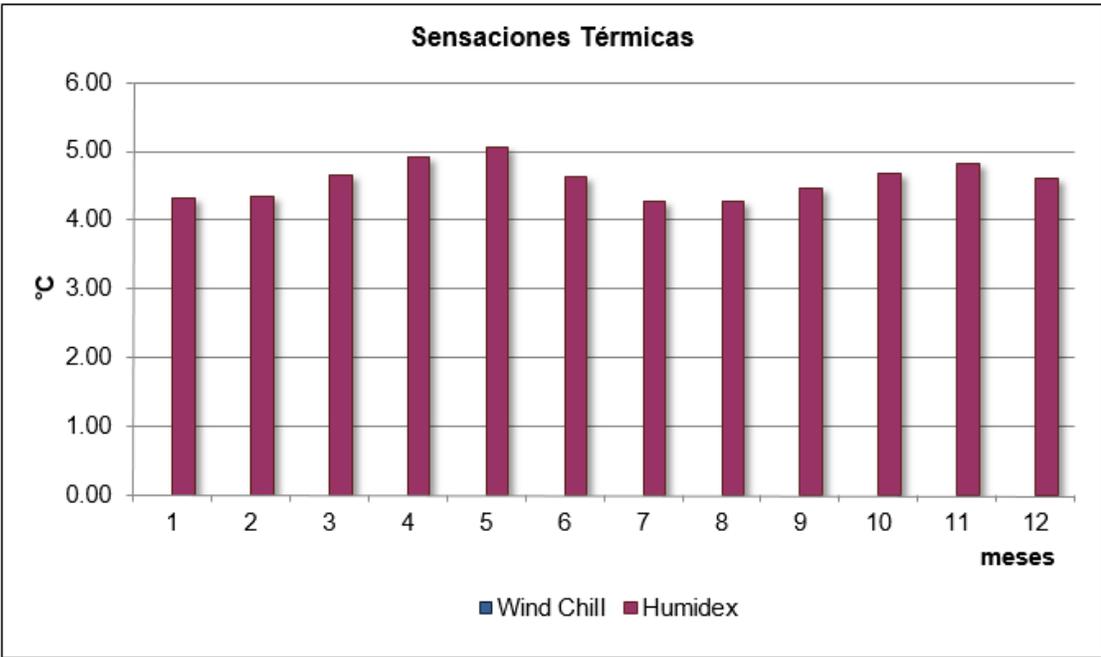


Figura 22. Sensaciones térmicas de viento frío y humedad.

Como se aprecia en la figura 22, el Wind Chill para Medellín muestra que el viento frío no tiene ninguna afectación en la sensación de las personas. Sin embargo, el índice Humidex (Figura 22) muestra que

durante todo el año la humedad influye en la sensación térmica de las personas en hasta 5 °C. Lo que significa que la humedad es crítica en la sensación térmica durante todo el año.

1.6.8. Análisis Solar

La posición del Sol y los ángulos solares están determinados por la latitud de Medellín (6°14' N), mientras que el horario civil o legal es definido con base en su longitud (75°34' W). Durante los equinoccios (primavera y otoño / 21 de marzo y 21 de septiembre, respectivamente) el Sol sale a las 06:00h por el Este y se oculta a las 18:00h por el Oeste (horario solar). En el solsticio de verano (21 de junio) el Sol sale a las 05:49 h y se oculta a las 18:11 h, lo que representa una duración del día de 12.22 horas. En el solsticio de invierno (21 de diciembre) sale a las 06:11 h y se oculta a las 17:49 h, con una duración del día de 11.38 horas.

Debido a que el sitio de estudio se ubica dentro del trópico de Cáncer, el Sol pasa por el cenit dos veces al año: el 8 de abril y el 6 de septiembre; 75 días antes y después del solsticio de verano, es decir que hay 151 días del año en que el Sol declina hacia el norte. El 21 de junio el Sol sobrepasa el cenit en 17.3°

ANÁLISIS SOLAR (Día 21 / 12:00 h)

PARÁMETROS	UNIDAD	MESES												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Día Juliano	21	21	52	80	111	141	172	202	233	266	294	325	355	
Hora	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Ángulo diario	radianes	0.34	0.88	1.36	1.89	2.41	2.94	3.46	3.99	4.56	5.04	5.58	6.09	
Declinación	gr (°)	-20.09	-10.84	0.00	11.58	20.02	23.45	20.64	12.38	0.00	-10.42	-19.76	-23.45	
Altura Solar	gr (°)	63.67	72.91	83.76	84.66	76.22	72.79	75.61	83.86	83.76	73.34	64.00	60.31	
Azmut	gr (°)	0.00	0.00	0.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Orto	h.m	6.09	6.05	6.00	5.55	5.51	5.49	5.51	5.54	6.00	6.05	6.09	6.11	6.00
Ocaso	h.m	17.51	17.55	18.00	18.05	18.09	18.11	18.09	18.06	18.00	17.55	17.51	17.49	18.00
Duración del día	h.m	11.42	11.50	12.00	12.10	12.18	12.22	12.19	12.11	12.00	11.51	11.42	11.38	12.00

Tabla 11. Análisis solar

La figura 23 muestra los ángulos de altura solar a las 12 del día para todos los meses del año.

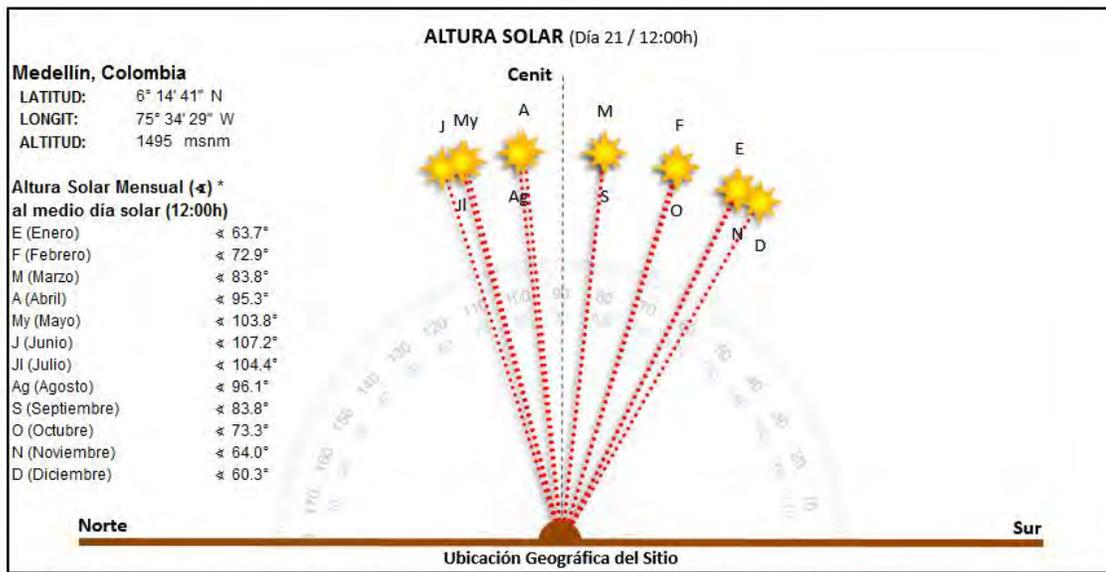


Figura 23. Altura solar mensual – para el día 21 de cada mes a las 12:00 h

La declinación magnética en noviembre del 2015 es de 6.26 W, es decir que en esta fecha el norte magnético se ubica 6.26° hacia el oeste del norte geográfico. La figura 24 muestra la gráfica solar de proyección estereográfica para la latitud 6° norte.

GRAFICA SOLAR

Latitud 6°

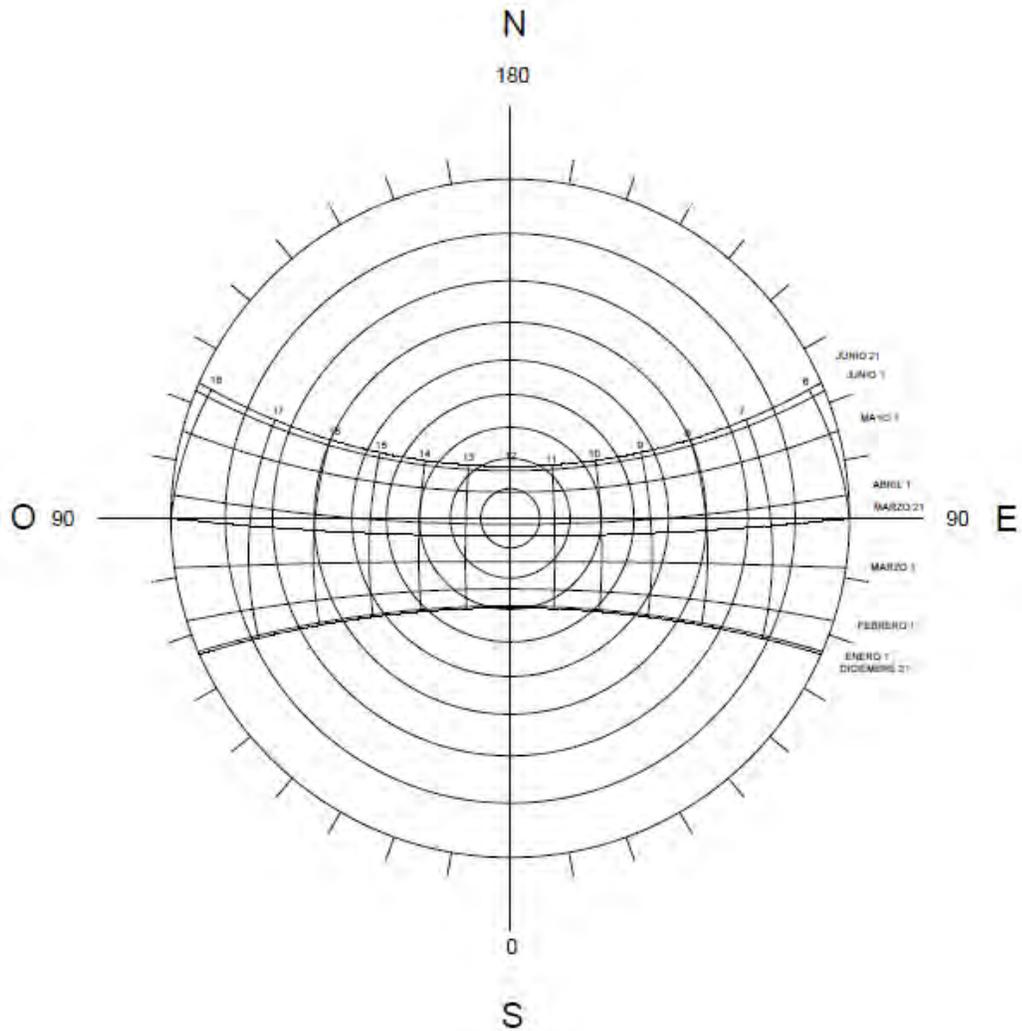


Figura 24. Grafica solar estereográfica con horario solar

Stereographic Diagram

Location: 6.1°, -75.3°
Sun Position: -179.3°, 60.4°
HSA: -179.3°
VSA: 119.6°

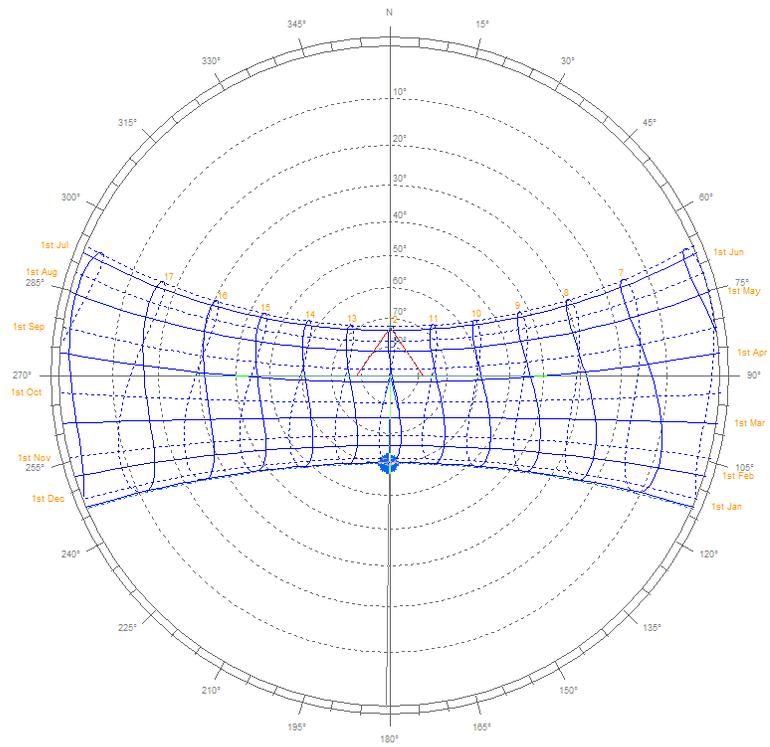


Fig.25 Gráfica solar estereográfica con horario civil

La figura 25 muestra la gráfica solar de proyección estereográfica con horario civil o legal.

Optimum Orientation

Location: Medellín, -
Orientation based on average daily incident radiation on a vertical surface.
Underheated Stress: 0.0
Overheated Stress: 1206.2
Compromise: 155.0°
© Weather Tool

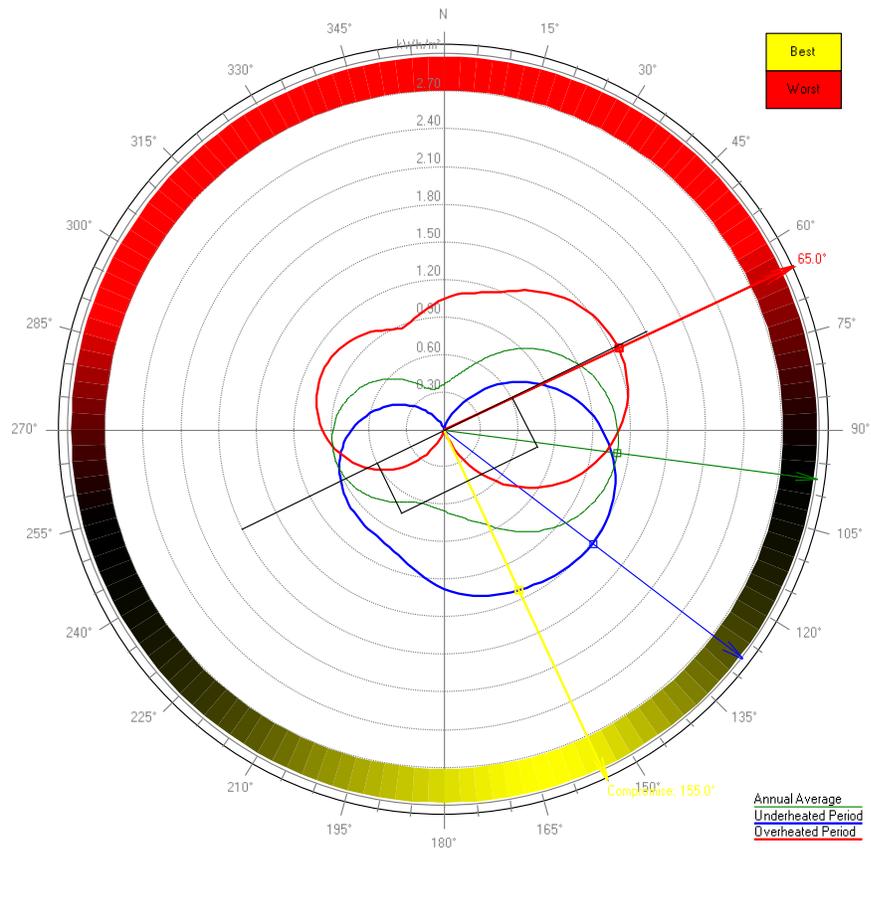


Figura 26. Orientación óptima

La figura 26 muestra la orientación óptima para el sitio en estudio con base en la temperatura y radiación. Aquí se muestra que la mejor orientación es el rumbo 155° desde el norte, es decir 25° del sur hacia el este. Desde luego por el tipo de clima que se presenta en este sitio la orientación preferente será con respecto al eje eólico.

1.7. Análisis Bioclimático

El análisis bioclimático se realiza a través de las siguientes herramientas: tablas de Mahoney, triángulos de confort, diagrama bioclimático, diagrama psicrométrico, gráfica estereográfica y matriz de climatización.

1.7.1. Tablas de Mahoney

De acuerdo a los indicadores de Mahoney (Tabla 12), para Mérida se recomiendan las siguientes estrategias:

Medellín, Colombia
TABLAS DE MAHONEY

INDICADORES	1	2	3	4	5	6	No.	RECOMENDACIONES	
NÚM. INDICADORES	5	0	6	7	0	0			
DISTRIBUCIÓN							X	1	Orientación Norte-Sur, eje largo Este-Oeste
								2	
ESPACIAMIENTO							X	3	
								4	Igual a 3 pero con protección de vientos
								5	
VENTILACIÓN							X	6	Locales de una galería. Ventilación constante
								7	
								8	
TAMAÑO DE ABERTURAS							X	9	
								10	
								11	Pequeñas (20% - 30%)
								12	
POSICIÓN DE ABERTURAS							X	14	En muros N y S, a la altura de los ocupantes en barlovento
								15	
PROTECCIÓN DE ABERTURAS							X	16	Sombreado total y permanente
								17	Protección contra la lluvia
MUROS Y PISOS							X	18	
								19	Masivos (arriba de 8 h de retardo térmico)
TECHUMBRE							X	20	
								21	
								22	Masiva (arriba de 8 h de retardo térmico)
ESPACIOS NOCTURNOS EXT.							X	23	
								24	Grandes drenajes pluviales

Tabla 12. Recomendaciones bioclimáticas sugeridas por los indicadores y tablas de Mahoney.

- **Distribución:** *Orientación alargada sobre el eje norte-sur* con el fin de reducir el área de fachadas expuestas hacia el este y oeste.

- **Espaciamiento:** *Configuración extendida* para propiciar la ventilación, pero con protección (ventilación selectiva)
- **Ventilación:** *Disposición en una galería para propiciar la ventilación cruzada*. La estrategia de ventilación natural es muy importante durante todo el día, pero en las noches la temperatura desciende por debajo de la zona de confort.
- **Tamaño de las aberturas:** Tamaño de las *aberturas pequeñas* (20% a 30%) con el objeto de tener buena ventilación, pero no perder calor durante las noches.
- **Posición de las aberturas:** *en barlovento* a la altura de los ocupantes, para favorecer el enfriamiento de la superficie de la piel.
- **Protección de las aberturas:** *Sombreado total y permanente* durante las tardes de todo el año para evitar el asoleamiento y así evitar el sobrecalentamiento de los espacios interiores. Así mismo se recomienda *protección contra la lluvia*, principalmente de abril a noviembre donde la precipitación supera los 150 mm
- **Muros y pisos:** Deberán ser *masivos* (con un retardo térmico superior a ocho horas) con el objeto de almacenar el calor durante el día y aprovecharlo durante las noches y madrugadas.
- **Techumbres:** Deberán ser *masivas*. Para dar mayor inercia térmica a la edificación.
- **Espacios Nocturnos Exteriores.** Grandes drenajes pluviales debido a la presencia de precipitaciones intensas en la época lluviosa.

1.7.2. Triángulos de Confort (Evans)

Los triángulos de confort relacionan la temperatura media de bulbo seco con la oscilación térmica. De acuerdo con esta herramienta, las temperaturas en Medellín no están dentro del confort en interiores, ni para espacios con actividades sedentarias ni nocturnos. Pero sí para espacios de circulaciones interiores.

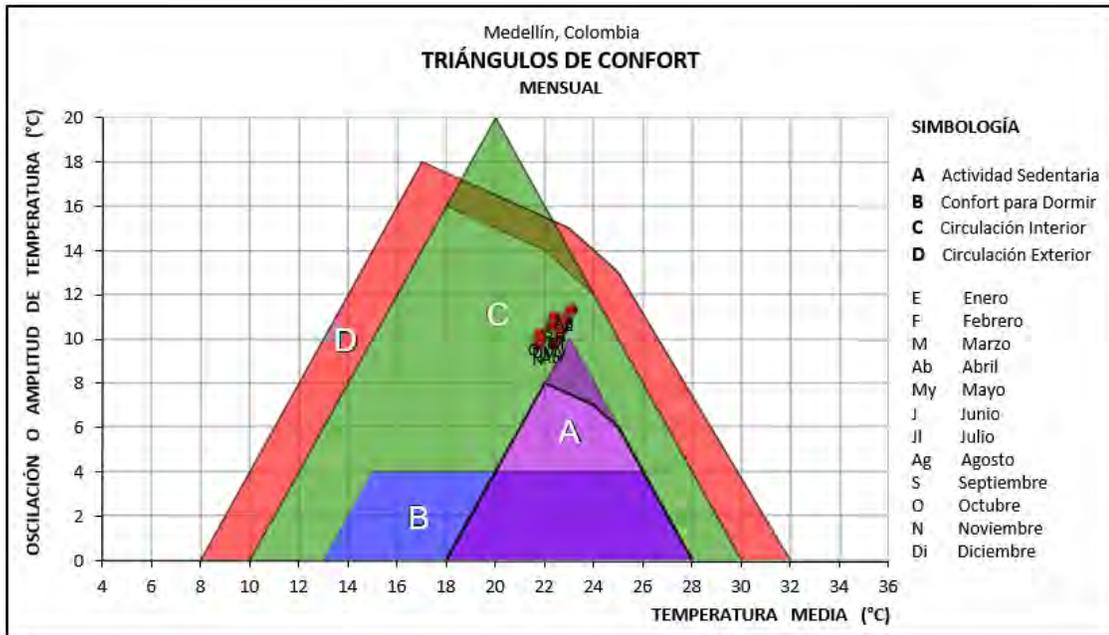


Figura 27. Triángulo de Confort (Evans)

De acuerdo con el triángulo de confort, las estrategias recomendadas son: Todos los meses se recomienda el uso de inercia térmica; de octubre a enero se recomienda aprovechar las ganancias internas, por lo tanto, en estos meses se comparten ambas recomendaciones.

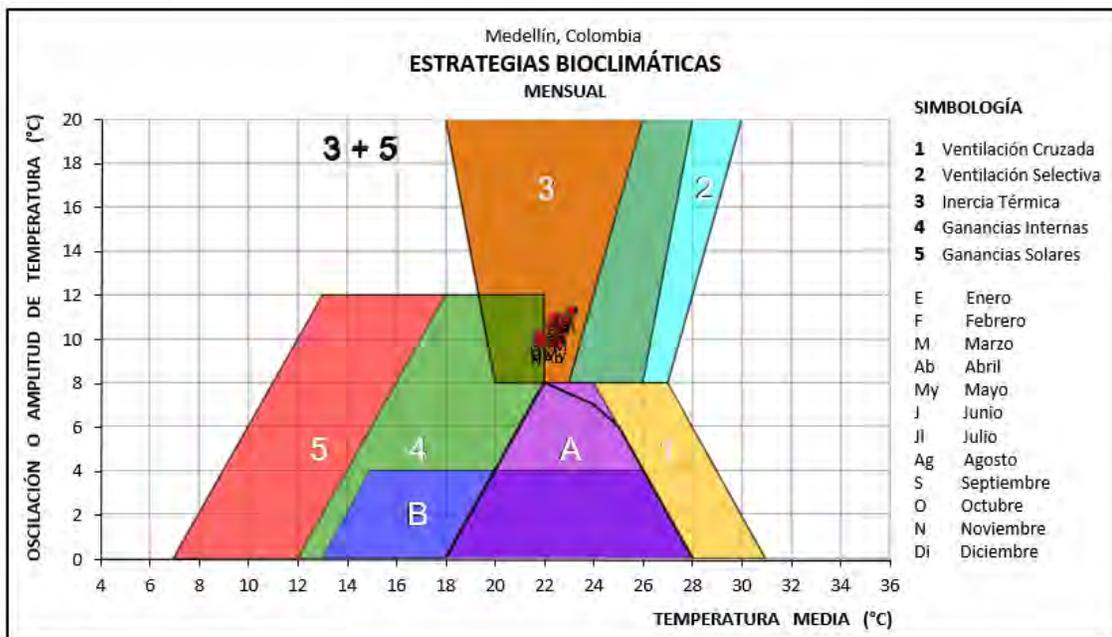


Figura 28. Estrategias recomendadas con base en el triángulo de confort (Evans)

1.7.3. Diagrama Bioclimático

El centro de la zona de confort corresponde con la temperatura neutra de 24.6 °C y el 50% de humedad relativa. Todas las mañanas se presentan temperaturas por debajo de confort. Con base en las temperaturas mínimas (aproximadamente a las 6 de la mañana) se requieren entre 140 W/m² (todos los meses) para tener condiciones confortables. Estos requerimientos térmicos son bajos. Sin embargo, las humedades relativas son elevadas, llegando a estar por arriba del 80 %.

Las tardes de todos los meses (aproximadamente a las 15 h) las temperaturas se encuentran por arriba de la zona de confort. Pero las temperaturas máximas promedio no son muy críticas, por lo que se puede usar la ventilación natural con una velocidad de 0.5 a 1.0 m/s.

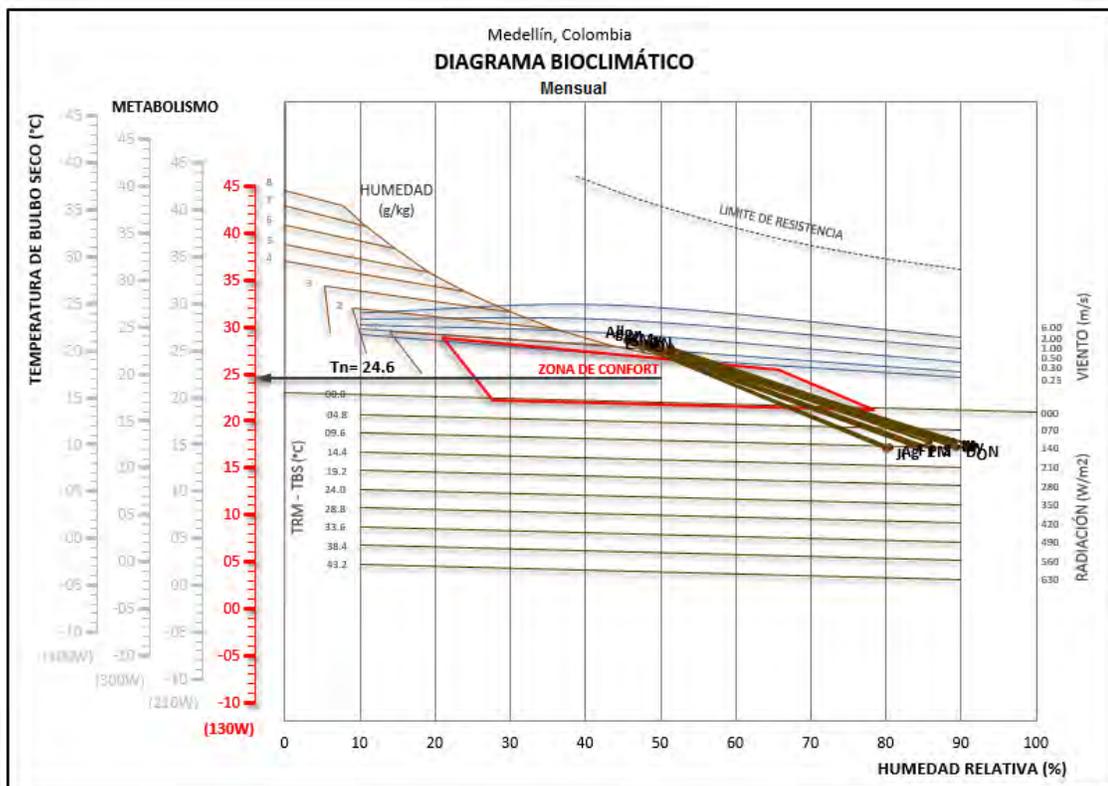


Figura 29. Diagrama Bioclimático

1.7.4. Diagrama Psicrométrico

De acuerdo con el diagrama psicrométrico para Medellín (Figura 30), todas las mañanas (6 am) las temperaturas se encuentran por debajo de la zona de confort, sin embargo, la masividad del edificio puede solucionar este problema. Todas las tardes la temperatura (3 pm) está por arriba de la zona de confort, pero con la ventilación natural se pueden lograr condiciones confortables. Gran parte del día se las condiciones son confortables.

Psychrometric Chart

Location: Medellín, -
Display: Monthly Mean Minimum/Maximum
Barometric Pressure: 101.36 kPa
© Weather Tool

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. exposed mass + night-purge ventilation
4. natural ventilation

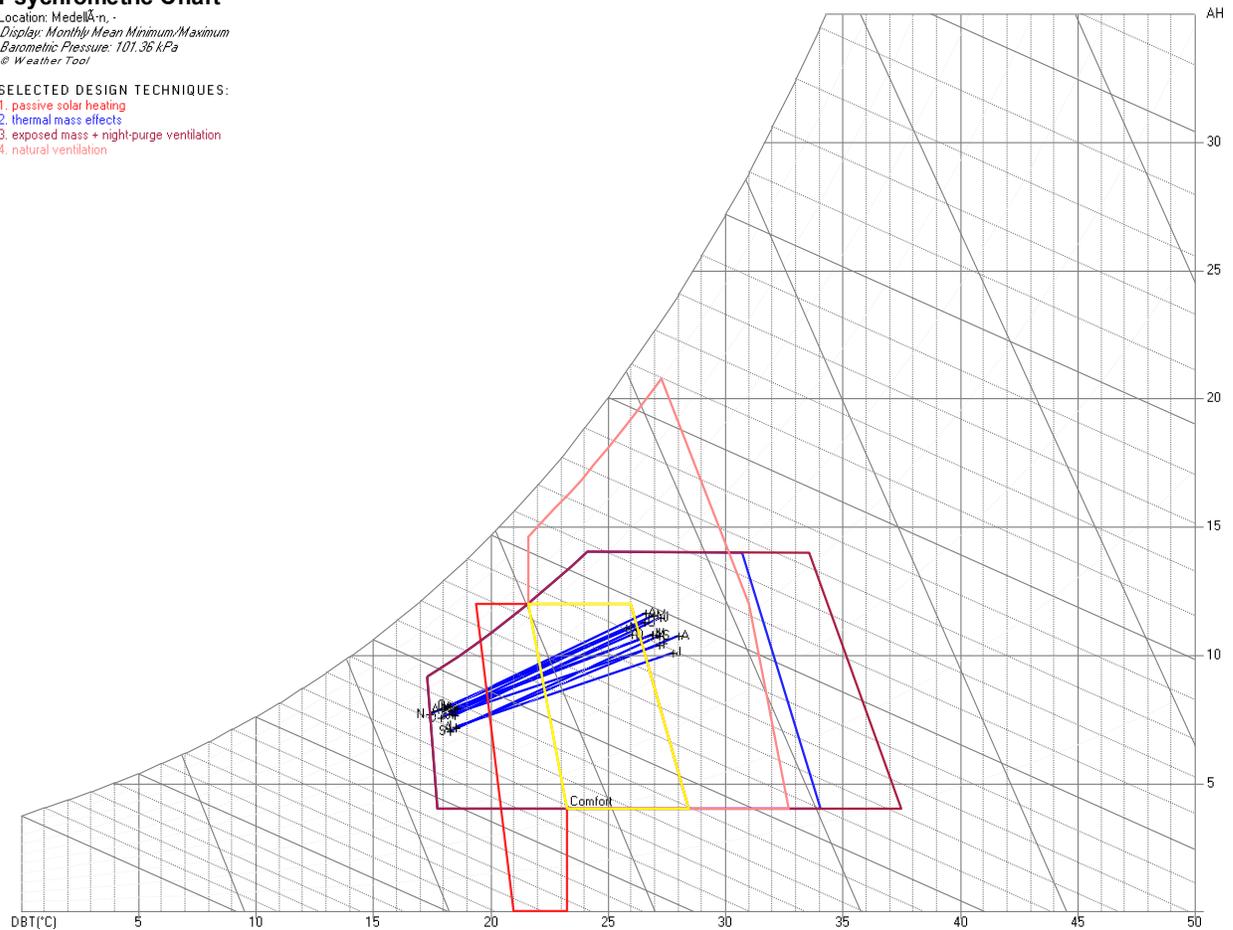


Figura 30. Diagrama Psicrométrico para Medellín

La figura 31 muestra el diagrama psicrométrico para Medellín (Weather Tool²⁶), considerando todos los valores anuales de temperatura y humedad. En ella se aprecia claramente el alto contenido de humedad y las altas temperaturas.

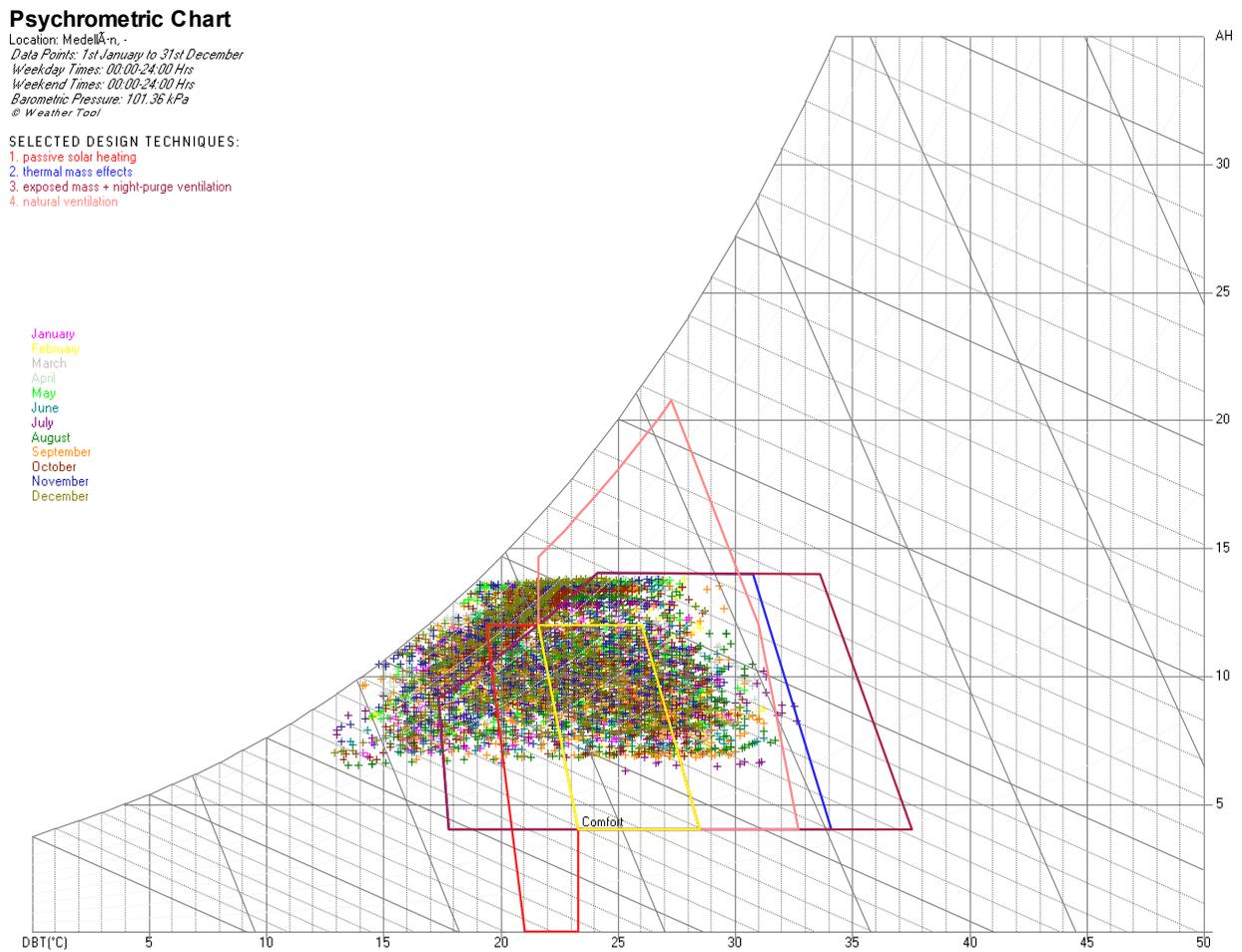


Figura 31. Diagrama Psicrométrico horario para Medellín

²⁶ Weather Tool. Ecotect de Autodesk.

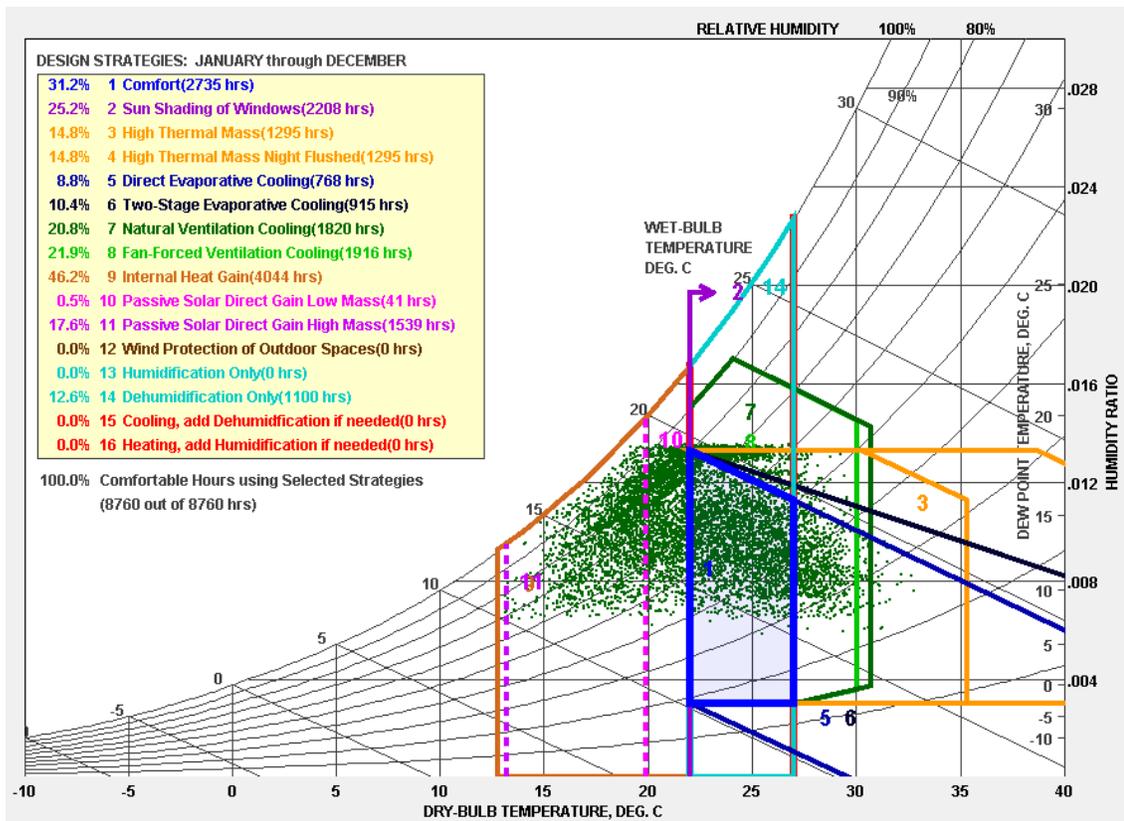


Figura 32. Diagrama Psicrométrico horario para Medellín, Porcentajes anuales para cada estrategia.

De acuerdo con el modelo de confort del código de energía California, 2013, (Climate Consultant²⁷) los porcentajes correspondientes para cada estrategia se muestran en la figura 32 y son:

- Las condiciones son confortables el 31.2% del tiempo,
- El 25.2 % del tiempo se requiere de protección solar
- El 14.8 % se requiere de masa térmica en verano.
- El 0.5 % se requiere de masa térmica con ventilación nocturna.
- Enfriamiento evaporativo directo 8.8%
- Enfriamiento evaporativo indirecto 10.4%
- Ventilación natural y con ventiladores el 21.9%
- Aprovechar las ganancias internas generadas en los espacios interiores 46.2% del tiempo
- Ganancias solares directas con baja masa térmica 0.5%

²⁷ Climate Consultant. Robin Liggett and Murray Milne. UCLA Energy Design Tools Group. USA.

- Ganancias solares directas con alta masa térmica 17.6%
- Humidificación 0.0%
- Enfriamiento y des-humidificación 12.6%

Algunas de las estrategias están contenidas en otras por lo que los porcentajes no se ajustan al 100%

Porcentajes de las principales estrategias pasivas recomendadas

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Confort	33.2	33.5	30.8	29.2	28.6	27.2	37.8	32.1	28.9	31.5	28.8	33.1	31.2
Sombreado	25.8	29.8	26.3	23.2	24.3	23.9	27.7	24.3	26.5	25.0	23.5	22.4	25.2
Masa térmica en verano	12.5	12.5	13.3	10.1	11.3	17.2	22.0	27.8	20.6	17.1	6.0	6.6	14.8
Ventilación natural	22.0	21.3	27.2	18.5	25.3	26.9	19.9	26.2	24.4	21.8	13.3	15.5	21.9
Deshumidificación	12.1	11.5	17.5	11.7	16.8	16.7	8.7	11.4	11.9	12.5	9.4	10.3	12.6
Ganancias internas y Masa de invierno	44.8	44.6	41.5	51.9	45.3	45.0	40.2	40.1	45.3	46.5	57.9	51.2	46.2
Ganancia solar directa con masa térmica	19.5	22.2	17.9	19.3	13.7	16.3	18.4	17.2	16.8	17.3	15.1	17.5	17.6
Calentamiento	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 13. Porcentajes de estrategias por mes

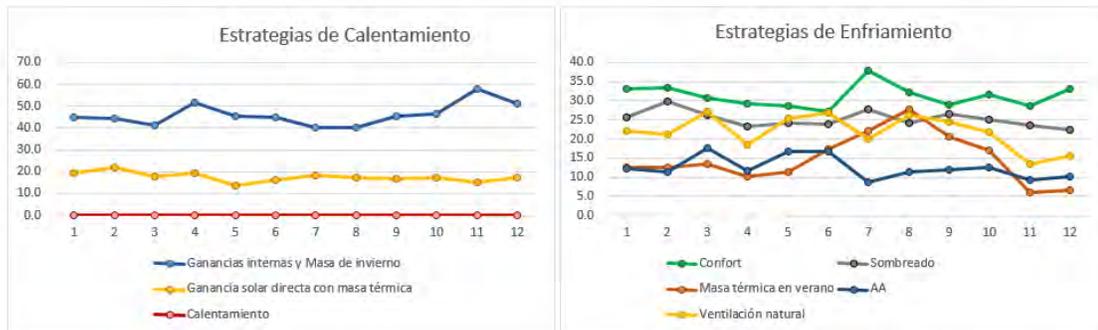


Figura 33. Porcentajes de estrategias bioclimáticas por meses

De acuerdo con los porcentajes analizados en Climate Consultant, se aprecia que la principal estrategia de enfriamiento es el sombreado (protección solar) 25.2% y la ventilación con un 21.9%. La masa térmica también es importante (14.8%). El sombreado es muy importante, así como reducir las ganancias solares en las horas y épocas calurosas.

El calentamiento requerido puede lograrse simplemente aprovechando las ganancias internas y las ganancias solares directa e indirectas.

Del análisis de estrategias se desprende que las estrategias pasivas funcionan para el 100% del tiempo.

Otra forma de analizar las estrategias recomendadas es a través de Weather Tool²⁸. Las figuras inferiores muestran los porcentajes de confort. Las barras amarillas muestran los porcentajes de confort antes de incorporar alguna estrategia. Mientras que las barras rojas muestran los porcentajes de confort a los que se podría llegar utilizando cierta estrategia.

La figura 34 muestra los porcentajes de confort a los que se podría llegar utilizando únicamente la estrategia de ventilación natural. La aportación de esta estrategia es bastante uniforme a lo largo de todo el año. Los porcentajes máximos a los que se llega con esta estrategia están entre el 45 y 62%.

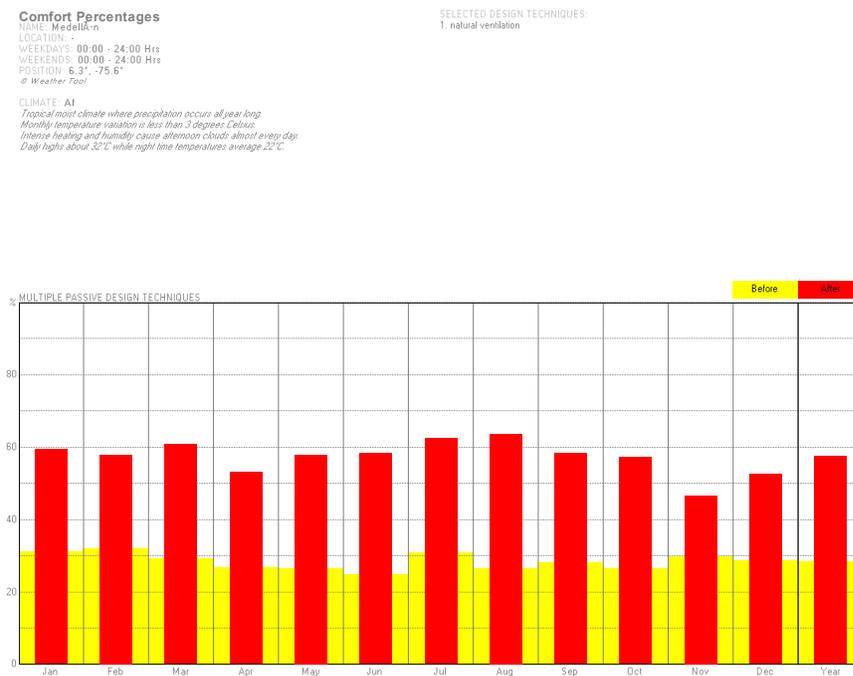


Figura 34. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de ventilación natural

Si se utiliza adicionalmente masa térmica y calentamiento pasivo (ver figura 35), los beneficios aumentan, llegando casi hasta el 80% de efectividad.

²⁸ Weather Tool. Ecotect de Autodesk

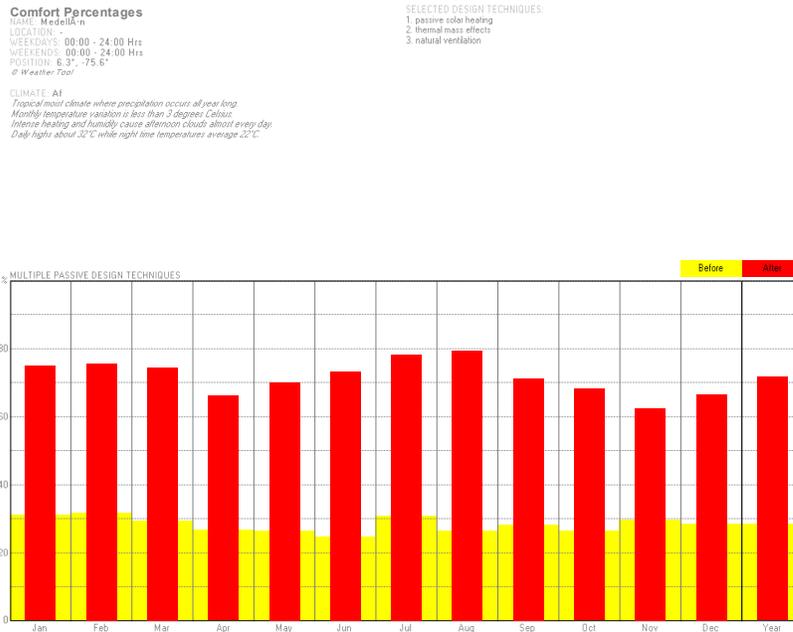


Figura 35. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de ventilación natural, masividad y calentamiento pasivo

Si se analiza individualmente el efecto de la masa se ve en la gráfica que es tan efectiva como la ventilación o aún mejor, llegando a valores entre el 50 y 70%.

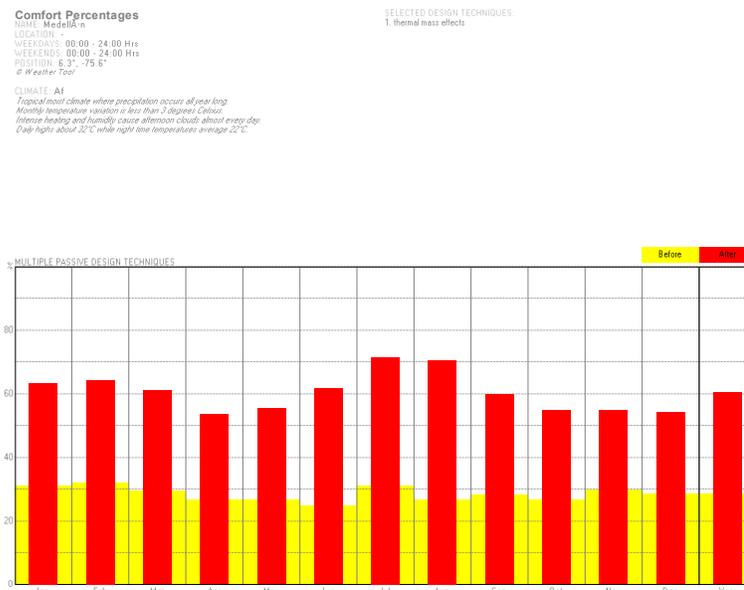


Figura 36. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de masividad.

1.7.5. Estrategias de Climatización

RESUMEN DE ESTRATEGIAS Mérida, Yucatán					
CARTA BIOCLIMÁTICA temperatura		TRIÁNGULOS DE CONFORT temperatura		DIAGRAMA PSICROMÉTRICO temperatura	
	mínima ≈ 6:00	máxima ≈ 15:00	media ≈ 10:30 ≈ 22:30	mínima ≈ 6:00	máxima ≈ 15:00
ENERO	C	V	M- Gi	Mi	V
FEBRERO	C	V	M	Mi	V
MARZO	C	V	M	Mi.	V
ABRIL	C	V	M	Mi.	V
MAYO	C	V	M	Mi.	V
JUNIO	C	V	M	Mi.	V
JULIO	C	V	M	Mi.	V
AGOSTO	C	V	M	Mi.	V
SEPTIEMBRE	C	V	M	Mi.	V
OCTUBRE	C	V	M-Gi	Mi.	V
NOVIEMBRE	C	V	M-Gi	Mi.	V
DICIEMBRE	C	V	M-Gi	Mi.	V
	entre 70 y 210 W/m2	entre 1 y 2 m/s			
ESTRATEGIAS DE CALENTAMIENTO					
calentamiento	C	ganancias solares	Gs	C. solar pasivo	Cp
		ganancias internas	Gi	C. solar activo	Ca
				masa de invierno	Mi
ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO					
ventilación	V	ventilación cruzada	Vc	ventilación	V
humidificación	H	ventilación selectiva	Vs	masa de verano	Mv
sombreado	S	Inercia térmica	M	masa-ventilación noct	Mvn
				humidificación dir.	Hd
				humidificación indir.	Hi

Tabla 14. Resumen de estrategias

En la tabla 14 se resumen las estrategias de diseño bioclimáticas recomendadas. La carta bioclimática recomienda para calentamiento (ligero) en las mañanas de todos los meses (entre 70 y 140 W/m²); Ventilación natural todo el año con una velocidad entre 0.5 y 1 m/s.

Los triángulos de confort recomiendan inercia térmica todo el año; inercia térmica más ganancias internas de octubre y enero.

El diagrama Psicrométrico recomienda calentamiento pasivo y masa de invierno durante todas las mañanas del año. En las tardes de todo el año la ventilación puede ser suficiente para obtener condiciones confortables.

En resumen, las recomendaciones más importantes son: en las mañanas aprovechar las ganancias internas y la masividad de la construcción. Durante las tardes de todo el año utilizar la ventilación natural.

MATRIZ DE ESTRATEGIAS PASIVAS

CONDICIONANTE CLIMATICA										ESTRATEGIAS		OPCIONES DE DISEÑO ARQUITECTONICO				Medellin, Colombia												
CALIDO SECO	CALIDO	CALIDO HUMEDO	TEMPLADO SECO	TEMPLADO	TEMPLADO HUMEDO	SEMI-FRIO SECO	SEMI-FRIO	SEMI-FRIO HUMEDO	HUMIDO			INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO													
										DIRECTO - INDIRECTO	dia - noche	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	CLIMA: A f(m) in° LATITUD: 6° 14' LONGITUD: 75° 34' ALTITUD: 1435				
										CALENTAMIENTO	D	RADIACION SOLAR DIRECTA	d												ELEMENTOS REGULADORES			
											D	GANANCIAS INTERNAS	d															
											I	RADIACION SOLAR INDIRECTA	d															
											I	SISTEMAS RADIANTES	d															
											I	PROTECCION DEL VIENTO	d															
											I	CONDENSACION DE AGUA	d															
											D	AISLAMIENTO DE CALOR	d															
											D	VENTILACION NATURAL	d															
											I	VENTILACION FORZADA	d															
											ENFRIAMIENTO	D	PROTECCION SOLAR	d														
										I		ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO DIRECTO	d															
										I		ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO INDIRECTO	d															
										I		SISTEMAS RADIATIVOS	d															
										I		SISTEMAS CONDUCTIVOS	d															
										D		CALENTAMIENTO DIRECTO	d															
										I		CALENTAMIENTO INDIRECTO	d															
										I		VENTILACION INDUCIDA	d															
										D		SISTEMAS EVAPORATIVOS DIRECTOS	d															
										I		VENTILACION INDUCIDA	d															

Tabla 15. Matriz de estrategias pasivas

La matriz de estrategias pasivas (Tabla 15) resume las estrategias requeridas de manera mensual y define de manera general los elementos reguladores que podrían utilizarse.

En las noches de todo el año, la ganancia de calor se puede lograr a través del calentamiento indirecto (masa térmica) y el aprovechamiento de las ganancias internas de calor.

Los requerimientos de calentamiento son bajos, por lo que también se debe de utilizar el incremento de arropamiento.

Las estrategias de enfriamiento se resumen a la protección solar y la ventilación natural.

La ventilación cruzada es la estrategia principal, por lo que hay que evitar obstrucciones al paso del viento dominante. Las aberturas de ventilación deberán ubicarse a nivel de los ocupantes para que el enfriamiento sobre la piel pueda darse además del enfriamiento de la estructura y renovación del aire.

COLOMBIA

El caso de Colombia.

2. Arquitectura vernácula: La vivienda comunal Maloca

En Colombia se tiene registro de grupos humanos de más de 11,000 años Ap²⁹. Las culturas indígenas establecidas colombianas tienen también una gran antigüedad, vestigios cerámicos encontrados en Malambo y Momil, datan por lo menos de 1000 años a. de C.³⁰ Desafortunadamente no se cuenta con vestigios arquitectónicos debido a lo efímero de los materiales constructivos utilizados. No obstante, se puede tener una idea de su arquitectura a través de los rasgos arquitectónicos de grupos indígenas amazónicos que viven aún hoy en día.

2.1. Delimitación física espacial

Existen diversos grupos indígenas que habitan en Colombia. Cada una de ellas con diferencias culturales y arquitectónicas, sin embargo, se pueden ubicar principalmente en la selva de las amazonas de Colombia y Brasil. Uno de los principales grupos corresponde a las distintas etnias de los Tucano, que se ubican en los límites de los Departamentos de Guainía y Vichada y en los ríos Papurí y Paca y riveras del Vaupés en Colombia y frontera con Brasil.

2.2. Delimitación temporal

De acuerdo con los estadios culturales propuestos por el antropólogo Gerardo Reichel-Dolmatoff³¹ se distinguen, “en términos generales, cuatro niveles básicos que brevemente se podrían describir así: a) Nivel paleoindio, correspondiente en América al paleolítico, caracterizado por grupos nómadas de cazadores y recolectores; b) Nivel formativo, de grupos sedentarios tribales, fundamentalmente selváticos (amazonas y costa atlántica) que llegan al desarrollo incipiente de la cerámica y la agricultura; c) Nivel de cacicazgos, con el dominio territorial de hoyas hidrográficas relativamente restringidas, centradas en la agricultura del maíz y con organización social jerárquica, y d) Nivel de federaciones de aldeas, que es un estadio superior de desarrollo de los cacicazgos, con estructura de clases claramente diferenciada, incipiente formación del Estado y dominio de un vasto territorio; esta etapa al parecer sólo fue alcanzada por los Tayrona y los Muisca y fue interrumpida por la conquista española. Debe aclararse que estos cuatro estadios están ordenados en una progresión según su grado de complejidad cultural y por lo tanto no expresan necesariamente ni una secuencia cronológica, pues de hecho en distintos momentos coexistieron grupos con diverso grado de desarrollo, ni una continuidad cultural, pues no conforman una línea evolutiva que permita caracterizar cada estadio como base eficiente del siguiente. Este criterio de

²⁹ Antes del presente; fecha de referencia 1950.

³⁰ Cf. “Colombia indígena – Período prehispánico”, por Gerardo Reichel-Dolmatoff. *Manual de historia de Colombia, Tomo I – Instituto Colombiano de Cultura, 1981.*

³¹ *Op. Cit.*

ordenamiento “ideal” o “lógico” aunque no respeta las características de evolución de cada una de las culturas precolombinas ni su desenvolvimiento cronológico...”³².

Específicamente hablando de las etnias indígenas Tumaco se tienen referencias historiográficas a partir de la conquista española. “Según Tovar, Timaná fue el punto de partida para avances hacia el Amazonas en 1538...”³³

2.3. Descripción de la vivienda Maloca

La maloca es una vivienda comunal construida con materiales vegetales: madera y palma; por lo que su vida útil es de 10 a 15 años dando el mantenimiento debido. Su forma puede ser rectangular, circular u ovalada, esta forma y su tamaño dependen de grupo étnico que se trate y del grado de avance tecnológico constructivo; las de forma ovalada de gran tamaño son las de mayor complejidad. Una maloca grande puede llegar a medir hasta 25 metros de largo por 10 de ancho y puede alojar hasta 80 personas.

³² Arango, Silvia (2011) Historia extensa de la arquitectura en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Derechos Reservados © 2011-2012 Historia extensa de la arquitectura en Colombia. Tema de Wordpress modificado por DNSAV. compatible con XHTML 1.1 and CSS 3.

³³ Citado en Marín Silva, Pedro (2013) Introducción histórica a la etnia Coreguaje: Cultura Tucano occidental de Colombia. Revista Brasileira de Lingüística Antropológica. Vol. 5, no. 1, julio 2013. Universidad Nacional de Brasilia.



Fig. 37 Maloca,

La ocupación del interior es muy variada dependiendo de las características de cada grupo, pero en todos los casos se establece una zonificación específica para las distintas actividades familiares y grupales. De tal forma se contará con áreas familiares con la presencia de un fogón en cada una de ellas con un área de hamacas para cada uno de sus integrantes; sin embargo, en el centro de la maloca se ubica el fuego "sagrado", el cual se mantiene constantemente encendido y alrededor del cual se desarrollan las actividades comunales y rituales. El jefe de la comunidad tiene un espacio especialmente destinado para sus habitaciones.

La maloca puede considerarse como una unidad social y económica. Todos los productos recolectados de la agricultura, de la selva, cacería o pesca, son procesados, repartidos y consumidos por todos los integrantes de la comunidad de la maloca. El jefe o el chamán son los encargados de la administración de la maloca ³⁴.

³⁴ Cf. Rodríguez, Carlos Alberto. (2008) La nueva maloca para el desarrollo sostenible en la Amazonia. Revista colombiana Amazónica, no. 1. Bogotá Colombia.

Cada columna, viga, muro, puertas e incluso el trenzado de la pala de la cubierta tienen simbolismos específicos de acuerdo con su visión cosmogónica, mágica y sobrenatural. Todas las etapas constructivas de la maloca se hacen por medio de rituales que simbolizan el acto creador primigenio. Del mismo modo el fuego (fogón y hogar) tienen un alto sentido simbólico, motivo por el cual debe mantenerse encendido constantemente y la vida de la comunidad gira alrededor de este fuego sagrado. La maloca en sí misma es un marcador solar, un "reloj solar" que va midiendo el transcurso del tiempo...

La vivienda comunal Maloca

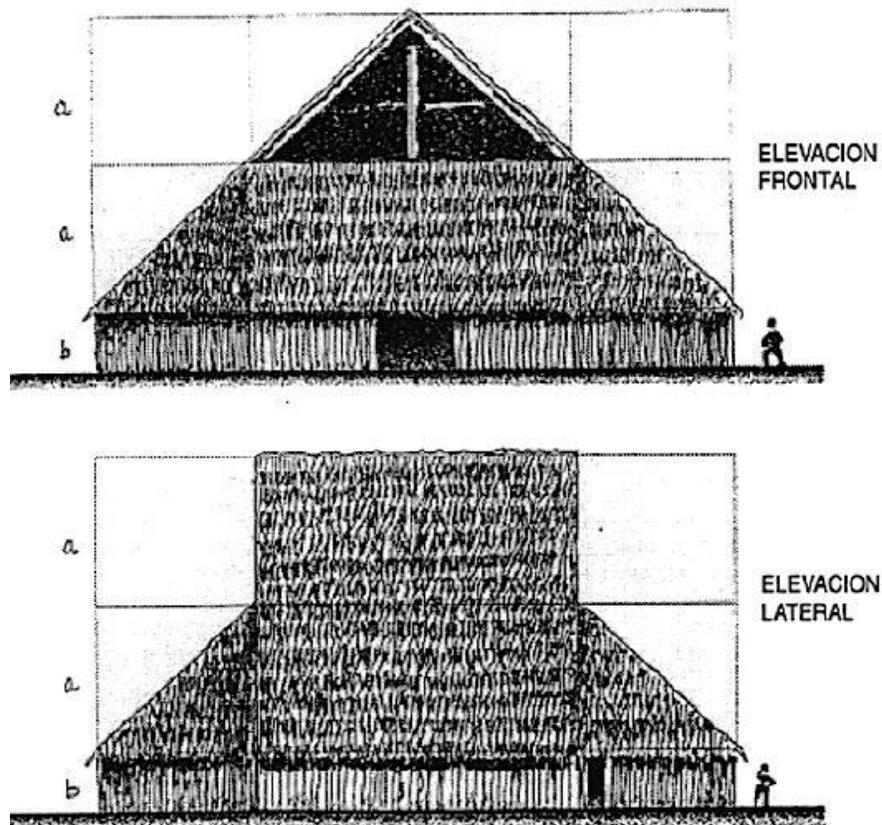


Fig. 40 Maloca amazónica. Source. Marussi (2004).

La construcción, si es cuadrada, octagonal o circular, generalmente tiene una proporción entre largo y alto de 4:2.4, es decir, 1:0.6, con cubiertas inclinadas a 45°, y con orientación este-oeste de las aberturas superiores de la cubierta. Si es rectangular u ovalada la proporción entre largo, ancho y alto es 6:2.4:2.4, es decir 1:0.4:0.4; con la cubierta inclinada igualmente a 45° con la orientación longitudinal este-oeste.

Los horcones que sostienen la cubierta son espaciados en función de los rayos solar que entra por las aberturas de la cubierta y el caballete; de tal forma las columnas centrales se definen por la posición solar de las 10:00 y 14:00 h, los siguientes por la posición del sol a las 9:00 y 15:00 h; los últimos se ubican en el muro perimetral en donde el sol incidirá a medio horcón a las 8:00 y 16:00 h. la altura del horcón intermedio es el indicador del sol de las 7:00 y 17:00 h. Como se puede apreciar la construcción misma es un calendario y reloj solar.

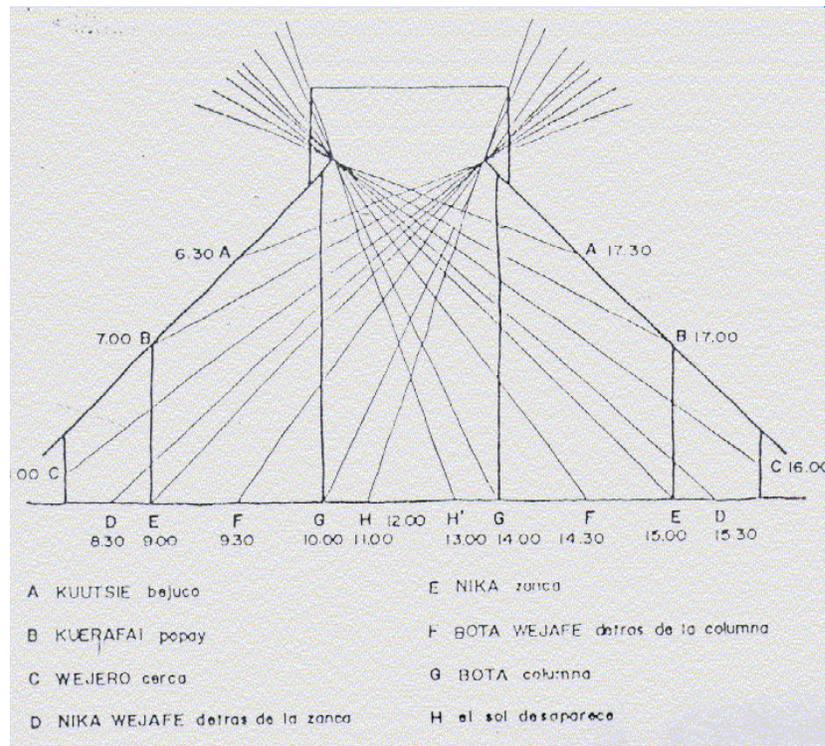


Fig. 41 Elementos constructivos de la maloca, en función del recorrido solar³⁶

³⁶ Martín, Von Hildebrand. Vivienda indígena. Amazonas. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. en. Viviendas Comunes Amazónicas. No. 81 http://laboratoriodeurbanismodelsur.blogspot.mx/2012/05/n_29.html Consultado el 2 de febrero 2016.



Fig. 42 Interior de la maloca, con rayos solares



Fig. 43 Interior de la maloca, con rayos solares

“[...] tres jaguares, que a veces se pintan de rojo y con manchas negras, se interpretan como los protectores y fuerzas fecundizantes más importantes de la vivienda que “cobijan” (beari) a los ocupantes [...] La línea divisoria central, en un sentido transversal, es decir la que está indicada por “el segundo jaguar”, es “el camino de pamurí gaxsiru” (culebra-canoa), que en su viaje mítico se dirigió de Este a Oeste. En el centro de esta línea, que es el verdadero centro de la maloca, se coloca el banco desde el cual el kumú o el payé ofician y recitan con ocasión de reuniones ceremoniales. También es el lugar donde se pone la vasija ritual para tomar el yagé y donde se adornan los bailarines antes de una fiesta. Es el lugar más sagrado de la maloca; “el furor del jaguar reside en el centro del caballete: es el sol quien puso este poder allá”. (Reichel, 1986: 133,135)

Los tanimuka consideran la maloca como un calendario solar:

[...] el movimiento aparente del sol al Norte y al Sur del Ecuador indicando los solsticios y los equinoccios, se observa en el piso de la maloca al desplazarse los rayos del sol en forma inversa. Al encontrarse el sol al Norte, en el solsticio de junio, alumbra el Sur del interior de la maloca, área asociada con el grupo agnático de los dueños de la maloca, con el chamanismo y con el jaguar; al encontrarse al sur en el solsticio de diciembre alumbra el Norte del interior de la maloca, área asociada con los aliados, la música, la comida cultivada y la boa. (Von Hildebrand, 1987: 246)”³⁷



Fig. 44 Comportamiento térmico de la Maloca³⁸

³⁷ Llanos, Héctor (2014) El tiempo-espacio de los chamanes. Consultado el 4 de febrero de 2016. http://ensayoshistoricosyarqueologicos.blogspot.mx/2014_12_01_archive.html

³⁸ Ramírez, Jorge. (2012) Diplomado, Diseño y Construcción Sostenible. Universidad Iberoamericana, Santa Fe. México.

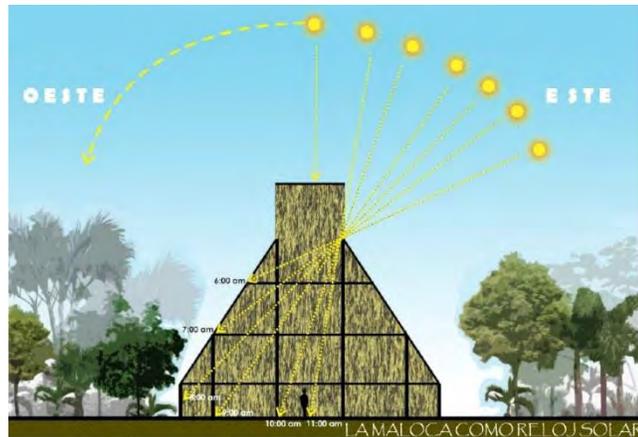


Fig. 45 La maloca como reloj solar ³⁹

La cubierta es cuidadosamente colocada con palma entretejida; los muros se forman con troncos o bambú y se dejan ligeramente entreabiertos para facilitar la ventilación entre ellos.



Fig. 46 Tejiendo la palma

³⁹ Ramírez, Jorge. (2012) Diplomado, Diseño y Construcción Sostenible. Universidad Iberoamericana, Santa Fe. México.

Bibliografía

Arango, Silvia (2011) Historia extensa de la arquitectura en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Marín Silva, Pedro (2013) Introducción histórica a la etnia Coreguaje: Cultura Tucano occidental de Colombia. Revista Brasileira de Lingüística Antropológica. Vol. 5, no. 1, julio 2013. Universidad Nacional de Brasilia.

Marussi, Ferruccio. (2004) Arquitectura Vernacular Amazónica: La Maloca, vivienda colectiva de los Boras. Editorial Universitaria, Universidad Ricardo Palma, Perú. 254 pp.

Reichel-Dolmatoff, Gerardo (1981) Colombia indígena – Período prehispánico”. Manual de historia de Colombia, Tomo I – Instituto Colombiano de Cultura.

Reichel Dussan, Elizabeth (1988) Etnografía de los grupos indígenas contemporáneos. Profesora de la Universidad de los Andes. Capítulo en “Colombia Amazónica”. (1988). Villegas Editores. Bogotá Colombia.

Rodríguez, Carlos Alberto. (2008) La Nueva Maloca para el desarrollo sostenible en la Amazonia. Revista Colombiana Amazónica No. 1. Bogotá Colombia.

Vieco, Juan José, Ed. (2000) Territorialidad indígena y ordenamiento en la Amazonia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Leticia. Instituto Amazónico de Investigaciones, Imani. Bogotá, Colombia.

Escenarios Deportivos Medellín

Información técnica

Arquitecto: Giancarlo Mazzanti y Felipe Mesa

Equipo de diseño: Alberto Aranda, Rocío Lamprea, Susana Somoza, Carlos Bueno, Luisa Restrepo y Esteban Monsalve

Cliente: INDER (Instituto de Deportes y Recreación)

Áreas:

Área de lote: 43.448 m²

Área Construida: 19.941 m²

Espacio Público: 23.500 m²

Fecha de proyecto: Abril 2008 - Marzo 2009

Fecha de finalización: Febrero 2010

Ingeniero estructural: Nicolas Parra

Consultor y especialista:

Ingeniero Eléctrico: Ebingel, Ricardo Posada

Créditos fotográficos: Verónica Restrepo, Sergio Gomez

Los escenarios deportivos de Medellín es una serie de instalaciones deportivas para albergar los IX Juegos Sudamericanos 2010, en la ciudad de Medellín Colombia. Varias de las instalaciones fueron diseñadas por los arquitectos Giancarlo Mazzanti y Felipe Mesa, quienes ganaron el concurso público internacional que se convocó para tal fin.

El proyecto se ubica en el valle de Aburrá. Las cubiertas del proyecto generan una continuidad espacial, geográfica muy interesante. Con fines de lograr una buena orientación y ventilación de los espacios, además de la integración urbana y paisajística con los estadios y canchas existentes, el proyecto se orienta en sentido sursureste-nornoroeste. Es decir que las "cintas de las cubiertas tienen una orientación opuesta estenordeste-oesudoeste.

Con estas orientaciones se logra la unidad con las instalaciones deportivas Atanasio Girardot.

Junto a la vialidad se crean cuatro plazas triangulares abiertas al espacio urbano que permiten el intercambio social y deportivo. Se logra también la libre circulación peatonal; de tal forma que los espacios interiores exteriores coexisten de manera natural. Los cuatro coliseos diseñados funcionan de manera independiente, sin embargo, el diseño de cubiertas hace que se perciban como una unidad arquitectónica con espacios interconectados.



Fig. 47 Planta de conjunto



Fig. 48 Planta arquitectónica de conjunto



Fig. 49 Plazas exteriores y vinculación con el espacio urbano

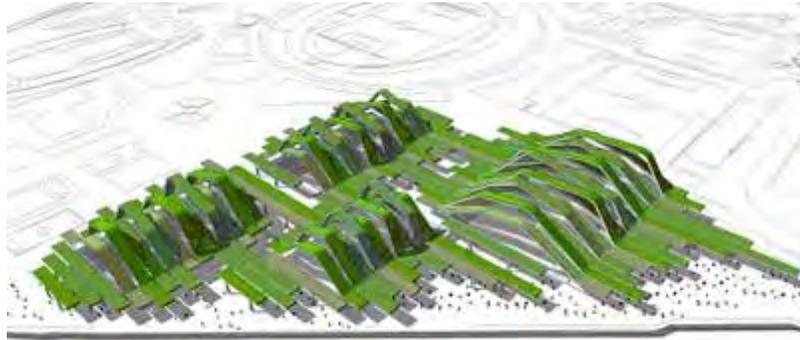


Fig. 50 Esquema conceptual

Consideraciones bioclimáticas:

Sombreado de espacios exteriores al prolongar las cubiertas de la techumbre



Fig. 51 Plaza exterior con prolongación de cubierta



Fig. 52 espacios exteriores

La orientación de las franjas de las cubiertas evita que los rayos de sol entren de manera directa sobre los espacios interiores, pero su disposición favorece una amplia iluminación natural en todos los espacios interiores.

Las fachadas norte y sur permiten la ventilación natural cruzada de manera controlada

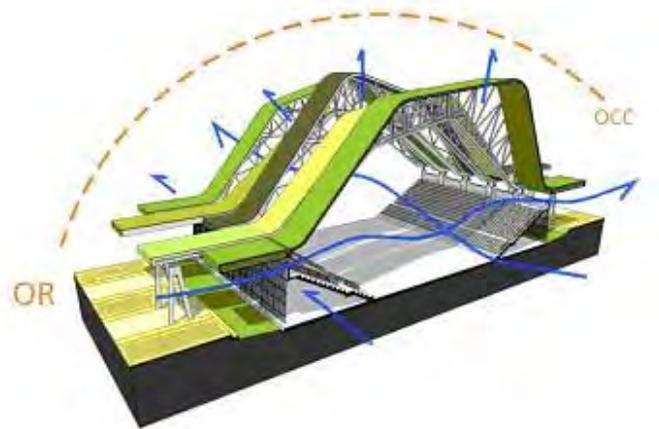
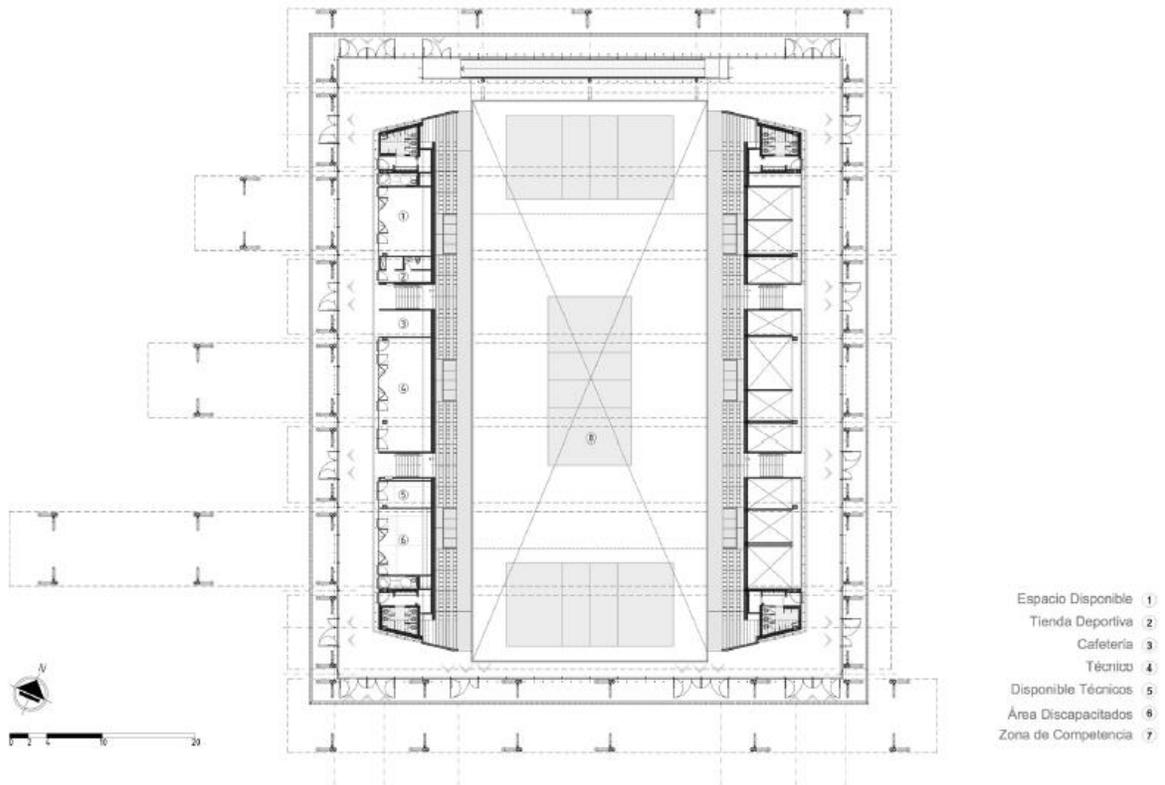


Fig. 53 Concepto bioclimático: orientación, asoleamiento y viento

PLANOS ARQUITECTÓNICOS



/// COLISEO: VOLEIBOL / PLANTA GENERAL ACCESO

Escenarios Deportivos para los Juegos Suramericanos Medellín 2010
 Felipe Mesa (planb) + Giancarlo Mazzanti (mazzanti arquitectos)

Fig. 54 Planta general de acceso

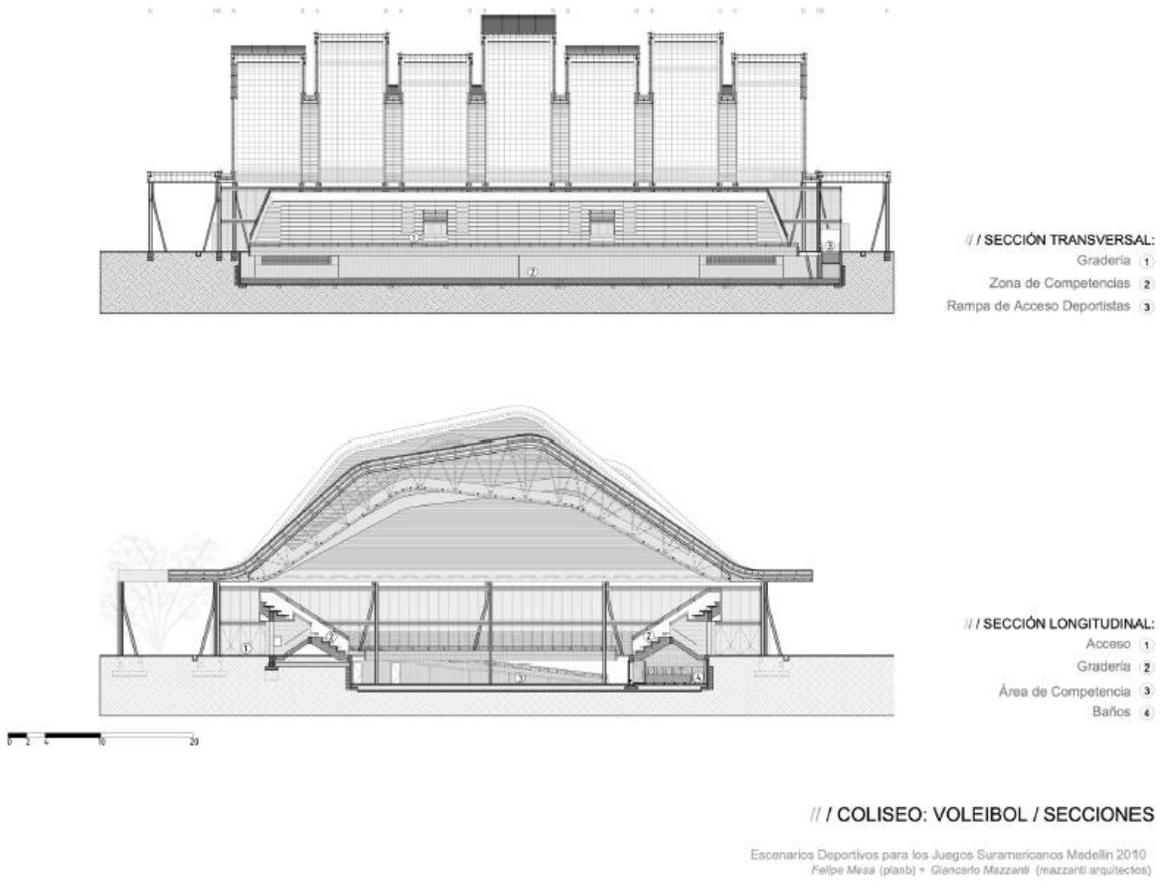
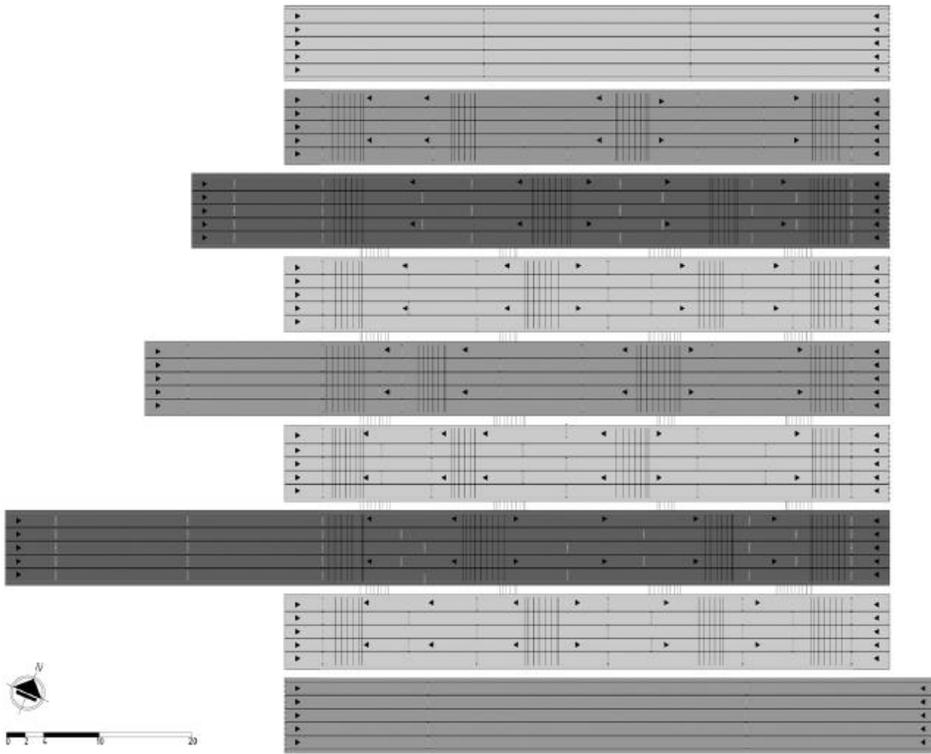


Fig. 55 Cortes



/// COLISEO: VOLEIBOL / PLANTA GENERAL CUBIERTAS

Escenarios Deportivos para los Juegos Suramericanos Medellin 2010
Felipe Mesa (piamb) + Giancarlo Mazzanti (mazzanti arquitectos)

Fig. 56 Cubiertas

Concepto de ventilación natural

La ventilación natural se da de manera cruzada a través de celosías en los muros cabeceras y de manera convectiva a través de perforaciones de ventilación en las gradas y ventilación superior a través de las cubiertas.

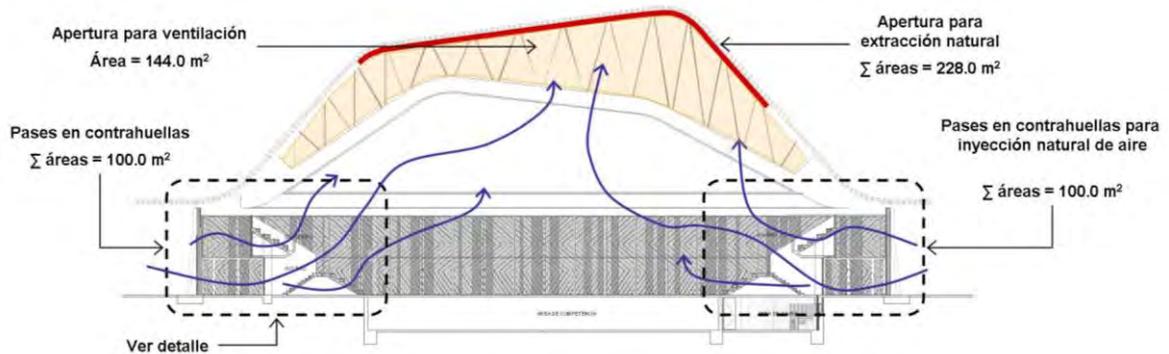


Fig. 57 Esquema general de ventilación

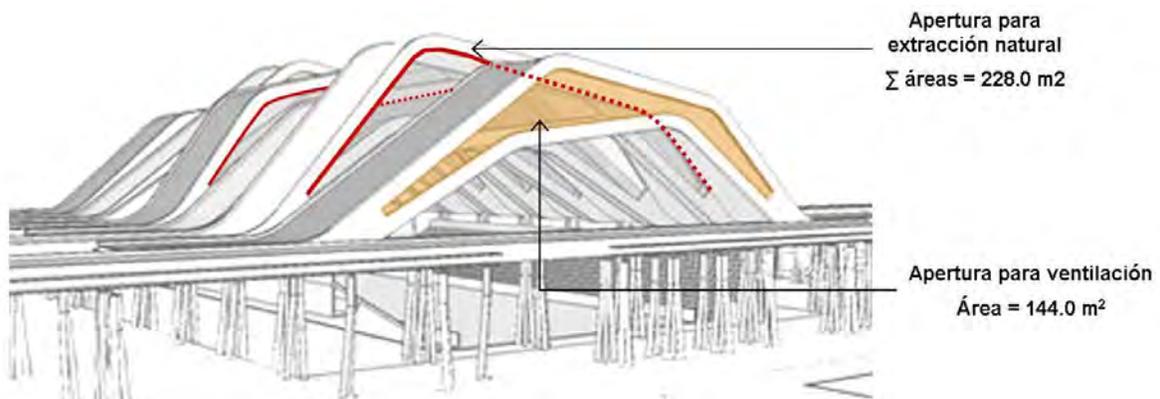


Fig. 58 Áreas de extracción de aire en cubiertas

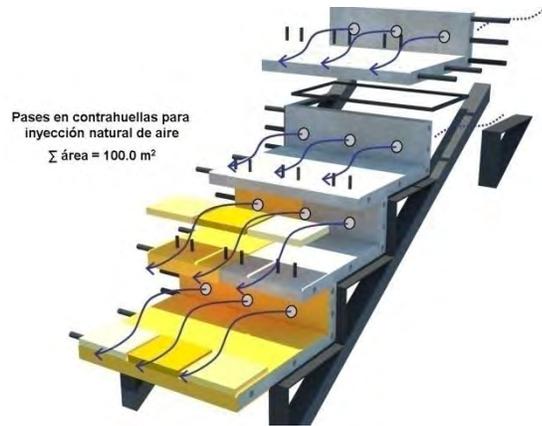


Fig. 59 Ventilación en gradas



Fig. 60 Celosía de los coliseos que permite la ventilación cruzada de manera controlada

Iluminación Natural

El esquema desfasado de las cubiertas permite una amplia iluminación natural que es complementada con iluminación artificial durante los torneos.



Fig. 61 Vista del interior del coliseo de combate

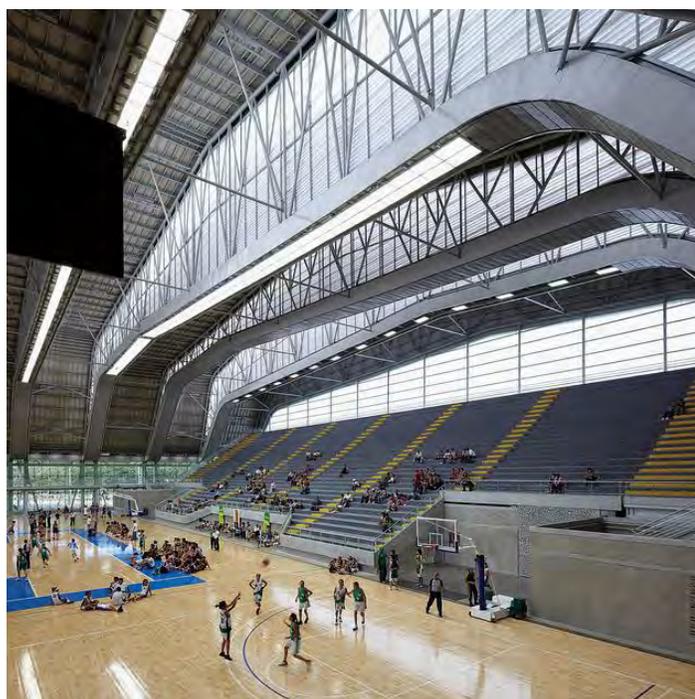


Fig. 62 Vista interior del coliseo de basquetbol

BRASIL

Caso de estudio: Río de Janeiro y Amazonas

- Condicionantes físicas, ambientales y climáticas de Río de Janeiro
 - La arquitectura amazónica – El Shabono
- Centro Internacional Sarah de neuro-rehabilitación y neurociencias, Río de Janeiro

Condiciones físicas, ambientales y climáticas de Río de Janeiro

Ubicación Geográfica:



Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto (Imagen de Google Earth⁴⁰)

Los datos climatológicos corresponden al observatorio de Jacarepaguá, Río de Janeiro en Brasil, del período 1961-1990. (Instituto Nacional de Meteorología INMET y del Aeropuerto Jacarepaguá)

La Ubicación Geográfica es:

Latitud: -22° 58' 10"
Longitud: -43° 22' 40"
Altitud: 8 msnm

⁴⁰ Google Earth. Google Inc. 2015

1.8. Análisis Climático

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen el clima del aeropuerto de Jacarepaguá es **A w2 (x') (i')** (Cálido húmedo, con poca oscilación, sin presencia de canícula). Esta clasificación se interpreta de la siguiente manera:

- **A** define al clima como *cálido*; con temperatura media anual mayor a 22 °C y la temperatura media del mes más frío mayor de 18 °C.
- **w2 (x')** corresponde a un clima *húmedo* con régimen de *lluvias en verano (del Hemisferio Sur)*, con un porcentaje de precipitación invernal mayor a 10.2%; y un cociente P/T mayor a 55.3
- **(i')** define al clima con *poca oscilación*; con una oscilación anual entre 5 y 7 °C

f	Jacarepaguá, Río de Janeiro	1961-1990	
I	CLIMA	A w2 (x') (i')	
J	BIOCLIMA	CÁLIDO HÚMEDO	
A	LATITUD	-22°.58'	-22.97
A	LONGITUD	-43°.22'	-43.38
A	ALTITUD	8	msnm

f	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
TEMPERATURAS															
A	MÁXIMA EXTREMA	°C	40.0	39.1	39.1	36.5	36.8	35.2	34.7	38.3	38.5	38.9	39.1	39.9	40.0
A	MÁXIMA	°C	32.7	32.8	31.9	29.2	27.6	26.9	26.1	27.4	27.7	28.0	29.2	31.1	29.2
A	MEDIA	°C	26.6	26.7	26.2	24.0	21.8	21.0	20.3	21.5	22.3	23.1	24.1	25.6	23.6
A	MÍNIMA	°C	22.2	22.3	21.9	19.8	17.5	16.5	15.6	16.5	17.7	18.7	19.7	21.2	19.1
A	MÍNIMA EXTREMA	°C	16.2	16.6	16.6	11.7	11.0	9.8	3.8	8.0	8.8	12.2	14.0	15.3	3.8
E	OSCILACION	°C	10.6	10.7	10.4	9.8	10.0	10.8	11.3	11.3	11.0	10.2	9.8	10.0	10.5
HUMEDAD															
E	TEMP.BULBO HÚMEDO	°C	22.9	23.2	22.6	20.9	19.0	18.0	17.3	18.3	19.1	20.1	20.8	22.1	20.4
E2	H.R. MÁXIMA	%	95	97	95	96	99	97	97	96	94	95	93	94	95.6
A	H.R. MEDIA	%	73	75	74	76	76	75	75	74	74	76	74	74	74.5
E2	H.R. MÍNIMA	%	51	52	53	56	54	52	52	51	53	56	55	54	53.4
E	PRESIÓN DE VAPOR MEDIA	hPa	25.40	26.11	25.12	22.63	19.96	18.63	17.77	18.85	19.88	21.40	22.25	24.27	21.9
A	EVAPORACIÓN	mm	218.5	166.8	147	110.7	87.5	78.2	85.9	96.7	95.6	129.4	138.7	183.9	1,538.9
PRESIÓN															
E	MEDIA	hPa	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3	1,012.3
PRECIPITACIÓN															
A	MEDIA (TOTAL)	mm	173.9	170.9	153.1	107.6	82.6	41.5	45.9	56.6	58.2	102.7	121.7	191.4	1,306.1
A	MÁXIMA	mm													0.0
A	MÁXIMA EN 24 HRS.	mm	15.0	54.0	80.0	21.0	37.0	23.0	9.0	2.0	63.0	5.0	33.0	52.0	80.0
	MÁXIMA EN 1 HR.	mm													
	MÍNIMA	mm													

RADIACIÓN SOLAR

E	RADIACIÓN MÁXIMA DIRECTA	W/m ²	771.0	838.0	771.0	651.0	618.0	542.0	572.0	660.0	672.0	726.0	771.0	783.0	697.9
E	RADIACIÓN MÁXIMA DIFUSA	W/m ²	79.0	89.0	91.0	95.0	109.0	106.0	108.0	107.0	88.0	82.0	82.0	81.0	93.1
A	RADIACIÓN MÁXIMA TOTAL	W/m²	850.0	927.0	862.0	746.0	727.0	648.0	680.0	767.0	760.0	808.0	853.0	864.0	791.0
A	INSOLACIÓN TOTAL	h	175.5	149.0	154.2	127.9	138.9	173.0	203.2	191.6	153.4	132.9	136.4	156.2	1,892.2

FENOMENOS ESPECIALES

A	LLUVIA APRECIABLE	días	12.0	9.0	9.0	9.0	8.0	6.0	5.0	5.0	7.0	11.0	11.0	13.0	105.0
	LLUVIA INAPRECIABLE	días													
	DÍAS DESPEJADOS	días													
	MEDIO NUBLADOS	días													
	DÍAS NUBLADOS	días													
	DÍAS CON ROCÍO	días													
	DÍAS CON GRANIZO	días													
	DÍAS CON HELADAS	días													
	DÍAS CON TORM. ELÉCTRICA	días													
	DÍAS CON NIEBLA	días													
	DÍAS CON NEVADA	días													
	VISIBILIDAD DOMINANTE	km													

VIENTO

D	DIRECCIÓN DOMINANTE		S	S	S	S	S	N	N	SW	S	S	S	S	S
D	CALMAS	%	0.0												0.0
D	VELOCIDAD MEDIA	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
A	VELOCIDAD MÁXIMA	m/s	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.9	4.9	4.9	4.5	4.5	4.5	4.3	4.5
D	MÁXIMO DIARIO	m/s													

A Instituto Nacional de Meteorología. 1961-1990

B Atlas Solarimétrico do Brasil. Banco de Datos Terrestres. Recife. Brasil 2000

C

D Viento del Aeropuerto Jacarepaguá, Windfinder. [<http://es.windfinder.com/>]

E Datos calculados.

E2 Datos calculados con base en los algoritmos del Dr. Adalberto Tejeda M., Programa para el cálculo de la Humedad Relativa. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. s/f

F Cf. NOAA - National Geophysical Data Center. National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/>

G Cf. Environment Canada. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=5F816A-1>

H Cf. Environment Canada. <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=86C0425B-1#h2>

I Cf. García, Enriqueta. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Talleres de Offset Larios, S.A., México. D.F. 1988

J Cf. Schjetnan, Mario; Figueroa, Aníbal y Fuentes F., Víctor. Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura. IMSS 7300, México, D.F. 1991

Paralelamente a la clasificación climática de Köppen, se determinó la agrupación bioclimática del sitio en estudio. Este sistema bioclimático tiene por objeto la agrupación simplificada de localidades de acuerdo a sus requerimientos bioclimáticos; no pretende sustituir a la primera clasificación, sino complementarse con ella desde el punto de vista de diseño bioclimático (Fuentes y Figueroa, 1990).

Este sistema de agrupación se basa en la relación de la temperatura media del mes más caluroso con la precipitación pluvial total anual. La primera determina los requerimientos de calentamiento o enfriamiento para la estación más cálida del año, mientras que la segunda determina los requerimientos de humidificación o deshumidificación. La figura 3 muestra esquemáticamente la relación y los límites entre ambas variables climáticas encargadas de definir cada uno de los bioclimas locales según las condiciones ambientales del sitio en que se ubiquen.

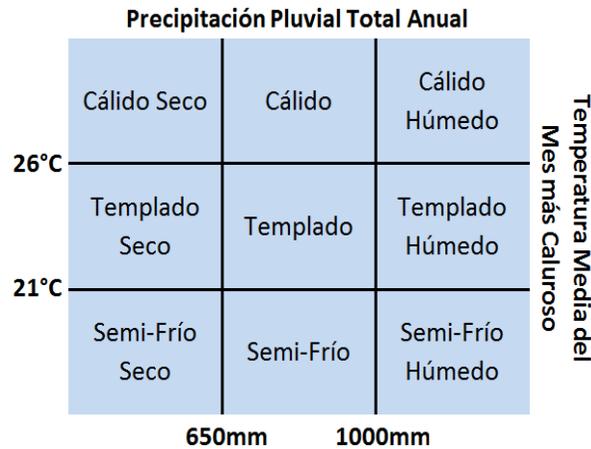


Figura 3. Sistema de agrupación bioclimática local a partir de la temperatura media del mes más caluroso y la precipitación pluvial anual (Fuentes y Figueroa, 1990).

Con base en lo anterior, la agrupación bioclimática de la zona de estudio corresponde al bioclima *Cálido Húmedo*, ya que la temperatura media del mes más caluroso (febrero) es 26.7°C y la precipitación pluvial anual es de 1 306.0 mm, lo que representa un régimen de lluvias alto.

1.9. Análisis Paramétrico

El análisis paramétrico consiste en analizar cada una de las variables, o parámetros climáticos, con el fin de observar su comportamiento mensual y anual durante el periodo de tiempo definido; con ello se pretende definir las características climáticas y los requerimientos bioclimáticos básicos.

Para este análisis se requiere establecer parámetros de referencia; en algunos casos son zonas o rangos de confort, en otros límites de referencia o interrelación de dos parámetros.

1.9.1. Temperatura

En parámetro de referencia para analizar las temperaturas es la zona de confort, la cual se define a partir de la Temperatura Neutra (T_n), empleado la ecuación lineal de Auliciems (Auliciems y Szokolay, 1997):

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_{med}$$

Este modelo de confort plantea aplicar una amplitud térmica de $\pm 2.5K$ sobre la T_n para periodos anuales. De esta manera, los Límites Superior e Inferior de la Zona de Confort (ZCs y ZCi, respectivamente) para Jacarepaguá quedan definidos de la siguiente manera:

$$ZCs = 27.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_n = 24.9$$

$$ZCi = 22.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

La temperatura óptima de confort anual —Temperatura neutra (T_n)— es de $24.9 \text{ }^\circ\text{C}$, con un rango aceptable (Zona de Confort) entre los $22.4 \text{ }^\circ\text{C}$ y $27.4 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura media (T_{med}) anual es de $23.6 \text{ }^\circ\text{C}$; la media del mes más caluroso es de $26.7 \text{ }^\circ\text{C}$ en febrero, y la media del mes más frío es de $20.3 \text{ }^\circ\text{C}$ en julio.

Practicamente el año es caluroso, ya que las temperaturas máximas (T_{max}) de todos meses se encuentran por arriba de la zona de confort —generalmente alrededor de las 15:00h—(Fig4) con excepción del mes de julio, cuando la temperatura máxima está ligeramente dentro de la zona de confort. Del mismo modo las temperaturas extremas de todos los meses, con excepción de julio, superan los $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Mientras que las temperaturas medias (T_{med}) se encuentran dentro de la zona de confort de septiembre a abril, pero de mayo a agosto descienden por debajo del límite inferior de confort; y las mínimas (T_{min}) todo el año se encuentran por debajo de la zona de confort —generalmente alrededor de las 06:00h—.

Del mismo modo las temperaturas mínimas extremas en invierno, no descienden por debajo de los $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

La oscilación anual de temperatura es baja, corresponde a 6.4 K , por lo que se considera un clima con poca oscilación; mientras que la oscilación diaria promedio anual también es baja, corresponde a 10.5 K .

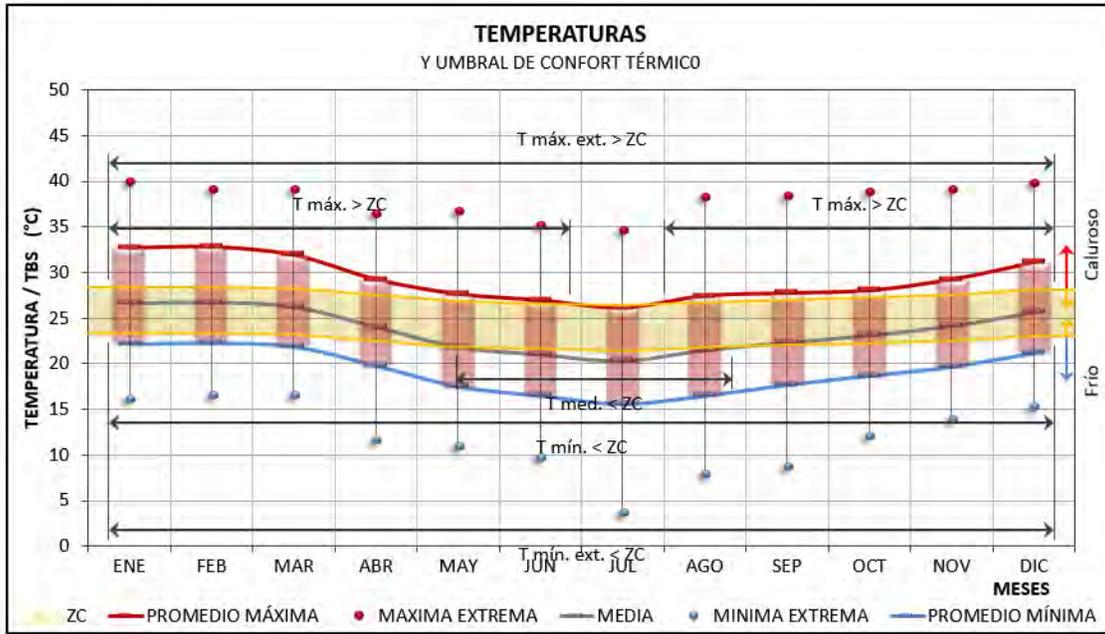


Figura 4. Comportamiento de la temperatura

Al observar los datos horarios de temperatura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se aprecia que el periodo de sobrecalentamiento se presenta todos los meses excepto julio, entre las 11 y 21 horas. Analizando estos datos se obtiene que el 38.2 % de las horas se encuentran por debajo del confort; y por lo tanto se presentan requerimientos de calentamiento. El 36.5 % de las horas están dentro de la zona de confort y el 25.3 % se encuentra por arriba de esta zona presentándose requerimientos de enfriamiento.

PROM. TEMP.		TEMPERATURAS HORARIAS																								BC	CF	SC		
Min.	Max.	HORA	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	%	%	%	
22.2	32.7	ENE	22.3	22.2	22.5	23.4	24.8	26.5	28.4	30.1	31.5	32.4	32.7	32.6	32.2	31.7	31.0	30.1	29.1	28.0	26.9	25.8	24.6	23.9	23.2	22.7	20.8	33.3	45.8	
22.3	32.8	FEB	22.4	22.3	22.6	23.5	24.9	26.6	28.5	30.2	31.6	32.5	32.8	32.7	32.3	31.8	31.1	30.2	29.2	28.1	27.0	25.9	24.9	24.0	23.3	22.8	20.8	33.3	45.8	
21.9	31.9	MAR	22.0	21.9	22.2	23.1	24.4	26.0	27.8	29.4	30.7	31.6	31.9	31.8	31.5	30.9	30.2	29.4	28.4	27.4	26.4	25.4	24.4	23.6	22.9	22.3	25.0	33.3	41.7	
19.8	29.2	ABR	19.9	19.8	20.1	20.9	22.2	23.7	25.3	26.9	28.1	28.9	29.2	29.1	28.8	28.3	27.6	26.9	26.0	25.0	24.0	23.0	22.2	21.4	20.7	20.2	37.5	33.3	29.2	
17.5	27.6	MAY	17.6	17.5	17.8	18.7	20.0	21.7	23.4	25.1	26.4	27.3	27.6	27.5	27.2	26.6	25.9	25.1	24.1	23.1	22.0	21.0	20.0	19.2	18.5	17.9	45.8	37.5	16.7	
16.5	26.9	JUN	16.6	16.5	16.8	17.7	19.1	20.8	22.6	24.3	25.7	26.6	26.9	26.8	26.5	25.9	25.2	24.3	23.3	22.2	21.2	20.1	19.1	18.2	17.5	16.9	50.0	41.7	8.3	
15.6	26.1	JUL	15.7	15.6	15.9	16.8	18.2	19.9	21.8	23.5	24.9	25.8	26.1	26.0	25.6	25.1	24.4	23.5	22.5	21.4	20.3	19.2	18.2	17.3	16.6	16.1	54.2	45.8	0.0	
16.5	27.4	AGO	16.6	16.5	16.8	17.8	19.2	21.0	22.9	24.7	26.1	27.1	27.4	27.3	26.9	26.4	25.6	24.7	23.6	22.5	21.4	20.3	19.2	18.3	17.5	17.0	50.0	33.3	16.7	
17.7	27.7	SEP	17.8	17.7	18.0	18.9	20.2	21.8	23.6	25.2	26.5	27.4	27.7	27.6	27.3	26.7	26.0	25.2	24.2	23.2	22.2	21.2	20.2	19.4	18.7	18.1	45.8	37.5	16.7	
18.7	28.0	OCT	18.8	18.7	19.0	19.8	21.0	22.5	24.2	25.7	26.9	27.7	28.0	27.9	27.6	27.1	26.5	25.7	24.8	23.8	22.9	21.9	21.0	20.2	19.6	19.1	41.7	41.7	16.7	
19.7	29.2	NOV	19.8	19.7	20.0	20.8	22.1	23.6	25.3	26.8	28.1	28.9	29.2	29.1	28.8	28.3	27.6	26.8	25.9	24.9	24.0	23.0	22.1	21.3	20.6	20.1	37.5	33.3	29.2	
21.2	31.1	DIC	21.3	21.2	21.5	22.4	23.7	25.3	27.0	28.6	29.9	30.8	31.1	31.0	30.7	30.2	29.5	28.6	27.7	26.7	25.6	24.6	23.7	22.8	22.1	21.6	29.2	33.3	37.5	
19.1	29.2	ANUAL	19.2	19.1	19.4	20.3	21.7	23.3	25.1	26.7	28.0	28.9	29.2	29.1	28.8	28.3	27.5	26.7	25.7	24.7	23.6	22.6	21.7	20.8	20.1	19.6	38.2	36.5	25.3	

Tabla 3. Datos horarios de Temperatura

Temperatura	Comportamiento	Total (%)
	Sobrecalentamiento (SC)	25.3
	Confort (CF)	36.5
	Bajo Calentamiento (BC)	38.2

Tabla 4. Porcentajes del comportamiento térmico

De acuerdo con la tabla de temperaturas horarias (Tabla 3), la temperatura más elevada del día comprende entre las 14:00h - 16:00h, mientras que la temperatura mínima da lugar alrededor de las 06:00h. De igual manera, es posible apreciar el recorrido horario de las temperaturas diarias desde dos criterios distintos de trazado:

- *Isotermas trazadas a partir del umbral de confort térmico mensual (Figura 5).* En este gráfico, el trazado de las isolíneas converge en las temperaturas comprendidas en un rango de igual valor. Estos rangos, con amplitud de 2K —para el caso específico en estudio.

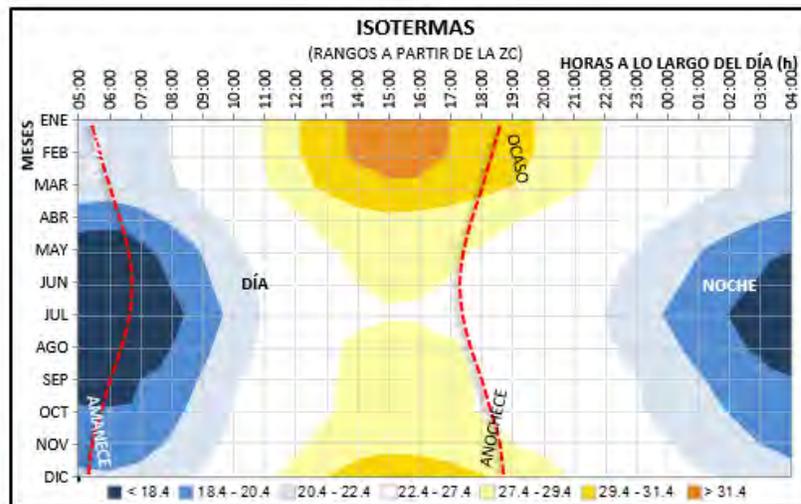


Figura 5. Isotermas horarias trazadas a partir del umbral de confort térmico estimado para cada mes

Con esto, es posible visualizar la zona de confort térmica y las zonas de sobrecalentamiento y bajo calentamiento a lo largo de año.

- *Isotermas trazadas a partir de la estratificación térmica diaria (Fig).* El trazado de esta gráfica se basa en rangos de igual valor de temperatura; en este caso la variación se fijó en 5 K. Esta estratificación térmica permite evaluar las variaciones horarias de manera más detallada.

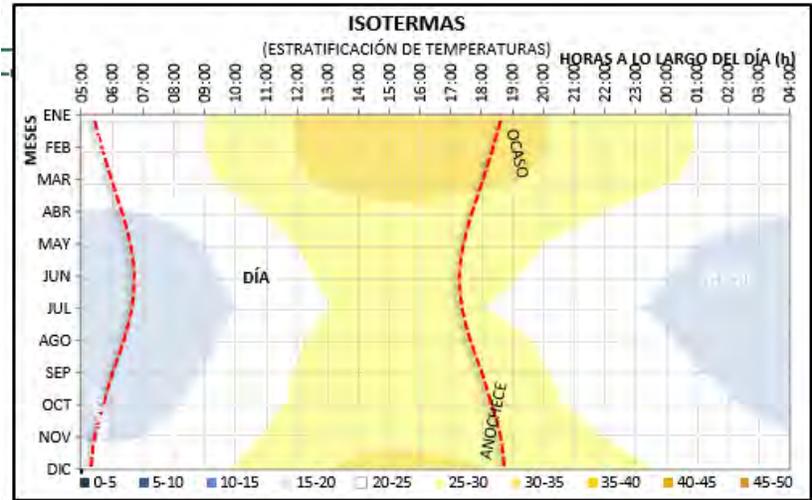


Figura 6. Isotermas horarias trazadas a partir de la estratificación térmica diaria de cada mes

En la figura 6 se aprecia el comportamiento horario de las temperaturas a lo largo del día. Como se puede observar, el comportamiento de la temperatura es bastante uniforme a lo largo del año.

1.9.2. Humedad Relativa

El parámetro de referencia para el análisis del confort higrico es 50% con un rango de confort de $\pm 20\%$, es decir entre 30% y 70%.

Con base en los datos climáticos de Río de Janeiro, la Humedad Relativa media (HR_{med}) anual 74.5% con una oscilación anual promedio de 3.5%. En el mes más seco (enero) se presenta una HR_{med} igual a 72.9%, mientras que en el mes más húmedo (mayo) 76.4%.

La Figura 7 muestra el comportamiento mensual de la Humedad Relativa a lo largo del año. En la gráfica se aprecia que durante todo el año la Humedad Relativa máxima (HR_{max}) —presente generalmente a las 6:00 h— sobrepasa la zona de confort por arriba de 90%; lo cual indica posible condensación de la humedad.

La Humedad Relativa media (HR_{med}) se encuentra por arriba de la zona de confort durante todo el año. La Humedad Relativa mínima (HR_{min}) siempre está dentro de la zona de confort, y nunca desciende por debajo del 50%. Se aprecia que la humedad está determinada en gran medida por la situación costera y la alta influencia de humedad de la masa de agua de la laguna, por lo que la humedad relativa es muy constante a lo largo del año.

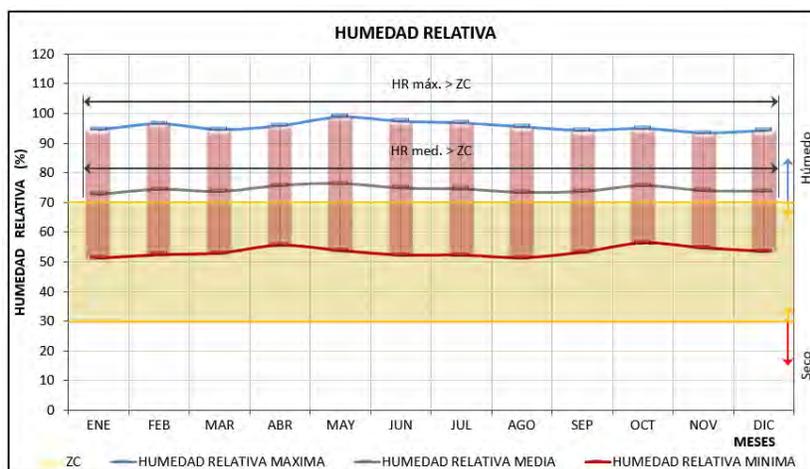


Figura 7. Comportamiento de la humedad relativa

El análisis horario de la Humedad Relativa (Tabla 5) muestra requerimientos de des-humidificación en un 57.6% del año —Las altas humedades se presentan en general desde las 22 h hasta las 11 am. El resto del tiempo las humedades son confortables entre las 12 y 21 h. el porcentaje de humedades dentro de confort es el 42.4%. (Tabla 6).

PROM. HUM.		HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS																								HB %	CF %	HA %	
Min.	Max.	HORA	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00				04:00
51.3	94.5	ENE	94.1	94.5	93.2	89.5	83.7	76.7	69.1	62.1	56.3	52.6	51.3	51.7	53.1	55.4	58.4	62.1	66.2	70.6	75.2	79.8	83.7	87.4	90.4	92.7	0.0	45.8	54.2
52.4	96.6	FEB	96.1	96.6	95.3	91.4	85.5	78.3	70.7	63.5	57.6	53.7	52.4	52.9	54.3	56.6	59.7	63.5	67.7	72.2	76.8	81.3	85.5	89.3	92.4	94.7	0.0	41.7	58.3
53.0	94.6	MAR	94.1	94.6	93.3	89.7	84.2	77.4	70.2	63.4	57.9	54.3	53.0	53.5	54.8	57.0	59.9	63.4	67.4	71.6	76.0	80.2	84.2	87.7	90.6	92.8	0.0	41.7	58.3
55.7	95.9	ABR	95.5	95.9	94.7	91.2	85.9	79.3	72.3	65.7	60.4	56.9	55.7	56.1	57.4	59.5	62.3	65.7	69.6	73.7	77.9	82.0	85.9	89.3	92.1	94.2	0.0	41.7	58.3
53.8	99.0	MAY	98.5	99.0	97.6	93.7	87.7	80.3	72.5	65.1	59.1	55.2	53.8	54.3	55.8	58.1	61.3	65.1	69.4	74.0	78.8	83.4	87.7	91.5	94.7	97.0	0.0	41.7	58.3
52.3	97.5	JUN	97.0	97.5	96.1	92.2	86.2	78.8	71.0	63.6	57.6	53.7	52.3	52.8	54.3	56.6	59.8	63.6	67.9	72.5	77.3	81.9	86.2	90.0	93.2	95.5	0.0	41.7	58.3
52.3	96.9	JUL	96.4	96.9	95.5	91.7	85.7	78.5	70.7	63.5	57.5	53.7	52.3	52.8	54.2	56.6	59.7	63.5	67.7	72.3	76.9	81.5	85.7	89.5	92.6	95.0	0.0	41.7	58.3
51.4	95.6	AGO	95.1	95.6	94.2	90.4	84.5	77.3	69.7	62.5	56.6	52.8	51.4	51.9	53.3	55.7	58.7	62.5	66.7	71.2	75.8	80.3	84.5	88.3	91.3	93.7	0.0	45.8	54.2
53.3	94.3	SEP	93.8	94.3	93.0	89.5	84.0	77.4	70.2	63.6	58.1	54.6	53.3	53.8	55.1	57.2	60.1	63.6	67.5	71.7	75.9	80.1	84.0	87.5	90.4	92.5	0.0	41.7	58.3
56.4	95.0	OCT	94.5	95.0	93.8	90.5	85.3	79.0	72.4	66.1	60.9	57.6	56.4	56.9	58.1	60.1	62.8	66.1	69.7	73.7	77.7	81.7	85.3	88.6	91.3	93.3	0.0	41.7	58.3
54.8	93.4	NOV	93.0	93.4	92.3	88.9	83.8	77.5	70.7	64.4	59.3	55.9	54.8	55.2	56.4	58.4	61.2	64.4	68.1	72.1	76.1	80.1	83.6	87.0	89.8	91.6	0.0	41.7	58.3
53.6	94.2	DIC	93.8	94.2	93.0	89.5	84.1	77.4	70.4	63.7	58.3	54.8	53.6	54.0	55.4	57.5	60.3	63.7	67.6	71.8	76.0	80.2	84.1	87.5	90.3	92.4	0.0	41.7	58.3
53.4	95.6	ANUAL	95.2	95.6	94.3	90.7	85.1	78.2	70.8	63.9	58.3	54.6	53.4	53.8	55.2	57.4	60.4	63.9	68.0	72.3	76.7	81.0	85.1	88.6	91.6	93.8	0.0	42.4	57.6

Tabla 5. Humedad Relativa horaria

	Comportamiento Higrico	Total (%)
Humedad Relativa	Humedad Baja (HB)	0
	Confort (CF)	42.4
	Humedad Alta (HA)	57.6

Tabla 6. Porcentajes del comportamiento de la humedad relativa

De acuerdo a la gráfica horaria de *Humedad Relativa* (Tabla 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), la Humedad Relativa más baja del día comprende de las 14:00h a las 16:00h, mientras que la Humedad Relativa máxima se presenta en las primeras horas del día, siendo las más alta alrededor de las 06:00h. Al igual que las temperaturas, es posible apreciar el recorrido horario de las humedades relativas diarias desde dos criterios distintos de trazado:

- *Isohigras trazadas a partir del umbral de confort higrico anual* (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En este gráfico, el trazado de las isolíneas converge en las HR comprendidas en un rango de igual valor. Estos rangos, con amplitud de 5% —para el caso específico en estudio—, resultan equidistantes al umbral de confort higrico anual considerado (de 30% a 70)

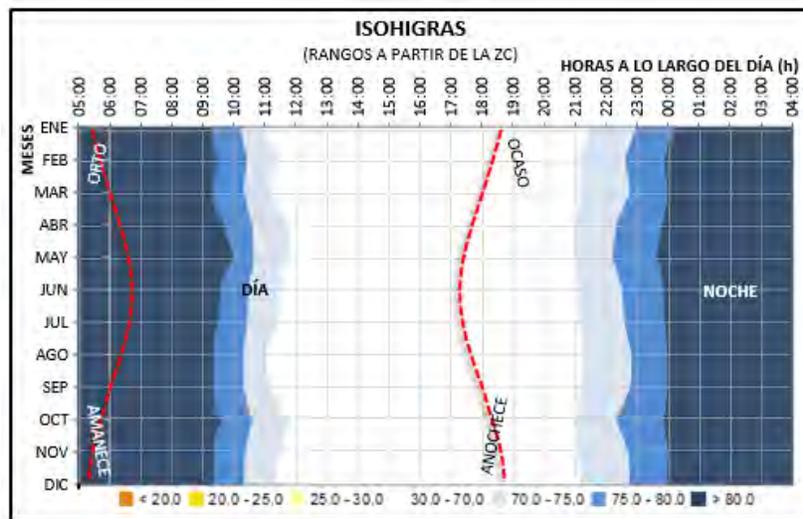


Figura 6. Isohigras horarias trazadas a partir del umbral de confort higrico considerado de 30% - 70% HR

- *Isohigras trazadas a partir de la estratificación higrica diaria* (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El factor determinante que permite el trazo de las isolíneas en este gráfico se centra en el conjunto de humedades relativas que convergen en rangos de humedad de igual valor. La amplitud de dichos rangos es de 5%, lo que permite analizar los horarios y meses donde se acentúan las peores o mejores condiciones de humedad a lo largo del año. En este gráfico se aprecian los dos períodos húmedos del año.

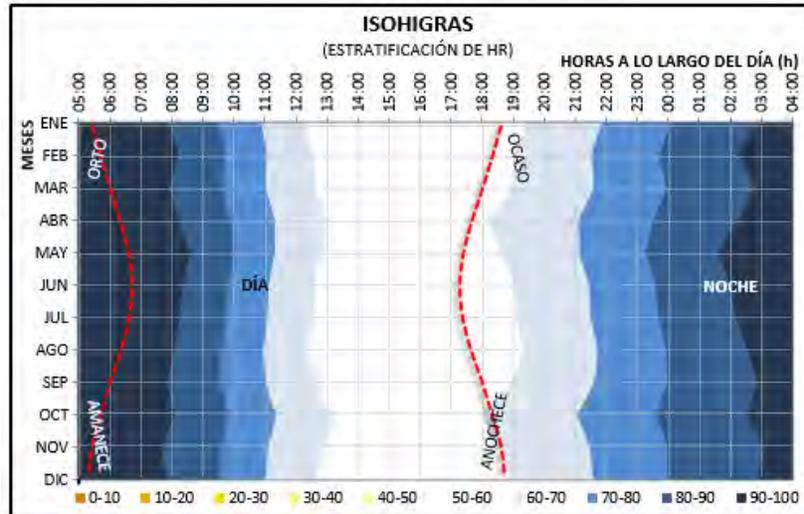


Figura 7. Isohigras horarias trazadas a partir de la estratificación diaria de HR

1.9.3. Precipitación Pluvial y Evaporación

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN)⁴¹, la precipitación pluvial se define como el conjunto de partículas de agua líquidas o sólidas que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. Con base en Fuentes (2004, p.169):

“La precipitación total anual sirve para definir si una localidad es seca, de precipitación moderada o húmeda (...); en términos generales, el rango definido para una precipitación moderada está comprendido entre los 650 mm y 1 000 mm. Por debajo de esta cifra la localidad será seca y por arriba será húmeda⁴²”

Con lo anterior, el clima de Jacarepaguá es de precipitación alta al presentarse 1,306 mm anuales.

El clima de Jacarepaguá muestra un comportamiento húmedo con precipitaciones en verano (Hemisferio Sur), ya que se presenta una precipitación del mes más seco con 41.5 mm, sin embargo, de acuerdo con la intensidad en que se presentan las precipitaciones⁴³, se pueden apreciar dos periodos de lluvia a lo largo del año (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

⁴¹ *Glosario de Términos del Servicio Meteorológico Nacional*, Comisión Nacional del Agua, México [on-line]. Disponible en: smn.cna.gob.mx/glosario/glosario.html [Consultado el 11 de octubre de 2013].

⁴² Generalmente, un sitio que presenta lluvias anuales inferiores a los 400 mm se considera con clima desértico (Fuentes, 2004).

⁴³ Se considera lluvia fuerte cuando se sobrepasan los 150mm de precipitación total mensual y poca lluvia cuando no se alcanzan los 40 mm (Fuentes, 2004).

- *Precipitación media (moderada)*: con precipitaciones entre los 40 mm y 150 mm Comprende los meses de abril, a noviembre.
- *Precipitación alta (intensa)*: La precipitación alta, mayor a 150 mm en un mes, se presenta en dos periodos al año, en enero, febrero y marzo; y en diciembre, es decir durante el verano. La mayor precipitación se da en diciembre, con 191.4 mm

Diciembre es el mes con mayor precipitación total, sin embargo, marzo es el mes que presenta la mayor precipitación diaria con 80 mm. El mes con menor lluvia es junio con 41.5 mm.

Si se relaciona la evaporación y la precipitación en un mismo escenario (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se puede apreciar un patrón similar a la precipitación. La evaporación más baja se presenta en junio con 78.2 mm. y la mayor, en enero con 218.5 mm.

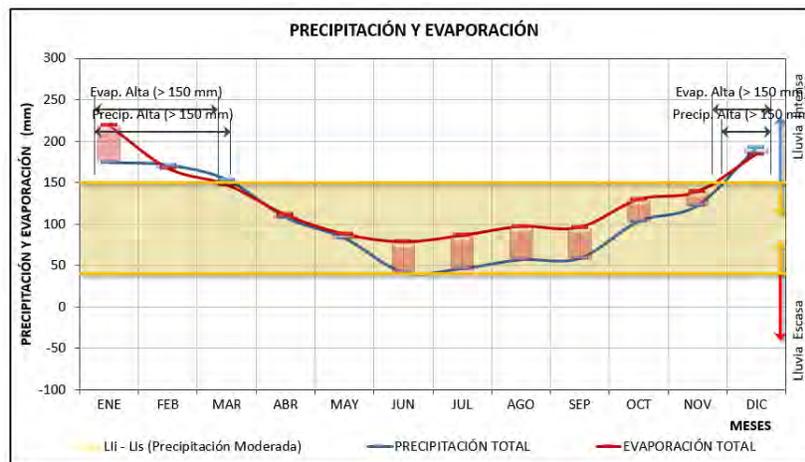


Figura 8. Comportamiento mensual de la precipitación pluvial y la evaporación

Asimismo, al comparar la temperatura con la precipitación pluvial (Índice Ombrotérmico) se puede observar que durante todo el año la precipitación se ubica por arriba de la temperatura, por lo que claramente se trata de un clima húmedo prácticamente todo el año. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) El invierno (hemisferio sur) es el período relativamente con poca precipitación.

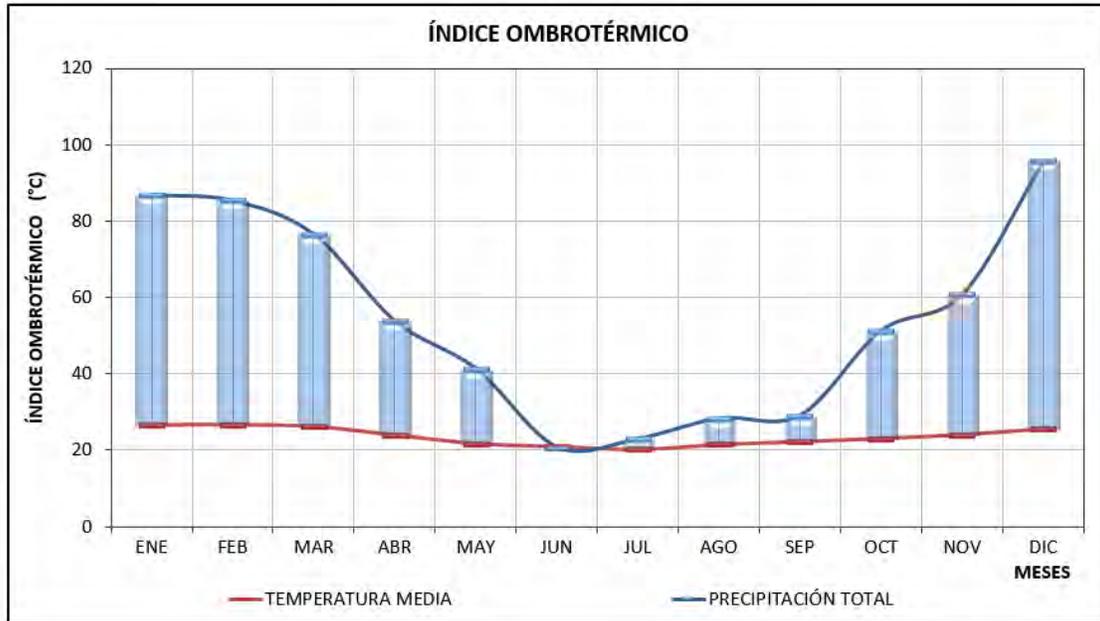


Figura 9. Índice Ombrotérmico. Comportamiento mensual de la precipitación pluvial con respecto a la temperatura

1.9.4. Radiación Solar

De acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la Radiación Solar Total máxima diaria (es decir a las 12:00 h) en la zona de estudio es alta durante los meses de enero a mayo y de agosto a diciembre, al presentar registros mayores a 700 W/m^2 . La radiación total máxima se presenta en febrero (927 W/m^2) y la mínima en junio (648 W/m^2).

La Radiación Solar Directa⁴⁴ máxima diaria (a las 12:00 h) es inferior a los 700 W/m^2 de abril a agosto, en los cuales la radiación se ubica entre 500 y 700 W/m^2

La Radiación Solar Difusa se presenta con niveles muy bajos durante todo el año por debajo de los 110 W/m^2 .

⁴⁴ Los valores de radiación solar directa y difusa fueron calculados matemáticamente de acuerdo con el modelo de ASHRAE, pero no se consideran factores atmosféricos locales, por lo que no son muy confiables.

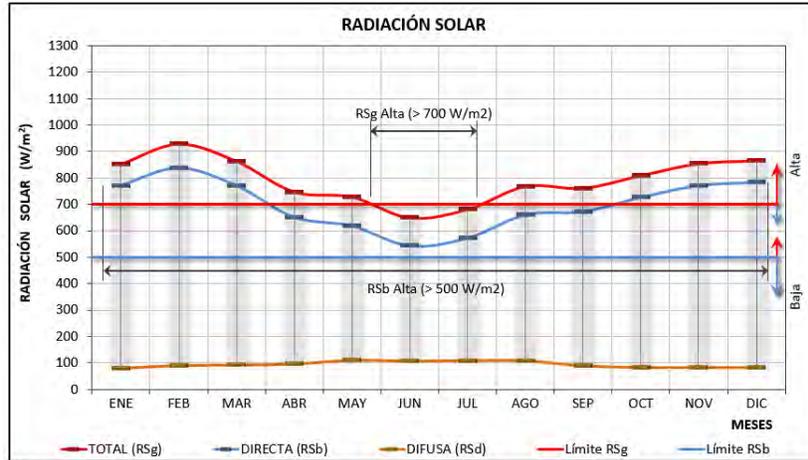


Figura 10. Radiación solar total, directa y difusa.

De acuerdo a la latitud, el Sol pasa por el cenit los días

- Alrededor del 8 de diciembre, inclinándose hacia el norte.
- alrededor del 3 de enero, regresando su declinación hacia el sur.

Lo anterior indica que durante el periodo comprendido entre estas dos fechas el Sol realiza su recorrido hacia el norte. (13 días del año: 4 % de los días del año)

1.9.5. Viento

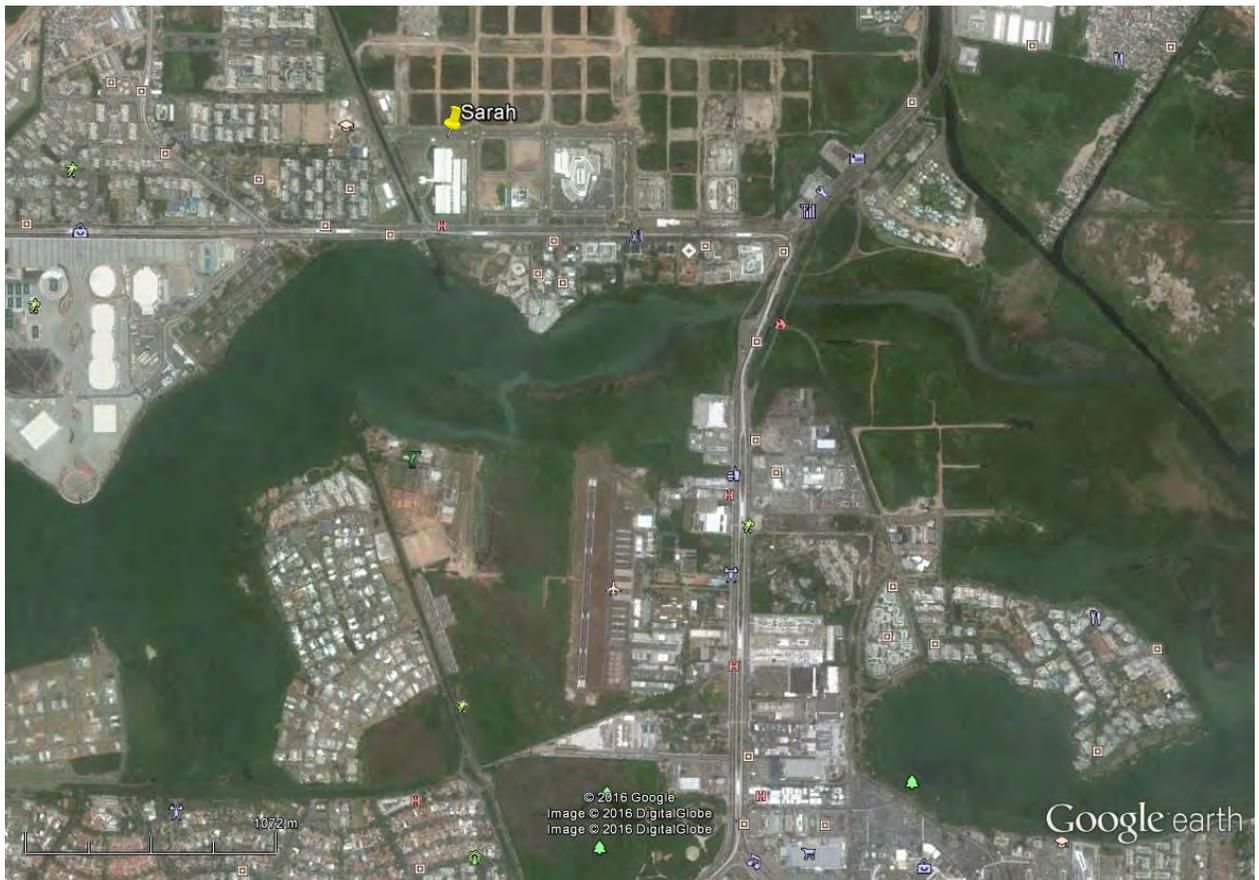


Figura 14. Ubicación del aeropuerto Jacarepaguá

Los datos de viento disponibles en la ciudad de Río de Janeiro corresponden al aeropuerto Jacarepaguá

La Tabla 7 muestra los datos de frecuencia y velocidad mensual, anual y por rumbo del viento presentado a lo largo del año.

VIENTO MENSUAL (Frecuencia / Velocidad)

MESES	PARÁMETRO	UNIDAD	DIRECCIONES								CALMAS (%)	PROMED.	MÁXIMA
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW			
ENERO	Frecuencia	%	13.5	7.3	3.2	20.6	32.6	13.4	5.1	4.6	0.0	12.5	32.6
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
FEBRERO	Frecuencia	%	13.8	6.5	4.2	26.1	33.4	10.2	2.5	3.4	0.0	12.5	33.4
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
MARZO	Frecuencia	%	11.3	6.1	4.6	19.9	32.4	18.7	3.4	3.8	0.0	12.5	32.4
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
ABRIL	Frecuencia	%	13.9	7.1	3.7	21.3	27.9	18.6	4.4	3.3	0.0	12.5	27.9
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
MAYO	Frecuencia	%	18.3	9.4	4.7	12.8	21.6	20.3	8.5	4.7	0.0	12.5	21.6
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
JUNIO	Frecuencia	%	21.3	10.1	5.3	11.2	20.7	18.3	8.1	5.1	0.0	12.5	21.3
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
JULIO	Frecuencia	%	19.9	13.1	6.1	13.6	19.1	17.9	6.9	3.6	0.0	12.5	19.9
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
AGOSTO	Frecuencia	%	15.9	11.5	5.9	17.0	18.8	21.2	6.4	3.4	0.0	12.5	21.2
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
SEPTIEMBRE	Frecuencia	%	13.6	9.2	5.4	17.0	23.8	21.8	5.7	3.7	0.0	12.5	23.8
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
OCTUBRE	Frecuencia	%	8.2	5.7	3.7	21.6	28.8	25.0	5.6	1.7	0.0	12.5	28.8
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
NOVIEMBRE	Frecuencia	%	9.3	5.3	4.2	21.7	33.0	20.5	4.0	2.2	0.0	12.5	33.0
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
DICIEMBRE	Frecuencia	%	10.8	5.7	3.8	19.3	36.4	17.3	4.2	2.7	0.0	12.5	36.4
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
ANUAL	Frecuencia	%	14.1	8.1	4.6	18.5	27.4	18.6	5.4	3.5	0.0	12.5	27.4
	Velocidad	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			

VIENTO	UNIDAD	MESES												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DOMINANTE		S	S	S	S	S	N	N	SW	S	S	S	S	
REINANTE		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
MÁXIMA	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
PROMED.	m/s	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
CALMAS	(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Tabla 7a. Datos de viento

Jacarepaguá, Rio de Janeiro		
LATITUD	-22.58'	
LONGITUD	-43.22'	
ALTITUD	8	mnm

mes	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	% Calmas	Variable	prom.	máx.
ENERO	7.1	7.8	3.2	0.3	0.6	4.9	3.4	17.5	18.8	10.0	6.1	4.5	2.3	1.0	1.6	4.9	0.0	0.0	2.5	18.8
FEBRERO	8.4	6.5	2.7	1.1	0.4	6.5	13.7	18.3	19.5	9.5	4.3	2.3	1.1	0.4	1.1	4.2	0.0	0.0	2.5	19.5
MARZO	6.7	5.9	2.6	1.1	0.7	6.7	8.9	15.2	18.6	12.3	10.9	3.3	1.5	0.4	1.9	3.3	0.0	0.0	2.4	18.6
ABRIL	7.5	3.0	2.2	0.7	1.1	4.5	10.4	17.2	14.6	9.3	12.1	3.7	2.2	0.7	1.1	3.7	0.0	0.0	2.3	17.2
MAYO	10.8	11.2	3.0	1.5	1.5	4.9	6.0	8.6	12.0	10.5	10.9	8.2	3.4	1.9	1.9	3.7	0.0	0.0	2.3	12.0
JUNIO	11.9	13.9	2.6	1.1	2.3	4.9	5.3	6.8	12.4	9.8	9.8	7.1	3.8	1.5	1.9	4.9	0.0	0.0	2.2	13.9
JULIO	10.2	15.9	4.2	1.9	1.9	6.4	6.8	7.2	11.7	7.6	11.0	6.1	3.4	0.8	1.5	3.4	0.0	0.0	2.4	15.9
AGOSTO	7.6	13.1	4.1	1.6	1.3	7.6	8.9	8.6	10.5	8.0	13.7	7.0	2.2	1.3	1.0	3.5	0.0	0.0	2.4	13.7
SEPTIEMBRE	6.6	10.7	3.2	1.3	1.9	5.7	3.1	10.1	12.6	12.3	12.6	6.0	2.2	0.9	1.6	3.2	0.0	0.0	2.3	12.6
OCTUBRE	4.5	5.8	2.6	0.3	0.6	5.8	12.1	13.1	15.0	14.4	14.7	6.1	2.2	0.6	0.8	1.6	0.0	0.0	2.1	15.0
NOVIEMBRE	4.8	6.4	1.6	1.0	1.0	5.4	11.5	15.0	18.2	14.6	11.1	4.1	1.6	0.6	0.6	2.5	0.0	0.0	2.1	18.2
DICIEMBRE	5.8	6.8	1.6	1.3	1.0	4.2	3.1	16.2	21.1	14.3	8.0	4.2	1.6	1.0	0.6	3.2	0.0	0.0	2.3	21.1
ANUAL	7.7	9.4	2.8	1.1	1.2	5.6	9.3	12.8	15.4	11.1	10.4	5.2	2.3	0.9	1.3	3.5	0.0	0.0	2.3	15.4

f	%
v	mseg

Fte: WindFinder

Tabla 7b. Datos de viento Wind Finder (Aeropuerto).

A partir de los datos de frecuencia y velocidad se definen los vientos dominantes (la dirección con mayor frecuencia) y los reinantes (la dirección en donde se presenta las velocidades más altas). Como se puede apreciar, en promedio anual el viento proviene del S, mientras que los vientos con mayor fuerza de la misma dirección. Esto puede corroborarse viendo la orientación de la pista del aeropuerto.

Distribuição da direção do vento em (%)

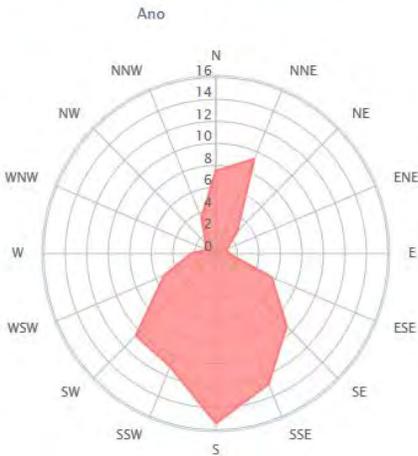


Figura 15. Rosa anual de los vientos (comparación)

Como se aprecia en la rosa de vientos anual, existe un rango dominante entre el SE y el SW con dominancia del S. y una componente estacional del N y NNE

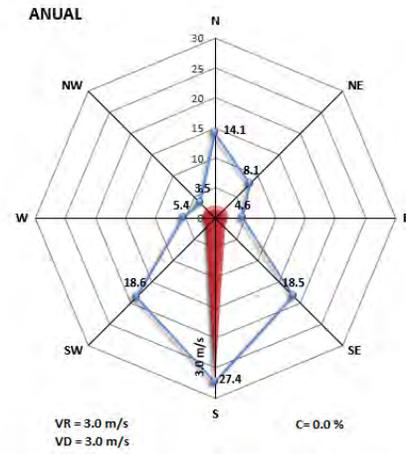


Figura 16. rosa de los vientos

Las velocidades promedio de todos los meses se ubican por arriba del límite máximo recomendado para espacios interiores de 1.5 m/s. pudiendo sobrepasar los 3 m/s.

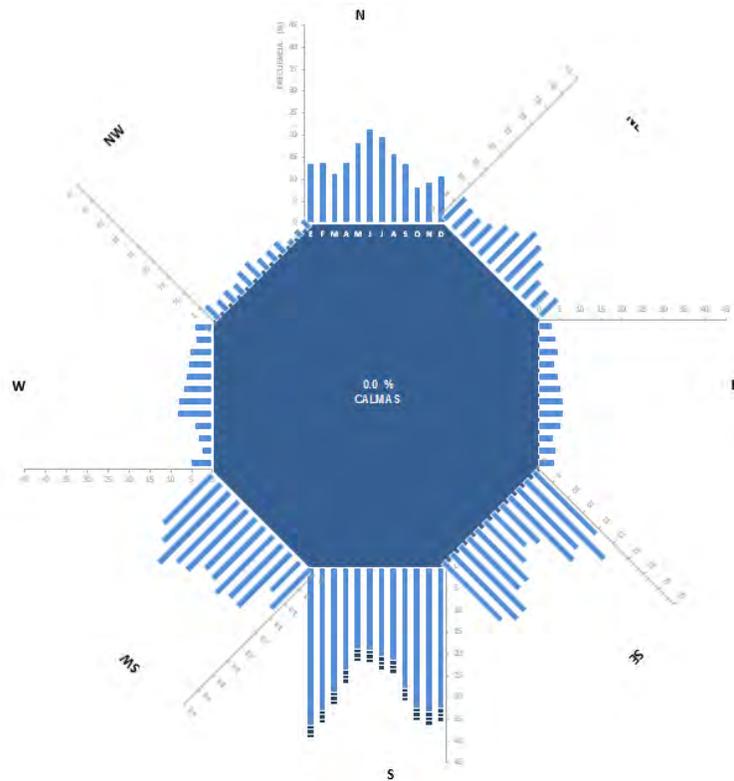


Figura 17. Rosa de vientos octogonal – con datos mensuales

La figura 17 muestra la rosa de vientos octogonal con los datos mensuales de viento, mientras que las figuras 18 y 19 muestran los vientos mensuales en rosas independientes.

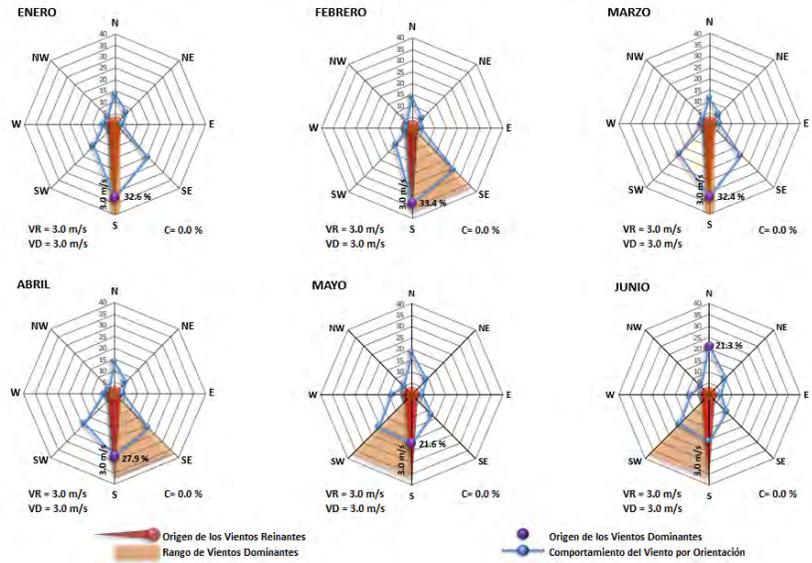


Figura 18. Rosa de vientos mensuales primer semestre

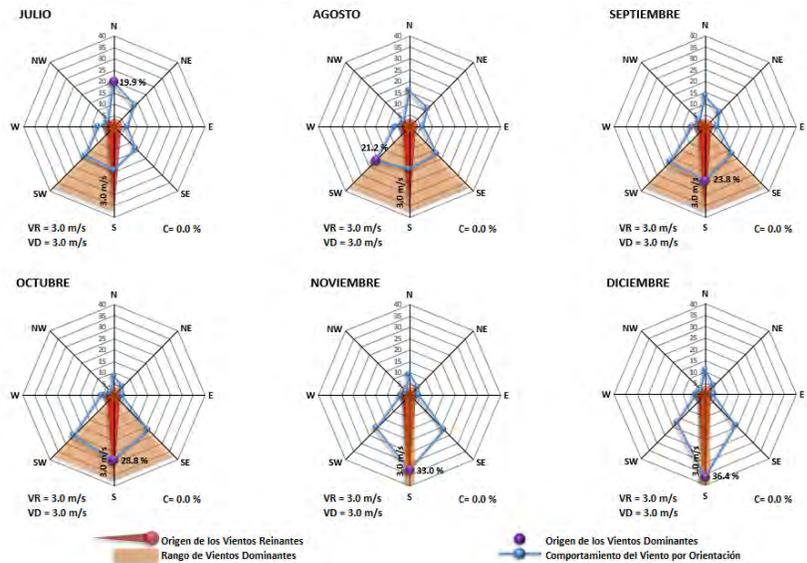


Figura 19. Rosa de vientos mensuales segundo semestre

1.9.6. Días Grado

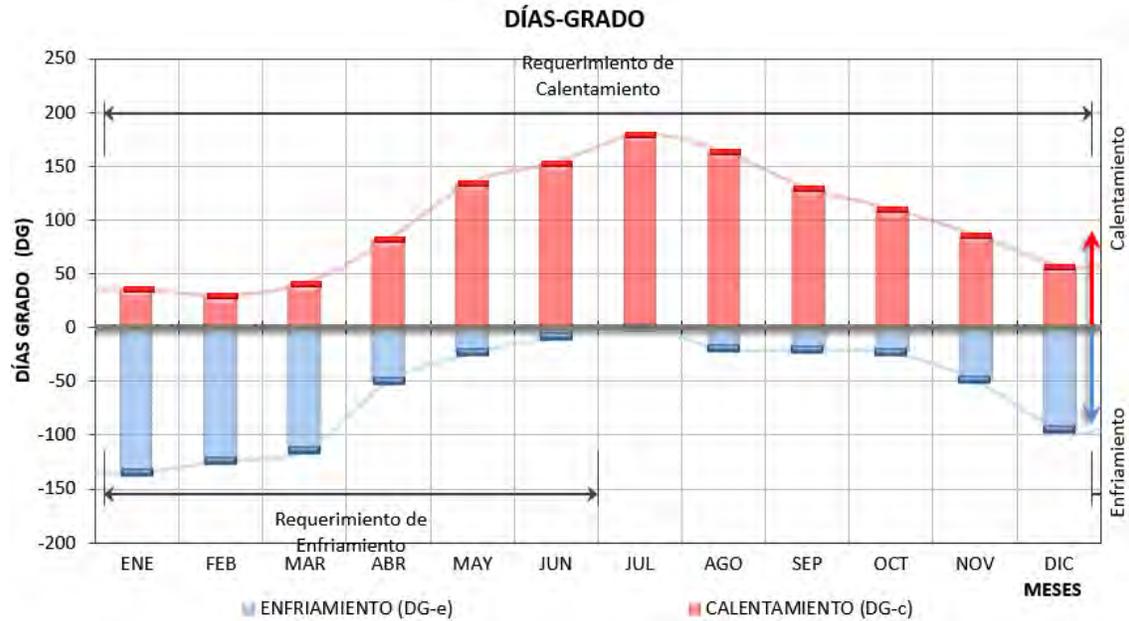


Figura 20. Días Grado

Los Días Grado (DG) se definen como los requerimientos de calentamiento o enfriamiento, acumulados en un cierto periodo de tiempo, necesarios para lograr condiciones de confort térmico. El cálculo de los DG se puede hacer con respecto a una ZC general (18.0°C – 26.0°C) o bien con base en la ZC anual (22.4 °C – 27.4 °C) o mensual del sitio de estudio. Para el cálculo de Días Grado se ha utilizado la ZC mensual local.

Como se aprecia en la gráfica (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), a lo largo de todo el año se presentan requerimientos tanto de calentamiento como enfriamiento durante todo el año.

Los requerimientos de enfriamiento más importantes se presentan en verano (diciembre, enero, febrero y marzo), mientras que los de calentamiento durante el invierno (junio, julio, agosto y septiembre).

1.9.7. Confort y sensaciones térmicas

Se presentan los índices de confort del modelo adaptativo y predictivo, así como los índices de sensación térmica por viento frío (Wind chill) y por humedad (Humidex).

1.9.7.1. Modelo de confort adaptativo

Para el cálculo de la temperatura óptima de confort (temperatura neutra) se utilizó la fórmula original de Auliciems: $17.6 + (0.31 * T_m)$; la zona de confort se consideró simétrica con un rango de ± 2.5 °C, es decir que se consideró una amplitud total de confort de 5 °C. Para Jacarepaguá, la temperatura óptima de confort anual es 24.9 °C; la zona de confort queda comprendida entre 22.4 °C y 27.4 °C.

Íte	Datos	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Zona de confort térmico mensual															
E	ZCs	°C	28.3	28.4	28.2	27.5	26.9	26.6	26.4	26.8	27.0	27.3	27.6	28.0	27.4
E	Tn	°C	25.8	25.9	25.7	25.0	24.4	24.1	23.9	24.3	24.5	24.8	25.1	25.5	24.9
E	ZCi	°C	23.3	23.4	23.2	22.5	21.9	21.6	21.4	21.8	22.0	22.3	22.6	23.0	22.4

Tabla 8. Temperatura neutra y zona de confort con base en la fórmula de Auliciems

1.9.7.2. PMV-PPD

El Voto Medio Previsto (PMV) es la representación cuantitativa de la sensación térmica de un grupo de individuos —sanos, sometidos a un mismo clima— expuestos a ciertas condiciones ambientales (Fanger, 1972). Establece una tensión térmica basada en la transferencia de calor — en estado estacionario— entre el cuerpo y el ambiente, representada a partir de un voto de confort en una escala de 7 valores: de -3 (igual a frío) a +3 (igual a sofocante) (Figura 21).

PREDICTED MEAN VOTE (PMV) - PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED (PPD)																
FUENTE	PARÁMETROS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TEMPERATURA PROMEDIO MÁXIMA	°C	16	32.7	32.8	31.9	29.2	27.6	26.9	26.1	27.4	27.7	28.0	29.2	31.1	29.2
a	TEMPERATURA MEDIA	°C	16	26.6	26.7	26.2	24.0	21.8	21.0	20.3	21.5	22.3	23.1	24.1	25.6	23.6
a	TEMPERATURA PROMEDIO MÍNIMA	°C	16	22.2	22.3	21.9	19.8	17.5	16.5	15.6	16.5	17.7	18.7	19.7	21.2	19.1
a	HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA	%	10	94.5	96.6	94.6	95.9	99.0	97.5	96.9	95.6	94.3	95.0	93.4	94.2	95.6
a	HUMEDAD RELATIVA MEDIA	%	10	72.9	74.5	73.8	75.8	76.4	74.9	74.6	73.5	73.8	75.7	74.1	73.9	74.5
a	HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA	%	10	51.3	52.4	53.0	55.7	53.8	52.3	52.3	51.4	53.3	56.4	54.8	53.6	53.4
<i>Predicted Mean Vote (PMV)</i>																
	PMV (Mínima)			-0.2	-0.1	-0.3	-0.9	-1.6	-1.9	-2.1	-1.9	-1.5	-1.2	-1.0	-0.5	-1.1
	PMV (Media)			1.0	1.0	0.9	0.2	-0.4	-0.7	-0.9	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.7	0.1
	PMV (Máxima)			2.7	2.7	2.4	1.6	1.1	0.9	0.7	1.0	1.1	1.3	1.6	2.2	1.6
<i>Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)</i>																
	PPD (Mínima)	%		5.8	5.5	6.7	22.7	55.6	71.5	83.2	71.9	53.7	37.8	24.5	10.3	31.4
	PPD (Media)	%		25.8	27.8	21.2	6.0	9.1	15.1	22.1	11.4	7.0	5.1	6.1	15.1	5.2
	PPD (Máxima)	%		96.2	96.8	91.8	57.6	31.2	21.8	14.0	27.6	32.4	38.4	57.0	84.5	56.5

Tabla 9. Escala de valoración térmica de Fanger (1972).

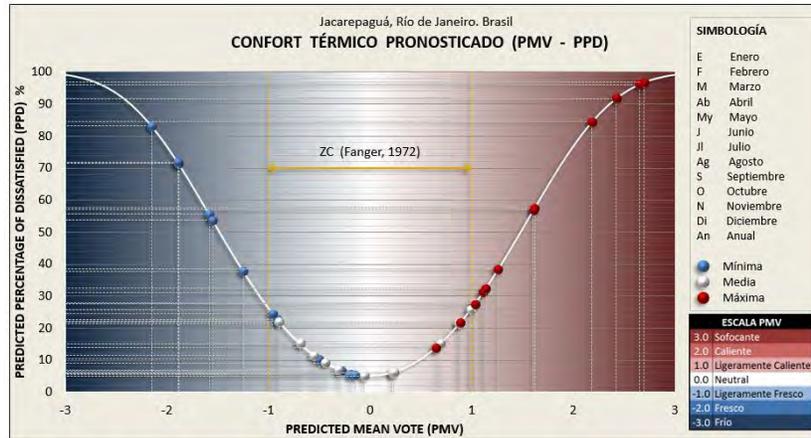


Figura 21. Relación del PMV con respecto al PPD de acuerdo a la sensación térmica y porcentaje de insatisfacción

Como se puede apreciar en la figura 21, las temperaturas de todos los meses oscilan desde condiciones de frío hasta el calor con porcentajes de insatisfacción que van desde el 83.2% en la época fría (julio), hasta el 96.8% en la época calurosa (febrero)

1.9.7.3. Wind Chill - Humidex

El Índice de Viento Frío (Wind Chill) es un índice que expresa la sensación térmica percibida en espacios exteriores en condiciones de frío intenso. Fue desarrollado en una cámara climática en función del efecto de enfriamiento convectivo sobre el rostro de 12 adultos (6 hombres y 6 mujeres). El nivel de actividad fue moderado con ropa abrigadora. Las variables incluidas en el modelo son: temperatura de bulbo seco y velocidad de viento (Auliciems y Szokolay, 1997), por lo tanto, es un índice que muestra el efecto del viento frío sobre la sensación térmica de las personas.

El índice de humedad, Humidex (Humidity index) es un índice de sensación térmica —para actividad pasiva, moderada e intensa; con arropamiento ligero— para espacios exteriores en condiciones calurosas y húmedas. Las variables incluidas en el modelo son: temperatura de bulbo seco y humedad relativa, por lo tanto, este índice trata de mostrar el efecto que tiene la humedad en la sensación térmica de las personas.

Nuevo Wind Chill															
G	Mínima	°C	22.20	22.30	21.90	19.80	17.50	16.50	15.60	16.50	17.70	18.70	19.70	21.20	19.13
G	Diferencia	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidex															
H	Máxima	°C	41.20	41.69	40.24	36.15	33.06	31.63	30.35	32.25	33.12	34.27	35.94	38.97	35.66
H	Diferencia	°C	8.50	8.89	8.34	6.95	5.46	4.73	4.25	4.85	5.42	6.27	6.74	7.87	6.44

Tabla 10. Valores de Índice de viento frío (Wind chill) y de humedad (Humidex)

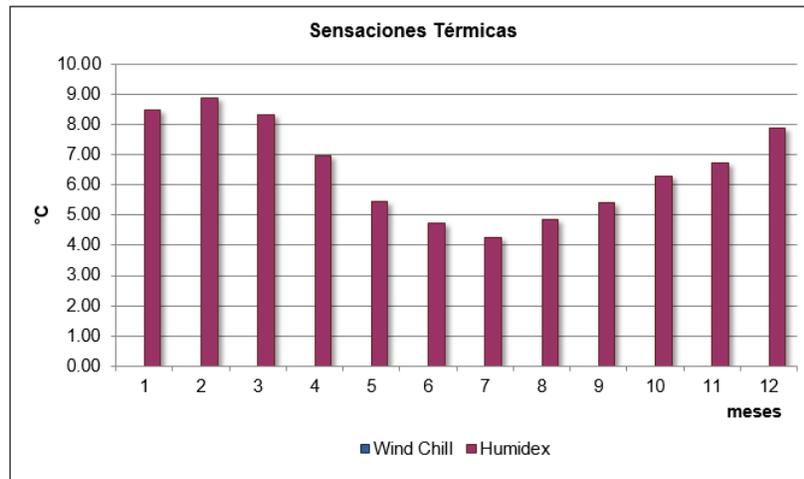


Figura 22. Sensaciones térmicas de viento frío y humedad.

Como se aprecia en la figura 22, el Wind Chill para Medellín muestra que el viento frío no tiene ninguna afectación en la sensación de las personas. Sin embargo, el índice Humidex (Figura 22) muestra que durante todo el año la humedad influye en la sensación térmica de las personas en hasta 8.89 °C. Lo que significa que la humedad es crítica en la sensación térmica durante todo el año.

1.9.8. Análisis Solar

La posición del Sol y los ángulos solares están determinados por la latitud de Jacarepagua (22°58' S), mientras que el horario civil o legal es definido con base en su longitud (43°22' W). Durante los equinoccios (primavera y otoño / 21 de marzo y 21 de septiembre, respectivamente) el Sol sale a las 06:00h por el Este y se oculta a las 18:00h por el Oeste (horario solar). En el solsticio de verano (21 de diciembre) el Sol sale a las 05:18 h y se oculta a las 18:42 h, lo que representa una duración del día de 13:25 horas. En el solsticio de invierno (21 de junio) sale a las 06:42 h y se oculta a las 17:18 h, con una duración del día de 10:35 horas.

Debido a que el sitio de estudio se ubica dentro del trópico de Capricornio, el Sol pasa por el cenit dos veces al año: el 8 de diciembre y el 3 de enero; 13 días antes y después del solsticio de verano, es decir que hay 26 días del año en que el Sol declina hacia el norte. El 21 de diciembre el Sol sobrepasa cenit tan sólo el en 0.48°

ANÁLISIS SOLAR (Día 21 / 12:00 h)

PARÁMETROS	UNIDAD	MESES												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Día Juliano	21	21	52	80	111	141	172	202	233	266	294	325	355	
Hora	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Ángulo diario	radianes	0.34	0.88	1.36	1.89	2.41	2.94	3.46	3.99	4.56	5.04	5.58	6.09	
Declinación	gr (°)	-20.09	-10.84	0.00	11.58	20.02	23.45	20.64	12.38	0.00	-10.42	-19.76	-23.45	
Altura Solar	gr (°)	87.12	77.87	67.03	55.45	47.01	43.58	46.39	54.65	67.03	77.45	86.79	89.52	
Azimut	gr (°)	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	
Orto	h.m	5.24	5.41	6.00	6.20	6.36	6.42	6.37	6.21	6.00	5.42	5.25	5.18	6.00
Ocaso	h.m	18.36	18.19	18.00	17.40	17.24	17.18	17.23	17.39	18.00	18.18	18.35	18.42	18.00
Duración del día	h.m	13.11	12.37	12.00	11.20	10.49	10.35	10.47	11.17	12.00	12.36	13.10	13.25	12.00

Tabla 11. Análisis solar

La figura 26 muestra los ángulos de altura solar a las 12 del día para todos los meses del año.

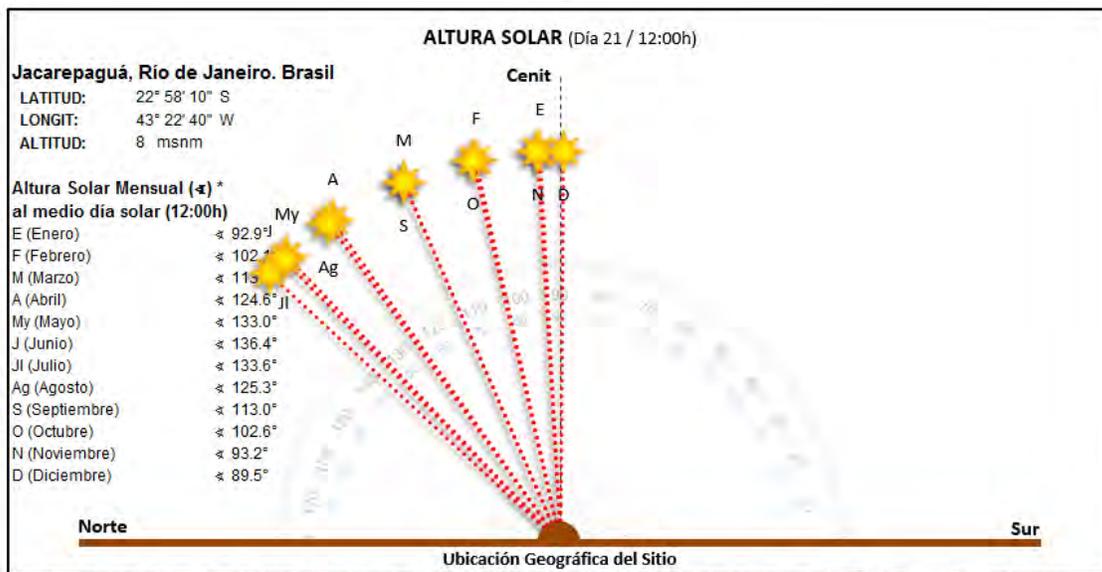


Figura 23. Altura solar mensual – para el día 21 de cada mes a las 12:00 h

La declinación magnética en febrero del 2016 es de 22.52° W, es decir que en esta fecha el norte magnético se ubica 22.52° hacia el oeste del norte geográfico. La figura 24 muestra la gráfica solar de proyección estereográfica para la latitud -23° S.

GRAFICA SOLAR

Latitud -23°

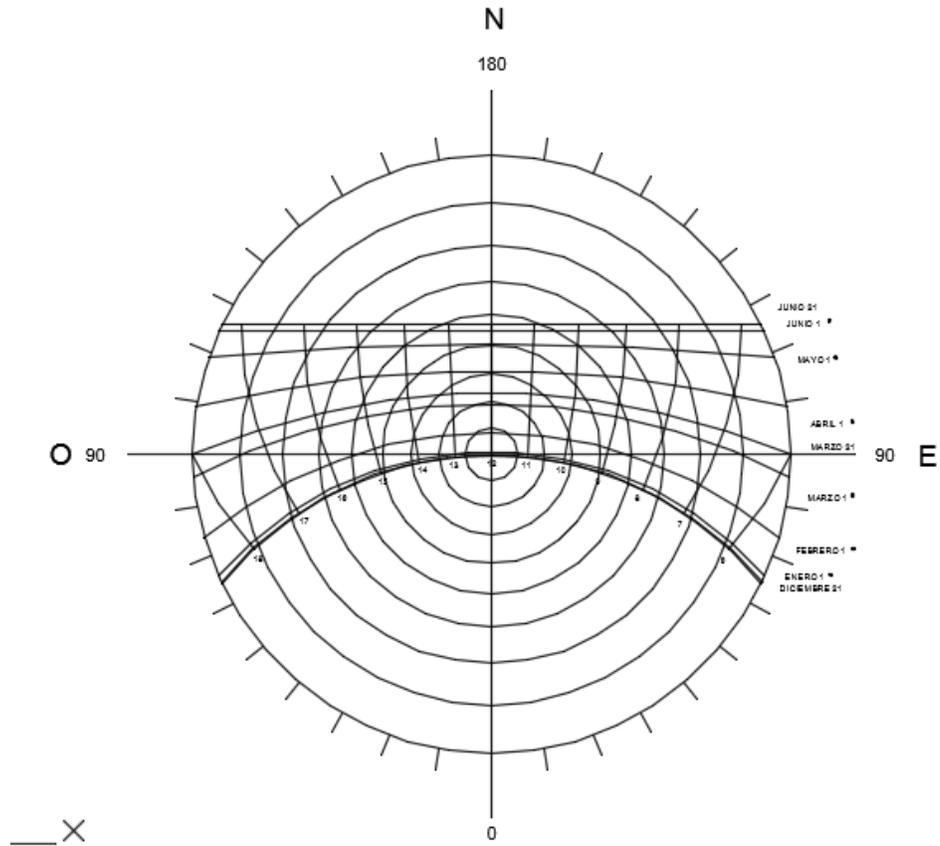


Figura 24. Grafica solar estereográfica con horario solar

Stereographic Diagram

Location: -23.9°, -43.4°
Sun Position: -1.7°, 42.6°
HSA: -1.7°
VSA: 42.7°

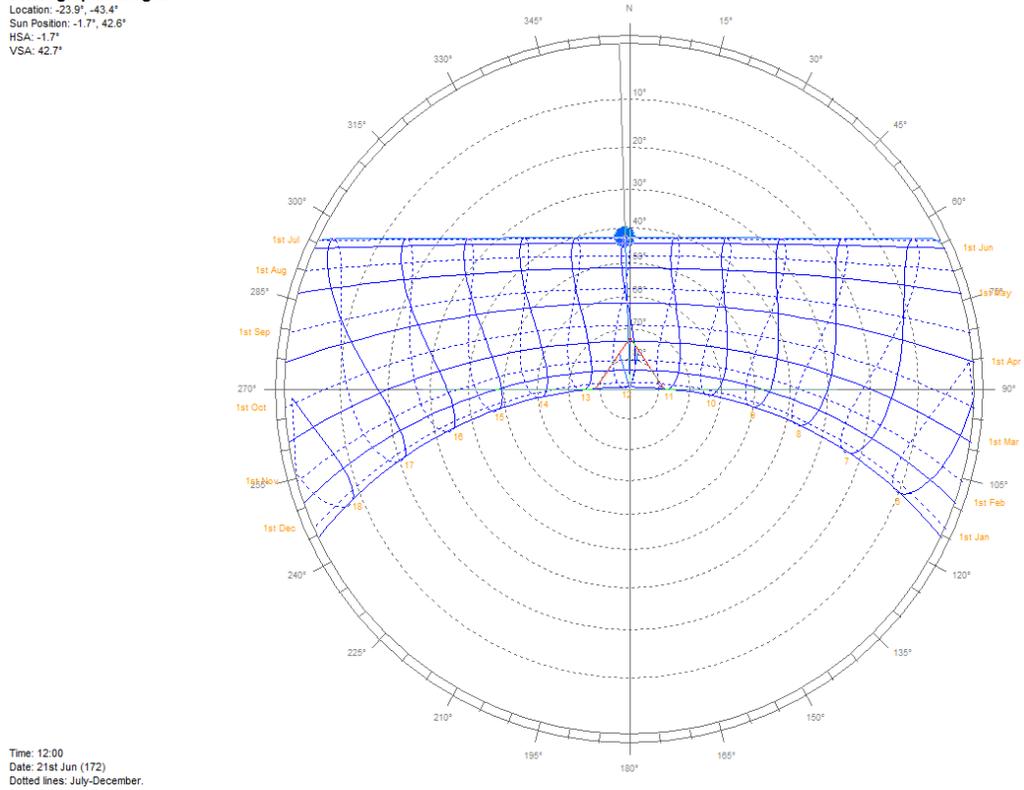


Fig.25 Gráfica solar estereográfica con horario civil

La figura 25 muestra la gráfica solar de proyección estereográfica con horario civil o legal.

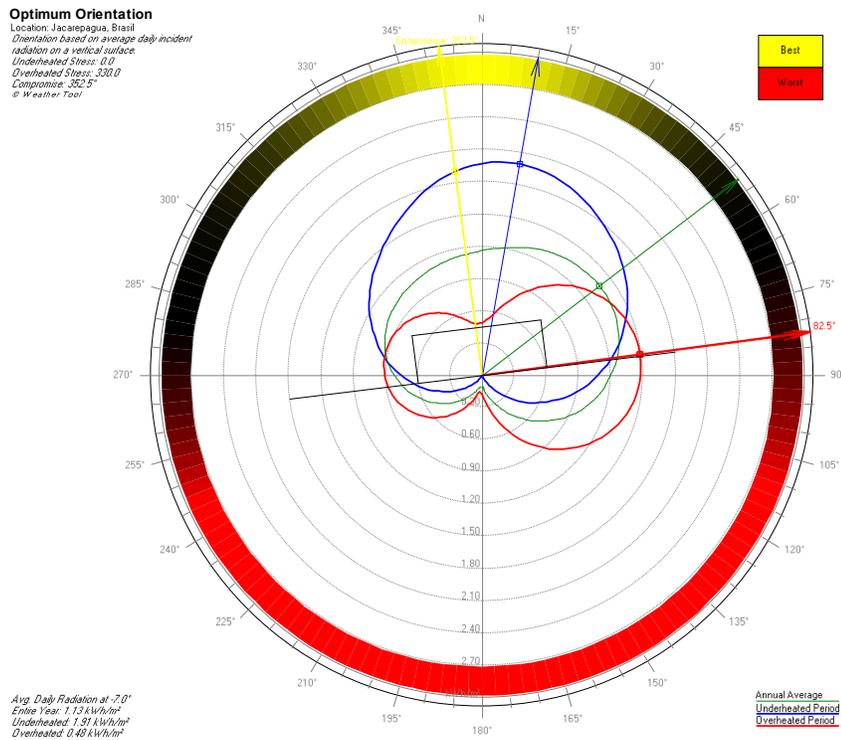


Figura 26. Orientación óptima

La figura 26 muestra la orientación óptima para el sitio en estudio con base en la temperatura y radiación. Aquí se muestra que la mejor orientación es el rumbo 352.5° desde el norte, es decir 7.5° del norte hacia el oeste. Desde luego por el tipo de clima que se presenta en este sitio la orientación preferente será con respecto al eje eólico.

1.10. Análisis Bioclimático

El análisis bioclimático se realiza a través de las siguientes herramientas: tablas de Mahoney, triángulos de confort, diagrama bioclimático, diagrama psicrométrico, gráfica estereográfica y matriz de climatización.

1.10.1. Tablas de Mahoney

De acuerdo a los indicadores de Mahoney (Tabla 12), para Japarepaguá se recomiendan las siguientes estrategias:

TABLAS DE MAHONEY

INDICADORES	1	2	3	4	5	6	No.	RECOMENDACIONES	
NÚM. INDICADORES	10	2	4	0	0	0			
DISTRIBUCIÓN							X	1	Orientación Norte-Sur, eje largo Este-Oeste
								2	
ESPACIAMIENTO							X	3	Igual a 3 pero con protección de vientos
								4	
								5	
VENTILACIÓN							X	6	Locales de una galería. Ventilación constante
								7	
								8	
TAMAÑO DE ABERTURAS							X	9	Grandes (50% - 80%)
								10	
								11	
								12	
								13	
POSICIÓN DE ABERTURAS							X	14	En muros N y S, a la altura de los ocupantes en barlovento
								15	
PROTECCIÓN DE ABERTURAS							X	16	Sombreado total y permanente
							X	17	
MUROS Y PISOS							X	18	Ligeros (baja capacidad térmica)
								19	
TECHUMBRE							X	20	Ligera, reflejante y con cavidad
								21	
								22	
ESPACIOS NOCTURNOS EXT.							X	23	Grandes drenajes pluviales
								24	

Tabla 12. Recomendaciones bioclimáticas sugeridas por los indicadores y tablas de Mahoney.

- **Distribución:** *Orientación alargada sobre el eje norte-sur* con el fin de reducir el área de fachadas expuestas hacia el este y oeste.
- **Espaciamiento:** *Configuración extendida* para propiciar la ventilación, pero con protección (ventilación selectiva)
- **Ventilación:** *Disposición en una galería para propiciar la ventilación cruzada.* La estrategia de ventilación natural es muy importante durante todo el día, pero en las noches la temperatura desciende por debajo de la zona de confort.
- **Tamaño de las aberturas:** Tamaño de las *aberturas grandes* (50% a 80%) con el objeto de tener buena ventilación.
- **Posición de las aberturas:** *en barlovento* a la altura de los ocupantes, para favorecer el enfriamiento de la superficie de la piel.
- **Protección de las aberturas:** *Sombreado total y permanente* durante las tardes de todo el año para evitar el asoleamiento y así evitar el sobrecalentamiento de los espacios

interiores. Así mismo se recomienda *protección contra la lluvia*, principalmente de diciembre a marzo donde la precipitación supera los 150 mm

- **Muros y pisos:** Deberán ser *ligeros* (con baja capacidad térmica) con el objeto de aislar el calor e impedir que pase al interior de los espacios.
- **Techumbres:** Deberán ser *ligeras*. Reflejantes y con cavidad o doble cubierta ventilada.
- **Espacios Nocturnos Exteriores.** Grandes drenajes pluviales debido a la presencia de precipitaciones intensas en la época lluviosa.

1.10.2. Triángulos de Confort (Evans)

Los triángulos de confort relacionan la temperatura media de bulbo seco con la oscilación térmica. De acuerdo con esta herramienta, las temperaturas en Jacarepaguá no están dentro del confort en interiores, ni para espacios con actividades sedentarias ni nocturnos. Pero sí para espacios de circulaciones interiores, excepto de diciembre a marzo.

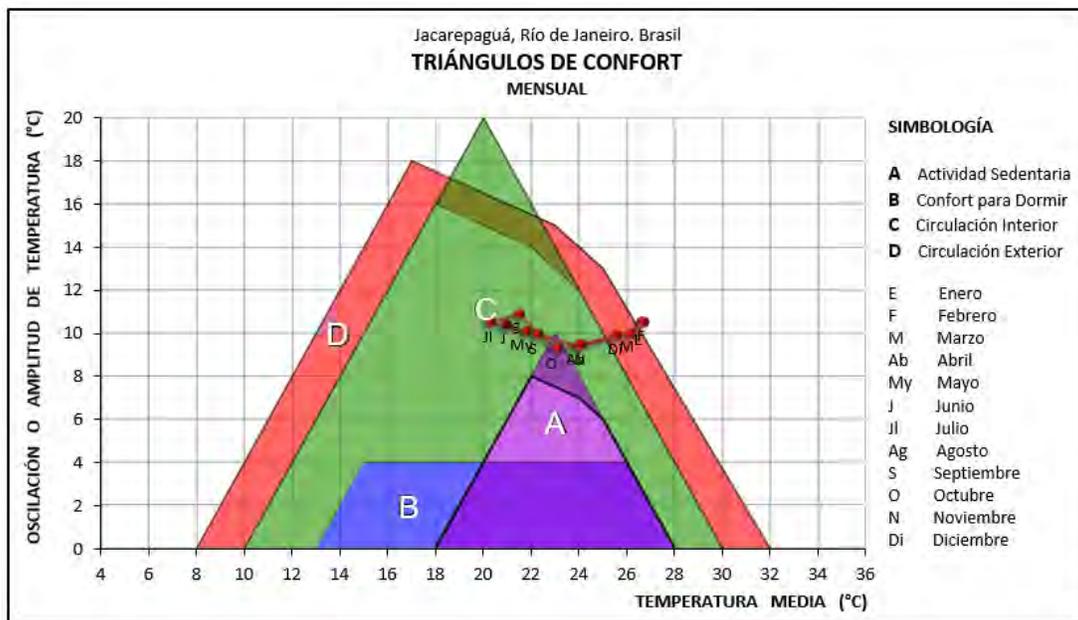


Figura 27. Triángulo de Confort (Evans)

De acuerdo con el triángulo de confort, las estrategias recomendadas son: Ventilación selectiva de noviembre a abril; de mayo a octubre se recomienda aprovechar las ganancias internas. Aunque se presentan pocas oscilaciones térmicas, el diagrama sugiere la posibilidad de usar masividad.

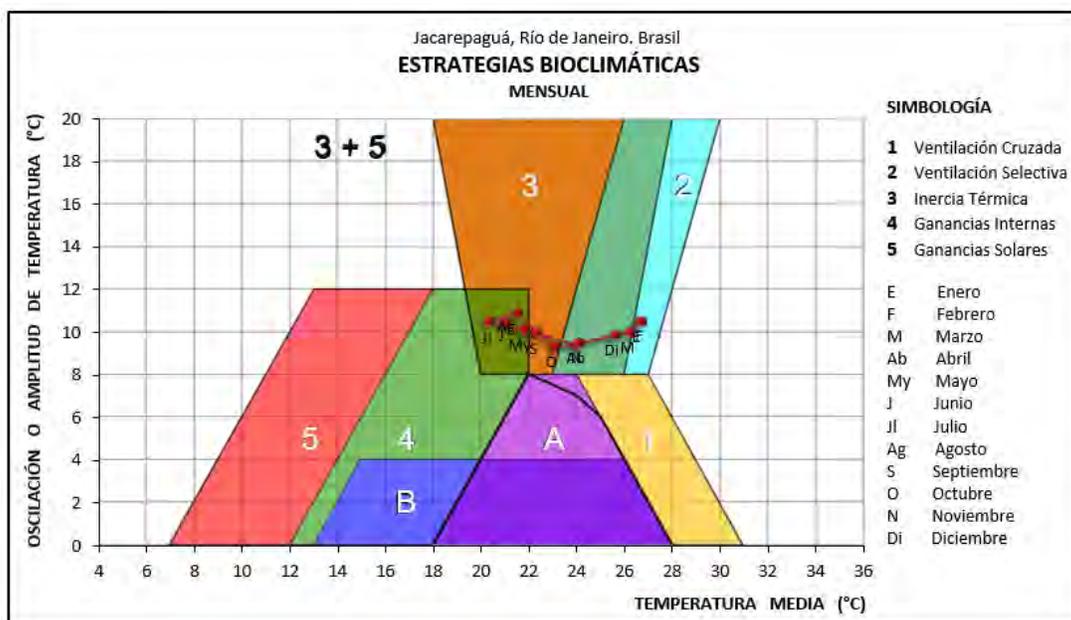


Figura 28. Estrategias recomendadas con base en el triángulo de confort (Evans)

1.10.3. Diagrama Bioclimático

El centro de la zona de confort corresponde con la temperatura neutra de 24.9 °C y el 50% de humedad relativa. Todas las mañanas se presentan temperaturas por debajo de confort, excepto de diciembre a marzo. Con base en las temperaturas mínimas (aproximadamente a las 6 de la mañana) se requieren entre 70 y 210 W/m² (todos los meses) para tener condiciones confortables. Estos requerimientos térmicos son bajos. Sin embargo, las humedades relativas son elevadas, llegando a estar por arriba del 90 %.

Las tardes de todos los meses (aproximadamente a las 15 h) las temperaturas se encuentran por arriba de la zona de confort, con excepción de julio. las temperaturas máximas promedio son críticas, requiriéndose el uso de la ventilación natural con una velocidad de 0.5 a 2.0 m/s.

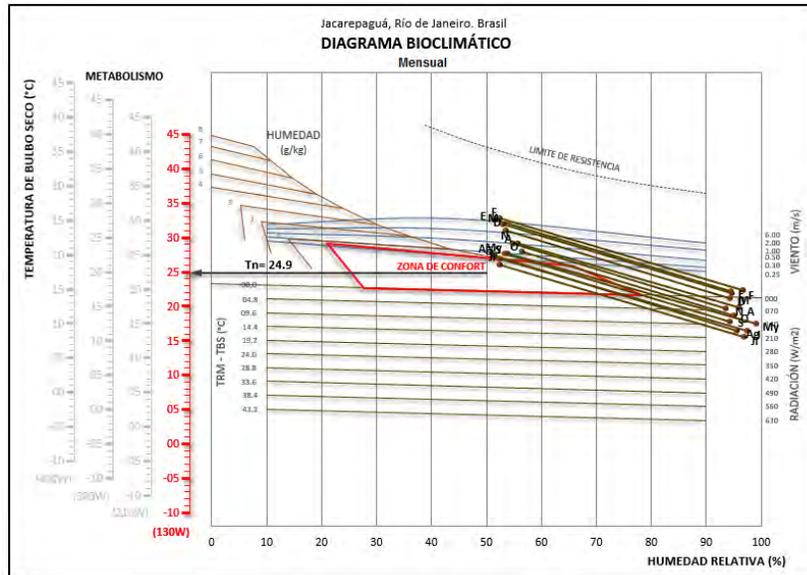


Figura 29. Diagrama Bioclimático

1.10.4. Diagrama Psicrométrico

De acuerdo con el diagrama psicrométrico para Medellín (Figura 30), todas las mañanas (6 am) las temperaturas se encuentran por debajo de la zona de confort, sin embargo, la masividad del edificio puede solucionar este problema. Todas las tardes la temperatura (3 pm) está por arriba de la zona de confort, pero con la ventilación natural se pueden lograr condiciones confortables. Gran parte del día se las condiciones son confortables.

Psychrometric Chart

Location: Jacarepagua, Brasil
Display: Monthly Mean Minimum/Maximum
Barometric Pressure: 101.36 kPa
© Weather Tool

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. natural ventilation

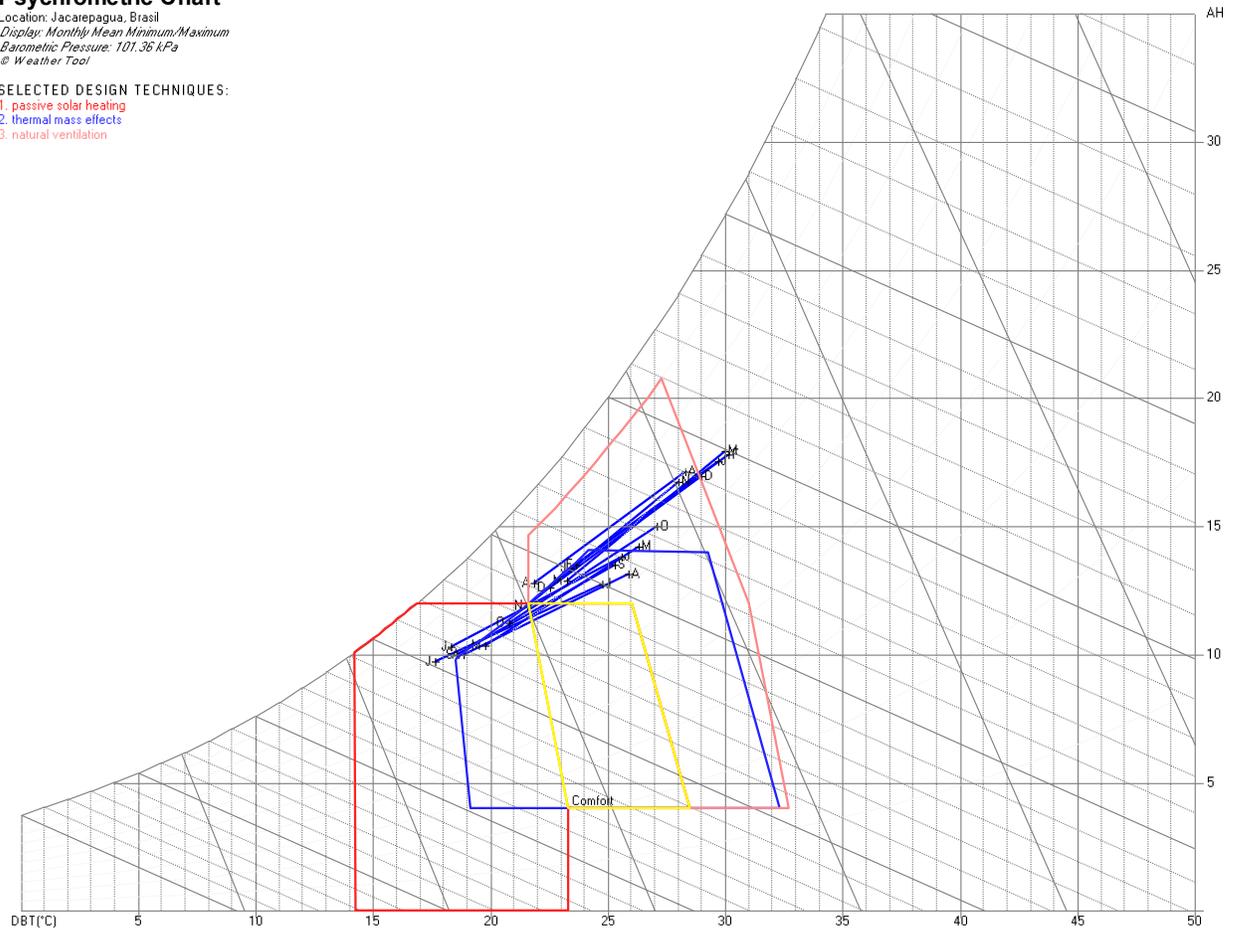


Figura 30. Diagrama Psicrométrico para Jacarepaguá

La figura 31 muestra el diagrama psicrométrico para Jacarepaguá (Weather Tool⁴⁵), considerando todos los valores anuales de temperatura y humedad. En ella se aprecia claramente el alto contenido de humedad y las altas temperaturas.

⁴⁵ Weather Tool. Ecotect de Autodesk.

Psychrometric Chart

Location: Jacarepagua, Brasil
Data Points: 1st January to 31st December
Weekday Times: 00:00-24:00 Hrs
Weekend Times: 00:00-24:00 Hrs
Barometric Pressure: 101.36 kPa
© Weather Tool

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. natural ventilation

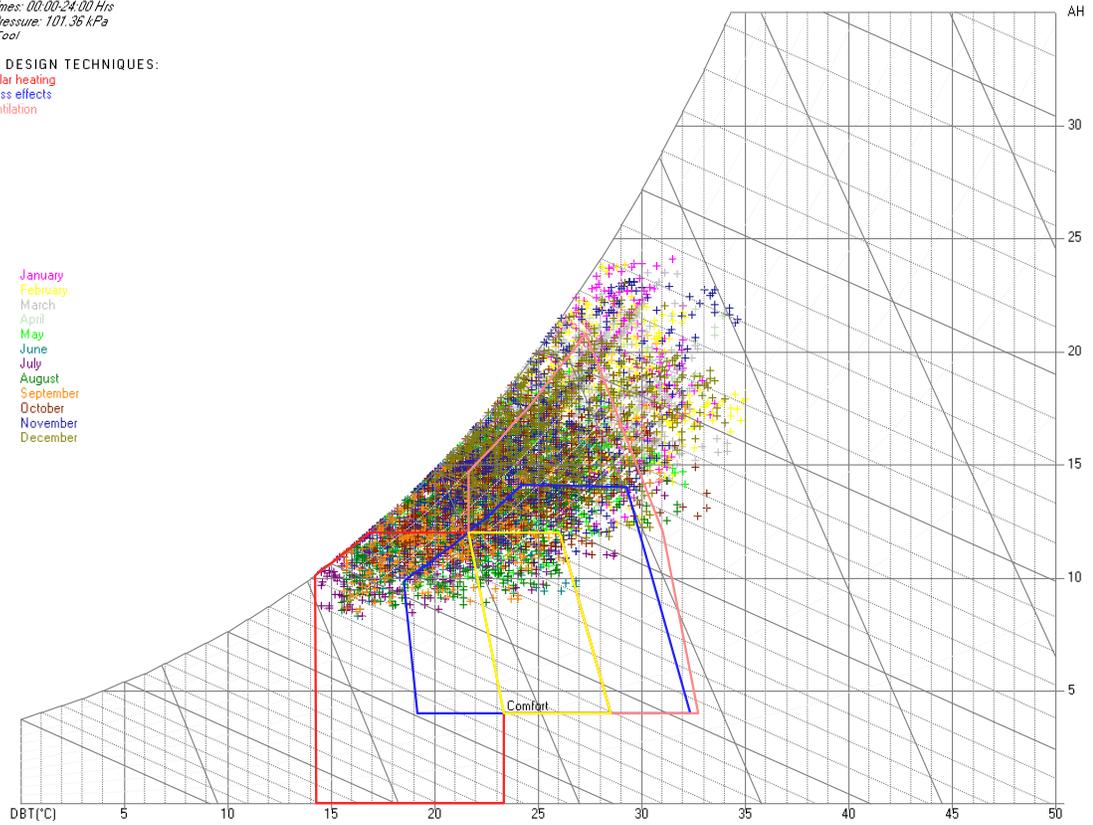


Figura 31. Diagrama Psicrométrico horario para Jacarepaguá

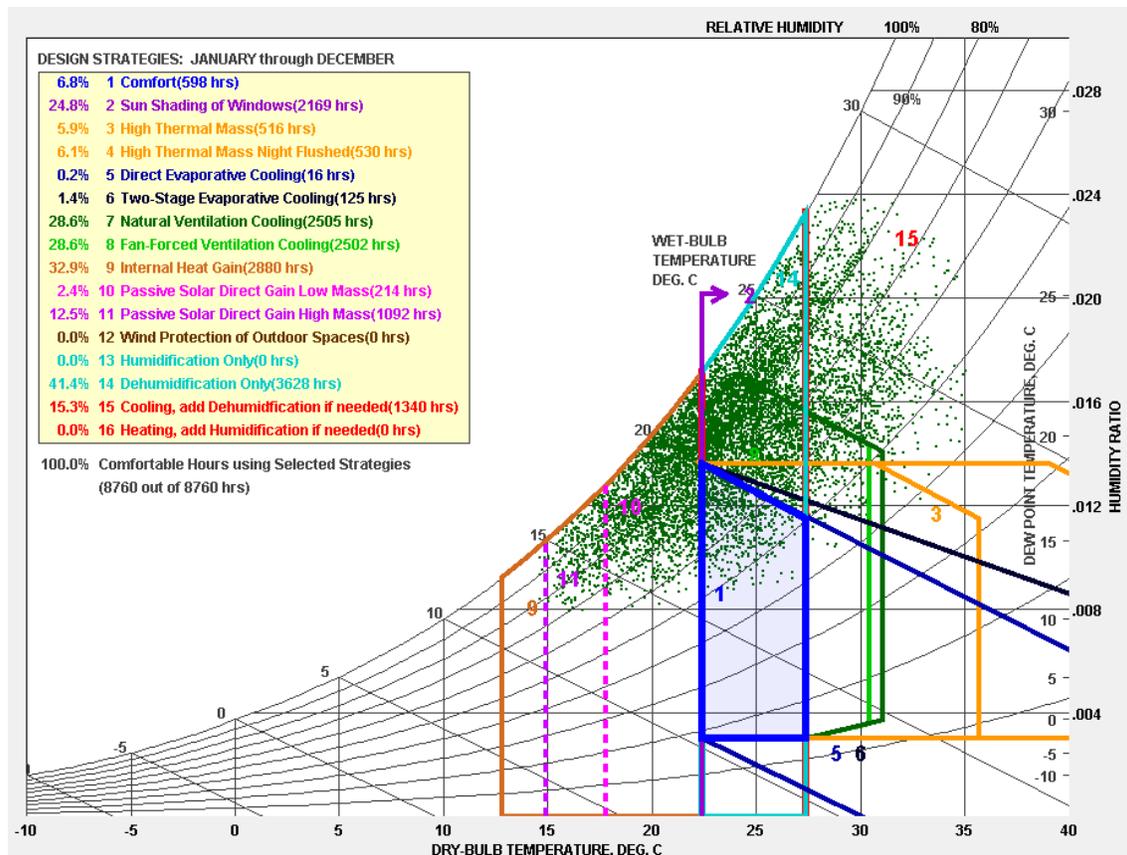


Figura 32. Diagrama Psicrométrico horario para Jacarepaguá, Porcentajes anuales para cada estrategia.

De acuerdo con el modelo de confort del código de energía California, 2013, (Climate Consultant⁴⁶) los porcentajes correspondientes para cada estrategia se muestran en la figura 32 y son:

- Las condiciones son confortables el 6.8% del tiempo,
- El 24.8 % del tiempo se requiere de protección solar
- El 5.9 % se requiere de masa térmica en verano.
- El 6.1 % se requiere de masa térmica con ventilación nocturna.
- Enfriamiento evaporativo directo 0.2%
- Enfriamiento evaporativo indirecto 1.4%
- Ventilación natural y con ventiladores el 28.6%
- Aprovechar las ganancias internas generadas en los espacios interiores 32.9% del tiempo
- Ganancias solares directas con baja masa térmica 2.4%

⁴⁶ Climate Consultant. Robin Liggett and Murray Milne. UCLA Energy Design Tools Group. USA.

- Ganancias solares directas con alta masa térmica 12.5%
- Humidificación 0.0%
- Des-humidificación 41.4%
- Enfriamiento y des-humidificación 15.3%

Algunas de las estrategias están contenidas en otras por lo que los porcentajes no se ajustan al 100%

Porcentajes de las principales estrategias pasivas recomendadas

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Confort	0.7	0.4	0.0	2.8	12.6	11.3	11.8	13.6	11.8	8.6	6.3	1.6	6.8
Sombreado	31.6	33.2	29.0	25.1	22.0	16.1	16.3	21.6	19.2	24.3	27.9	31.2	14.8
Masa térmica en verano	1.3	3.3	1.6	3.9	10.8	6.8	9.0	10.5	4.7	8.7	6.1	5.1	6.1
Ventilación natural	26.6	22.3	27.4	32.1	33.7	24.2	20.3	32.0	23.6	36.6	34.0	29.7	28.6
Deshumidificación	48.8	53.0	55.8	57.2	38.0	24.7	18.4	31.3	23.8	47.0	46.9	52.7	41.4
Ganancias internas y Masa de invierno	8.6	5.5	4.8	19.9	42.7	60.1	67.1	51.6	59.2	31.2	27.4	14.9	32.9
Ganancia solar directa con masa térmica	4.4	3.1	1.5	5.8	20.3	22.6	26.9	21.9	13.6	10.2	11.9	6.5	12.5
Calentamiento	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 13. Porcentajes de estrategias por mes

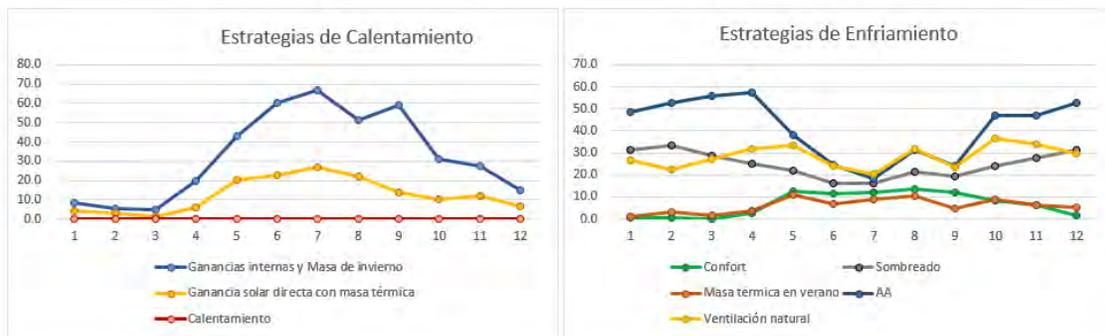


Figura 33. Porcentajes de estrategias bioclimáticas por meses

De acuerdo con los porcentajes analizados en Climate Consultant, se aprecia que la principal estrategia de enfriamiento deshumidificación 41.4% y la ventilación con un 28.6%. Las ganancias internas y la masa térmica también son importantes (32.9%). El sombreado representa el 14.8%. y es muy importante, así como reducir las ganancias solares directas en las horas y épocas calurosas.

El calentamiento requerido puede lograrse simplemente aprovechando las ganancias internas y las ganancias solares directas e indirectas.

Del análisis de estrategias se desprende que las estrategias pasivas no funcionan para el 100% del tiempo, por lo que si se recomienda el uso de aire acondicionado en las horas y épocas críticas.

Otra forma de analizar las estrategias recomendadas es a través de Weather Tool⁴⁷. Las figuras inferiores muestran los porcentajes de confort. Las barras amarillas muestran los porcentajes de confort antes de incorporar alguna estrategia. Mientras que las barras rojas muestran los porcentajes de confort a los que se podría llegar utilizando cierta estrategia.

La figura 34 muestra los porcentajes de confort a los que se podría llegar utilizando únicamente la estrategia de ventilación natural. La aportación de esta estrategia tiene un mayor efecto en los meses calurosos. Los porcentajes máximos a los que se llega con esta estrategia están entre el 30 y 60%.

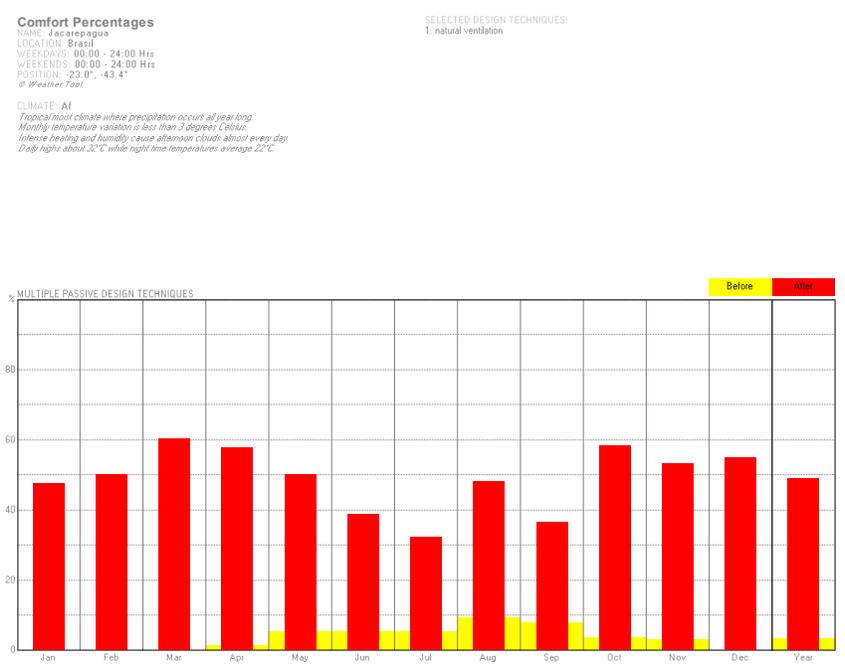


Figura 34. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de ventilación natural

Si se utiliza adicionalmente calentamiento pasivo (ver figura 35), los beneficios aumentan, en la época menos calurosa, pero el máximo de efectividad permanece en 60%.

⁴⁷ Weather Tool. Ecotect de Autodesk

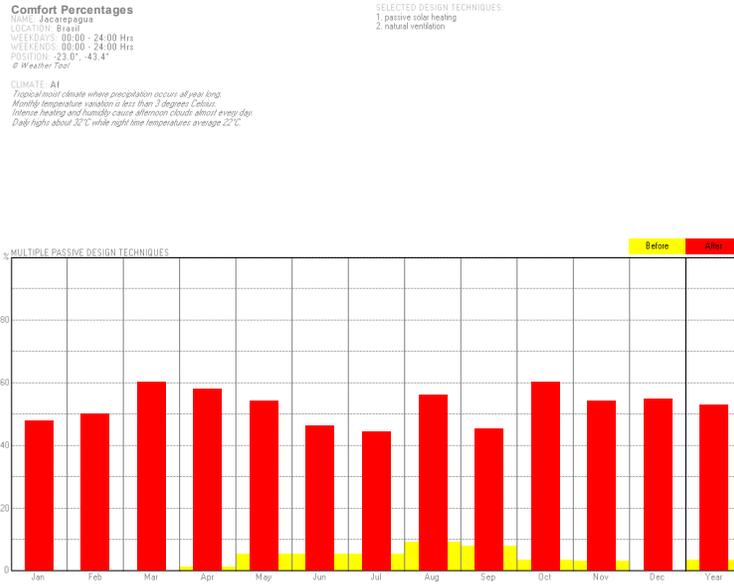


Figura 35. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de ventilación natural, masividad y calentamiento pasivo

Si se analiza individualmente el efecto de la masa y se compara con el calentamiento pasivo, se ve que el efecto de masa es más significativo.

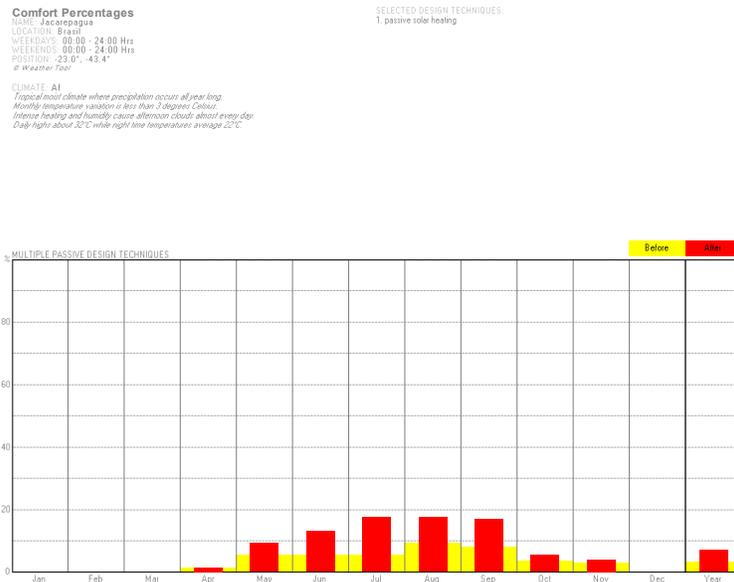


Figura 36. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de masividad.

Comfort Percentages

NAME: Jacarepagua
 LOCATION: Brazil
 WEEKDAYS: 00:00 - 24:00 Hrs
 WEEKENDS: 00:00 - 24:00 Hrs
 POSITION: -23.0°, -43.4°
 # Weather Tool

CLIMATE: At
 Tropical moist climate where precipitation occurs all year long
 Monthly temperature variation is less than 3 degrees Celsius
 Intense heating and humidity cause afternoon clouds almost every day
 Daily highs about 32°C while night time temperatures average 22°C

SELECTED DESIGN TECHNIQUES

1. thermal mass effects

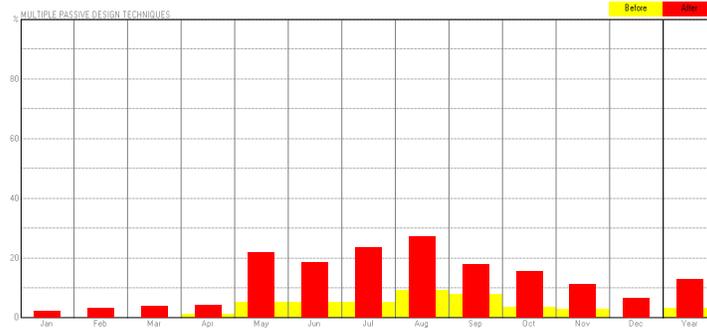


Figura 37. Porcentajes de confort a los que se podría llegar al utilizar la estrategia de calentamiento.

1.10.5. Estrategias de Climatización

	CARTA BIOCLIMÁTICA		RESUMEN DE ESTRATEGIAS		DIAGRAMA PSICROMÉTRICO	
	temperatura		media		temperatura	
	mínima ≈ 6:00	máxima ≈ 15:00	≈ 10:30	≈ 22:30	mínima ≈ 6:00	máxima ≈ 15:00
ENERO	confort-D	V	Vs	Vs	V	AA
FEBRERO	confort-D	V	Vs	Vs	V	AA
MARZO	confort-D	V	Vs - M	Vs - M	V	AA
ABRIL	C - D	V	Vs - M	Vs - M	V	V
MAYO	C - D	V	M - Gi	M - Gi	Mi - Gi	V
JUNIO	C - D	V	M - Gi	M - Gi	Mi - Gi	V
JULIO	C - D	V	M - Gi	M - Gi	Mi - Gi	V
AGOSTO	C - D	V	M - Gi	M - Gi	Mi - Gi	V
SEPTIEMBRE	C - D	V	M	M	Mi - Gi	V
OCTUBRE	C - D	V	M	M	Mi - Gi	V
NOVIEMBRE	C - D	V	Vs - M	Vs - M	Mi - Gi	V
DICIEMBRE	confort-D	V	Vs - M	Vs - M	V	AA

ESTRATEGIAS DE CALENTAMIENTO		ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO	
calentamiento	C	ventilación	V
		humidificación	H
		sombreado	S
		deshumidificación	D
ganancias solares	Gs	ventilación cruzada	Vc
ganancias internas	Gi	ventilación selectiva	Vs
		inercia térmica	M
C. solar pasivo	Cp	ventilación	V
C. solar activo	Ca	masa de verano	Mv
masa de invierno	Mi	masa-ventilación noct.	Mvn
		humidificación dir.	Hd
		humidificación indir.	Hi
		Aire Acondicionado	AA

Tabla 14. Resumen de estrategias

En la tabla 14 se resumen las estrategias de diseño bioclimáticas recomendadas. La carta bioclimática recomienda para calentamiento (ligero) en las mañanas de abril a noviembre (entre 70 y 210 W/m²); pero de diciembre a marzo las temperaturas son confortables, sin embargo, todos los

Los requerimientos de calentamiento son bajos, por lo que también se debe de utilizar el incremento de arropamiento.

Las estrategias de enfriamiento se resumen a la protección solar y la ventilación natural.

La ventilación cruzada es la estrategia principal, por lo que hay que evitar obstrucciones al paso del viento dominante. Las aberturas de ventilación deberán ubicarse a nivel de los ocupantes para que el enfriamiento sobre la piel pueda darse además del enfriamiento de la estructura y renovación del aire.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- Auliciems, A. (1981).** *Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception*, Int.J of Biometeorology.
- Auliciems, A. y S. Szokolay (1997).** "Thermal Comfort" en *Notes of Passive and Low Energy Architecture International*, núm. 3, Brisbane: PLEA – University of Queensland.
- Evans, J. (2000).** *Técnicas Bioclimáticas de Diseño: Las Tablas de Confort y los Triángulos de Confort*, Memorias de Cotedi 2000 (Conferencia Internacional "Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones"), Maracaibo.
- Evans, J. (2007).** *The Comfort Triangles: A New Tool for Bioclimatic Design*, Tesis Doctoral, Technische Universiteit Delft.
- Evans, J. y S. de Schiller (1994).** *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, EUDEBA Ediciones, Buenos Aires.
- Fanger, O. (1972).** *Thermal Comfort*, Ed. McGraw-Hill, New York.
- Fuentes, V. (2004).** *Clima y Arquitectura*, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Azcapotzalco, México.
- Fuentes, V. y A. Figueroa (1990).** *Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura*, Instituto Mexicano del Seguro Social, México.
- García, E. (1973).** *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen [para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana]*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Humphreys, M. (1995).** "Thermal Comfort Temperatures and Habits of Hobbits", en Nicol, F., Humphreys, M., Sykes, O. y S. Roaf (Ed.) (1995). *Standards for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century*, London: E&FN.

Brasil

El caso de Brasil

Arquitectura vernácula: La vivienda comunal Shabono

Se estima que en Brasil la población indígena alcanzaba los 3 millones antes de la llegada de los portugueses en el año 1500; 2 millones en el litoral y uno en el interior. Además de fuertes enfrentamientos entre los portugueses y los indígenas, las enfermedades desconocidas como el sarampión, viruela, tos ferina y tuberculosis, tuvieron efectos devastadores en la población. Para el año 1570 la población del litoral estimada era de 200,000 personas, tan sólo el 10% de la población original. La población indígena más baja registrada se da en 1957, con 5 mil indígenas en el litoral y 65,000 en el interior. En el último censo de población del 2010 se muestra una recuperación real de la población indígena. Se tiene un conteo de 272,654 personas en el litoral y 545,308 en el interior; es decir que en total Brasil cuenta con una población indígena de 817,962 personas⁴⁸. Estas personas se agrupan en 305 diferentes etnias, con 274 lenguas indígenas registradas. El 37.4% de la población indígena de Brasil habita en el norte del país; y de éstos el 55% se ubican en el Amazonas.

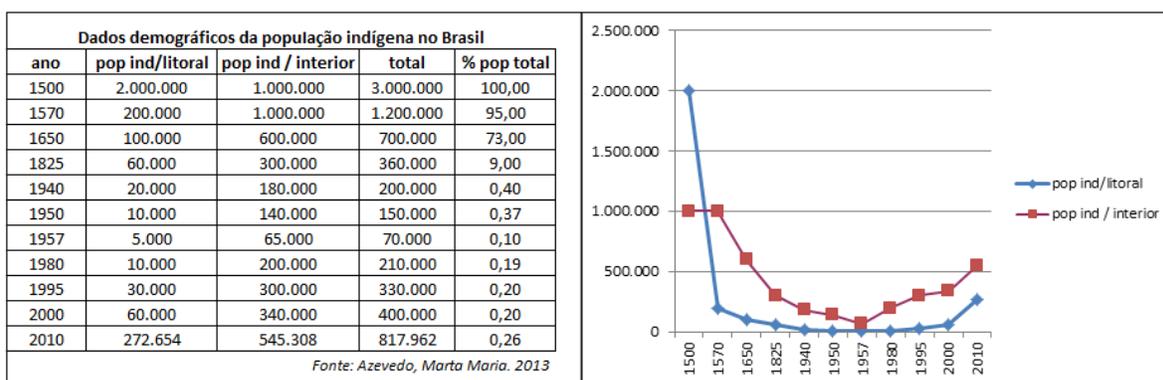


Fig. 38 Datos demográficos de la población indígena en Brasil

⁴⁸ Ministério da Justiça, Fundação Nacional do Índio – FUNAI.

2.3 Delimitación física espacial

Los Yanomamis se ubican en el amazonas brasileño y venezolano. Tan sólo en Brasil tienen regularizadas bajo decreto 9,664,975 ha como tierras indígenas tradicionalmente ocupadas, con derecho originario de pueblos indígenas. Los asentamientos Yanomamis se encuentran al sur de Venezuela, en el estado de Amazonas, y al norte de los estados de Amazonas y Roraima en Brasil.

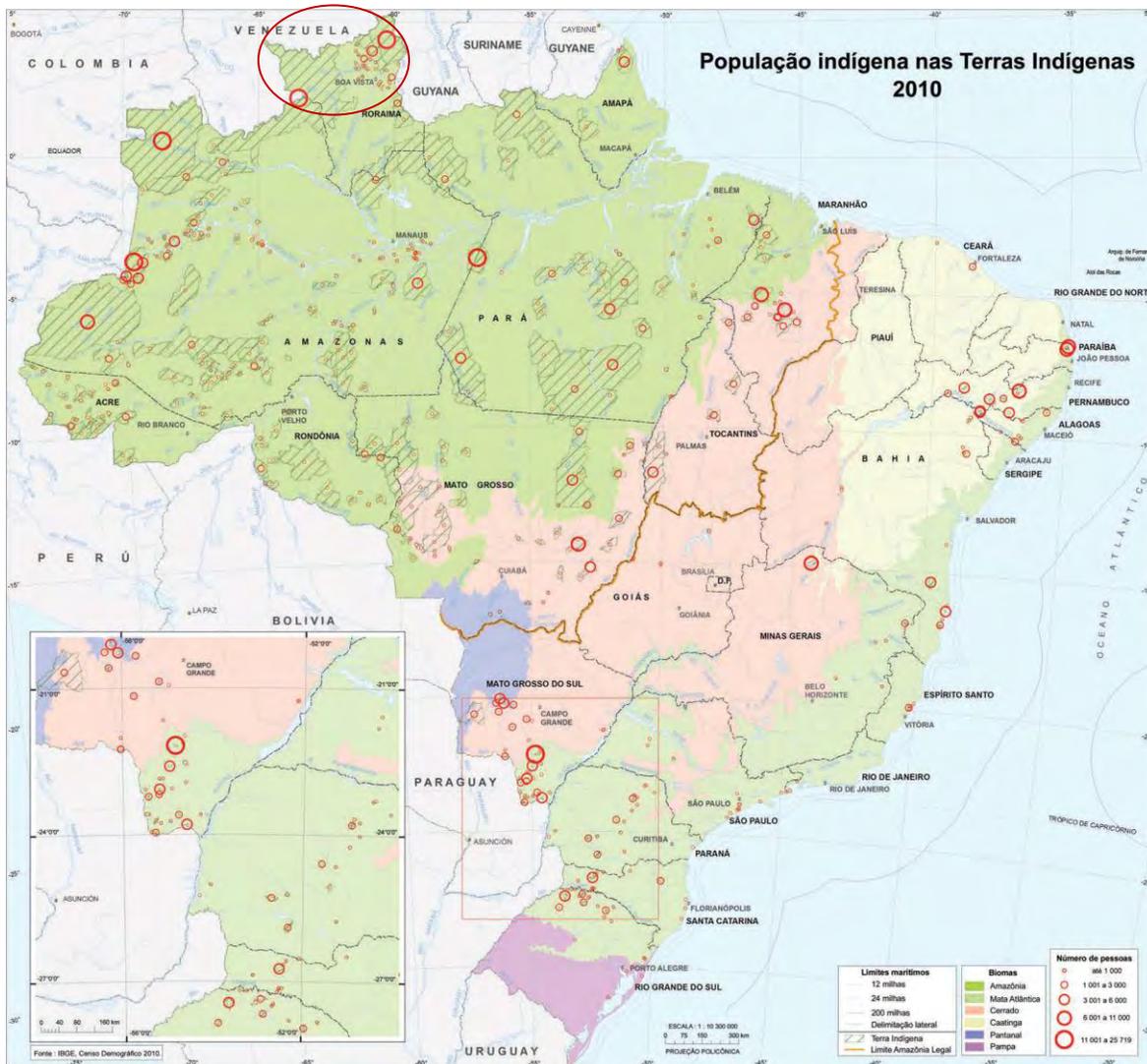


Fig. 39 Mapa de Brasil con la ubicación de poblaciones indígenas

2.4. Delimitación temporal

Se consideran comunidades tribales relativamente aisladas de la civilización. Estas tribus existían ya desde antes de la colonia, a la llegada de los españoles y portugueses (en el año 1500), emigraron a las regiones más cerradas de las amazonas huyendo de los invasores. Se mantuvieron relativamente aislados, hasta que en 1940 el gobierno brasileño envió a trabajadores a delimitar su frontera con Venezuela, a mediados del siglo XX buscadores de caucho incursionaron en su territorio. Estos contactos con otras personas acarrearón enfermedades desconocidas para los Yanomamis y muchos de ellos murieron. Más adelante, en la década de los 80s, se presentó una fiebre de oro y miles de buscadores de oro entraron a sus tierras en busca del preciado metal; se estima que masacraron a varias comunidades que representaban el 20% de la población Yanomamo.⁴⁹

Actualmente viven en la reserva de la biosfera del alto Orinoco-Casiquiare. Actualmente se estima una población entre 30,000 y 20,000 personas. A pesar de que la tierra de los Yanomamis ha sido declarada reserva de la biosfera, su subsistencia sigue cuestionada, ya que el gobierno brasileño, está debatiendo un proyecto de ley, que, en caso de aprobarse, permitiría el desarrollo de la minería a gran escala en esos territorios.

2.5. Descripción de la vivienda Shabono

El Shabono es una vivienda comunal construida con materiales vegetales: madera, bambú y palma; por lo que su vida útil es de 3 a 5 años, por lo que las viviendas son reconstruidas en esos periodos cortos. Su forma puede ser rectangular, pero casi siempre es circular u ovalada. su tamaño varía dependiendo del grupo que se trate, pero generalmente se encuentran entre 35 y 45 metros de diámetro, y alberga aproximadamente unos 50 habitantes. Aunque algunos pueden llegar a albergar hasta 400 personas.

⁴⁹ <http://www.survival.es/indigenas/yanomami>



Fig. 40 Shabono, vista aérea

La ocupación del interior es muy variada dependiendo de las características de cada grupo, pero en todos los casos se establece una zonificación específica para las distintas actividades familiares y grupales. Las zonas cubiertas se destinan a áreas familiares. Cada familia tiene una hoguera en donde prepara y cocina durante el día y durante la noche se cuelgan las hamacas cerca del fuego; El espacio central se destina a actividades comunales, rituales, festividades o juegos.

Todos los productos recolectados de la selva, cacería o pesca, son procesados, repartidos y consumidos por todos los integrantes de la comunidad del shabono.

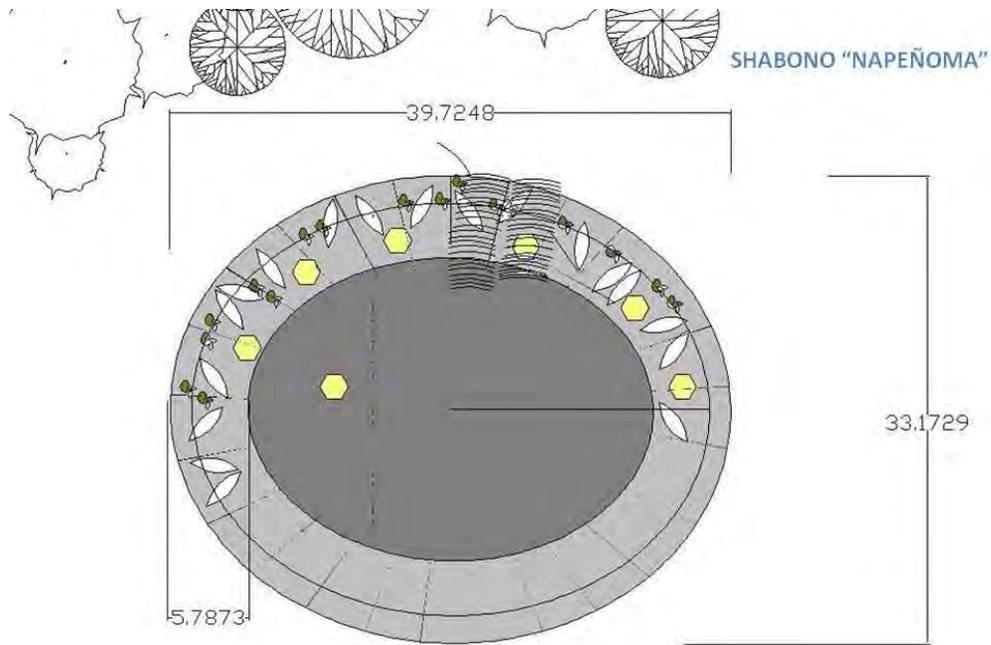


Fig. 41. Shabono Napeñoma.
 Shabono en el municipio de Atures, en el estado de Amazonas en Venezuela⁵⁰
 (Renny Barrios 2012)

El Shabono tiene un único acceso y en ocasiones se rodea con cercas vivas de especies espinosas y venenosas como medio de protección contra animales y posibles enemigos.

Los yanomamis toman todas sus decisiones de manera colectiva, por consenso después de largos debates, por lo que no se reconoce a ningún jefe, aunque la opinión de los mayores es tomada en cuenta. La división del trabajo se realiza según el sexo. Los hombres se dedican a la caza y pesca. Mientras que las mujeres al cultivo en los huertos y recolección de frutos, moluscos y larvas de insectos, así como la miel silvestre que es muy valorada.

Existen chamanes que se encargan de cuidar de la salud y sacar los malos espíritus de los habitantes de la comunidad

⁵⁰ Arquitectura indígena <http://churuatasyagrumo.blogspot.mx/p/shabono-napenoma.html>

La vivienda comunal Shabono

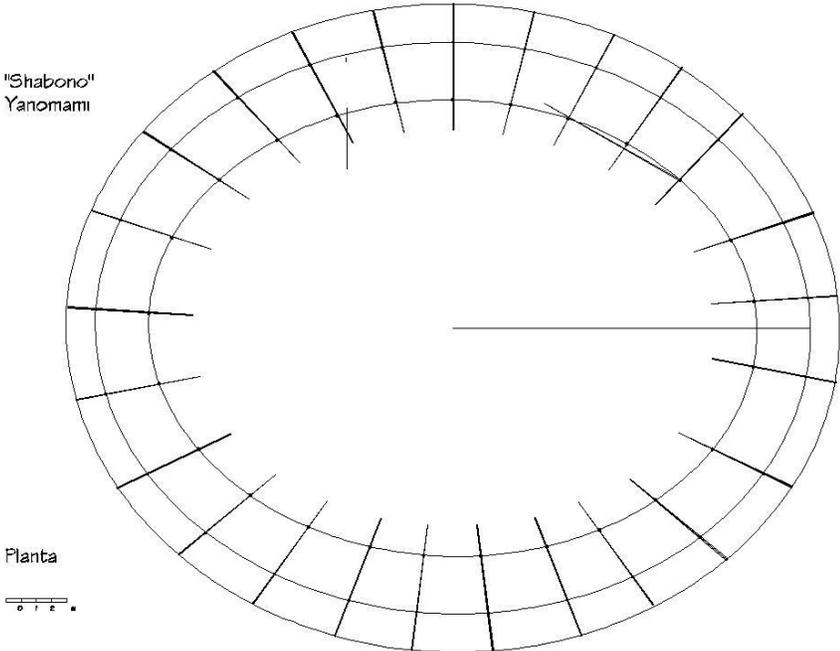


Fig. 42 Shabono Yanomami. – Planta esquemática

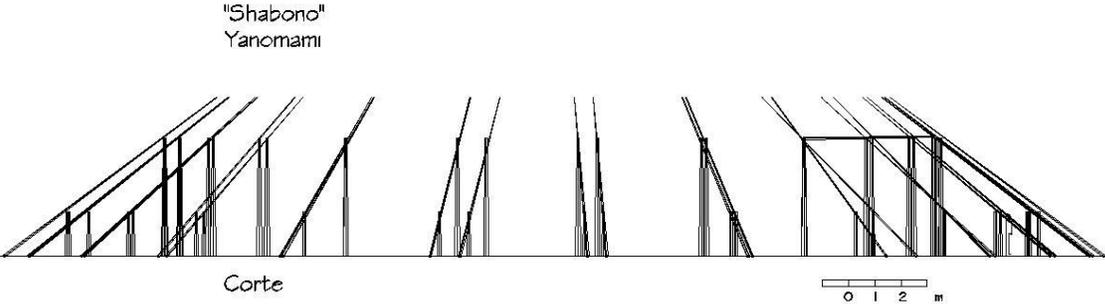


Fig. 43 Shabono Yanomami - Corte esquemático del Shabono

El shabono es una construcción formada por unas cubiertas inclinadas, generalmente de una sola agua hacia afuera, que llega a 1 m de altura de suelo con el fin de propiciar una corriente de viento entre el aire fresco de la selva y el centro del shabono. La cubierta vegetal esta sostenida por puntales u horcones de madera de distintos tipos de árboles, entre ellos el cachicamo (*Calophyllum brasiliense* Cambess), mangle o bambú, y travesaños que soportan los largueros de las cubiertas. La cubierta esta seccionada en "tapiris" o secciones de aproximadamente 4 metros de ancho por 6 de largo; cada tapiri alberga a una familia.

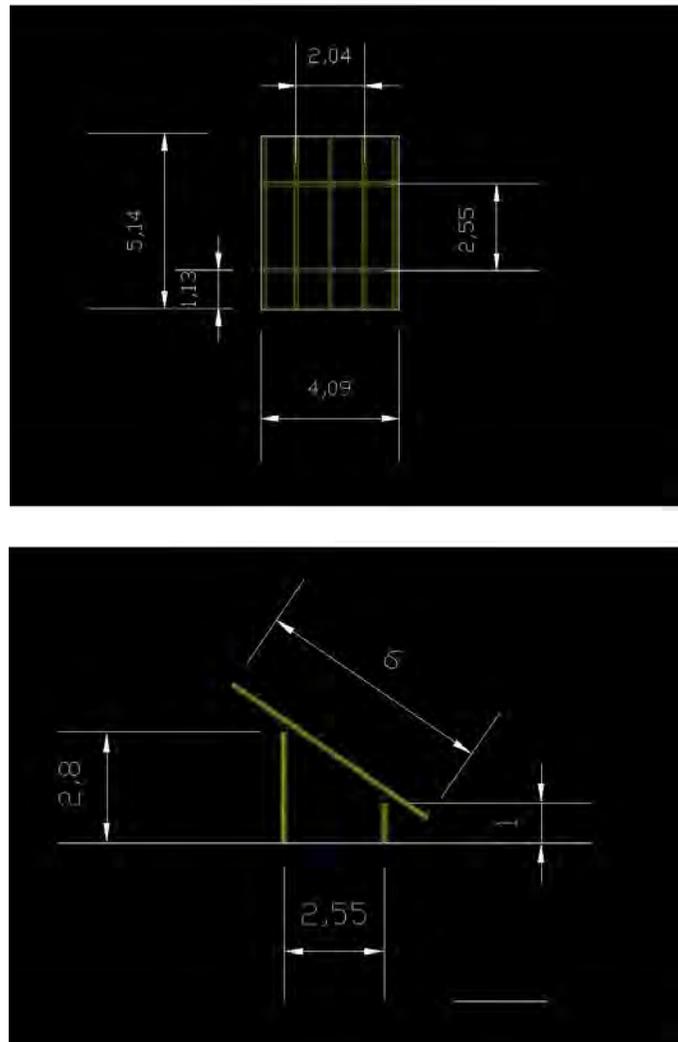


Fig. 44 Esquema de dimensional del tapiri

Todos los amarres se realizan con bejuco mamure. La cubierta se forra con hojas de palmera temiche (*Manicaria Saccifera* Gaertn).



Fig. 45 Estructura básica del tapiri



Fig. 46 Hojas de palmera temiche



Fig. 47 Estructura del shabono



Fig. 48 construcción del Shabono



Fig. 49 Interior del shabono, en donde se aprecia la abertura inferior

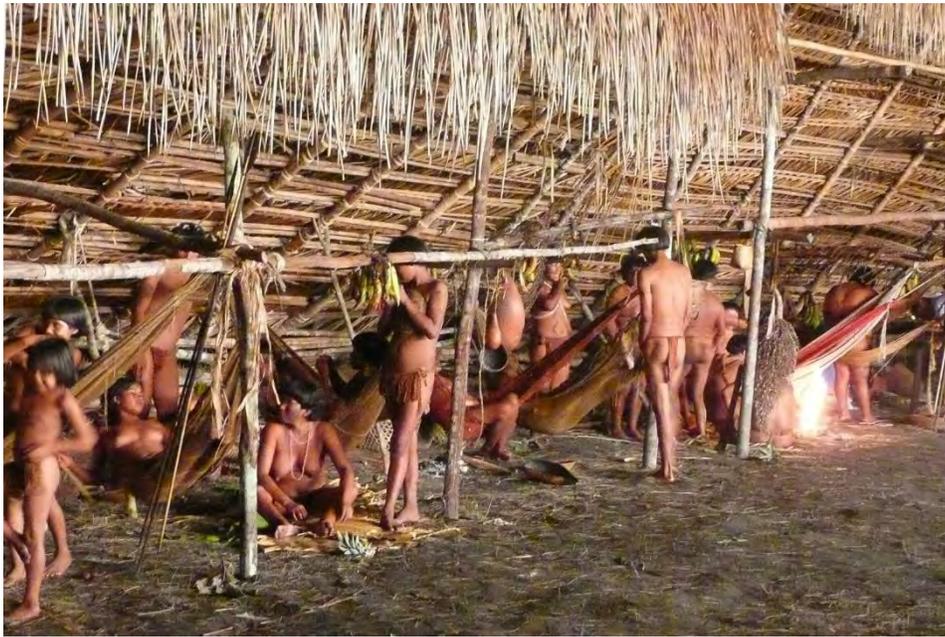


Fig. 50 Interior del shabono

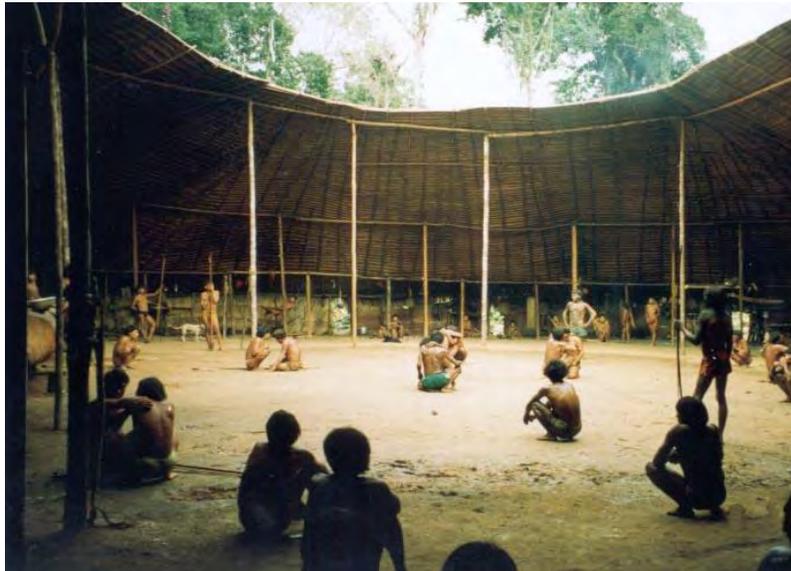


Fig. 51 Shabono de tres secciones

Bibliografía

Barrios, Renny. Arquitectura indígena. Consultado 1-3-2016

<http://churuatasyagrupo.blogspot.mx/p/shabono-napenoma.html>

Caballero Hortensia. (2005) Primeros encuentros: Los Yanomami en las representaciones post-coloniales de la primera mitad del siglo XX. Ediciones IVIC. Instituto de Investigaciones Científicas. Revista Antropológica 104, 2005: 5-34 Altos de Pipe, Venezuela.

Caballero, Hortensia. (2014) Desencuentros y Encuentros en el Alto Orinoco. Incursiones en Territorio Yanomami, siglos XVIII-XIX. Ediciones IVIC. Instituto de Investigaciones Científicas. Altos de Pipe, Venezuela.

Ministério da Justiça, Fundação Nacional do Índio – FUNAI. Brasil.

<http://www.funai.gov.br/index.php/indios-no-brasil/quem-sao>

Survival International Charitable Trust. Movimiento global por los derechos de los pueblos indígenas y tribales. <http://www.survival.es/indigenas/yanomami>

Centro Internacional Sarah de Neuro-rehabilitación y Neurociencias

Proyecto arquitectónico: Joao Filgueiras Lima – Lelé

El Centro Internacional Sarah de Neuro-rehabilitación y Neurociencias está situado frente a la laguna de Jacarepaguá⁵¹ en el barrio de Barra de Tijuca al oeste de municipio de Río de Janeiro en Brasil.



Fig. 52 Ubicación del Centro Internacional Sarah de Neuro-Rehabilitación y Neurociencias

El complejo está muy cerca del aeropuerto de Jacarepaguá, a 1.79 km en línea recta, por lo que la información climática disponible del aeropuerto es válida.

⁵¹ Jacarepaguá es un término de origen tupi, que significa “ensenada de los caimanes” (jacarés).

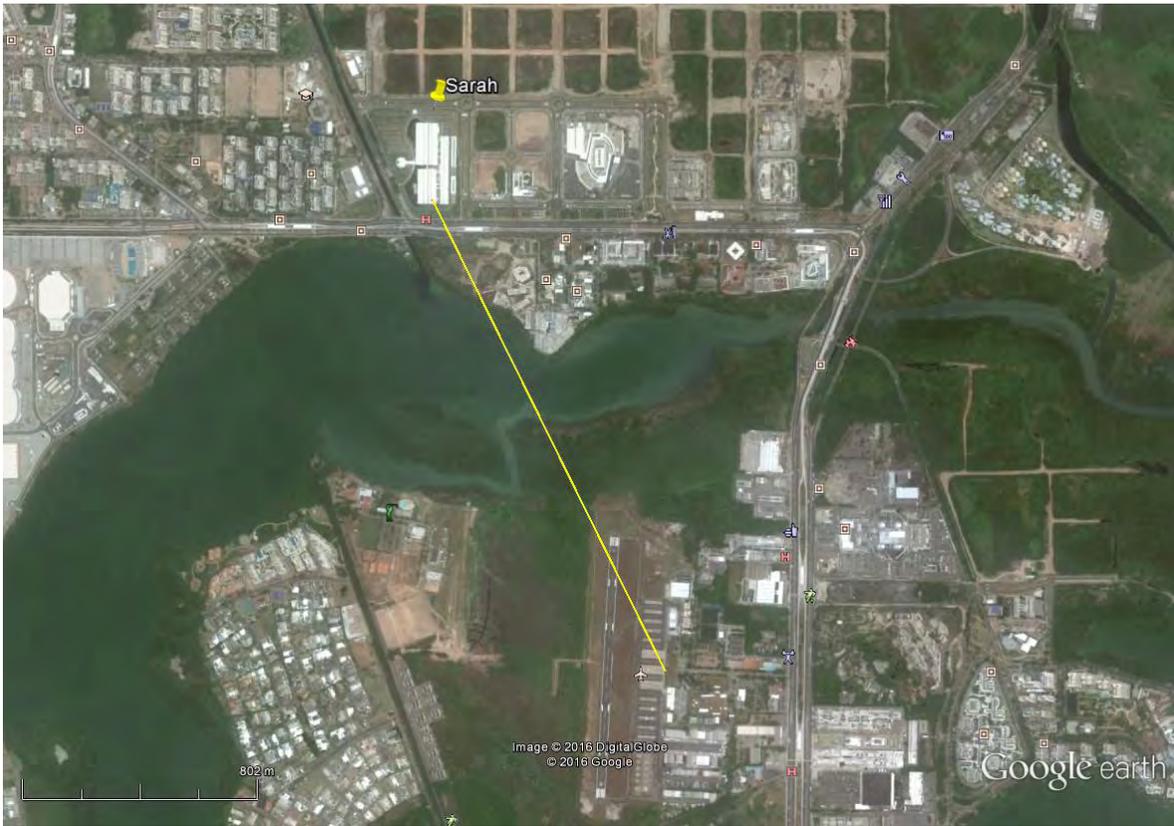


Fig. 53 Relación entre el Centro Sarah y el Aeropuerto de Jacarepaguá

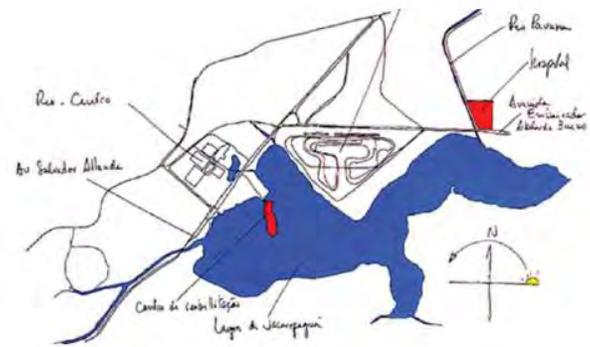


Fig. 54 Croquis de localización y lago de Jacarepaguá

Las áreas del hospital están bien zonificadas y agrupadas en las siguientes áreas:

- Servicios técnicos
- Internación
- Servicios Generales
- Centro de estudios y residencia médica
- Auditorio



Fig. 55 Programa arquitectónico

Las áreas generales del proyecto son:

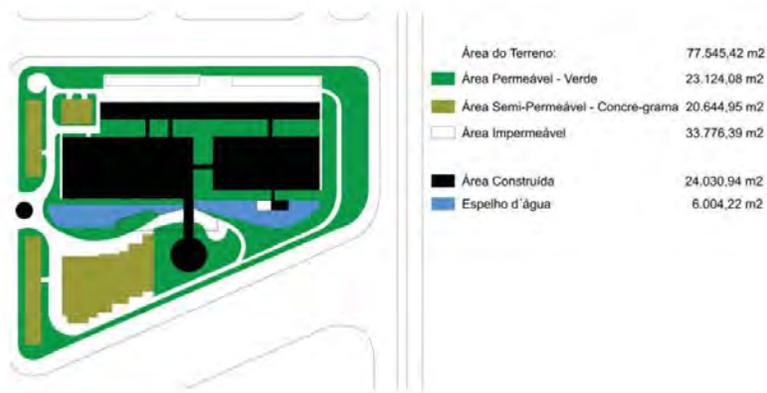


Fig. 56 Áreas del proyecto

Áreas con ventilación natural o mixta o aire acondicionado. En un hospital desde luego existen áreas que deben ser climatizadas artificialmente, debido a condiciones de confort, higiene y control del aire, sin embargo, como se aprecia en la figura 6, las áreas con aire acondicionado están restringidas y la mayoría de los espacios pueden funcionar con ventilación natural, ventilación forzada o mixtas.

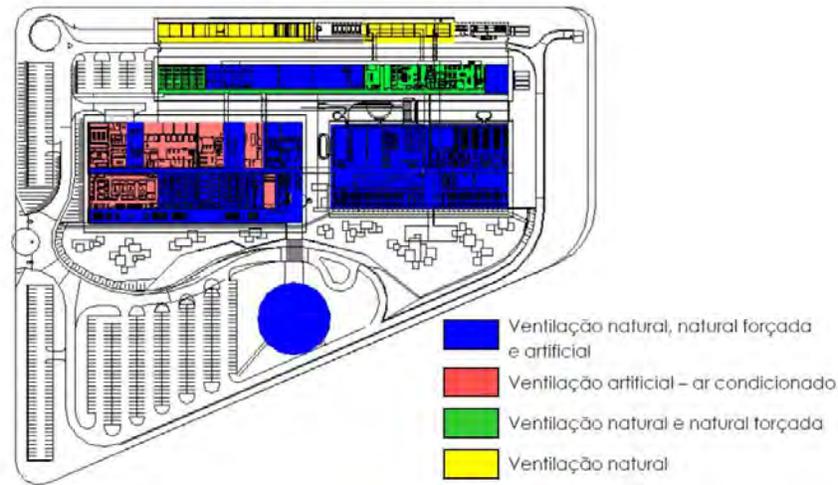


Fig. 57 Estrategias de ventilación por áreas (Azolia Lukiantchuki, Marieli)

Planos del proyecto ⁵²

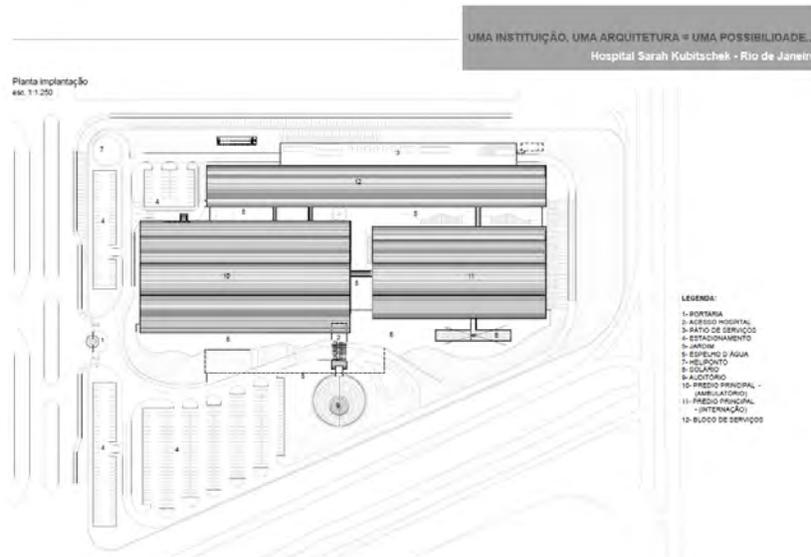


Fig. 58 Planta de conjunto

⁵² Azolia Lukiantchuki, Marieli. A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lele: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro.

Planta pavimento térreo
esc. 1:1.250

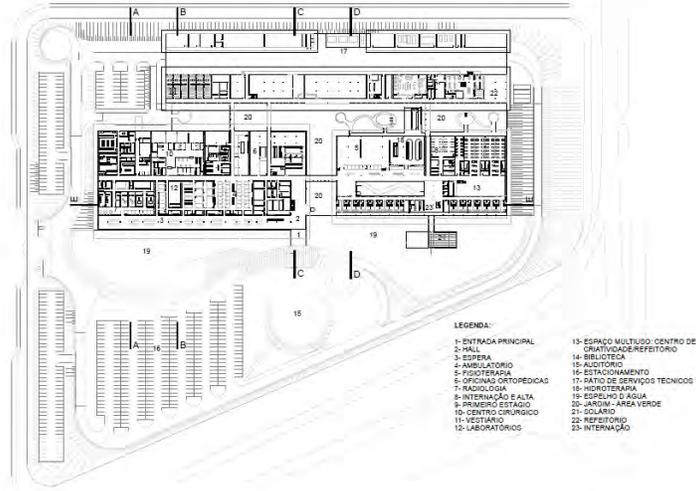


Fig. 59 Planta baja

Planta piso técnico
esc. 1:1.250

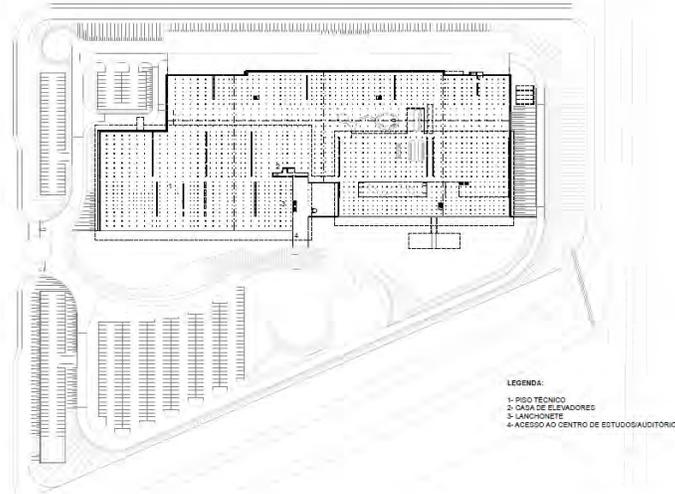


Fig. 60 Planta sótano

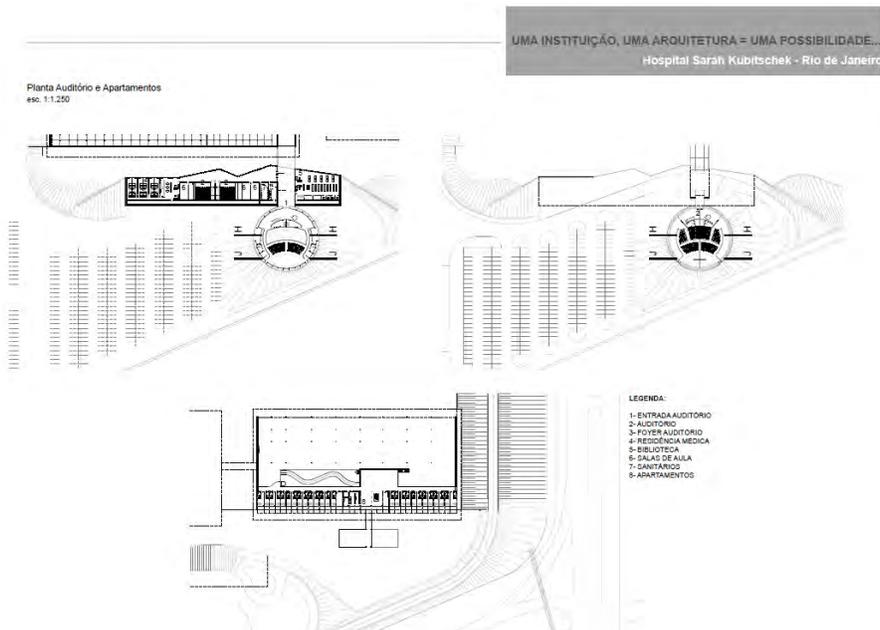


Fig. 61 Planta de auditorio y residencias medicas

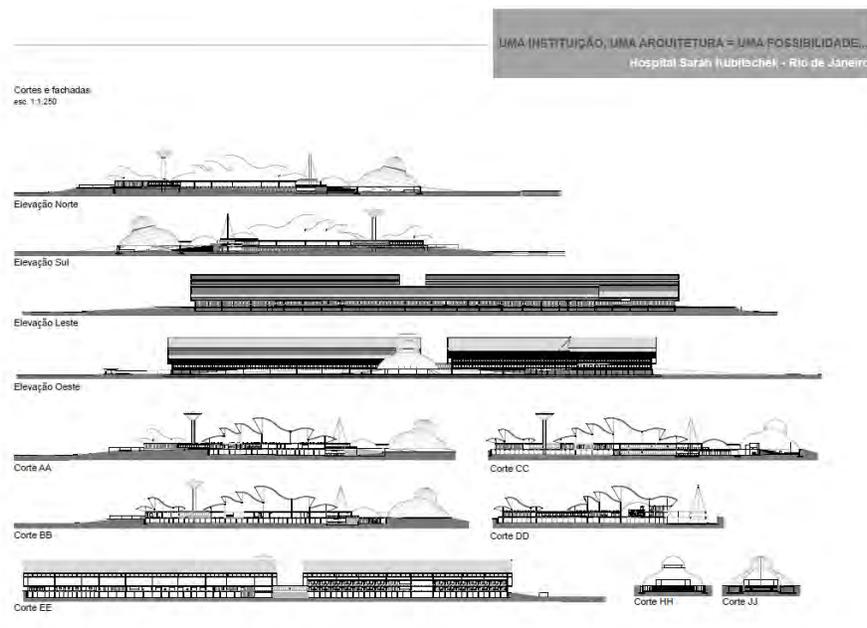


Fig. 62 Fachadas y cortes

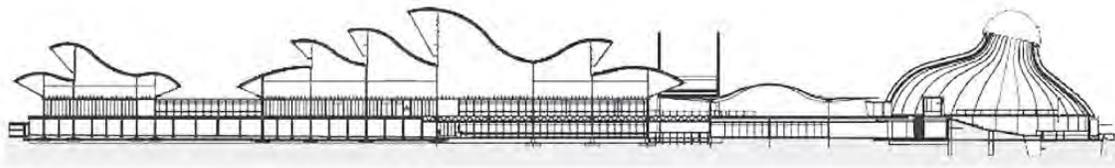


Fig. 63 Corte transversal. Ventilação e iluminação aturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé Jorge Isaac Perén Montero, FAU Universidade de São Paulo, 2006

El concepto de doble cubierta ventilada en forma de diente de sierra tiene el objetivo de proveer una adecuada ventilación natural, y al mismo tiempo una buena iluminación natural con control solar. Las inclinaciones de las cubiertas responden de manera precisa a los ángulos solares que deben protegerse.

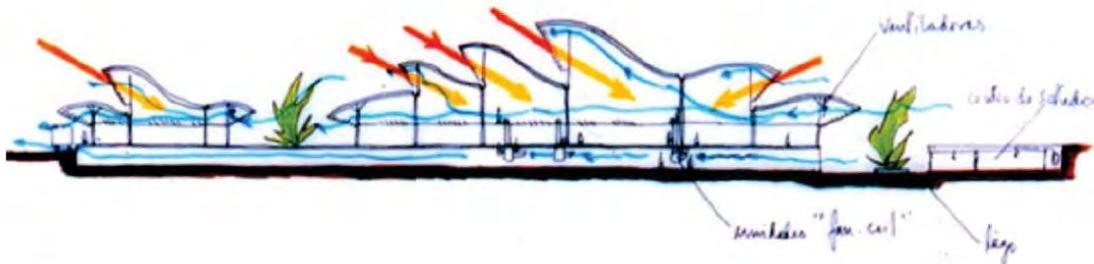


Fig. 64 Esquema general de ventilación e iluminación

La ventilación está diseñada para que funcione de tres maneras (figura 14):

- Ventilación natural, a través de las aberturas del sótano, laterales y elevadas de las cubiertas. Teniendo el plafón abierto
- Ventilación forzada a través del sistema fan and coil, que puede tomar aire exterior e introducirlo a los espacios teniendo extracción libre a través del plafón abierto.
- Aire acondicionado, a través del sistema fan and coil. Teniendo el plafón cerrado.

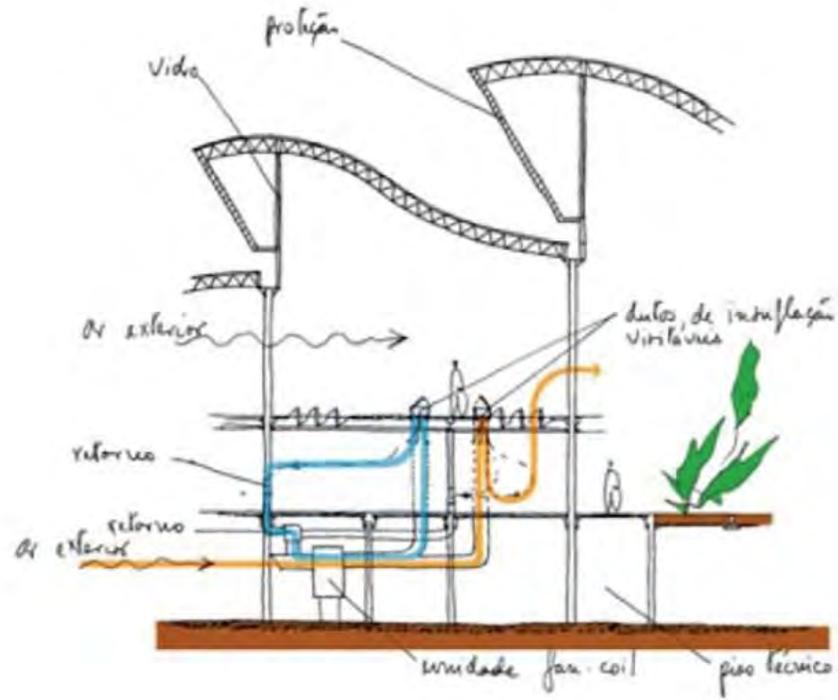


Fig. 65 Esquema de las tres estrategias de ventilación: natural, forzada, aire acondicionado

El vestíbulo central del edificio cuenta con una cubierta curva translúcida que puede abrirse para ventilarse naturalmente.

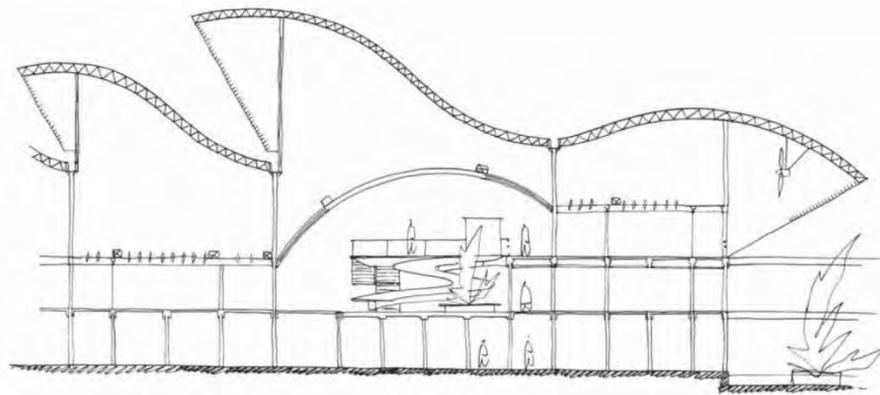


Fig. 66 croquis del Patio central con cubierta retráctil



Fig.67 foto del patio central con rampa y cubierta abierta



Fig.68 foto del patio central con rampa y cubierta cerrada



Fig. 69 Foto de cubierta con diferentes aberturas

En la figura 70 se aprecia con claridad las dobles cubiertas. Las cubiertas inferiores pueden abrirse o cerrarse dependiendo de los requerimientos de ventilación.



Fig. 70 Estructura de cubiertas

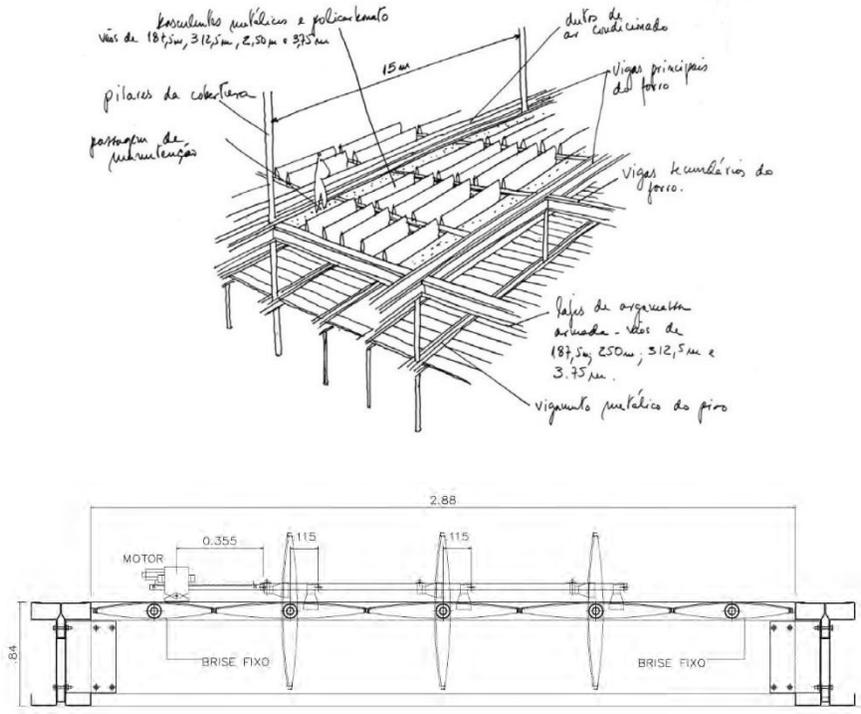


Fig. 71 Esquema de plafón de placas giratorias

Algunas partes del edificio se abren a través de las cubiertas en forma de bóveda de cañón corrido, pero otras disponen de paletas giratorias, tipo louver. Las paletas son translúcidas para permitir el paso de la luz natural al momento de permanecer cerradas.



Fig. 72 Plafón de paletas giratorias abiertas



Fig. 73 Plafón de paletas giratorias cerradas y abiertas



Fig. 74 Plafón con paletas translucidas giratorias.



Fig. 75 Sistema de enfriamiento evaporativo

Nótese en la figura 76, la inclinación de la cubierta que responde al ángulo solar preciso de las 7 de la mañana en el solsticio de invierno (junio). El estanque dispone de aspersores que propician el enfriamiento evaporativo al pasar el viento antes de entrar a los espacios.



Fig. 76 Nótese los dispositivos de control solar que protegen a las ventanas.



Fig. 77 Vista general del conjunto desde el poniente



Fig. 78 Vista general del conjunto desde el sur



Fig. 79 Vista general del conjunto desde el norte. Al fondo el lago Jacarepaguá



Fig. 80 Acceso principal con caseta de control.
Panoramio – Google Maps. http://www.panoramio.com/?no_redirect - Photos by RNLatvian

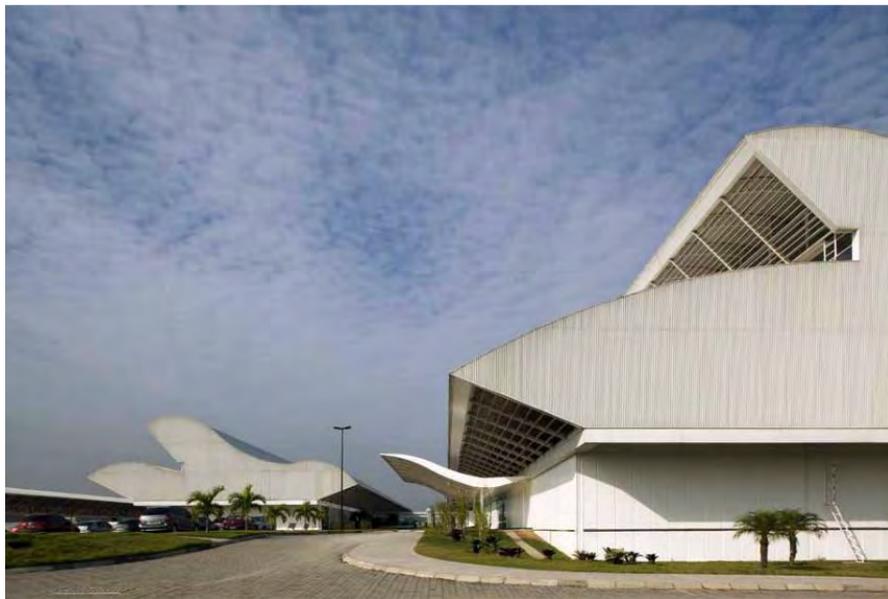


Fig. 81 Vista desde el norte. Al fondo edificio de servicios

El auditorio del hospital tiene una cubierta abatible en forma de gajos que coronan al edificio.

Esta abertura tiene la intención de proveer ventilación natural cuando es posible, de lo contrario funciona con aire acondicionado.

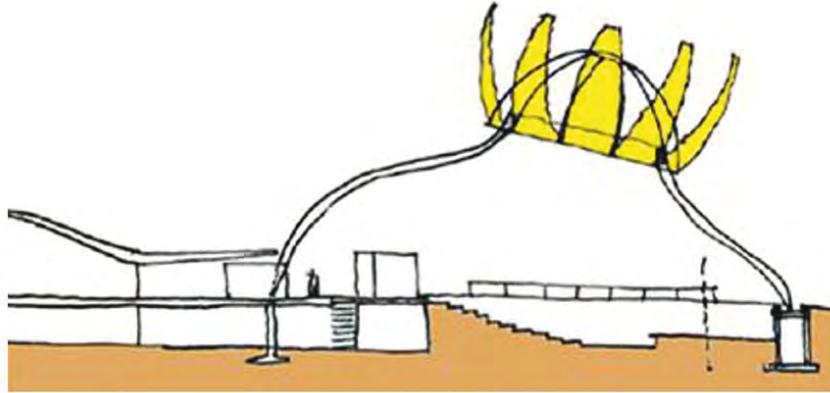


Fig. 81 Esquema del auditorio. A obra de João Filgueiras Lima no contexto da cultura arquitetônica contemporânea. Ana Gabriela Lima Guimarães, FAU Universidade de São Paulo, 2010



Fig. 82 Auditorio con domo cerrado.
Panoramio – Google Maps - http://www.panoramio.com/?no_redirect
Photos by PCRAPAKI-TRAMANDAÍ-RS



Fig. 83 Auditorio con domo abierto.
Panoramio – Google Maps - http://www.panoramio.com/?no_redirect
Photos by PCRAPAKI-TRAMANDAÍ-RS



Fig. 84 Auditorio con domo abierto.



Fig. 85 Vista interior del auditorio.

Bibliografía

Azolia Lukiantchuki, Marieli, Caram, Rosa Maria. (2013) Análise do conforto térmico na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. XII Encontro Nacional e VIII Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ELACAC Brasília.

Azolia Lukiantchuki, Marieli (2010) A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. Escola de Engenharia de São Carlos. Brasil. Universidade de São Paulo.

Lima Guimarães, Ana Gabrielle (2010) A obra de Joao Filgueiras Lima, no contexto da cultura arquitetônica contemporânea. Faculdade de arquitetura e urbanismo. Universidade de São Paulo. Brasil.

Perén Montero, Jorge Isaac (2006) Ventilação e iluminação aturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé. Escola de Engenharia de São Carlos. Brasil. Universidade de São Paulo, 2006

Fwd: Solicitud de Terminación de Proyecto de Investigación N-233 Medio Ambiente

1 mensaje

Director de Ciencias y Artes para el Diseño <dircad@azc.uam.mx>
Para: OFICINA TECNICA DIVISIONAL CYAD - <consdivcyad@azc.uam.mx>

2 de febrero de 2024, 19:37

Estimada Lic. Lupita,

Te envío el siguiente documento para turnarlo por favor con la Comisión correspondiente, muchas gracias.

Saludos cordiales,

Areli

----- Forwarded message -----

De: CUENTA CORREO DEPARTAMENTO MEDIO AMBIENTE - <medioambiente@azc.uam.mx>

Date: vie, 2 feb 2024 a las 14:18

Subject: Solicitud de Terminación de Proyecto de Investigación N-233 Medio Ambiente

To: Director de Ciencias y Artes para el Diseño <dircad@azc.uam.mx>

Cc: Dra. Gloria María Castorena Espinosa <gmce@azc.uam.mx>, Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet <ffva@azc.uam.mx>

JDMA. 050/02.2024

Ciudad de México, a 2 de febrero de 2024

Mtra. Areli García González

Secretaria Académica en funciones de
Presidente del H. Consejo Divisional
División de Ciencias y Artes para el Diseño

Presente

Estimada Mtra Areli

Por este medio me permito presentar al H. Consejo Divisional que usted preside el **Informe global** para la **terminación** del proyecto de investigación: **N-233, "Arquitectura Bioclimática Tropical en Latinoamérica"**, cuyo responsable es el **Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet**.

Sin más por el momento, hago propicia la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente

Casa abierta al tiempo

Mtro. Luis Yoshiaki Ando Ashijara

Jefe del Departamento del Medio Ambiente
División de Ciencias y Artes para el Diseño
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco



DMA 050-02.2024 Informe Global Terminación Proyecto N-233 Víctor Fuentes ch.pdf

12673K