

José Isabel Morales
Alegría

Caracterización de la forma de las envolventes de
edificios para la eficiencia energética en climas
cálidos

2020



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería
Maestría en arquitectura

Caracterización de la forma de las envolventes de
edificios para la eficiencia energética en climas cálidos

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestría en Arquitectura

Presenta:

José Isabel Morales Alegría

Dirigido por:

Maestro Guillermo Iván López Domínguez

Querétaro, Qro. México. Enero de 2021



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en arquitectura

Caracterización de la forma de las envolventes de edificios para la
eficiencia energética en climas cálidos

Trabajo escrito

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestría en Arquitectura

Presenta:

José Isabel Morales Alegría

Dirigido por:

Maestro Guillermo Iván López Domínguez

Maestro Guillermo Iván López Domínguez
Presidente

Doctor Daniel Eric Sanginés Coral
Secretario

Maestra Aileen Mendoza Pérez
Vocal

Doctor Avatar Flores Gutiérrez
Suplente

Maestra Verónica Leyva Picazo
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro. México
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario (mes y año)

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a los miembros de mi sínodo, quien en todo momento de la maestría me apoyaron incondicionalmente, y durante la elaboración de esta tesis me transmitieron valioso conocimiento y guiaron la investigación para poder llevarlo a buen puerto, y culminarla como una herramienta que me servirá para seguir mejorando en mi labor como arquitecto.

Agradezco también a mi familia por ser el pilar de mi crecimiento como persona, y por todo el apoyo incondicional que siempre tengo de ellos, y a quien debo todos mis logros incluyendo este.

A mi esposa Darcy Stock quien me acompañó en esta aventura e hizo frente al esfuerzo que involucro esta maestría, sin ella no hubiera sido posible llegar hasta aquí.

A la Universidad Autónoma de Querétaro por ofertar tan excelente posgrado y dar buen seguimiento administrativo durante mi estadía.

Gracias también al programa de la maestría en arquitectura que mejoró mis procesos al hacer arquitectura, profesionalizándome más a fondo en el diseño arquitectónico sustentable. Y al cuerpo académico quienes mostraron siempre un amplio dominio y profesionalismo en cada una de las asignaturas cursadas, en especial al Dr. Avatar Flores Gutiérrez coordinador del programa, quien siempre me apoyo en mi estadía.

Y por último al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo para poder realizar este posgrado, e incentivar al pueblo mexicano a profesionalizarse más en su campo de trabajo, mejorando así a la comunidad científica e investigadora del país.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.	13
JUSTIFICACIÓN	15
PROBLEMÁTICA	18
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	20
II. FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	¡Error! Marcador no definido.
Variables dependientes.....	23
Variables independientes.....	23
III. OBJETIVO:.....	24
OBJETIVOS PARTICULARES.....	25
IV. HIPÓTESIS:.....	25
V. MARCO TEÓRICO	26
MARCO REFERENCIAL	26
Arquitectura, clima y energía.....	26
El factor de la forma	29
MARCO NORMATIVO.....	37
Normas Nacionales.....	37
Normas Internacionales.....	39

MARCO CONCEPTUAL.....	41
Arquitectura pasiva.....	41
Termodinámica.....	42
La forma de la envolvente	43
La forma en la arquitectura vernácula	44
Viviendas vernáculas en clima cálido húmedo.....	46
Eficiencia energética	50
Simulaciones térmicas.....	52
VI. Caracterización de las formas de la envolvente en edificaciones en climas cálidos húmedos	53
METODOLOGÍA.....	55
Proceso de experimentación	57
Inputs del proceso de experimentación.....	58
Catálogo general.....	58
Homologación de materiales y sistemas constructivos.....	59
Homologación de ocupación de espacios	64
Homologación de clima y selección de fecha de experimentación.....	68
Homologación de equipo de aire acondicionado.....	76
Base de datos para la ejecución de simulaciones.....	81
Herramientas	82
Flujo de trabajo.....	83
VII. RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN.....	86
Explicación de resultados	88
Datos de simulaciones diarias.....	88

Datos de simulación horarias	89
Resultados.....	90
Resultados Solidos primarios	90
Envolventes Cubiertas	95
Envolventes Muros.....	100
VIII. DISCUSIONES.....	105
Discusiones sobre el mejor comportamiento de los sólidos primarios.....	106
Discusión sobre el mejor comportamiento de las formas de las cubiertas	107
Discusión sobre el mejor comportamiento de las formas de los muros.....	108
Discusión sobre el uso de los factores y paramétricos obtenidos.	109
Discusión sobre las estrategias a emplear en el uso de las formas.	110
Discusión sobre siguientes etapas de investigación.....	115
IX. CONCLUSIÓN	116
X. ANEXOS.....	121
Anexo 1. Salida de datos “solidos primarios”.....	121
Cubo.....	121
Esfera.....	122
Pirámide	123
Anexo 2. Análisis de envolventes de muros	124
Muro inclinado hacia afuera	124
Muro inclinado hacia adentro	125
Muro circular horizontal	126
Muro circular vertical	127
Anexo 3. Simulaciones de formas de envolventes cubierta.....	128

Cúpula.....	128
Cono.....	129
Losas inclinadas.....	130
Losa plana.....	131
XI. Bibliografía	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama y formula de interacciones térmicas en el ambiente urbano. Jianxiang Huang. Fuente: (Ábalos & Sentkiewicz, 2015).....	28
Figura 2 Tipos de radiación solar que intervienen en las edificaciones. Fuente: Elaboración propia.....	28
Figura 3 Resultados y disposiciones de emplazamientos de edificios según el tipo de clima. Fuente: (Olgay, 1998).....	31
Figura 4 Diagrama Bioclimático Víctor Olgay. Fuente: (Lacomba, 1991).....	35
Figura 5 Diagrama psicométrico Baruch Givoni. Fuente: Software Climate Consultant 6.....	36
Figura 6. Tabla de resistencias térmicas ideales para cada tipo de envolvente de un edificio. Fuente: https://www.fanosa.com/descargas/normas/norma_C460ONNCE2009.pdf	38
Figura 7. Esquema de clasificación de sistemas pasivos de climatización. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 8. Tipología y análisis termodinámico de vivienda Falí. Fuente: (Neila González, 2004).....	47
Figura 9. Palafito desarrollado en el norte de Venezuela. Fuente: (Neila González, 2004).....	48
Figura 10. Tipología de la casa Maya. Fuente: (Neila González, 2004)	49

Figura 11. Tipología Casa Bote de la Islas de Pascuas. Fuente: (Neila González, 2004).....	50
Figura 12 Diagrama de proceso de ejecución de diseño generativo de Bohnacker Hatmut. Fuente: Bohnacker Hatmut, Laub Julia, Gros Benedikt, Lazzeroni Claudios (2009).....	57
Figura 13 Diagrama de proceso de experimentación.	58
Figura 14 Catalogo general de formas a estudiar, durante la experimentación.....	59
Figura 15 Análisis y propuesta de muros exteriores, para la envolvente desarrollado en el software “Design Builder”	62
Figura 16 Análisis y propuesta de cubierta exterior, para la envolvente, desarrollado en el software “Design Builder”	63
Figura 17. Análisis de áreas para el prototipado de la experimentación. Fuente: Elaboración propia	65
Figura 18. Estudio de alturas mediante secciones en el programa Revit, y análisis de superficie de cada envolvente. Fuente: Elaboración propia.....	66
Figura 19 Configuración de la plantilla de actividad en el programa “Design Builder”. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 20. Perfil de ocupación de usuario. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 21. Mapa de climas según Köppen. Fuente: (García, 1998).....	69
Figura 22. Carta termica 3d de la ciudad de Tuxtla Gtz. Fuente: Climate Consultant 6.0.....	69
Figura 23. Carta solar Tuxtla Gtz. Fuente: Programa SOL-AR.....	70
Figura 24. Localización de día cenital en Tuxtla Gtz. Fuente: página “sunearthtools.com”	72
Figura 25. Localización de segundo día cenital en Tuxtla Gta. Fuente: página “sunearthtools.com”	73
Figura 26. Comportamiento térmico de la ciudad de Tuxtla Gtz. Fuente: es.weatherspark.com.....	74
Figura 27. Carta solar termica de Tuxtla Gutiérrez. Fuente: Elaboración propia. ..	75

Figura 28 Datos climáticos generados por el software “climate consultant”, utilizando el estándar AHRAE 55, donde entre los datos encontramos el confort térmico. Fuente: Software Climate consultant.	77
Figura 29 Clasificación de equipos de aire acondicionado según su coeficiente SEER en la unión Europea. Fuente: (TOSHIBA, 2020).....	79
Figura 30 Etiquetado de equipo de aire acondicionado en México de acuerdo a su coeficiente REEE. Fuente: (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2017).....	80
Figura 31 Flow Chart Experimentación.....	84
Figura 32. Datos diarios de simulaciones de prototipos. Fuente: Elaboración propia.	88
Figura 33. Datos horarios de simulación de prototipos. Fuente: Elaboración propia	89
Figura 34. Comparación de comportamiento energético de solidos primarios. Fuente: Elaboración propia.....	90
Figura 35. Refrigeración diaria por forma. Fuente: Elaboración propia.....	91
Figura 36. Cantidad de refrigeración a las 17 horas. Fuente: Elaboración propia.	92
Figura 37. Comportamiento de transferencia de energía calorífica por elemento. Fuente: Elaboración propia.....	93
Figura 38. Colección diaria de radiación solar por prototipo. Fuente: Elaboración propia.....	94
Figura 39. Colección de radiación solar durante el día / superficie de envolvente. Fuente: Elaboración propia.....	94
Figura 40. Comparación de comportamiento energético de cubiertas. Fuente: Elaboración propia.	96
Figura 41. Refrigeración diaria por forma. Fuente: Elaboración propia.....	97
Figura 42. Cantidad de refrigeración a las 17 horas. Fuente: Elaboración propia .	97
Figura 43. Colección diaria de radiación solar por prototipo. Fuente: Elaboración propia.....	98

Figura 44. Colección de radiación solar durante el día / superficie de envolvente. Fuente: Elaboración propia.....	98
Figura 45. Colección de radiación solar diaria en relación al área de uso de la habitación. Fuente: Elaboración propia.....	99
Figura 46. Comparación de comportamiento energético de cubiertas. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 47. Refrigeración diaria por forma de muro. Fuente: Elaboración propia.	102
Figura 48. Cantidad de refrigeración a las 17 horas. Fuente: Elaboración propia.	102
Figura 49. Colección diaria de radiación solar por prototipo. Fuente: Elaboración propia.....	103
Figura 50. Colección de radiación solar durante el día / superficie de envolvente. Fuente: Elaboración propia.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formula de transferencias de calor por envolvente de los edificios.....	30
Tabla 2. Factor de la forma. Fuente: (Esteves, Oliva, & Gelardi, 2019).....	33
Tabla 3 Factor de forma (FF) para diversos volúmenes.	34
Tabla 4. Factor de área de envolvente piso (FAEP). Fuente: (Esteves, Oliva, & Gelardi, 2019)	34
Tabla 5 Factor de área de envolvente piso (FAEP) para diversos volúmenes. Fuente: (Esteves, Oliva, & Gelardi, 2019).....	34
Tabla 6 Calculo de transferencia de calor por envolvente. Fuente: (Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, 2001).....	37

Tabla 7 Cálculo de intercambio de calor en un edificio. Fuente: (Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, & Szokolay, 2010).....	42
Tabla 8. Organización de modelado de prototipos a simular. Fuente: Elaboración propia.....	87
Tabla 9. Síntesis de comportamiento energético de los sólidos primarios. Fuente: Elaboración propia.....	95
Tabla 10. Síntesis de comportamiento energético de las cubiertas. Fuente: Elaboración propia.....	100
Tabla 11. Síntesis de comportamiento energético de muros. Fuente: Elaboración propia.....	104

Dirección General de Bibliotecas UAG

RESUMEN

Esta investigación tiene como fin determinar la caracterización de la forma de la envolvente de los edificios en climas cálidos, para obtener información de desempeño térmico y energético que ayude a la toma de decisiones en el proceso de conceptualización en el diseño arquitectónico, anticipando así posibles problemas que la propuesta. Para poder lograr esta caracterización fue necesario hacer un estudio comparativo de los diferentes contornos geométricos de las envolventes comúnmente usados en la arquitectura. La experimentación consistió en la selección y categorización de formas tanto para cubierta y muro, además de un análisis especial para sólidos primarios, para posteriormente homologar variables, como materiales y sistemas constructivos de cerramientos, selección de actividad del espacio para determinar tamaños de los prototipos, tipo clima, orientaciones, selección de día de experimentación y tipo de equipo de aire acondicionado. Para la experimentación se usó el motor de simulación “Energy Plus”, mediante la interfaz de “Design Builder”, modelado con el software “Revit” utilizando un archivo climático “Energyplus weather (EPW)” para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chipas (que fue la ciudad seleccionada por el tipo de clima), dejando un precedente del flujo de trabajo de estos softwares para evaluaciones térmicas de un edificio. Los resultados se presentan mediante un análisis comparativo de consumos energéticos, desempeño térmico y captación de radiación de las formas por género, creando factores de formas y datos paramétricos para estimaciones energéticas de un edificio, donde se pudo comprobar físicamente el comportamiento de cada una de las formas, para poder establecer el porqué de su desempeño y recomendar estrategias bioclimáticas. Esta investigación es de gran ayuda en la propuesta formal de un proyecto, ya que podemos determinar, modificar o evaluar la forma del diseño, y establecer estrategias de tratamiento para optimizar la eficiencia energética de un edificio mediante su envolvente.

(**Palabras clave:** forma de la envolvente, eficiencia energética, simulación termica, estrategias bioclimáticas, factor de forma y datos paramétricos)

ABSTRACT

This investigation has its final goal in determining the characteristics of the shape of buildings in warm climates in order to obtain information on thermal and energy development. This is with the purpose to help make decisions in the process of conceptualization in architectural design, anticipating possible problems in the final, formal proposal of the design that this can generate. Another goal of this research is to mediate and propose strategies of mitigation, which are presented, to give them the adequate treatment for building envelopes. In order to achieve this characterization, it was necessary to conduct a comparative study of different geometric contours of the building envelopes commonly used in architecture. The experimentation consisted in the selection and categorization of shapes for coverings and for walls, as well as a special analysis for primary solids. This was in order to unify variables like materials and constructive systems, selection of activity in the space to determine sizes for prototypes, types of weather, orientations, selection of the experiment day, and type of air conditioning. For the experiment, the simulation software “Energy Plus” was used with the interface of “Design Builder”, modeled with the program “Revit” using the weather file “Energy Plus Weather” (EPW), for the city of Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. This allowed for leaving a precedent for work flow in these software programs to thermal evaluate in a building. The results were exported to “Excel” where it was possible to conduct a comparative analysis of energy consumption, thermal development and solar collection of the shapes generated, creating factors for shapes and parametric data for energy estimations in a building. In this way it was possible to verify the physical behavior of each of these shapes in order to establish the why or their development and recommend bioclimatic strategies. This research is of great help in the final, formal proposal of a project because we can determine, modify, or evaluate the shape of a design and establish strategies for treatment to optimize energy efficiency in a building through its building envelope.

I. INTRODUCCIÓN, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación busca identificar el comportamiento de las formas de la envolvente de un edificio, para establecer parámetros térmicos y energéticos, que ayuden al proceso de diseño arquitectónico como un input, para seleccionar, modificar, mejorar o reemplazar elementos de la envolvente, para una mejor integración de la forma en la arquitectura, y el desempeño térmico y energético de la envolvente. La investigación se desenvuelve dentro del diseño bioclimático, que tiene como fin el ahorro energético, que ha sido estudiado en diferentes campos, entre ellos el diseño, donde se han desarrollado estrategias pasivas para el ahorro energético generado por el uso de sistemas activos de climatización, usado para solventar el estrés térmico debido a las altas temperaturas. Dentro de las estrategias para mitigar la ganancia de calor se contemplan la radiación, conducción, convección, ganancia interna y mecánica, de un edificio. Para nuestra investigación se tomará en cuenta estas variables, sobre todo el efecto de la radiación solar y conducción térmica de los diferentes tipos de formas de las envolventes, para poder anticipar posibles patrones de comportamiento, y con ello poder elegir las estrategias de aislamiento adecuadas para el tipo de forma.

La investigación se realizará a partir de las condiciones del clima cálido húmedo, ya que es uno de los climas más extremos que tenemos en el país, y genera efectos tanto ambientales (consumo energético), como psicológicos y metabólicos en el usuario, donde poder realizar sus actividades sin el uso de un equipo de aire acondicionado es casi imposible, ya que aunque se propongan las estrategias pasivas adecuadas para el edificio, hay un periodo de tiempo en que se vuelve insuficiente y se echa mano de los equipos activos. Para poder determinar ese periodo de tiempo, se seleccionó un día de experimentación, mediante el análisis de geometría solar, y evaluación de datos climáticos, que se describirá en la metodología, con este dato se busca localizar el día más extremo y obtener la

información del comportamiento térmico y energético de las formas. Cabe mencionar que esta experimentación se realizó mediante simulaciones térmicas hechas con el motor de simulación “Energy plus” y el software Design Builder, con un flujo de trabajo de modelado de los prototipos en el software Revit, primeramente.

Fue necesario consultar bibliografía que diera soporte a esta investigación y con ello poder armar nuestra metodología de trabajo. Actualmente en México se han generado dos normas que optimizan el gasto energético para control térmico mediante aire acondicionado, y son la NOM-ENER-008-2001 y la NOM-ENER-020-2012; ambas enfocadas a la eficiencia energética de las envolventes de edificios, la primera para uso comercial y la segunda para uso habitacional, cobijadas en instituciones y documentos como el “Handbook de la ASHRAE”, o la CMIC (Cámara Mexicana de la industria de la construcción), la CFE (comisión federal de electricidad), el instituto de ingeniería de UNAM, entre otras; donde se explica el proceso para determinar el cálculo de la eficiencia energética, por resistencia térmica de los materiales de los sistemas constructivos, analizado por el cálculo de ganancia de calor por radiación y conducción primordialmente. El proceso se hace mediante el análisis de las capas de los materiales de los sistemas de muros y cubiertas. Esta norma actualmente no contempla el conjunto de la edificación completa, solo se enfoca a las resistencias térmicas de las envolventes (muros y techos).

Se han desarrollado también investigaciones que describen el factor de la forma como elemento para el ahorro energético en diferentes situaciones, tal como lo describe Olgyay (1998) con el estudio del factor de la forma (FF), que es el cociente entre la superficie total de la envolvente y el volumen concentrado del edificio. Dicho estudio se describe las recomendaciones de las disposiciones formales con respecto al tipo de clima que impere en el sitio, por ejemplo, en viviendas con climas extremos tanto frío como cálido se recomienda un factor de forma de 0.5 a 0.8, que sean compactas para evitar la mayor exposición de la superficie con el entorno. Otros autores como Ourghi, Krarti, & Al-Anzi (2007) han

usado el factor de la forma para ahorro energético en la calefacción de edificios, donde el mayor uso de este factor ha sido contemplado para climas gélidos, además, el factor de la forma ha sido desarrollado para cálculo de formas esféricas o cilíndricas, mediante cálculo integral.

Existe otro factor de forma diferente al de superficie/volumen, dado que no ha sido tan concreto en demostrar la situación real de la forma, por ejemplo Esteves, Oliva, & Gelardi (2019) generaron el factor de área de la envolvente-piso (FAEP), que expresa la relación entre el área de la envolvente y la superficie de piso y el número correspondiente que indica las veces que la superficie de la envolvente contiene a la superficie de piso. Otras alternativas en cuestión de cómo la forma se involucra con la eficiencia, es de acuerdo a la orientación del emplazamiento donde Olgay (1998) dispone de diferentes situaciones de eje térmico.

Existen otras investigaciones acerca de cómo optimizar energía mediante la forma del edificio usando la metodología de ecuaciones de la forma llamada "shape grammar", dichas ecuaciones cumplen cierta programación de pruebas lógicas, en el que se van analizando relaciones, proporciones, tamaños, funcionamiento, y mediante el estudio de estos van tomando decisiones de la mejor alternativa. Granadeiro, Duarte, Joao, & Victor (2013) describe un proceso de cómo poder analizar un modelo de shape grammar mediante esta metodología. Sin duda esta metodología podría ser parte del proceso de la generación de nuevos indicadores a realizarse en esta investigación.

JUSTIFICACIÓN

México se ha comprometido a reducir las emisiones de CO₂ en el marco del acuerdo de París de la Asamblea General de la Naciones Unidas (El informado mx, 2016), entre las estrategias que ha establecido se encuentra el ahorro energético para la vivienda. De los aparatos eléctricos que más dispone de energía para su

uso es el del aire acondicionado. Y es por este motivo que la presente investigación se justifica, en aumentar la eficiencia energética reduciendo el uso del aire acondicionado para lograr el confort térmico, sobre todo en climas cálidos. Según la comisión nacional de uso eficiente de la energía (CONUEE), las edificaciones en climas cálidos superan de dos a cinco veces el consumo de ciudades con climas templados.

Uno de los factores que aumentan el uso del aire acondicionado, es la envolvente del edificio, debido que su superficie está expuesta al asoleamiento y genera altas ganancias por conducción por eso la investigación está relacionada con la determinación de indicadores o análisis paramétrico del comportamiento de la forma de la envolvente con factores climáticos.

La investigación se delimitará a estudiar la forma de la envolvente como factor para la eficiencia energética, esto debido a que es uno de los elementos con que el arquitecto más interactúa en el proceso de diseño, y sin embargo no existe tanta información disponible para la toma de decisiones en la propuesta de la forma. Como se describió en los antecedentes existen factores de forma que se utilizan para determinar el uso de calefacción en países nórdicos tomando en cuenta el factor de compacidad (relación entre superficie de la envolvente y volumen de este), o en su caso han dotado de estrategias de apertura del edificio hacia cierta orientación dependiendo el clima en el que se encuentren. Sin embargo, la investigación pretende contextualizar el comportamiento de la forma para localidades de clima cálido en México.

Además, la forma es uno de los elementos que caracteriza a la arquitectura. A veces sobrevalorada y con el fin de exaltar las edificaciones, creando elementos con aspectos y materiales que vulneran el confort térmico al interior, provocando un uso indiscriminado de energía para mitigar el estrés térmico. Por esta razón el ofrecer material para anticipar el comportamiento de las envolventes proyectadas, durante el proceso de diseño y con ello crear alternativas para que la propuesta de

forma durante su proceso creativo pueda ofrecer confort térmico y con ello reducir el uso del aire acondicionado.

Vivimos ahora en la arquitectura un cambio de paradigma que se ha creado con la palabra sustentabilidad. A lo largo de las últimas décadas hemos sido partícipes de un nuevo modelo de proceso de diseño que va acompañado de estrategias que mitiguen el gasto energético y el ahorro de recursos. Iñaki Ábalos indica en su libro ensayos de la termodinámica, arquitectura y belleza, que muchos cambios ocurrieron cuando la arquitectura empezó a ver a la sustentabilidad como un nuevo proceso de hacer arquitectura responsable. Muchos políticos, investigadores y el propio mercado se sumaron a él con la intención de tomar partido y convirtieron el papel de los arquitectos como decoradores de fachadas verdes. Sin embargo, la redefinición del problema y la especialización del fenómeno de la termodinámica y la energía se fue integrando más en la parte arquitectónica hasta ir logrando una cohesión entre sustentabilidad y arquitectura creando una nueva postura de belleza creado por la forma, materiales, espacio y un programa de alcance ilimitado de posturas arquitectónicas (Ábalos & Sentkiewicz, 2015).

Se espera que esta investigación genere recomendaciones del uso de la forma en climas cálidos, ampliando las posibilidades de diseño de la forma de las envolventes.

El desarrollo de esta investigación estará dirigido por asesores que han sido parte de investigaciones dentro de la arquitectura y la eficiencia energética, además he realizado investigaciones de la misma línea de investigación (diseño arquitectónico sustentable), como la del comportamiento de las aplicaciones de sistemas pasivos de climatización en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y la del análisis económico de este tipo de proyectos.

La pertinencia de que CONACYT apoye esta investigación radica en la generación de nuevos conocimientos para el ahorro energético mediante la optimización del uso del aire acondicionado en climas cálidos.

PROBLEMÁTICA

La alta demanda energética de los edificios es una problemática que actualmente ha generado estragos ecológicos como el efecto invernadero o la misma contaminación creada por su generación y transformación. Según la ONU:

En el 2012, el suministro global de energía fue de 83,1% en combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas), 9,7% en energía nuclear, y sólo 9% en energías renovables (eólica, hidroeléctrica, solar y biomasa). Este consumo energético puede originarse por diversos factores, la falta de iluminación, *el consumo eléctrico de equipos para la realización de las actividades de los usuarios, así como la mitigación del estrés térmico generado por la desconsideración de características climáticas del sitio, y de la actividad generada en el espacio* (ONU HABITAT, 2012).

El mayor consumo que tiene un edificio situado en climas cálidos es el aire acondicionado usado para el confort térmico según la CONUEE:

El uso de electricidad para confort térmico en zonas de clima cálido representa más del 30% de todo el consumo eléctrico del sector residencial y seguirá creciendo, dado que es una necesidad insatisfecha que crece a medida que zonas de clima cálido se urbanizan. Tan solo en los últimos cuatro años la demanda eléctrica por confort térmico ha crecido más de 50% en zonas bajo tarifas 1B y 1C (CONUEE, 2017, p. 3).

Este fenómeno es más recurrente en zonas cálidas donde tienen características climáticas más extremas, donde el uso de un edificio sin aire acondicionado es casi imposible.

Se estima que el sector de la vivienda es responsable del 4.5 por ciento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en México, lo que representa el 17 por ciento del consumo total de energía y el 26 por ciento del consumo total de electricidad (Comisión Nacional de la Vivienda, 2016).

Muchas veces los edificios de esta zona ni siquiera toman en cuenta aspectos bioclimáticos para la generación de confort térmico de forma pasiva, y aunque existen numerosas alternativas, pocas son las que tienen que ver con la forma de la envolvente del edificio. En muchos casos este podría ser partícipe de un factor de la eficiencia energética por el desuso de los sistemas activos de climatización (sistemas que mitigan el estrés térmico de un edificio, usando energía).

El proceso de diseño muchas veces no toma en cuenta el impacto que tendrá diversas características de la forma, sobre todo en el sentido térmico, en parte por lo difícil que es hacer un análisis eficiencia térmica y de energías y se pasa por alto este tipo de información (Granadeiro, Duarte, Joao, & Victor, 2013). La calidad formal de una envolvente puede variar el gasto energético dependiendo a su exposición a radiación directa, la resistencia térmica de sus materiales, la textura, morfología, proporciones, eje térmico, cantidad de iluminación, apertura para ventilación, etc.

Es un hecho que la generación de una simulación térmica, es un proceso complicado, tanto por el protocolo meticuloso de la elaboración del modelo; la creación de datos de elementos como muros, suelos y techos (que aquí es donde muchas veces puede fallar, debido al error humano del manejo de la información) y la obtención de un archivo climático que ayude a realizar este proceso. Las simulaciones térmicas por lo general se elaboran una vez teniendo la propuesta hecha, y las correcciones que tengan que hacerse al proyecto pueden dificultarse más. Esta investigación pretende información durante el proceso de diseño para mejorar el flujo de trabajo de los diseñadores.

Actualmente en México existe la NOM-ENER-008-2001 que y la NOM-ENER-020-2011, ambas ofrecen recomendaciones de creación de envolventes, y aunque dotan de alternativas que no contiene información acerca de cómo la forma de un edificio puede influir a la eficiencia energética, ni existe un factor de ella.

Además, aunque existen investigaciones sobre este género muchas de ellas solo dan recomendaciones de manera general, y solo lo hacen en relación a su orientación por los puntos cardinales, o en su caso hay investigaciones de cómo han estudiado propiedades de diferentes formas, pero con contextos de latitudes por encima al trópico de cáncer, donde el clima llega a ser muy gélido y buscan la compacidad para optimizar la calefacción.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La falta de información del comportamiento de la forma de la envolvente de un edificio en climas cálidos, no anticipa el comportamiento térmico y no ayuda a la toma de decisiones formales durante la conceptualización de un proyecto arquitectónico.

II. ANTECEDENTES

El estudio de la forma de las envolventes para el ahorro energético ha sido estudiado por otros investigadores. Estas investigaciones sirvieron como casos de referencia, tal es el caso de Granadeiro, Duarte, Joao, & Victor (2013) quienes realizaron un propuesta estudio de la forma mediante shape grammar y diseño paramétrico para la eficiencia energética, que sirvió como ejemplo del manejo de la información formal mediante ecuaciones y diseño generativo, y en su caso poder generar programaciones lógicas de los resultados obtenidos. También se utilizó de ejemplo la investigación de Ourghi, Krarti, & Al-Anzi (2007), quienes mediante el uso de factores de forma mejoran la eficiencia energética regulando la calefacción en climas gélidos. Este último se usó como caso de estudio para retomar conceptos que nos ayudó a plantear la metodología para climas cálidos como en su caso lo usaron para climas fríos.

Las referencias que sirvieron como base de la investigación se dividen en tres, el primero referente a la teoría de la forma en el diseño, que explica y cataloga sus características, para entender la morfología de las envolventes del edificio, y también fue necesario estudiar sus cualidades, para ello se recurrió a teóricos de la geometría. La forma está compuesta por contorno, tamaño, color, textura, orientación y transformación (Ching F. , 1998), elementos que afectan o mejoran el desempeño de la envolvente en la conducción térmica, el estudio de estas cualidades será el que determinen los elementos a experimentar.

Además de estudiar estas cualidades, es importante conocer las transformaciones que se presentan en la forma, en este se usó la clasificación y la caracterización hecha por Di Mari & Yoo (2018), quienes despliegan una amplia gama de modificadores de la forma a través de la sustracción, adición y dimensionamiento, con la que se podrá hacer una selección de los diferentes prototipos a caracterizar. También se tomará en cuenta la tipología de las formas usadas en el diseño arquitectónico descrita por Baires (2016) para poder homologar las formas más usadas en la arquitectura.

El segundo grupo de referencias estarán compuestas por literatura que nos sirvió para conocer cómo influye el clima en el comportamiento térmico de las edificaciones. Se utilizó de referencias a Olgyay (1998), quien describe las variables climáticas que influyen en el estrés o confort térmico, así como las estrategias pasivas para contrarrestarlas. También fue necesario conocer como la radiación solar influye sobre las envolventes de los edificios, para ello se utilizaron estudios de geometría solar como la de Lacombe (1991), así también se estudiará a Yáñez Parareda (2008) quien en su libro compila antecedentes históricos de estrategias bioclimáticas, además de conceptos elementales de transmisión de calor y comportamiento térmico de edificios. También se analizó a Neila González (2004) que describe estrategias pasivas para verano e inviernos.

Según la norma ISO 7730, el confort térmico “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Depende directamente de

los parámetros globales externos: la temperatura del aire, la velocidad y la humedad relativa, y también de parámetros específicos como la actividad física desarrollada, el metabolismo o la cantidad de ropa. Para el estudio del cálculo del confort térmico para la determinación de cuando se debe de usar aire acondicionado en el simulador y el cálculo energético que se genera por el uso de este, se usaron las bibliografías de López & Rodríguez Torres (2016), así como de Chavez del Valle (2002) quienes clasifican los modelos de cálculo de confort térmico, ya que estos pueden ser teóricos, empíricos y adaptativos.

También para entender cuáles son las condiciones que caracterizan a un clima cálido y cómo clasificarlo, se estudió a García (1998) quien en su libro clasifica las diferentes zonas climáticas de México y describe que el clima cálido en México es aquel que se encuentra por debajo de la latitud 24° norte, su temperatura media en el mes más frío está por arriba de los 18°C y no se encuentra por arriba de los 800 a 1000 sobre el nivel del mar.

Para sustentar teóricamente el estudio de las ganancias de calor de un edificio se utilizó la bibliografía de Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, & Szokolay (2010) donde explican el cálculo de los cinco diferentes tipos de ganancias de calor (conducción, radiación, convección, ganancia interna y mecánico). Este libro y sus autores han sido pilares para otras investigaciones relacionadas al estudio energético y dinámica de fluidos.

El tercer grupo de referencias estará compuesto por temas de eficiencia energética, en primer lugar, las normas NOM-008-ENER-2001 y NOM-020-ENER-2012 que serán las que se utilizarán para el marco normativo de la investigación, que son las que regulan el consumo energético en edificios públicos y residenciales en México. También se usaron referencias que ayudan a la mejora del gasto energético internacionalmente como (Passive House Association, 2014) y (ASHRAE, 2012).

Al igual es necesario abordar temas de como la eficiencia energética y el bioclimatismo que se han ido amalgamando con el diseño arquitectónico, para ello se tomara en cuenta investigaciones de cómo estas alternativas deben de abordarse sin ser una barrera creativa para el diseñador. Entre los que han estudiado este tema se encuentra (Shi, Tian, Chen, Si, & Jin, 2016) donde describe cómo abordar desde el diseño arquitectónico la eficiencia y las simulaciones energéticas y la de (Ábalos & Sentkiewicz, 2015) quien describe un nuevo concepto de diseño arquitectónico tomando en cuenta a la termodinámica de los edificios.

A continuación, se presentan las variables que tendrá la investigación:

Variables dependientes

Para la investigación tendremos dos valores dependientes y son el **comportamiento térmico** y el **comportamiento energético** de los prototipos a experimentar. Se toman como variables dependientes porque son la que se moverán respecto a las variables independientes que son: la forma de la envolvente, los sistemas constructivos de los cerramientos (muros y cubiertas), la orientación, y el clima del lugar. Según (Passive House Association, 2014) el consumo energético en la unión europea es de 15 kwh/m² anualmente para que una edificación tenga eficiencia energética, y se obtendrá el rango de confort térmico del sitio para que bajo esas premisas podemos calificar cuál de los prototipos de las formas de la envolvente, puede ser más eficiente.

Variables independientes

Se toman como variables independientes a los siguientes:

- La forma de la envolvente:

La característica de la forma de la envolvente que se estudió en esta investigación fue el contorno, característica morfológica que tiene la estructura exterior de un edificio. “Envolvente de un edificio: está formado por techo, paredes, vanos, pisos y superficies inferiores, que conforman el espacio interior de un edificio” (Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, 2001, pág. 62).

Aunque por esta investigación es una variable independiente, para lograr eficiencia energética, en posteriores estudios se utilizarán cuando se busquen aplicaciones para el estudio de la forma, podrá llegar a ser una variable dependiente que lo condicionen el diseño, el clima y la eficiencia energética, por ejemplo, si se hiciera un algoritmo que de propuestas formales una vez colocando indicadores de orientación, clima o tamaño.

- Orientación del asoleamiento:

La orientación del asoleamiento se refiere a la disposición del edificio con respecto a los puntos cardinales. Actualmente en el diseño arquitectónico es una de las estrategias bioclimáticas más usadas dentro del proceso arquitectónico, (Olgyay, 1998) propone varios escenarios de propuesta arquitectónica en cuanto la disposición del espacio y la forma del edificio, debido a que el asoleamiento aumenta la ganancia térmica, y dependiendo del caso esta estrategia ayuda a mitigar o a proteger.

- Clima:

Esta variable es importante para poder situar espacialmente los resultados obtenidos de la experimentación.

III. OBJETIVO:

Caracterizar la forma de la envolvente de un edificio en climas cálidos húmedo, para la generación de información que ofrezca datos y recomendaciones

de eficiencia energética de una propuesta de forma, durante al proceso de conceptualización en el diseño arquitectónico.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Generar un factor de forma con base en la morfología de la envolvente y el volumen, para climas cálidos húmedos.
- Crear análisis paramétrico de los resultados de las simulaciones de las formas en relación al consumo, material y el factor de la forma.
- Catálogo de las formas para la eficiencia energética, y su comportamiento en diferentes climas.
- Recomendaciones de eficiencia energética con respecto a la disposición del diseño de la forma en climas cálidos

IV. HIPÓTESIS:

Con la caracterización de las formas de la envolvente de un edificio en climas cálidos, se podrá optimizar la eficiencia energética de la propuesta desde el proceso de conceptualización del diseño arquitectónico.

V. MARCO TEÓRICO

MARCO REFERENCIAL

Arquitectura, clima y energía

La relación que tienen la arquitectura y la energía, no es propia de las últimas décadas, donde los estudios de arquitectura sustentable han cobrado gran importancia, si no que a lo largo de la historia las civilizaciones han creado y adaptado sistemas donde no solamente pueden coexistir, sino que se le saca el mayor provecho de acuerdo a las condiciones climáticas adversas en las que se sitúan.

Se entiende al sol, como la principal fuente de energía, según Mazra (1979) desde que se genera en su núcleo a 14,000 °C, hasta que es percibida por la atmosfera terrestre por medio de longitudes de ondas electromagnéticas a una velocidad de 300,000 km/h, compuesta por 45% de longitudes de ondas visibles (colores, azul, verde, amarillo y naranja), otro 45% de luz infrarroja y el remanente de compuesta por luz ultravioleta; desencadena reacciones, que las conocemos como fenómenos meteorológicos, tales como viento, precipitación, comportamiento térmico, humedad, entre otros.

Además, de la radiación solar también se obtienen diferentes fuentes de energía, como la solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica entre otros; el total de energía que llega hasta la tierra es 35,000 veces el total del consumo humano en un año (Mazria, 1979).

Lacomba (1991) clasifica las variables climáticas de la siguiente manera:

Variables:

- Termodinámicos: Temperatura, presión y vientos.
- Acuosos: Humedad, precipitación y nubosidad.

Factores que cambian los parámetros de las variables:

- Cósmicos: Forma de la tierra, movimiento terrestre y el sol
- Geográficos: Altitud, longitud, latitud, naturaleza del suelo, relieve, composición atmosférica, agua y vegetación.

Son estas variables con las que el ser humano ha ido coexistiendo en su habitar, y la historia de la arquitectura vernácula es prueba de ello. La relación entre ser humano y entorno la describe Ábalos (2015) como *somatisms*, que se refiere a los mecanismos neuronales, que van desde la piel al cerebro, mediante procesos de cognición que este mapea, con sensaciones de bienestar, miedo, placer, dolor, gustos o disgustos. Que van escalando desde lo individual a lo social o colectivo.

También se reconoce que existen patrones específicos que se reflejan en la arquitectura vernácula, que surgieron de los estudios físicos y químicos (muchas veces a prueba y error) de los materiales en el ambiente en el que se situaban. Estas tipologías que iban desde ornamentos, sistemas constructivos, orientaciones y morfologías, fueron el preámbulo de la relación que tenemos los arquitectos con el ambiente.

Y esta morfología es la que se le conoce como “Body” integrado por el cuerpo humano, arquitectura interior y el espacio urbano, siendo el sistema de regulación que puede lograr una expansión de las especies en la ciudad como una construcción biológica artificial (Ábalos & Sentkiewicz, 2015).

La termodinámica en el cuerpo humano está constituido por factores físicos, metabólicos y psicológicos, estas variables han sido estudiadas por diferentes teóricos y se han generado diferentes índices como promedio predictivo PMV (por sus siglas en inglés: *Predicted Mean Vote*), diferentes índices como *Predicted Mean Vote* (PMV por sus siglas en inglés), “el Universal Thermal Climate Index”, o “el Standar Effective Temperature”. En la Figura 1 se puede observar las diferentes interacciones que tiene el ser humano con el espacio urbano.

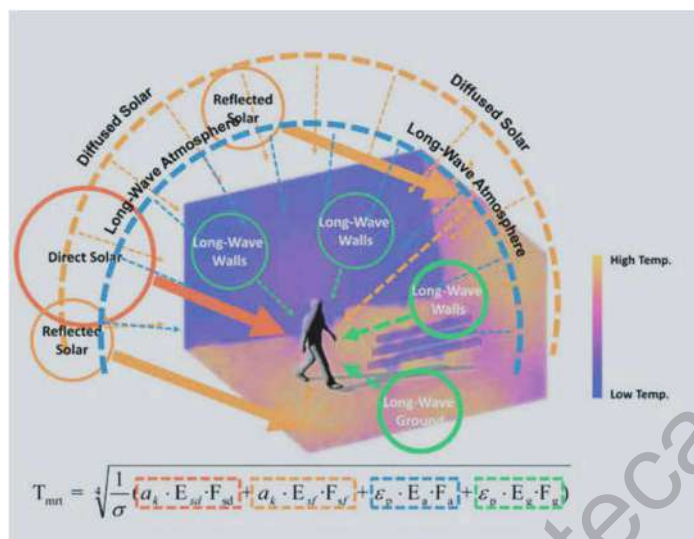


Figura 1. Diagrama y formula de interacciones térmicas en el ambiente urbano. Jianxiang Huang. Fuente: (Ábalos & Sentkiewicz, 2015)

De la misma forma, los edificios tienen una relación muy parecida con el cuerpo humano en cuanto a la exposición con el ambiente, en especial en climas tropicales la variable que más afecta a los edificios y el confort interior es la radiación solar. En la Figura 2 se observa los diferentes tipos de radiación con la que los edificios interactúan.

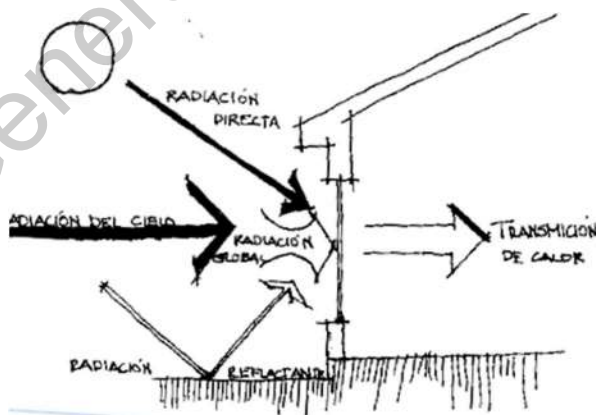


Figura 2 Tipos de radiación solar que intervienen en las edificaciones. Fuente: Elaboración propia.

El factor de la forma

La forma en la arquitectura sin duda es un condicionante importante en el proceso de diseño, en la actualidad esta cualidad en gran medida es generada por los materiales estándares que tenemos en el mercado, teniendo así una inclinación más hacia el material, que hacia la cualidad que la forma de la envolvente necesita según el tipo de ambiente. Olgay (1998) habla acerca de las formas en la naturaleza y como éstas son condicionadas por su medio ambiente, por ejemplo, las hojas de las plantas en una selva tropical son diferentes que las que están en un desierto, y que en la arquitectura debería tomarse en cuenta esa condicionante.

Uno de los primeros en estudiar las propiedades morfológicas de edificios, para el mejor uso de la energía, fue Víctor Olgay, generando un estudio de orientación del emplazamiento y la compacidad¹ de edificios. Este estudio se realizó determinando cuatro tipos de climas en los Estados Unidos (Frío, templado, cálido seco y cálido húmedo), utilizando la formula (mostradas en la Tabla 1) para transferencia de calor al interior por las envolventes tanto de superficies opacas como de superficies vidriosas. Estas fórmulas se usaron para fechas de estudio en verano e invierno, en viviendas con superficies, proporciones, materiales, porcentajes de vidrios y orientaciones similares. Los resultados de la experimentación se muestran en la Figura 3.

¹ Característica formal de un edificio que está condicionada por la relación del volumen interior de un edificio entre la superficie total de envolvente.

Tabla 1. Formula de transferencias de calor por envolvente de los edificios.

<p>Fórmula para calcula la transferencia de calor al interior del edificio mediante sus envolventes opacas.</p>	<p>Descripciones variables.</p>
<p>$C = U (t_m - t_i) - \lambda U (t_o - t_m)$</p>	<p>U: Total coeficiente de calor (Btu/ft²/hr). t_o: Temperatura del aire exterior. t_i: Temperatura del aire interior. t_m: 24 horas cíclicas de Temperatura media de sol-aire (es una variable que se utiliza para calcular la carga de refrigeración de un edificio y determinar la ganancia total de calor a través de las superficies exteriores).</p>
<p>Fórmula para determinar la transferencia de calor por superficies vidriosas.</p>	<p>t_o: Temperatura sol-aire antes del time lag. λ: Factor de amplitud de decremento. a: Absortividad del muro.</p>
<p>$C = ID (T_D * a_D) + I_d(T_d * a_d) + U(t_o - t_i)$</p>	<p>D: Radiación directa. d: Radiación difusa. I: Incidencia de radiación solar (Btu/ft²/hr). T: coeficiente de transmitancia de radiación solar.</p>

Dirección General de Bibliotecas UAG

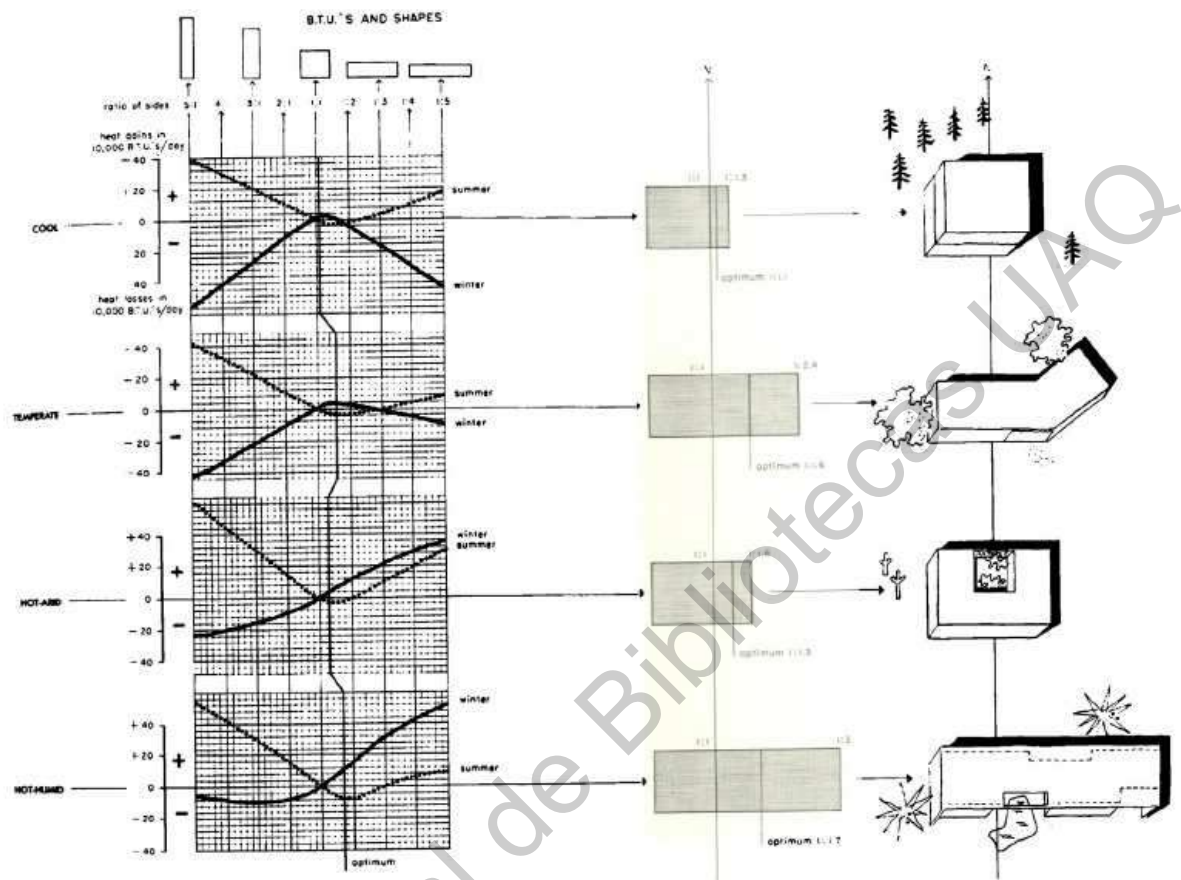


Figura 3 Resultados y disposiciones de emplazamientos de edificios según el tipo de clima. Fuente: (Olgyay, 1998)

De los resultados se infiere que para el clima frío, es preferible un edificio compacto con proporción 1:1.3, con mayor elongación al este-oeste, que permita la mayor captación de radiación en el invierno y tenga menos superficie de envolvente este-oeste, para evitar menos captación en verano.

El clima templado tiene más oportunidades morfológicas, sin embargo, es recomendable tener una elongación más norte-sur, para evitar mayores captaciones de radiación en verano en el este-oeste, que es la orientación más crítica en esta estación. Además, que también puede ser recomendable el emplazamiento cruzado. Una proporción 1:1.6 con favor al norte-sur es la mayor opción.

El clima cálido seco, es muy radical, dado que las dos estaciones son muy extremas, por lo que se recomienda una proporción 1:1.3 con elongación al norte-sur, y aplicar medidas correctivas para evitar mucha radiación.

El clima cálido húmedo se recomienda una proporción 1:1.7, también con elongación al norte-sur, para evitar incidencias del este y oeste. Como característica es que el invierno en este tipo de clima no es tan estresante como en los otros.

El clima cálido es un tipo de clima que, dependiendo de las variables geográficas, puede variar su comportamiento. Aunque el experimento fue realizado en la ciudad de Miami, con una latitud de 25.77° norte, las conclusiones obtenidas de estas metodologías son de gran ayuda para tenerlas de antecedentes, de las cuales podemos enlistar las siguientes:

- La mejor forma para este clima es la alargada de este a oeste, dejando más superficie de envolvente al norte sur.
- La forma cuadrada no es recomendable para este tipo de clima, pero es mucho peor que esta alargada norte sur, con más exposición al este-oeste.
- En latitudes por debajo de la latitud 20° norte, se debe tener cuidado porque, aunque la frecuencia de incidencia de radiación es baja, tiene mayor potencia y el periodo de verano puede ser muy estresante.

De Olgyay se tomó para la metodología que, de todas las ganancias de térmicas de un espacio, solo se involucraron las de transferencias de macizos y vidrios, que dentro de las fórmulas toman en cuenta la radiación directa y difusa. También la selección de dos días de estudio para la realización de las simulaciones y se realizó la experimentación, no tanto hacia el enfoque de las orientaciones y la disposición formal por eje térmico, si no a las cualidades morfológicas (cónicas, esferas, planas y piramidales), aunque si se hicieron pruebas de compacidad.

Otro tema importante que nos sirvió para establecer la metodología de la experimentación, fue la del factor de la forma (FF). Este factor es muy usado para establecer rango de eficiencia energética por la compacidad de un edificio, en climas

fríos, sin embargo, no se localizó un factor de la forma para climas cálidos, por lo que se pensó que sería un área de oportunidad interesante, para tener un parámetro más en nuestro proceso de diseño y estrategias bioclimáticas.

El factor de la forma es tal vez el indicador más usado por normativas y estándares como el parámetro para medir la eficiencia de la propuesta formal, y calculado a partir de la relación del total de superficie de la envolvente entre el volumen total interior del edificio (se muestra el desarrollo en la Tabla 2).

Tabla 2. Factor de la forma. Fuente: (Esteves, Oliva, & Gelardi, 2019).

Fórmula	Descripciones variables.
$FF = \frac{\text{Área de muros} + \text{Áreas de techos}}{\text{Volumen}}$	a: alto b: ancho L: largo
$FF = \frac{2 * a * L + 2 * b * L}{a * b * L}$	
$FF = \frac{2(a + b)}{a * b}$	

Se presenta en la Tabla 3 algunos factores de forma para algunas formas básicas.

Y aunque aparentemente puede ser un factor muy funcional, puede ser que el dato sea un poco confuso, debido a que puedes llegar al mismo factor con valores diferentes, además de que los datos parecidos pueden tener volúmenes muy diferentes, con comportamiento energéticos muy polarizados. Existen otras variaciones del factor de la forma, como la de factor área de envolvente piso (FAEP) que se calcula mediante la relación de la superficie total de la envolvente sobre la superficie total de piso o firme. Esto ayuda a que se pueda palpar más el volumen total del edificio.

Tabla 3 Factor de forma (FF) para diversos volúmenes.

FORMA VOLUMÉTRICA	b = 3	b = 6	b = 9	b = 12	b = 15	b = 20
Prisma a=9	1.22	0.89	0.78	0.72	0.69	0.66
Prisma quebrado c=b	1.44	1.11	1.00	0.94	0.91	0.88
Prisma quebrado c=b/2	1.33	1.00	0.89	0.83	0.80	0.77
Const. en altura (3 piso)	1.00	0.67	0.56	0.50	0.47	0.43
Const. en altura (5 piso)	0.96	0.62	0.51	0.46	0.42	0.39
Const. en altura (piso interm.)	0.89	0.56	0.44	0.39	0.36	0.32
Prisma techo incl. 10°	1.20	0.84	0.71	0.64	0.59	0.54
Prisma techo incl. 30°	1.19	0.80	0.65	0.57	0.51	0.45
Prisma techo incl. 60°	1.25	0.80	0.63	0.54	0.48	0.42
Prisma techo dos aguas 10°	0.83	0.51	0.40	0.35	0.31	0.29
Prisma techo dos aguas 30°	0.74	0.43	0.34	0.30	0.28	0.26
Prisma techo dos aguas 45°	0.67	0.39	0.31	0.28	0.26	0.25
Prisma techo dos aguas 60°	0.58	0.34	0.28	0.26	0.25	0.24

La fórmula representa el total de volumen y superficie de un edificio, desplantado sobre unas superficies, se muestra en la Tabla 4. Y también se muestra los factores idóneos para FAEP de diversos volúmenes en la Tabla 5.

Tabla 4. Factor de área de envolvente piso (FAEP). Fuente: (Esteves, Oliva, & Gelardi, 2019)

Fórmula	Descripciones variables.
$FF = \frac{\text{Área de muros} + \text{Áreas de techos}}{\text{Volumen}}$ $FF = \frac{2 * a * L + 2 * b * L}{a * b * L}$ $FF = \frac{2(a + b)}{a * b}$	a: alto b: ancho L: largo

Tabla 5 Factor de área de envolvente piso (FAEP) para diversos volúmenes. Fuente: (Esteves, Oliva, & Gelardi, 2019)

FORMA VOLUMÉTRICA	b = 3	b = 6	b = 9	b = 12	b = 15	b = 20
Prisma a=9	3.67	2.67	2.33	2.17	2.07	1.97
Prisma quebrado c=b	4.33	3.33	3.00	2.83	2.73	2.63
Prisma quebrado c=b/2	4.00	3.00	2.67	2.50	2.40	2.30
Const. en altura (3 piso)	3.00	2.00	1.67	1.50	1.40	1.30
Const. en altura (5 piso)	2.87	1.87	1.53	1.37	1.27	1.17
Const. en altura (piso interm.)	2.67	1.67	1.33	1.17	1.07	0.97
Prisma techo incl. 10°	3.92	2.98	2.70	2.59	2.55	2.55
Prisma techo incl. 30°	4.59	3.78	3.64	3.67	3.76	3.98
Prisma techo incl. 60°	6.98	6.55	6.80	7.21	7.69	8.55
Prisma techo dos aguas 10°	3.74	2.80	2.53	2.42	2.38	2.37
Prisma techo dos aguas 30°	4.01	3.21	3.07	3.09	3.18	3.40
Prisma techo dos aguas 45°	4.41	3.75	3.75	3.91	4.15	4.60
Prisma techo dos aguas 60°	5.24	4.82	5.07	5.48	5.95	6.82

En conclusión, ambos factores estudiados son un buen parámetro para analizar el comportamiento energéticos de los edificios, cabe mencionar que ambos factores comúnmente son usados para análisis de conservación de energía calorífica en invierno, por lo que para esta investigación rescatamos la metodología de parametrización, que nos sirvió para poder generar nuestro parámetro para climas cálido húmedo.

Al hablar de sistemas pasivos de climatización es casi imposible no nombrar a Víctor Olgyay y a Baruch Givoni. Este par de teóricos en cuanto a arquitectura y medio ambiente, han dejado tal vez las herramientas más usadas para el uso de estrategias bioclimáticas en la figura 4 y 5 se presentan los diagramas higrotérmicos creados por ellos, donde mediante el uso de las variables viento, temperatura, humedad, presión, y radiación podemos llegar a estar en confort térmico.

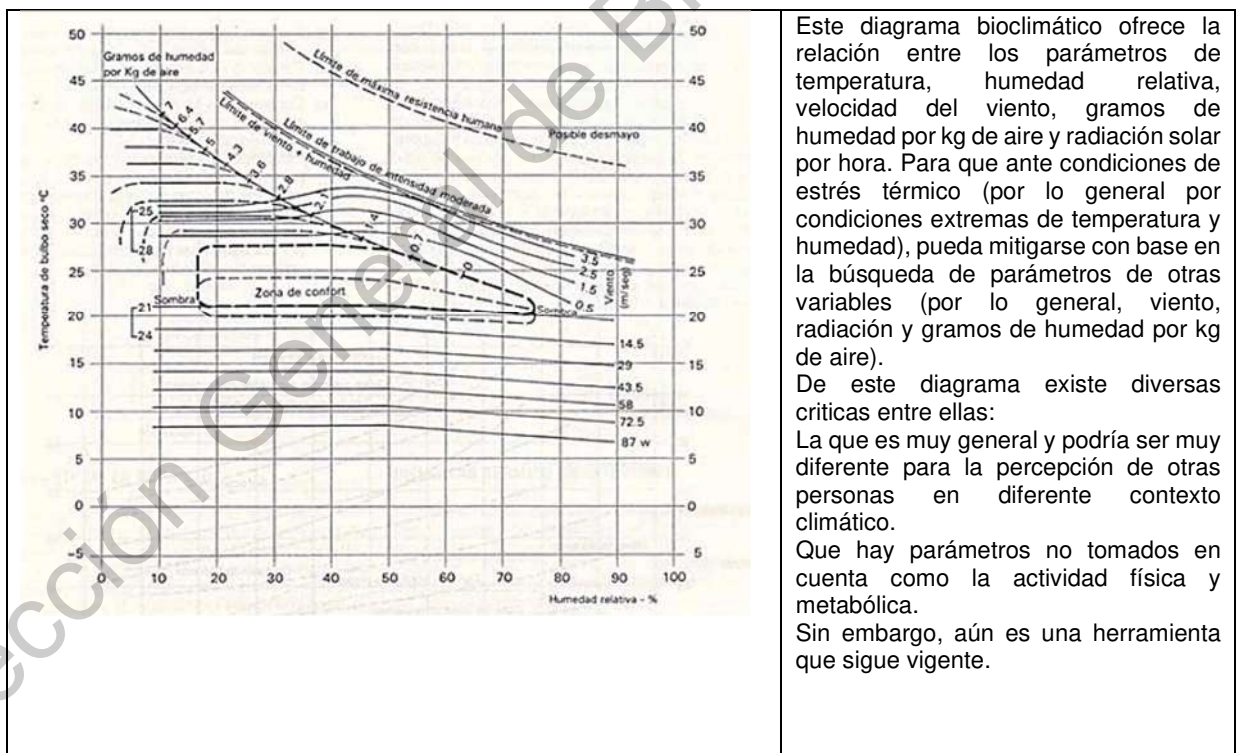


Figura 4 Diagrama Bioclimático Víctor Olgyay. Fuente: (Lacomba, 1991)

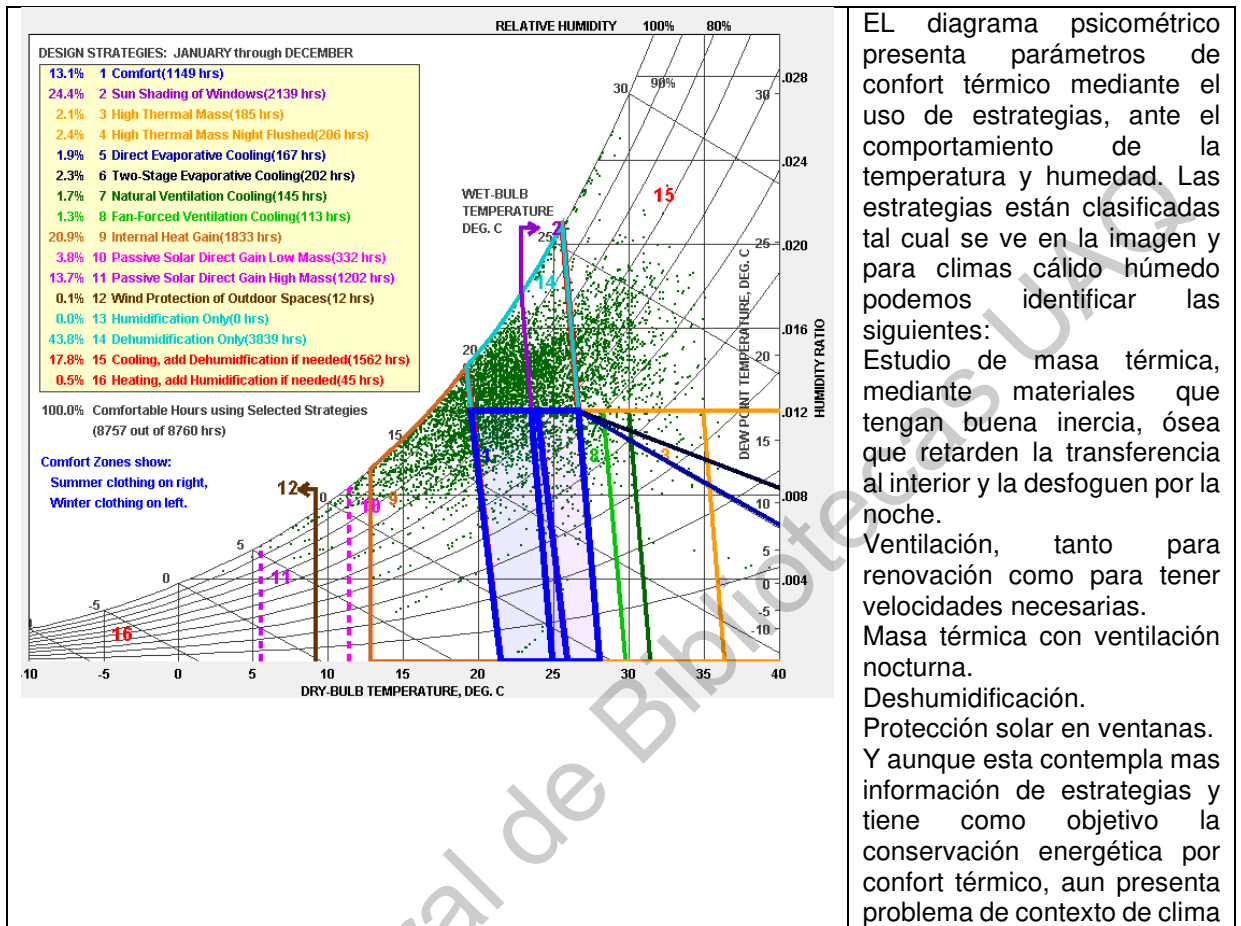
Este diagrama bioclimático ofrece la relación entre los parámetros de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, gramos de humedad por kg de aire y radiación solar por hora. Para que ante condiciones de estrés térmico (por lo general por condiciones extremas de temperatura y humedad), pueda mitigarse con base en la búsqueda de parámetros de otras variables (por lo general, viento, radiación y gramos de humedad por kg de aire).

De este diagrama existe diversas críticas entre ellas:

La que es muy general y podría ser muy diferente para la percepción de otras personas en diferente contexto climático.

Que hay parámetros no tomados en cuenta como la actividad física y metabólica.

Sin embargo, aún es una herramienta que sigue vigente.



EL diagrama psicrométrico presenta parámetros de confort térmico mediante el uso de estrategias, ante el comportamiento de la temperatura y humedad. Las estrategias están clasificadas tal cual se ve en la imagen y para climas cálido húmedo podemos identificar las siguientes:

Estudio de masa térmica, mediante materiales que tengan buena inercia, ósea que retarden la transferencia al interior y la desfoguen por la noche.

Ventilación, tanto para renovación como para tener velocidades necesarias.

Masa térmica con ventilación nocturna.

Deshumidificación.

Protección solar en ventanas.

Y aunque esta contempla mas información de estrategias y tiene como objetivo la conservación energética por confort térmico, aun presenta problema de contexto de clima

Figura 5 Diagrama psicrométrico Baruch Givoni. Fuente: Software Climate Consultant 6.

El estudio de la arquitectura bioclimática contempla estrategias de control y mitigación de estrés térmico por las variables climáticas. Sin embargo, poco se ha estudiado la relación que tiene la morfología de la envolvente y el estudio de compacidad. Por lo que fue una buena justificación la realización de esta investigación para ver que tanto impacto tiene la variable de forma.

Las estrategias de sistemas pasivos tienen como objetivo mantener el confort térmico del ser humano, existen diversos métodos para la poder obtener el rango en el que el humano se siente cómodo, anteriormente se mencionaron algunos, sin embargo, se eligió la de ASHRAE Standard 55, que está basada en la temperatura bulbo seco, así como el nivel de arropamiento (Clo), actividad metabólica (Met), velocidad del aire, humedad y temperatura radiante, este método contempla el uso "Predict Mean Vote" (PMV) previamente citado.

MARCO NORMATIVO

En el plano normativo se abordaron dos líneas, la primera que toma en cuenta las normas de envolventes en nuestro contexto (México) y la segunda que contempla el plano internacional tanto de estándares, normas y certificaciones, para localizar lo que se regido en cuestión de envolvente de edificios, forma y energía.

Normas Nacionales.

Las normas encargadas del tratamiento y selección de materiales de las envolventes en edificios para ahorro energético están a cargo de la NOM-008-ENER-2001 y NOM-020-ENER-2011 la primera enfocada para edificios no residenciales y la segunda para edificios de uso residencial. Además de la Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, quien es la encargada de especificar la resistencia térmica que debe tener un edificio dependiendo de su ubicación climática. En las primeras dos se desarrolla un proceso para el calculo de ganancias de calor por envolvente, y define una plantilla para solicitar el certificado de eficiencia energética por el país. El método de cálculo de coeficiente global de transferencia de calor se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 Calculo de transferencia de calor por envolvente. Fuente: (Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, 2001)

Fórmula	Descripciones variables.
1. $K=1/M$	K: Es el coeficiente global de transferencia de calor de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en W/m ² K M: Aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie en superficie, en m ² K/W
2. $M \text{ (parcial)} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_e} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} \dots + \frac{l_n}{\lambda_n}$	hi: Conductancia interior, en W/m ² k, 8.1 para superficies verticales, 9.4 horizontales con flujo de calor hacia arriba y 6.6 con flujo de calor hacia abajo. he: Conductancia superficial exterior y es igual a 13 W/m ² k n: Número de capas que tiene la envolvente. l: Espesor de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio. g: grueso de la capa no homogénea. F: Fracción del área total de la porción de la envolvente del edificio, ocupada por cada material en la fracción del edificio.
3. $M = \frac{1}{\frac{1}{M_{parcial}} + \frac{F_1}{g/\lambda_1} + \frac{F_2}{g/\lambda_2} \dots + \frac{F_n}{g/\lambda_{1n}}}$	

La NMX-C-460-ONNCCE-2009 tiene como objetivo mejorar las condiciones de habitabilidad y reducir el consumo energético por confort térmico al interior de

los edificios. En la Figura 6 se muestran los parámetros de resistencia térmica adecuadas para cada zona.

Zona térmica No.	Techos m ² K/W (ft ² h°F/BTU)			Muros m ² K/W (ft ² h°F/BTU)			Entrepisos Ventilados m ² K/W (ft ² h°F/BTU)		
	Miníma	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Miníma	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Miníma	Habitabilidad	Ahorro de Energía
1	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	NA	NA	NA
2	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	0,70 (4,00)	1,10 (6,00)	1,20 (7,00)
3A , 3B 3C	1,40 (8,00)	2,30 (13,00)	2,80 (16,00)	1,00 (5,70)	1,23 (7,00)	1,80 (10,00)	0,90 (5,00)	1,40 (8,00)	1,60 (9,00)
4A , 4B 4C	1,40 (8,00)	2,65 (15,00)	3,20 (18,00)	1,00 (5,70)	1,80 (10,00)	2,10 (12,00)	1,10 (6,00)	1,80 (10,00)	1,90 (11,00)



Figura 6. Tabla de resistencias térmicas ideales para cada tipo de envolvente de un edificio. Fuente: https://www.fanosa.com/descargas/normas/norma_C460ONNCE2009.pdf

Estas normas ayudaron a conformar las variables y parámetros que se tomaron en cuenta para la determinación de los materiales y sistemas constructivos en la experimentación.

Normas Internacionales.

De las norma, certificaciones y estándares que contemplan a la envolvente como parámetro de validez localizamos las siguientes:

- Leadership in Energy & Environmental Design (LEED®)

Es quizás la certificación más respetada y reconocida a nivel mundial en el ámbito de edificios sustentables, más orientada al gasto energético y cuenta con cuatro niveles de certificación, dependiendo de los puntos que obtengas las edificaciones: de 40-49 “LEED CERTIFIED”, de 50-59 “LEED SILVER”, de 60-79 “LEED GOLD” y de 80 a más “LEED PLATINUM”.

- (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM®)

El más longevo de los métodos de evaluación y acreditación de este tipo, originado en 1990 en el Reino Unido. El BREEAM ha repartido más de 7800 certificados, y va más allá de su territorio de origen, contando con un listado de 63 países en los que ha ejercido su jurisdicción sustentable. Obtener una certificación de esta índole es más sencillo que las anteriores, puesto que el organismo es altamente flexible, evaluando edificios desde los que están en etapas tempranas de construcción, ya existentes, y los que buscan hacer una renovación de instalaciones.

- Green Building Initiative

Organización estadounidense establecida en el 2004 y licenciada para otorgar la certificación denominada como “Green Globes for New Construction and Continual Improvement of Existing Buildings”, basada en el BREEAM, y que como nos da a entender su nombre, puede aplicarse tanto a edificios a punto de comenzar su etapa de construcción (es necesario que los planos ya estén listos) y obras finalizadas.

➤ Net Zero Energy Building Certification

Es una subcategoría del LBC que, como su nombre lo indica, legitima edificios cuyo consumo de energía sea cien por ciento igual al de la energía renovable que él mismo produce por medio de tecnologías sustentables.

➤ Certificación Passivhaus

Se trata de un documento que reconoce con carácter oficial que las casas son merecedoras de ser consideradas sostenibles. El estándar de certificación Passivhaus fue originado por los profesores Bo Adamson, de la Universidad Sueca de Lund, y Wolfgang Feist, del instituto Alemán de Edificación y Medio Ambiente, que en 1994 fundaría el Passivhaus Institut (PHI) en Alemania. Y actualmente es uno de los estándares más reconocidos a nivel mundial, por contemplar estrategias tanto de confort, ahorro energético, y huella de carbono.

➤ El Living Building Challenge (LBC)

Creado en el 2006 por la empresa International Living Future Institute® (ILFI) y Cascadia Green Building Council, Se le otorga la Certificación “Living” o Certificación del Edificio Vivo a un proyecto cuando logre todos los Imperativos asignados a su Tipología. Se requieren los veinte Imperativos para los Edificios, quince para las Renovaciones y diecisiete para Paisajismo y proyectos de Infraestructura.

MARCO CONCEPTUAL

Arquitectura pasiva

Se le denomina arquitectura pasiva o bioclimática, a la que contempla estrategias para el confort térmico, usando los fenómenos físicos que generan las variables del clima, tales como el movimiento del aire, la transferencia de calor por las diferentes formas de radiación solar, la humedad, el sombreado y demás variables que no consuman energías no renovables.

Para determinar las estrategias a emplear, se debe tener un estudio climático del sitio o región, donde se emplazará el edificio, y dependiendo del comportamiento climático en diversos periodos del año e inclusive de ciclos solares, se deberá calcular las implementaciones necesarias para mitigar las variables que estén por encima del confort térmico. En la figura se muestra un esquema con las principales estrategias pasivas por variable climática.



Figura 7. Esquema de clasificación de sistemas pasivos de climatización. Fuente: Elaboración propia.

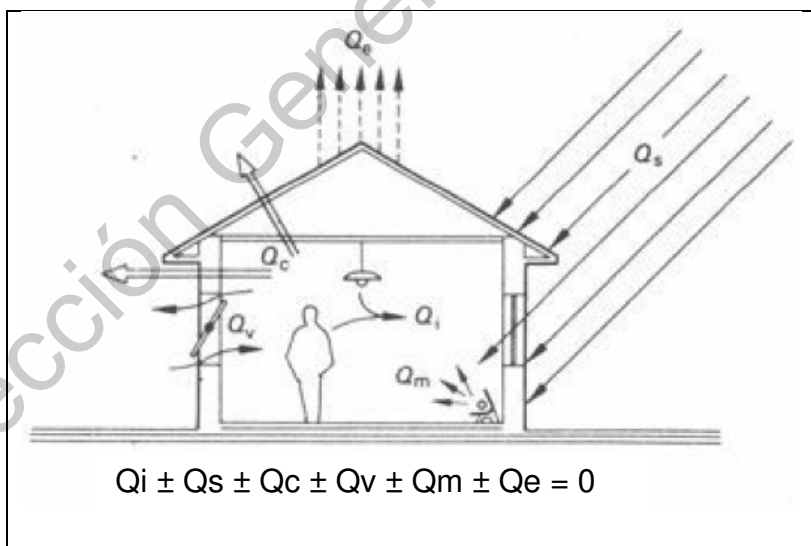
Termodinámica

La termodinámica en la arquitectura, se ha usado para entender e inferir el comportamiento de la radiación solar como energía, interactuando con los espacios habitables.

El intercambio de calor generador al interior de un edificio, al igual que el cuerpo humano tiene que ver con la interacción con el medio ambiente (como la radiación solar, la conducción de calor por los materiales y el convectivo por la temperatura del flujo de aire) y su comportamiento metabólico, que en este caso son la ganancia interna por el calor generado por un ser vivo, y la mecánica que tiene que ver con el uso de equipo y herramientas al interior del espacio).

Koenigsberger (2010) incrementa una variable más al estudio de ganancia de calor, siendo la evaporación otro elemento más de la ecuación, como enfriamiento convectivo muchas veces se localiza cuando existen elementos al interior como espejos de agua, fuentes, o piscinas. En la Tabla 7 se describe ecuación y variables que la integran.

Tabla 7 Cálculo de intercambio de calor en un edificio. Fuente: (Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, & Szokolay, 2010)

 <p>$Q_i \pm Q_s \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_m \pm Q_e = 0$</p>	<p>Qi: Ganancias internas (cuerpo humano) Qs: Ganancia por radiación Qc: Ganancia de calor por conducción de calor de los materiales. Qv: Ganancia por convección. Qm: Ganancia por evaporación removida de las superficies del edificio o de elementos interiores. Qe: Ganancia mecánica, por equipo generador de calor.</p>
--	---

La forma de la envolvente

Es importante para esta investigación recalcar que es la forma de la envolvente, ya que la forma en la arquitectura cobra un significado importante para el diseñado, siendo hasta una tendencia importante adoptada por muchos diseñadores como preponderante en su proceso de diseño. En este caso la forma es usada como una manera de clasificar tipologías de contorno en la arquitectura.

Bacon (1974), citado por Ching (1998, pág. 34), describe en su libro “The Design of cities” La forma arquitectónica es el punto de contacto entre la masa y el espacio, y la calidad de la arquitectura de alguna manera estará determinada por la utilización de cualidades de la forma en espacios interiores como en la envolvente del edificio.

“la forma sugiere la referencia a la estructura interna, al contorno exterior y al principio que confiere unidad al todo. Frecuentemente, la forma incluye un sentido de masa o de volumen tridimensional, mientras que el contorno apunta más en concreto al aspecto esencial que gobierna la apariencia formal, es decir, la configuración o disposición relativa de las líneas o perfiles que delimitan una figura o forma” (Ching F. , 1998).

Ching (1998, pág. 35) indica que la forma es una unidad compuesta por diferentes características, a continuación, se describen:

- Contorno: Es la principal característica distintiva de las formas, el contorno es fruto de la específica configuración de las superficies y aristas de las formas.
- Tamaño: Las dimensiones verdaderas de la forma son la longitud, la anchura y la profundidad: mientras estas dimensiones definen las proporciones de una forma, su escala está determinada por su tamaño en relación con el de otras formas del mismo contexto.
- Color: Es el matiz, la intensidad y el valor de tono que posee la superficie de una forma; el color es el atributo que con más evidencia distingue una forma de su propio entorno e influye en el valor visual de la misma.

- Textura: Es la característica superficial de una forma: la textura afecta tanto a las cualidades táctiles como a las de reflexión de la luz en las superficies de las formas
- Posición: Es la localización de una forma respecto a su entorno o a su campo de visión.
- Orientación: Es la posición de una forma respecto a su plano de sustentación, a los puntos cardinales o al observador.

Estas cualidades son las que ayudan a las personas a percibir y posteriormente crear una cognición de lo que conciben de forma en un edificio.

Para la investigación se utilizó únicamente al factor de contorno para desarrollar la experimentación. Fue importante elegir qué características del tipo de contorno tomaríamos, por lo que recurrimos a los sólidos primarios, debido a que son estas figuras geométricas tridimensionales, las que con más frecuencia se utilizan en cubiertas y muros, ya sean en bóvedas, techos inclinados, losas planas, muros inclinados, curvos, ortogonales, son los elementos que comúnmente usamos en nuestra composición.

Los sólidos primarios están comprendidos por la esfera, el cilindro, el cono, el cubo y la pirámide.

La forma en la arquitectura vernácula

A través de los años el ser humano ha desarrollado modelos de edificios que se adecuan a su contexto, utilizando materiales propios de la región. Lacomba (1991) indica que se reconoce en la arquitectura vernácula un proceso de ensayo y error en el transcurso del tiempo, de la influencia del clima en sus edificaciones, otorgándoles también permanencia e identidad, con los que es posible caracterizar e identificar patrones de diseño en cada región del planeta.

Lacomba (1991) también hace énfasis en que, debido a que la industria de la construcción ha ido homogenizando los sistemas constructivos, se han incrementado los costos por climatización de espacios, sobre todo en climas con

condiciones no tan extremas, que bien pudieran utilizar sistemas constructivos de la región y estrategias pasivas para mitigar el estrés térmico y reducir el consumo energético.

Olgay (1998) quien describe que grupos asentados en diferentes regiones, con orígenes étnicos e ideologías iguales, desarrollaron su pensamiento arquitectónico según las condiciones climáticas. Por ejemplo, describe que los nativos americanos se asentaron en Estados Unidos en diferentes zonas climáticas, desarrollando diferentes estrategias, por ejemplo:

- En zonas gélidas desarrollaron iglús o edificios compactos, de tal manera de aprovechar la ganancia interior, y reducir la superficie de la envolvente, para reducir el enfriamiento por convección, y alcanzar temperaturas interiores de 15°C, mientras que al exterior tiene -45°C.
- Los de zona templada tenían más libertad en la construcción de sus casas, aunque tenían en cuenta que podrían tener en cualquier momento frío o calor, según su rango de confort. Como ejemplo podemos encontrar a la vivienda Wigwam, que se caracteriza por ser de planta cónica y estar cubierta con pieles para protegerse del viento, sol, lluvia y frío.
- La zona cálida árida, por su parte lograron desarrollar a través de los años, envolvente con alto aislamiento térmico, como el adobe, debido a las altas temperaturas y radiación solar; dejando pocas ventanas y permitiendo la incidencia al sur para el invierno.
- La zona cálida humedad, por su parte buscaba la protección solar, sin embargo, por el alto porcentaje de humedad, buscaban la circulación del aire en la vivienda, teniendo apertura casi total de los muros del lado norte y sur, además de separar el firme del suelo, para permitir la circulación del aire interior. Muchas veces venían acompañados de techos inclinados, por las altas precipitaciones en la temporada de lluvia.

Como podemos ver, el ser humano ha desarrollado la habilidad de adaptarse a su medio, a continuación, se presentarán características de arquitectura vernácula en clima cálido húmedo.

Viviendas vernáculas en clima cálido húmedo.

Neila (2004) en su libro “Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible” hace una excelente descripción y caracterización de viviendas en los mismos tipos de climas desarrollados por Víctor Olgyay clima cálido seco, cálido húmedo, templado y frío. A continuación, se describirán algunas de las casas desarrolladas por diferentes culturas que se asentaron en zonas con clima cálido húmedo, para que podamos conocer cuáles fueron los parámetros que tomaron en cuenta para para este clima. Además, que el análisis de Javier Neila (2004, pág. 52) nos sirve de precedente, de cómo los diferentes tipos de contornos se comportan en este tipo de clima.

- *La vivienda Falí*

Vivienda desarrollada en África subsahariana en regiones de Nigeria y Camerún, se caracteriza por su desarrollo con base en las creencias mitológicas de la creación del universo originada por dos huevos cósmicos, el de la tortuga y el del sapo. Esto se refleja en la división estructural de la vivienda en dos partes en la mampostería cilíndrica del cerramiento de los muros y la cubierta cónica de vigas y pajas. Y aunque la forma de la envolvente recae en cuestiones ideológicas, la han aprovechado para la adecuación de confort, dado que, por tener contornos cónicos, retarda la transferencia de calor por radiación, también que sea de paja y vigas de maderas, mejora la autoventilación del espacio, y por el uso de mampostería gruesa en los muros aumenta el aislamiento térmico, debido a la masa térmica.

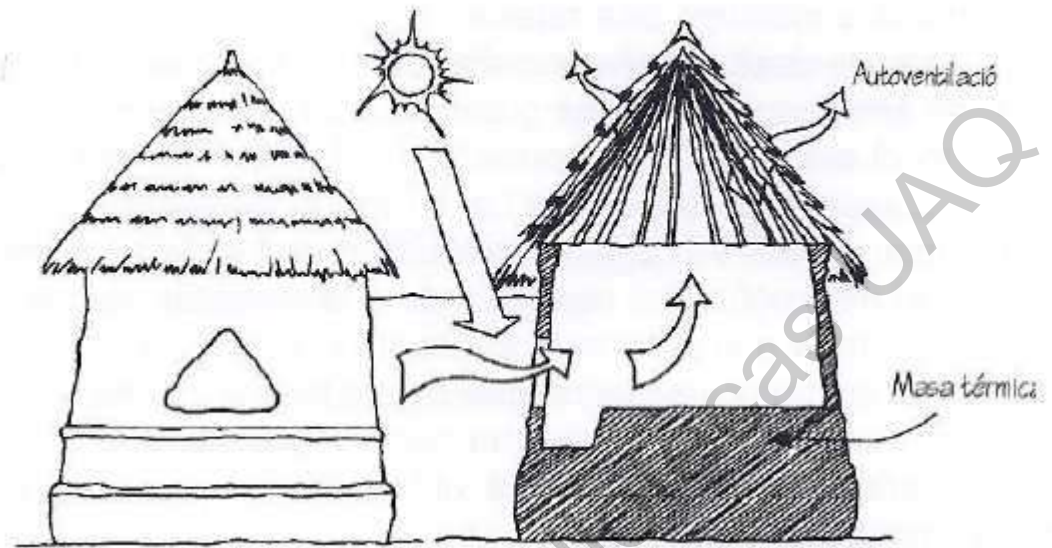


Figura 8. Tipología y análisis termodinámico de vivienda Fali. Fuente: (Neila González, 2004)

- *El palafito de Venezuela*

Esta tipología de vivienda se ha desarrollado en varias partes del mundo, sin embargo, la que se describe aquí es la que se desarrolla en el norte de Venezuela. El motivo principal por la que se eleva la casa en relación del suelo, es para evitar inundaciones provocadas por el crecimiento del agua, debido, a que se asentaban en manglares y cercas de ríos porque su actividad económica principal era la pesca.

La forma de esta tipología, también sigue a los materiales que tenían a su disposición, como lo son rollizos de mangle, palmas, bambú, y madera de los árboles donde se asentaban, por lo que la forma obedece a sistemas creados con ese tipo de material. En cuanto a su comportamiento térmico, este tipo de estructuras tiene como objetivo el movimiento del aire, para conseguir su refrigeración, además de evitar la radiación solar. También los materiales naturales utilizados permiten las filtraciones del aire en toda la superficie.

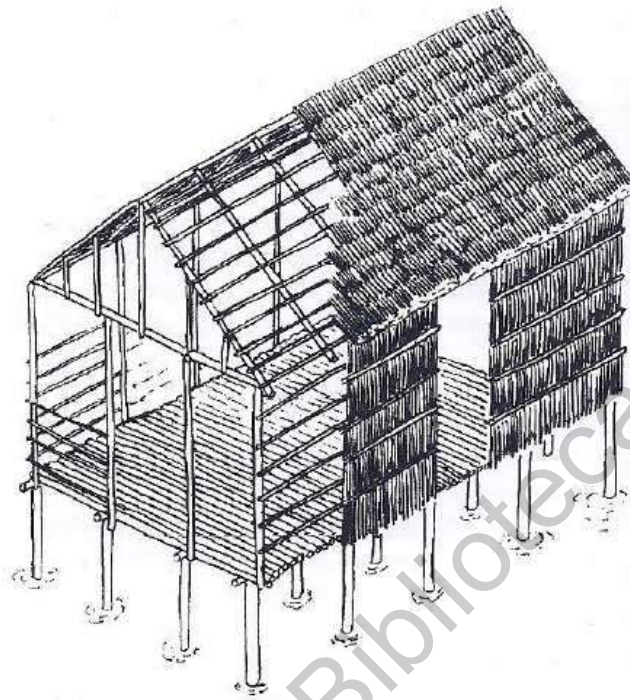


Figura 9. Palafito desarrollado en el norte de Venezuela. Fuente: (Neila González, 2004)

- *La casa Maya*

Desarrollada en la región del sureste mexicano, propiamente en el estado de Yucatán, es una de la tipología de vivienda que más se adapta al clima cálido húmedo y posee un extraordinario estudio de materiales de la región que se desarrolló con el paso de los tiempos.

La casa está desarrollada de palos y paja, cuenta con una sola habitación utilizada como dormitorio, la planta es de forma ovalada y modulada con base en el uso de hamaca aproximadamente de 4 metros. Los cerramientos solo cuentan con dos puertas, una frente a la otra, y cuenta con cuatro postes que soportan la estructura de la cubierta. Se asienta sobre una plataforma de piedra caliza y rodeada por muros de piedra como rodapié, y a partir de estas se desarrollan muros bajareque (bambú y barro), con un aplanado de cal en ambas caras. La cubierta es a cuatro aguas, con una pendiente de 40 a 60° y está hecha de estructura de madera y hojas

de palmas, cubiertas con zacate (césped). En la Figura 10 se puede ver dicha tipología.

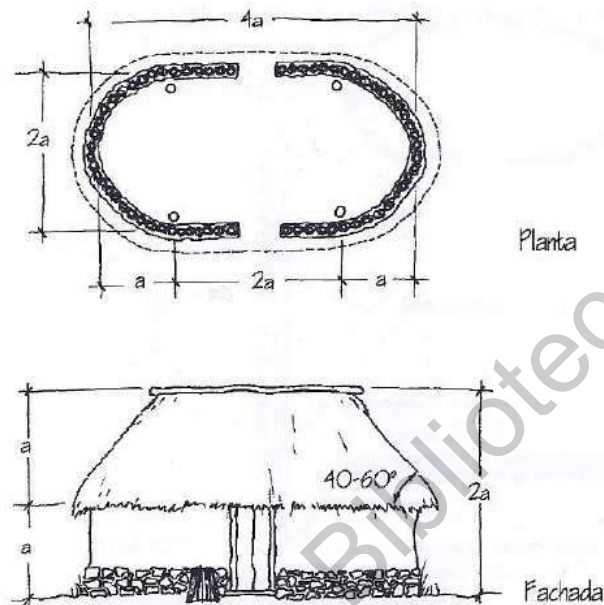


Figura 10. Tipología de la casa Maya. Fuente: (Neila González, 2004)

Su comportamiento térmico, es una de las mejores para su clima debido a que la forma curva de sus muros ayuda al aumento de la velocidad, así como los materiales de la cubierta ayudan a la infiltración y renovación de aire. La techumbre a 4 aguas reduce la radiación solar sobre la superficie de la cubierta a una cuarta parte, debido a que en un solo punto los rayos del sol coinciden perpendicularmente. Los muros curvos ayudan que la radiación directa no sea homogénea, dividiendo las radiaciones en diferentes ángulos. Además, que su gran altura ayuda a una depresión en la parte baja de la vivienda, haciendo que el aire caliente se coloque en la parte superior, y sea expulsado por el material de la cubierta.

- *Casa Bote de la Isla de Pascua.*

La isla de Pascua emplazada en el Océano Pacífico, logro desarrollar una vivienda vernácula que se adapta los materiales de la región y a sus inclemencias meteorológicas. La forma y materiales de la región se basó en la poca vegetación y

alta humedad y fuertes ráfagas de viento. La casa posee estructuras circulares u ovales, de gruesos muros de piedra superficiales y enterrados para proteger los cultivos del viento. En la Figura 11, se puede observar la tipología de este tipo de vivienda.

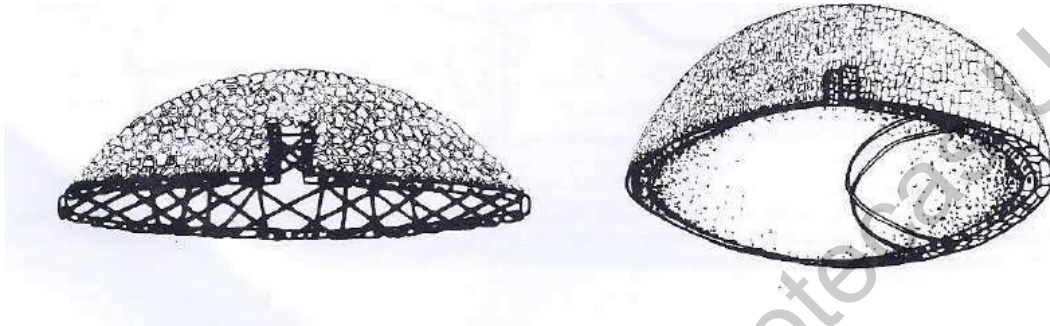


Figura 11. Tipología Casa Bote de la Islas de Pascuas. Fuente: (Neila González, 2004)

Este compuesto por una planta elíptica, con muros de piedra volcánica y cubierta vegetal, que permite la infiltración de aire al interior de la vivienda, y reducir los estragos que puedan generar los fuertes vientos. Además, la forma circular de su cubierta hace que los rayos solares se dividan en diferentes ángulos y reduzca la incidencia.

Eficiencia energética

La eficiencia energética es “la actividad de ahorrar energía respecto a la manera de consumirla. En pocas palabras, hacer más cosas con menos energía” (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2020).

Según la SEMARNAT, el concepto surgió luego de las crisis petroleras en la década de los 70, debido al alto costo por producir energía y posteriormente para la generación de sus derivados. Ante esta amenaza se empezaron a desarrollar estrategias y planes para minimizar el consumo energético en muchos países, donde se buscaba ser más productivo con el mínimo consumo de energía.

En México no fue hasta la creación de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), que posteriormente en 1998 se transformó en la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), el FIDE en 1990 y el

Fideicomiso para el Aislamiento Térmico de la Vivienda (FIPATERM) en 1992, que se lograron ahorros de energía representativos en el país.

Hay que destacar que las normas oficiales mexicanas (NOM) de eficiencia energética fueron elaboradas por la Secretaría de Energía (SENER) a través de la CONUEE, como el principal instrumento y el más benéfico en cuanto costo/efectividad para ahorrar energía en los diferentes sectores productivos, de manera sostenida y con impacto en productores, comercializadores y usuarios finales.

Como ya se mencionaron en el marco normativo, existen Normas Oficiales Mexicanas (NOM), orientados a la eficiencia energética para edificios comerciales y habitacionales, estos elaborados por la CONUEE.

En el libro de “diseño y manejo sustentable en edificación” Hernández (2010) identifica las siguientes actividades para el estudio de la energía en un edificio:

- Optimizar el rendimiento térmico de la envolvente del edificio.
- Proveer la integración de la luz natural con sistemas de luz a base de energía eléctrica.
- Proveer sistemas de control eficiente de iluminación a base de energía eléctrica.
- Maximizar el rendimiento de los sistemas electromecánicos.
- Uso eficiente de equipo y electrodomésticos.
- Uso de fuentes de energía renovables o alternativas.
- Integración total de los sistemas y reducción total del uso de energía del edificio.

El proyecto está dentro de la primera actividad, que busca mediante la envolvente del edificio, poder reducir la energía utilizada por el uso de sistemas activos de climatización, para climatizar espacios habitables.

Simulaciones térmicas

Las simulaciones térmicas es una herramienta para anticipar el comportamiento térmico de un edificio, calculando con exactitud el impacto que la temperatura, la radiación, el viento, la sombra, el comportamiento de los usuarios y diversas fuentes de cargas térmicas. Estas pueden ser dinámicas o estáticas; la primera se caracteriza por calcular el balance energético sin considerar variaciones de tiempo, como si estuviera estática la simulación y la segunda tiene que ver con la variación del cálculo por la variable del tiempo (Turégano , Velasco, & Martínez , 2009)

Las evaluaciones térmicas que se han realizado en otras investigaciones, en su mayoría se ejecutaron desde el motor de simulación térmica “Energy Plus”², quien es financiado y desarrollado por Building Technologies Office (BTO) y el “Departamento de Energía de los Estados Unidos”.

Otras de las funciones de las simulaciones térmicas son:

- Cálculo de ganancias de calor.
- Huella de carbono.
- Estudio de iluminación.
- Calculo energético.
- Consumo de recurso.

Se ha validado el uso de Energy plus dentro de investigaciones ya que se ha puesto a prueba para ver qué tan eficiente es, y de estas pruebas resulto que Energy plus es el motor de simulaciones más eficiente (Henninger & Witte, 2009)

² Energy Plus TM es un programa completo de simulación de energía del edificio que los ingenieros, arquitectos e investigadores usan para modelar tanto el consumo de energía (para calefacción, enfriamiento, ventilación, iluminación y carga de enchufes y procesos) como el uso de agua en los edificios. Fuente: <https://energyplus.net/>, consultado el 22 de julio de 2020.

VI. Caracterización de las formas de la envolvente en edificaciones en climas cálidos húmedos

La experimentación está comprendida por el estudio de prototipos de modelos digitales de la forma de la envolvente relacionado a los elementos constructivos de cubierta y pared. Se dividirán entre elementos ortogonales, inclinados y esféricos, para evaluar como la disposición de estos, puede afectar el comportamiento térmico y con ello el uso de la energía por climatizar espacios en sitios con climas cálidos húmedos.

En primer lugar, se definió la selección de formas, teniendo como condicionante que se calificaran por las geometrías más convencionales de los sistemas constructivos en envolventes (muros y cubiertas).

La clasificación se definió por elementos cónicos (esfera), ortogonales (cubo) e inclinados (para formas piramidales).

En la sección de catálogo de formas, se indica como se clasifica para esta investigación, las cubiertas con formas ortogonal (losas planas), de cónica, y losas inclinadas dependiendo de su ángulo de inclinación, así como la selección de tipos de muros más convencionales, organizado por muro ortogonal, inclinado hacia adentro del espacio, inclinado hacia afuera, y muro curvo.

Para la realización de esta experimentación, fue necesario el uso de un simulador energético para poner a prueba cada uno de los diferentes prototipos. El motor de simulador usado es "Energy plus" utilizando como interfaz al software "Design Builder", que se caracteriza por hacer análisis térmico, viento, lumínico, energético y de huella de carbono. Para poder realizar las simulaciones, fue necesario homologar variables de los diferentes prototipos, para que estuvieran en igualdad de circunstancias y los resultados no estuvieran sesgados.

En este capítulo también se describirán dichas homologaciones, como lo es el análisis de cerramiento, que contempla la plantilla de sistemas constructivos y materiales para muros, cubiertas y firmes. Esta plantilla se realizó de tal modo que estos componentes pasen la norma de resistencia térmica de elementos constructivos, acorde a la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009, previamente citada en el marco normativo.

También se homologó el tipo de ocupación y el tamaño del espacio, creando un análisis uso del espacio para el simulador, para determinar el programa de consumo energético y generación de ganancias internas, con base el perfil del usuario. En cuanto a la selección de tamaño del espacio, se hizo un análisis particular de áreas de ocupación, con base a los muebles, usos de estos y circulación del usuario en el espacio por cada tipo de forma, teniendo diversidad de superficies tanto de planta como de envolvente, así como de volumen interior del espacio.

Otra variable importante de analizar y homologar fue el equipo de aire acondicionado que se empleó para hacer el estudio, ya que la premisa fue el proponer un equipo que es eficiente en esta época, para evitar que un equipo viejo con alto consumo eléctrico, pueda alterar los resultados en la experimentación.

Las simulaciones se harán de forma dinámica, por lo que, para la selección de los días de experimentación, fue necesario el análisis de cuáles serían los días más extremos en el que pueden estar expuestos los prototipos. Por lo que se hizo un análisis de día cenital, para poder ubicar el rango de fechas de temperaturas más altas, y con ellos con nuestro archivo climático seleccionado para las simulaciones, buscar el día más extremo en ese rango. El simulador opera con un archivo climático, este fue seleccionado y analizado por el programa "Meteonorm 7.3" que opera con centrales climatológicas. En este capítulo se expondrá como fue la selección del sitio y el análisis de las variables climáticas.

METODOLOGÍA

Esta caracterización de la forma de las envolventes de los edificios en climas cálidos húmedos, tienen como objetivo demostrar cómo se comportan los diferentes tipos de contorno de forma térmicamente. Además, esta investigación, expondrá que forma puede optimizar el uso más eficiente del aire acondicionado.

La problemática principal es el desconocimiento del comportamiento de la forma de las envolventes en el proyecto arquitectónico, con respecto a la condicionantes climáticas de un clima cálido húmedo, para la eficiencia energética en el uso de aire acondicionado. Esto forma parte de una cadena selecciones de estrategias, materiales, sistemas constructivos que hacen que los edificios generen alto consumo energético. La alta demanda energética de los edificios es una problemática que actualmente ha generado estragos ecológicos como el efecto invernadero o la misma contaminación creada por su generación y transformación.

En medio de un cambio de paradigma orientado a integrar cada vez más herramientas sustentables como parte del proceso de diseño, esta investigación aporta información de cómo las formas de la envolvente se comportan ante un clima cálido húmedo, donde se ven expuestas a radiaciones globales (directa, difusa, y reflejante), que generan alta transferencia de calor al interior de las edificaciones.

Aunque existe estrategias para reducir el uso de sistemas activos al interior de viviendas, como el uso del movimiento del aire (ventilación), tratamientos de las envolventes con materiales y sistemas constructivos termoaislantes, y protección solar; esta investigación amplia las posibilidades de estrategias bioclimáticas, ya que entender como la física de la morfología de las envolventes tanto en cubierta y muro, podrán justificar la selección de la ideal o en consecuencia el tratamiento adecuado según sus comportamiento.

Llamamos envolvente de un edificio, a todo lo que separa del interior al exterior, siendo esta la piel de la construcción. Por lo cual la forma de la envolvente

se refiere a la característica morfológica la piel del edificio. En la arquitectura podemos encontrar formas de envolvente de diferentes géneros, sin embargo, para esta investigación se utilizará la clasificación de tipo de contorno de Ching (1998), dividiéndola por sólidos primarios. En el catálogo se describirán cada una de ellas. También es importante localizar patrones de comportamiento de las formas, en cuanto al consumo energético por el confort térmico, ya que una vez localizados estos patrones se procederá generar patrones de soluciones, dentro de lo que se llama diseño paramétrico.

El diseño paramétrico por su parte se refiere a aquel que está basado en un esquema algorítmico que permite expresar parámetros y reglas que definen, codifican y aclaran la relación entre los requerimientos del diseño y el diseño resultante (Wassim, 2013).

Como se mencionó, esta metodología ayuda a encontrar patrones de comportamientos, y mediante patrones de soluciones se resuelven fenómenos repetitivos en nuestro trabajo.

Para localizar estos patrones será necesario el uso de diferentes softwares, que ayudaran a simular los prototipos en igualdad de condiciones para ser analizados y posteriormente localizarlos.

Antes de pasar a describir que softwares y base de datos que se analizaran, se describirá la metodología para el modelado. Entre ellas usaremos el diseño generativo que se entiende como:

El diseño generativo puede recorrer miles o incluso millones de opciones de diseño, probar configuraciones y aprender de cada iteración que funciona y que no. El proceso puede permitir a los diseñadores generar nuevas opciones, más allá de lo que un humano solo podrá crear, para llegar a un diseño eficaz (AUTODESK, 2017)

En la Figura 12 se explica la propuesta de proceso de diseño generativo.

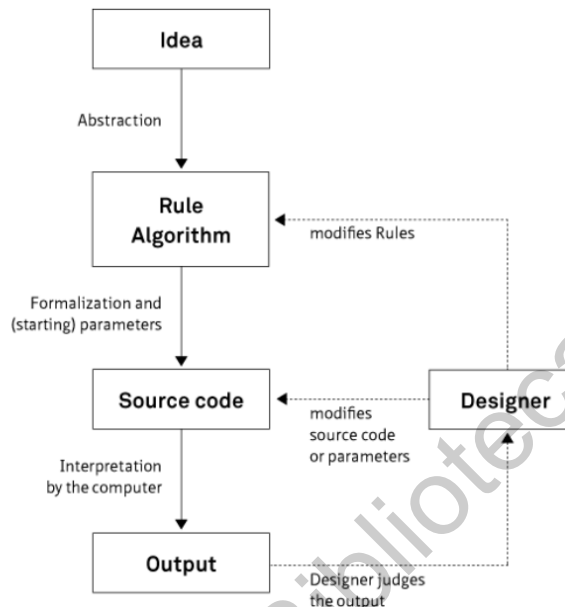


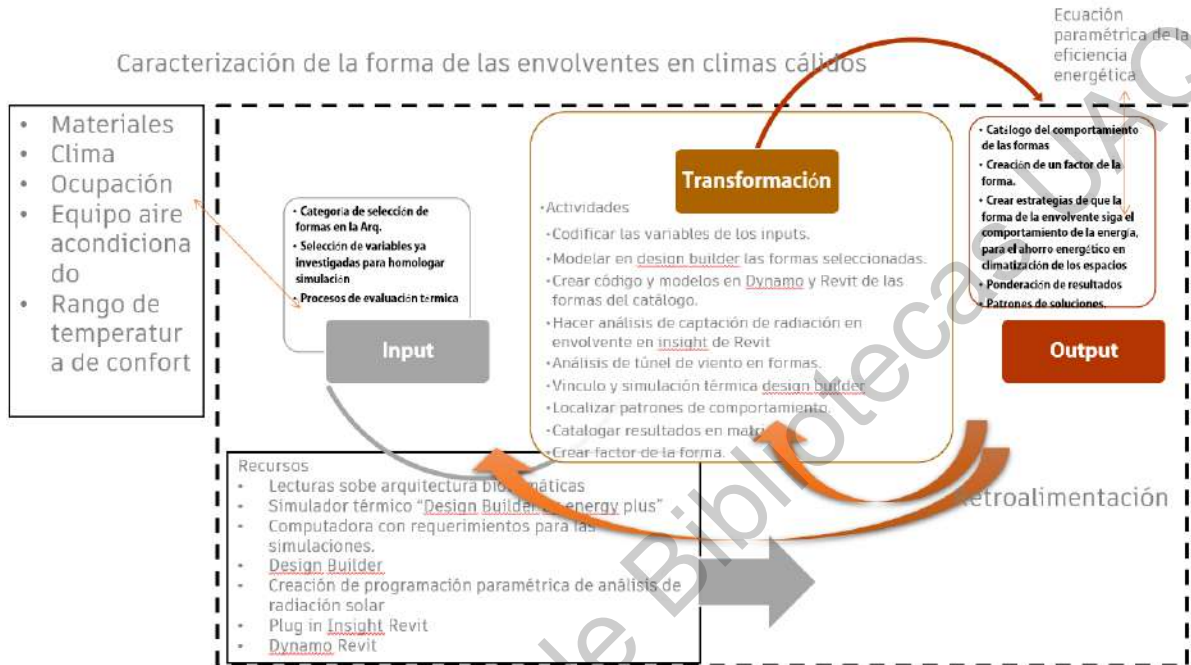
Figura 12 Diagrama de proceso de ejecución de diseño generativo de Bohnacker Hatmut. Fuente: Bohnacker Hatmut, Laub Julia, Gros Benedikt, Lazzeroni Claudios (2009).

Es importante entender que esta metodología se utilizara para poder tener más control en el uso de datos en los softwares, y poder contener, filtrar, cambiar o combinar parámetro del fenómeno que se quiere estudiar.

Proceso de experimentación

El proceso de la experimentación se describe en la Figura 13, donde se describe el proceso considerando datos de entrada culminados para poder iniciar la experimentación, entre los que podemos localizar: la creación de un catálogo general; homologaciones de cerramientos, ocupación, dimensiones del espacio, y equipo de aire acondicionado; y la base de datos. Es necesario no confundir los inputs o datos de entrada, con los recursos. Los recursos son todas las herramientas necesarias para tomar los inputs o insumo para transformarlos en outputs. Los recursos serán descritos en este capítulo, donde se explica claramente los softwares, hardware, y literatura necesaria para poder ejecutar la experimentación.

Así como dominio de softwares de simulación, programación visual y procesos de evaluación térmica.



Tiempo: Un mes y medio, Teórica: Proceso de tratamiento de la formas y la energía. Espacial: Únicamente para climas cálidos.
 Figura 13 Diagrama de proceso de experimentación. Fuente: Elaboración propia

Inputs del proceso de experimentación

A continuación, se presentan los diferentes inputs necesarios para la caracterización

Catálogo general

El catálogo general de la forma, se obtuvo del estudio de las condiciones morfológicas que tienen las envolventes de un edificio, partiendo desde lo básico como los sólidos poliedro (caras planas) o no poliedros (caras curvas), que se repiten usualmente en cubiertas y muros (entendiendo a estos como la piel de los espacios arquitectónicos), en este caso se identificaron tres tipos de solidos primarios, la esfera usados en bóvedas y muros cóncavos, la pirámide usados en

cubiertas inclinadas a diferentes caídas de agua, y cubo representando a losas plantas y muros ortogonales.

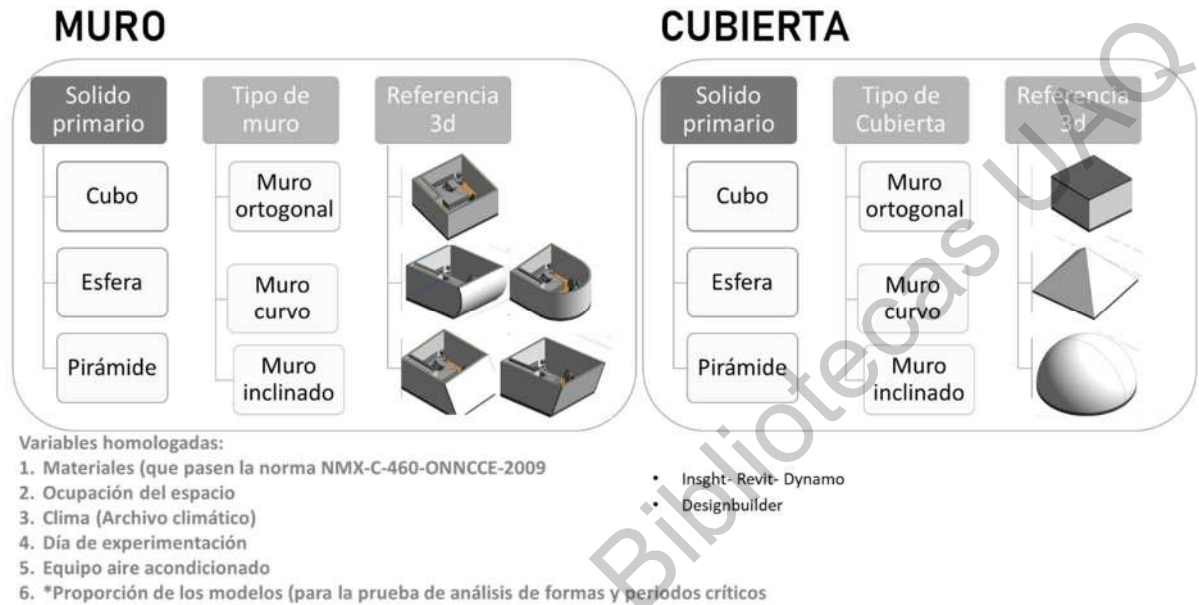


Figura 14 Catalogo general de formas a estudiar, durante la experimentación.

En la Figura 14 se describen las formas de las envolventes de los edificios mas convencionales, y las variables que se homologaran con los estudios que a continuación se describen.

Homologación de materiales y sistemas constructivos.

Para la selección de materiales de envolvente, se usó a la norma "Industria de la Construcción - Aislamiento Térmico - Valor "R" para las Envolventes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana - Especificaciones y Verificación NMX-C-460-ONNCCE-2009, que tiene como objetivo limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. En este sentido, esta norma optimiza el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, obteniéndose como beneficios, entre

otros, el ahorro de energía por la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento. Esta Norma Mexicana aplica a todos los edificios nuevos para uso habitacional y las ampliaciones de los edificios para uso habitacional existentes.

El cálculo para regular las condiciones de transferencia de calor en los edificios se basa en el cálculo de presupuesto energético, que a su vez se genera a través del cálculo de transferencia de calor a través de la envolvente del edificio, y esta es la sumatoria de la transferencia de calor por conducción y la otra por radiación, esta última con un rango de modificación dadas según el sombreado y la orientación que disponga. Para la resolución del cálculo es necesario datos que están determinados en el anexo de la norma y ecuaciones que también están establecidas tales como:

- Coeficiente global de transferencia de calor
- Coeficiente de sombreado del vidrio de cada porción transparente
- Ganancia de calor solar por orientación
- Factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente
- Valores para el cálculo del flujo de calor a través de la envolvente valores de conductividad y aislamiento térmico de diversos materiales

La variable que se utilizó fue el valor "R" o de resistencia térmica de los envolventes de una vivienda. De la Figura 6 obtenemos que para muros en la zona 1 y 2, que es la que nos compete, se necesita un muro que tenga un valor "R" de $1.40 \text{ m}^2\cdot\text{k}/\text{w}$ y una cubierta que tenga $2.65 \text{ m}^2\cdot\text{k}/\text{w}$, para estar dentro del rango de sistemas que tengan ahorro energético. Por lo que se desarrolló un análisis de materiales y sistemas constructivos que cumpliera esa condición, y que también pudiera estar dentro de los sistemas y materiales convencionales en la construcción en nuestro mercado.

Se consultó diferentes materiales y sistemas constructivos de muros y cubiertas con aislante térmicos, y se decidió usar sistemas convencionales de construcción

con aislantes térmico de fácil localización en el mercado mexicano, y que pase la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009.

La propuesta de muro fue desarrollada por el software “Desgin builder”, donde se analizó el aislamiento térmico, generado por cada una de las capas del sistema. En este caso, se usó un muro de block de concreto de 10cm como capa estructural, una capa de 2cm de yeso como acabado interior, una de 8cm de espesor de poliuretano extruido como aislante térmico entre el block y el aplanado final que es un mortero cemento arena, como se puede ver en la Figura 15. Esto dio como resultado una resistencia o valor “R” de $2.2 \text{ m}^2\text{k/w}$, que excede el parámetro de aislamiento térmico para ahorro energético para la zona 1 y 2 de climas cálidos húmedos del país, de la NMX-C-460-ONNCCE-2009.

La cubierta se propuso con una capa de losa de concreto de 10cm como estructura base, una capa de aplanado de yeso de 1cm, como acabado interior; una capa de 8cm de poliuretano extruido como aislante térmico entre el acabado exterior y la losa de concreto, y por último una capa de impermeabilizante de 1cm. Esto nos da como resultado una resistencia de $2.65 \text{ m}^2\text{k/w}$, en el rango de ahorro de energía de la norma que se está empleando (Ver Figura 16).

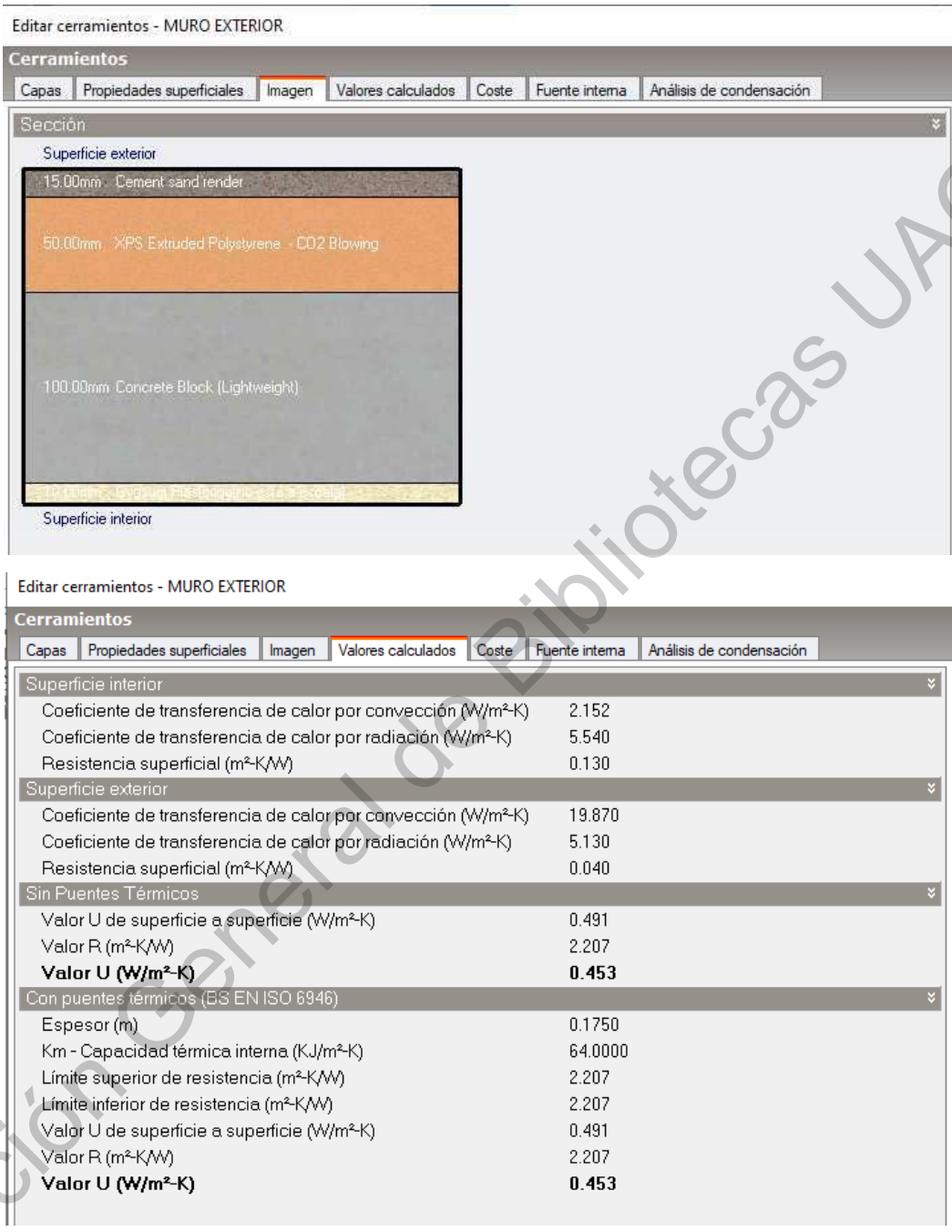


Figura 15 Análisis y propuesta de muros exteriores, para la envolvente desarrollado en el software "Design Builder"

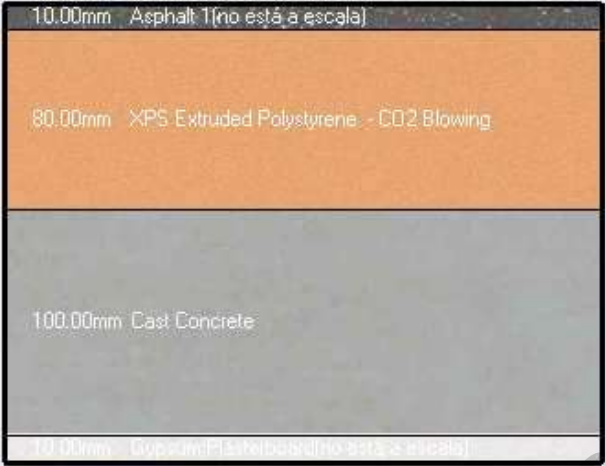
Editar cerramientos - Losa de cubierta de concreto

Cerramientos

Capas | Propiedades superficiales | **Imagen** | Valores calculados | Coste | Fuente interna | Análisis de condensación

Sección

Superficie exterior



Superficie interior

Cerramientos

Capas | Propiedades superficiales | Imagen | **Valores calculados** | Coste | Fuente interna | Análisis de condensación

Superficie interior		«
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m ² -K)	4.460	
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m ² -K)	5.540	
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0.100	
Superficie exterior		«
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m ² -K)	19.870	
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m ² -K)	5.130	
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0.040	
Sin Puentes Térmicos		«
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	0.401	
Valor R (m ² -K/W)	2.636	
Valor U (W/m²-K)	0.379	
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)		«
Espesor (m)	0.2000	
Km - Capacidad térmica interna (KJ/m ² -K)	189.0000	
Límite superior de resistencia (m ² -K/W)	2.636	
Límite inferior de resistencia (m ² -K/W)	2.636	
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	0.401	
Valor R (m ² -K/W)	2.636	
Valor U (W/m²-K)	0.379	

Figura 16 Análisis y propuesta de cubierta exterior, para la envolvente, desarrollado en el software "Design Builder"

Homologación de ocupación de espacios

El análisis de ocupación es el estudio de la dinámica de las actividades que se realizaran en el prototipo, para conocer la ganancia termica por la actividad metabólica del usuario, igualando el comportamiento y, obteniendo la misma ganancia interna³ por cada prototipo.

La importancia que tiene el desarrollo de esta homologación ocupacional, no solo recae en el cálculo de la ganancia interna, sino también en la propuesta de escala y proporción que tendrán los prototipos, dado que independientemente del contorno de la forma geométrica de la envolvente el edificio, deben de satisfacer la actividad que se realizara al interior. El tipo de ocupación que se utilizará para la experimentación será la habitacional, debido a que una de las normas usadas para los envolventes, está enfocada para ese tipo de edificios.

Dicho lo anterior este análisis de ocupación se desarrolló en primera instancia realizando un análisis de áreas para la ocupación de la actividad, en los diferentes prototipos, y posteriormente en la realización de una plantilla de actividad metabólica para el uso de ese espacio en el simulador. A continuación, se describen los resultados de dicho análisis.

El análisis para la creación de la escala del prototipo, se generó a partir del estudio de áreas a partir de la selección de un tipo de espacio. Como ya se mencionó se usó una recámara como espacio para los prototipos, las actividades consideradas fueron descanso, vestirse, arreglarse y relajarse, por lo que se hizo una selección de muebles, y con ellos el desarrollo de una propuesta estándar de distribución con base al estudio de áreas del mueble, uso y circulación. Cada prototipo dependiendo de su característica de contorno geométrico, ha podido satisfacer la ocupación de la recamara, obteniendo diferentes superficie y volumen

³ Ganancia interna: Es la transferencia calorífica en el interior de un edificio generado por la actividad metabólica de seres vivos (Koenigsberger et al., 2010).

interior. En la Figura 17 se indica la propuesta por los diferentes tipos de plantas de los prototipos.

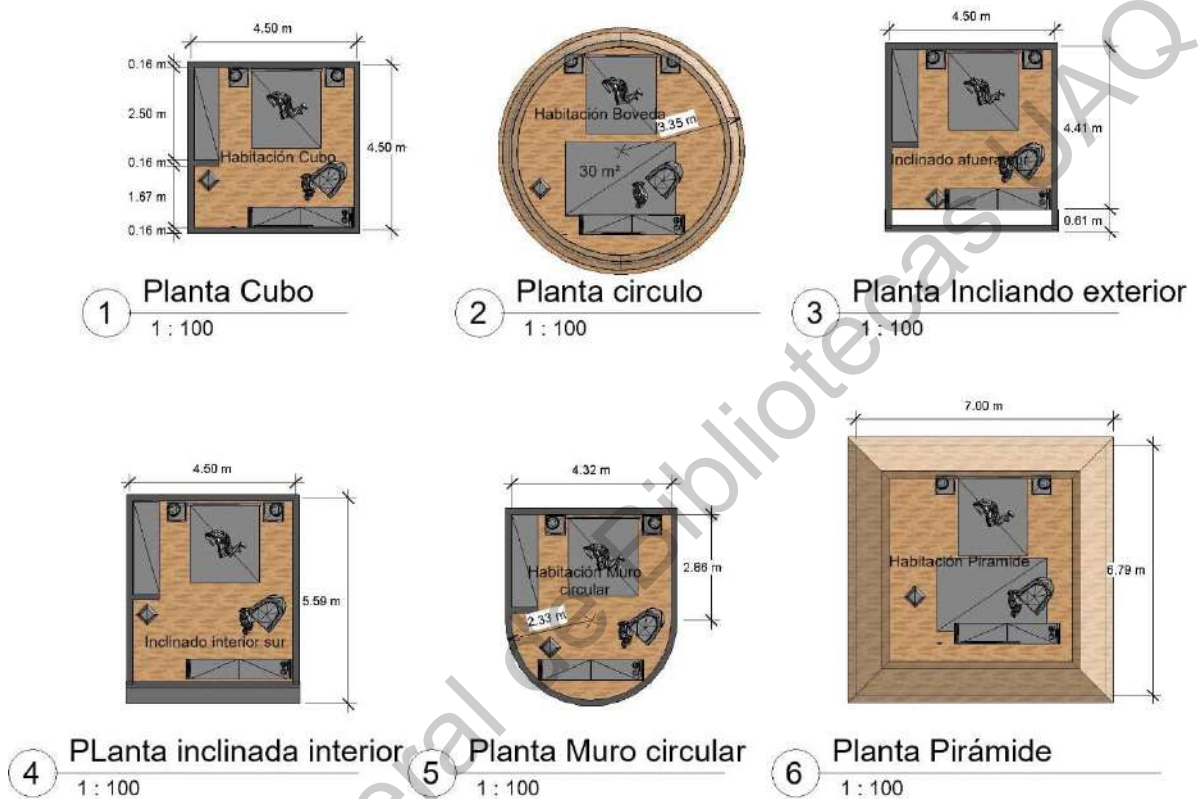
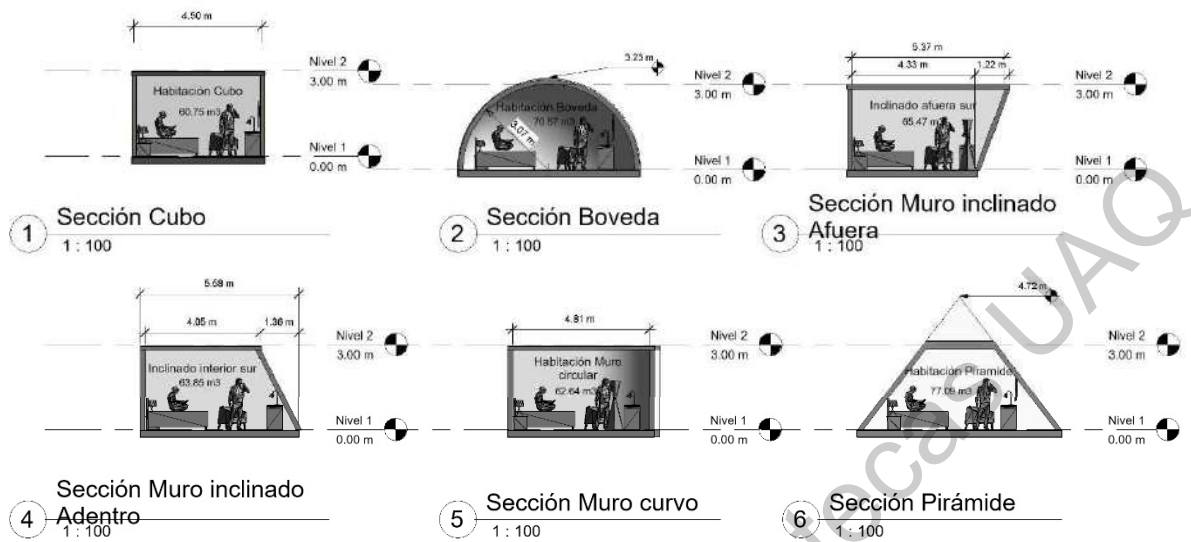


Figura 17. Análisis de áreas para el prototipado de la experimentación. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 se exponen el estudio de alturas con las secciones de cada prototipo, además de obtener la información de volumen del espacio y la superficie de cada envolvente. Esta clasificación es solamente la tipología de muros, posteriormente en el capítulo 4 se hará un desglosamiento de cada uno de los prototipos en relación a cada una de las orientaciones, por lo que este estudio ayudo a obtener la escala y proporción que tendrá cada uno de los prototipos, con base en el estudio ocupacional de una habitación. Como se puede observar la pirámide concentra el mayor volumen de los prototipos, mientras que el cubo es que tiene menos, además de que la bóveda es la que tiene menor superficie de envolvente y la pirámide es la que registra una mayor área.



Área de cubiertas		
Marca	Área	Recuento
CIRCULAR	22.75 m ²	1
CUBO	21.75 m ²	1
INCLINAD O EXTERIOR	28.70 m ²	1
INCLINAD O INTERIOR	19.52 m ²	1

Área de envoltivo Muros			
Marca	Recuento	Longitud	Área Muro
	8		12.33 m ²
BOVEDA	2		65.63 m ²
CIRCULAR	4		50.50 m ²
CUBO	4	4.50 m	51.30 m ²
INCLINADO EXTERIOR	4		55.57 m ²
INCLINADO INTERIOR	4		54.95 m ²
PIRAMIDE	4		85.60 m ²

Figura 18. Estudio de alturas mediante secciones en el programa Revit, y análisis de superficie de cada envoltivo. Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el tamaño de cada prototipo, se procedió a la generación del estudio ocupacional para la obtención de la ganancia interna del ocupante. Este estudio ocupacional se desarrolló mediante la plantilla de actividad del programa "Design Builder" que nos permite gestionar el horario de ocupación, mediante una matriz de horas y porcentajes de uso, llamado perfil del usuario. El perfil del usuario nos ayuda a calcular la ganancia interna según el dato de la tasa metabólica del usuario por tipo de actividad del espacio, en este caso un dormitorio, y se proratea dependiendo si el ocupante es un adulto hombre, adulto mujer, persona de la tercera edad o niño. En la Figura 19, podemos observar la configuración de la plantilla de actividad y en la figura 20, la configuración para el perfil del usuario.

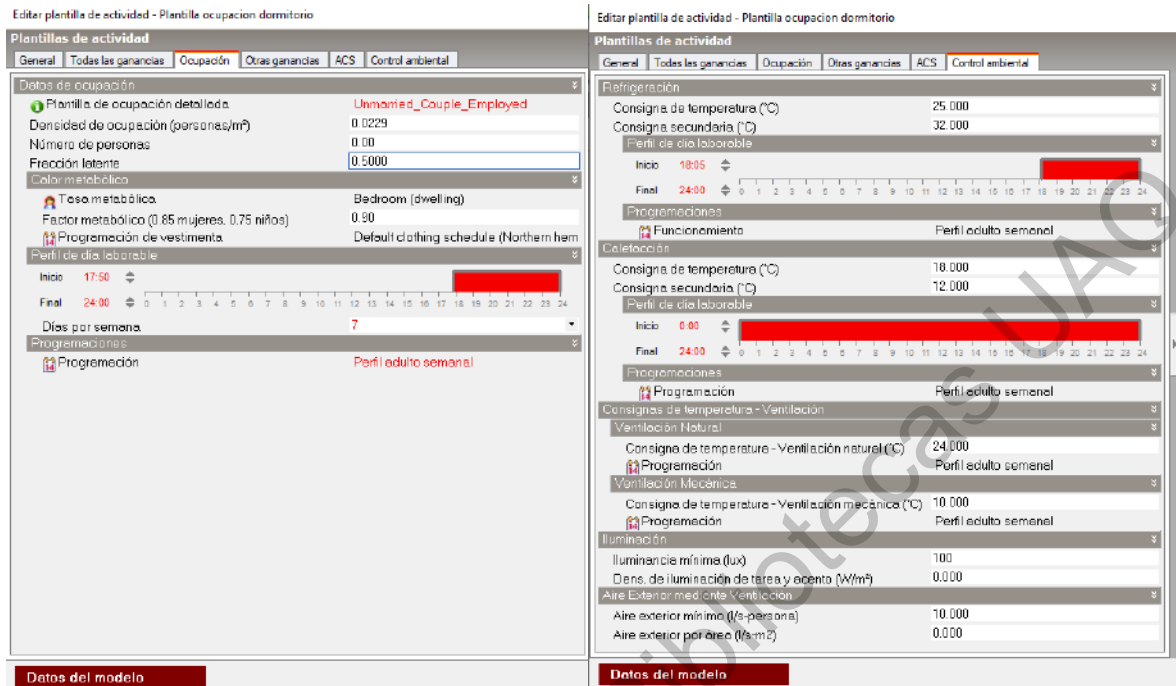


Figura 19 Configuración de la plantilla de actividad en el programa "Design Builder". Fuente: Elaboración propia

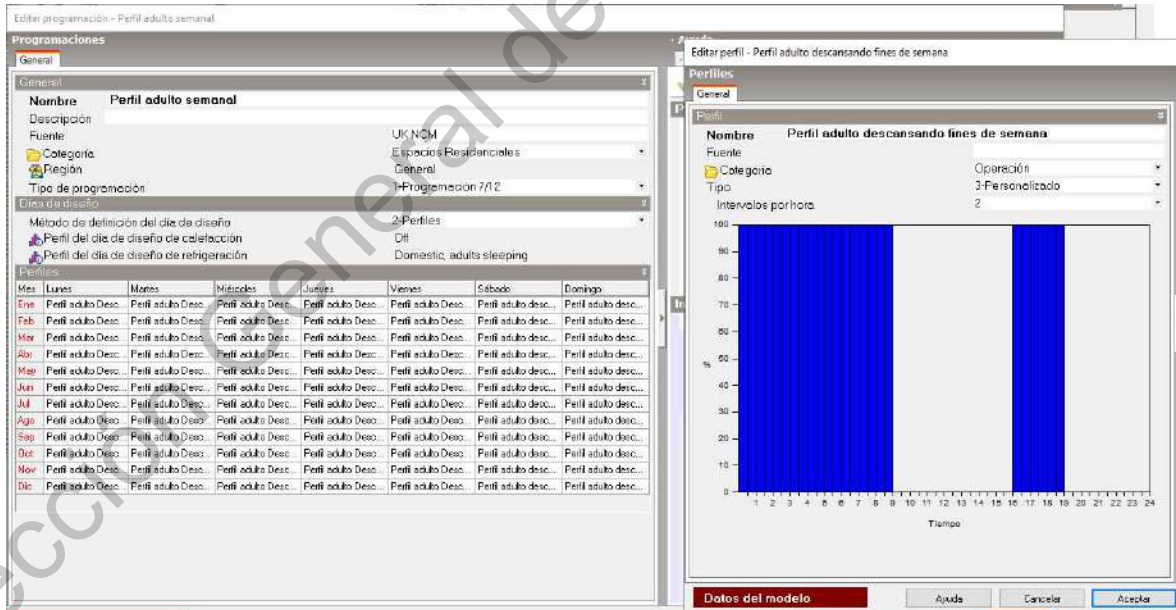


Figura 20. Perfil de ocupación de usuario. Fuente: Elaboración propia.

Este perfil también controla el uso del aire acondicionado, la iluminación, la ventilación mecánica y la infiltración de aire al interior. El tratamiento de estas

variables se consideró y se describirán en el capítulo 4, en el desarrollo del modelado y simulación de la experimentación.

La plantilla de actividad también nos permite darle valor a tasa metabólica del usuario, que es el parámetro que nos sirve para obtener la ganancia interna. Previamente se realizó una plantilla de usuarios y control de vestimenta, con el mismo proceso que se refiere en las figuras 19 y 20. La tasa metabólica que se usó para este estudio es la de 90watts/persona, que refiere a una actividad ligera o de reposo, propias del uso de la recámara, estos datos se obtuvieron de la información que ofrece el software a partir de ASHRAE Handbook (2012), también se determinó una fracción metabólica que se refiere a la cantidad de personas en el espacio de 0.90, ya que es el promedio de generación de calor interno por persona, sabiendo que nuestro perfil es una pareja sin hijo que tiene un horario de trabajo fuera del espacio. El hombre tiene el valor de 1 y la mujer genera el 85% de lo que genera un hombre, por lo que su valor es de 0.85, si promediamos ambos valores obtenemos 0.90. Siendo estos datos los necesario para que el simulador genere la información de ganancias internas del espacio de los prototipos.

Homologación de clima y selección de fecha de experimentación

Como se comentó en el capítulo 1, el tipo de clima seleccionado para esta investigación es el de clima cálido húmedo, debido a que es en nuestro país, uno de los climas que generan mayor consumo de energía para climatizar espacios. En la Figura 21, se observa el mapa climático de México según Köppen, se puede observar que se localiza por lo general en zonas costeras, y el sureste del país correspondiente a la llanura costera y a la península de Yucatán. El clima cálido húmedo se caracteriza por tener un clima uniforme casi todo el año, y por su alta precipitación. Para poder obtener los datos climáticos de este tipo de clima se procedió a la selección de una ciudad tipo, de este de clima.

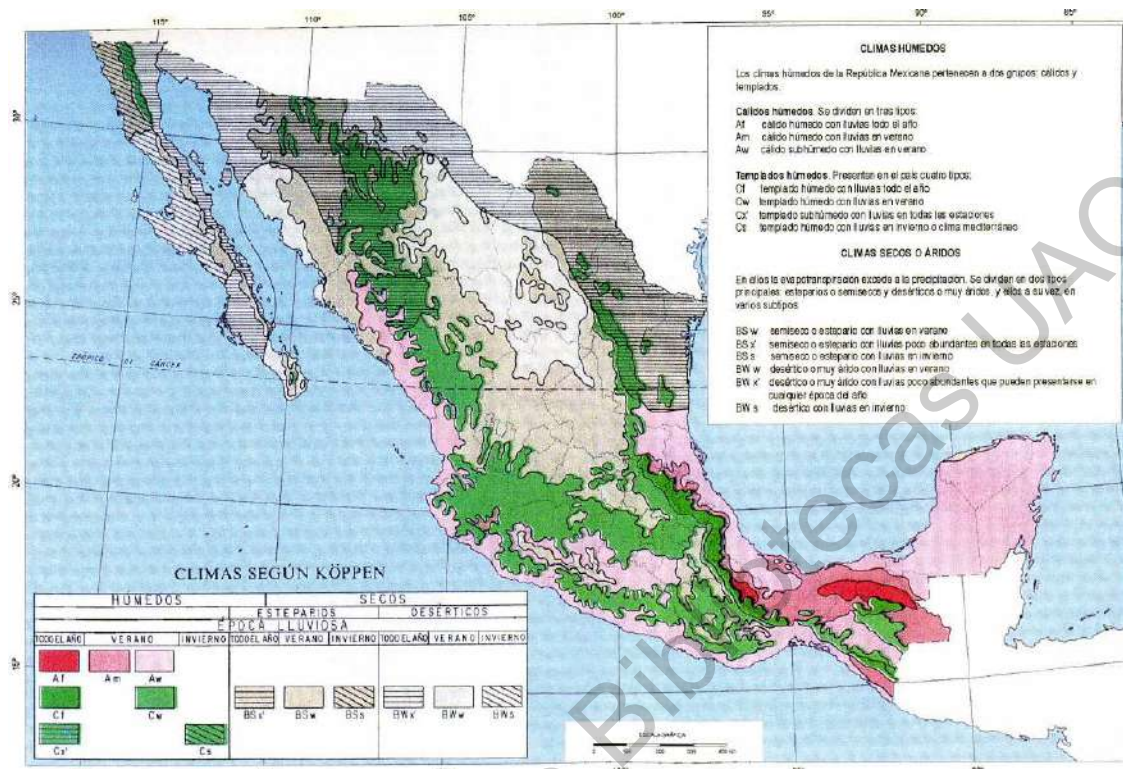


Figura 21. Mapa de climas según Köppen. Fuente: (García, 1998)

Se selecciono la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, debido a como se ve en la figura 22, coincide con la característica de este tipo de clima cálido, donde el estrés térmico se mantiene constante durante todo el año, con un 54% de las horas anuales rebasando el rango de confort de la ciudad.

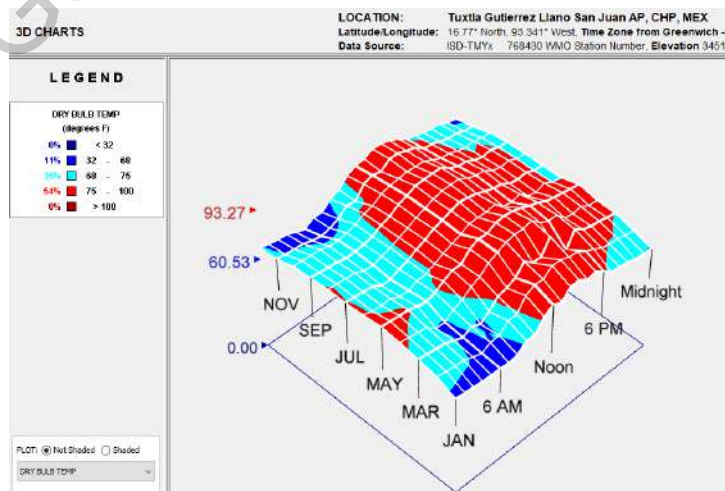


Figura 22. Carta termica 3d de la ciudad de Tuxtla Gtz. Fuente: Climate Consultant 6.0.

La mayor parte de energía que recibe la tierra es por parte de la radiación solar directa, la cual está formada por pequeñas longitudes de ondas electromagnéticas. La radiación solar varía mucho según la ubicación geográfica, la altura, las condiciones atmosféricas, el periodo estacional, de las partículas en suspensión de la atmósfera y el clima.

La mayor cantidad de calor almacenado en los edificios es obtenida por la incidencia de radiación solar en los techos y muros, por lo que es necesario su análisis y el diseño de las estrategias necesarias. Teniendo los datos de incidencia solar se pueden usar para evitar el calentamiento del aire o del agua, de manera sencilla y eficiente.

En sitios donde las temperaturas son muy altas, tal el caso de Tuxtla Gtz., se deben evitar la incidencia de radiación a los espacios interiores y retardar el efecto sobre los materiales y cubiertas eligiendo adecuadamente los materiales constructivos y sus espesores. A continuación, se presenta la carta solar (Figura 23) donde se determina la dirección y la inclinación de la incidencia de la radiación solar para Tuxtla Gtz.

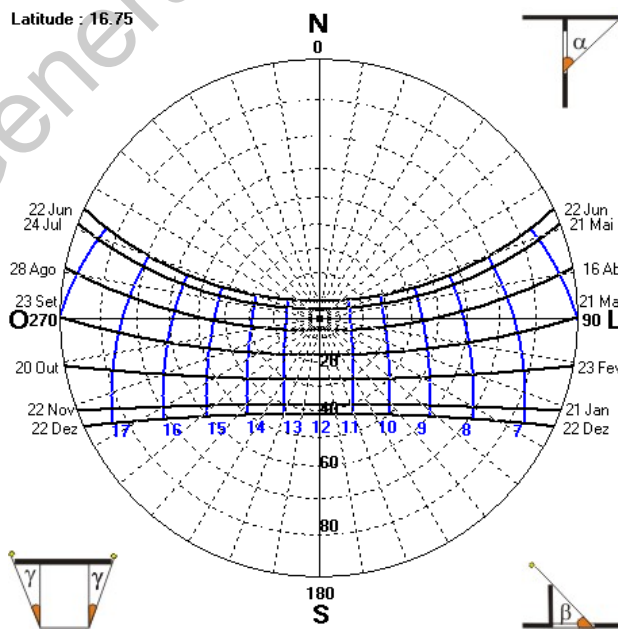


Figura 23. Carta solar Tuxtla Gtz. Fuente: Programa SOL-AR

Como se puede observar en la Figura 23, por la localización y en particular la latitud de la ciudad, la incidencia solar es más frecuente en la orientación sur, ya que se presenta en los meses de enero, febrero, marzo, algunos días de abril, algunos días de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, sin embargo la orientación norte también es crítica, ya que los meses donde se reportan las máximas de temperatura son en los meses que la incidencia se declina hacia esta, estos meses son abril, mayo, junio, julio y algunos días de agosto.

Una vez conociendo el movimiento del sol en Tuxtla Gtz. Ubicaremos el día y hora cenital de la ciudad, esto con dos objetivos, en primera conocer el día en el que sol está en su máxima posición ortogonal en la ciudad y con ello los rayos solares están más compactos y por ende más fuertes, y en segundo lugar para comprobar si coincide con el día de máximo calor en la ciudad. Siendo este el método de localización del día a simular, primeramente, conociendo cual es el día más perpendicular al sol, y segundo, haciendo un análisis en el archivo climático de la ciudad de Tuxtla Gtz., para determinar el día más caluroso y poder hacer la homologación del día tipo para todos los prototipos.

Para localizar los días cenitales se utilizó la página “sunearthtools.com”, que se especializa en generar datos de análisis solar tanto grafico como estadístico de un sitio en particular.

Los datos arrojados de los dos días cenitales que tiene la ciudad son los siguientes:

El primero es el día 7 de mayo a las 13:09 horas como se ve en la siguiente Figura 24, donde por medio de los diagramas solares y la localización de la latitud, se puede obtener la altitud de 90° .

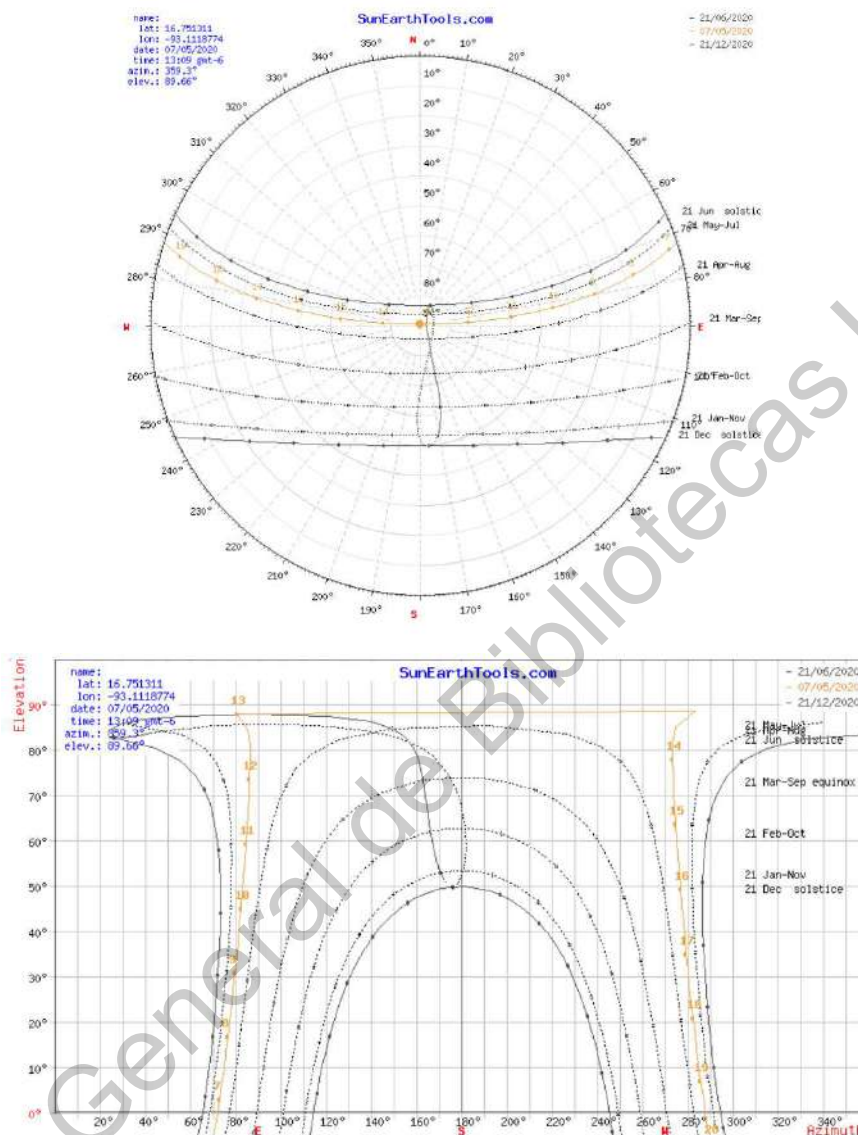


Figura 24. Localización de día cenital en Tuxtla Gtz. Fuente: página "sunearthtools.com"

Y el segundo día cenital, que pasa una vez que el recorrido del sol va de regreso al hemisferio sur, ocurre para Tuxtla Gtz. el 4 de agosto a las 13:19 (ver figura 25). Localizar este día nos sirve para identificar los días en el que probablemente localicemos el día más cálido en nuestro archivo climático.

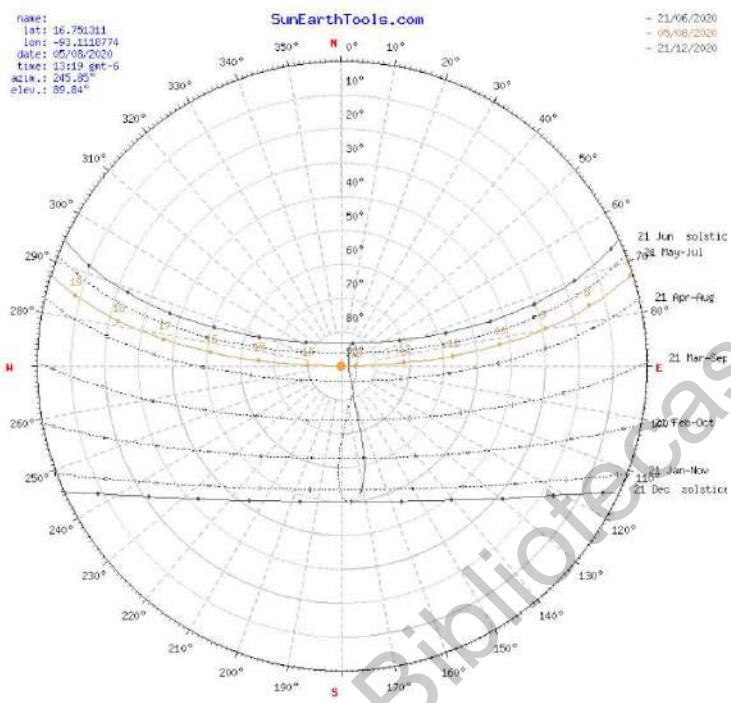


Figura 25. Localización de segundo día cenital en Tuxtla Gta. Fuente: página "sunearthtools.com"

Una vez localizados se procede a hacer un análisis térmico del lugar y, como se ve en la siguiente figura, el máximo estrés térmico en la ciudad de Tuxtla Gtz. es en el inicio de mayo, que coincide con el día cenital del sol en la ciudad.

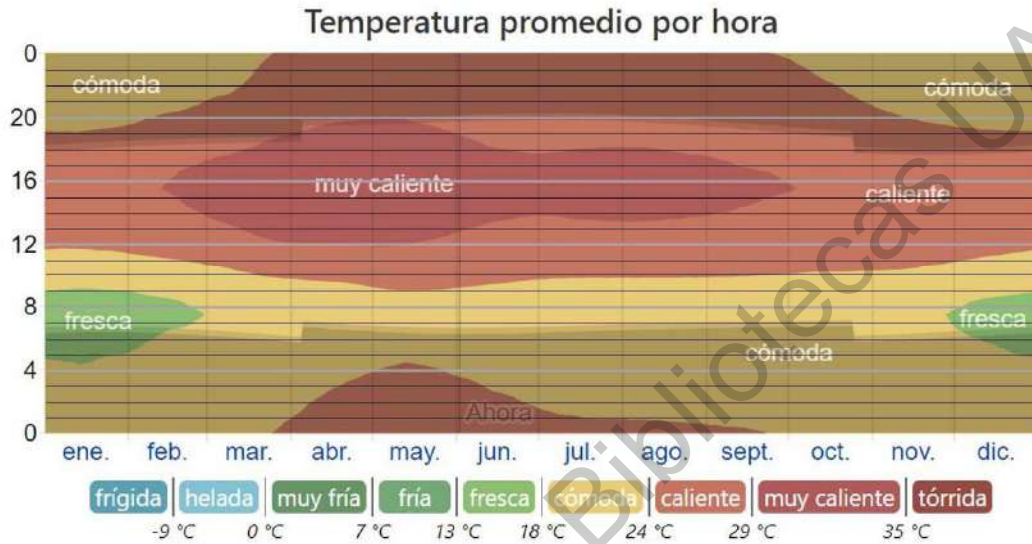


Figura 26. Comportamiento térmico de la ciudad de Tuxtla Gtz. Fuente: es.weatherspark.com

Utilizando las cartas solares obtenidas para el día cenital, se realizó un estudio térmico con estas cartas para determinar las condiciones térmicas mediante temperatura bulbo seco y el movimiento del sol, en la Figura 26 podemos ver la carta solar en relación del comportamiento térmico de la ciudad y donde se sitúan los días de experimentación para las simulaciones.

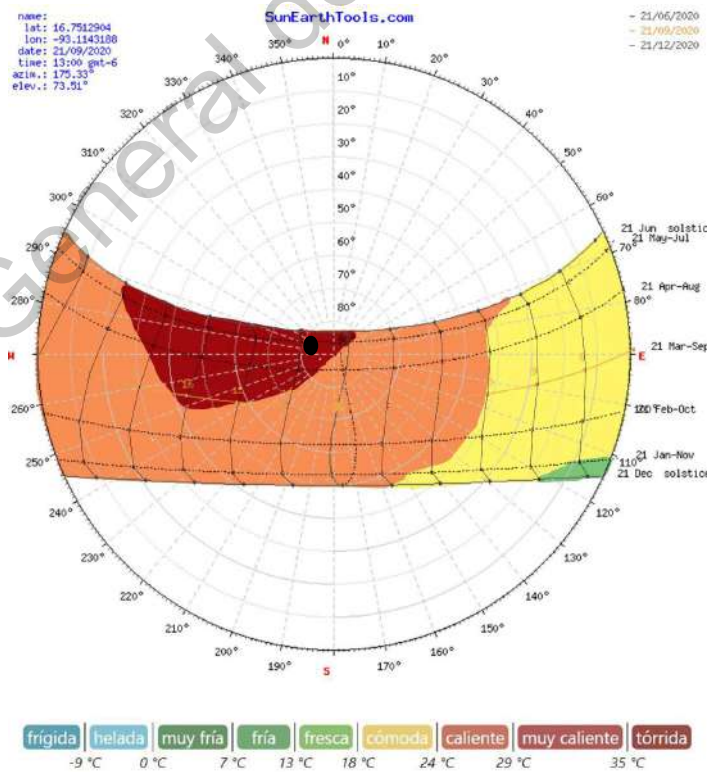
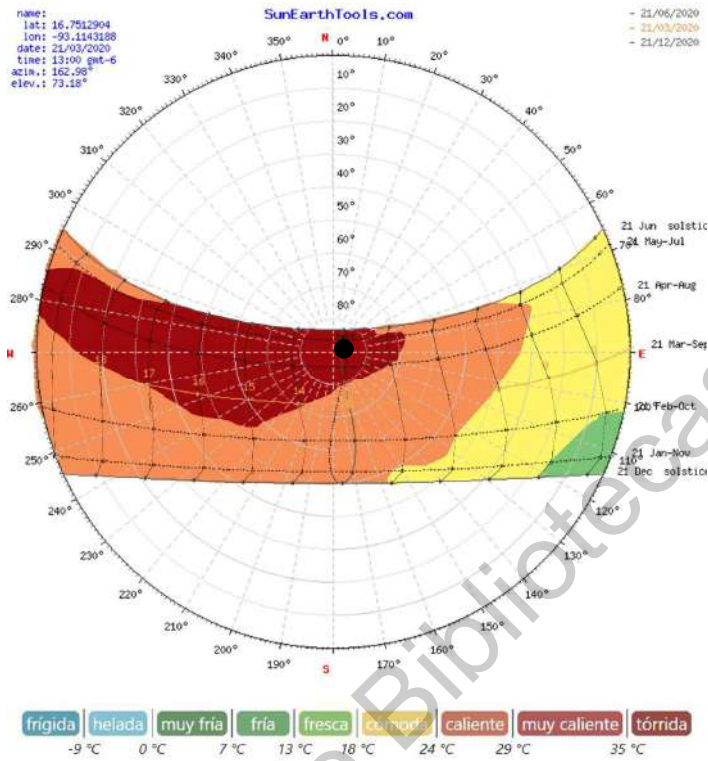


Figura 27. Carta solar termica de Tuxtla Gutiérrez. Fuente: Elaboración propia.

Utilizando el archivo climático Energy Plus (EPW) de la ciudad de Tuxtla Gtz., específicamente de la central meteorológica del “Llano San Juan”, obtenido por el software “Meteonorm 7.3”, se hizo un análisis meticuloso para determinar el comportamiento de la temperatura bulbo seco, donde se determinó que, tal cual lo indica la carta solar térmica de la Figura 27, a partir del mes de abril se observan temperaturas máximas de 36 a 38°C, aunque no permanece constante todo el mes, y donde se acentúa las temperaturas más altas con una frecuencia constante es en el mes de mayo, siendo el día más caluroso el 11 de mayo con una temperatura de 38.3°C, y aunque oficialmente el día cenital es el día 7 de mayo los datos históricos del archivo climático se tomará como el día tipo a simular, debido a que es el día más crítico del EPW, y se requiere evaluar los prototipos ante la máxima inclemencia de estrés térmico.

Homologación de equipo de aire acondicionado

El estudio como se describió, también tiene como objetivo identificar el comportamiento de las formas de la envolvente, en relación al consumo energético que se requiera para satisfacer el confort térmico. En primer lugar, fue necesario, identificar cuando utilizar el aire acondicionado en la experimentación, por lo que fue necesario la generación de un rango de confort. Actualmente el software “design builder” permite la generación de un estudio de Calefacción, ventilación y aire acondicionado por sus ingles Heating, Ventilation and Air conditioning (HVAC), de manera simple y detallada, la primera establece parámetros estándares y no se establecen todos los indicadores y parámetros para su modificación manual, la segunda permite manipular a conciencia el aire acondicionado, por lo que una vez que se generó el estudio de confort térmico para la ciudad de Tuxtla Gtz., se procedió a la entrada de datos de este rango. El dato se establece en la pestaña “Actividades” donde se coloca la temperatura de consigna para refrigeración, como el dato de temperatura donde el habitante de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se siente

en desconfort, y la consigna secundaria, se refiera a la temperatura en la que se encenderá el equipo cuando la programación del uso del espacio sea parcial.

Para el análisis de confort térmico se usó el estándar ASHRAE 55, y se realizó el estudio con el software “climate consultant” arrojando un rango de confort de 20.3 °C a 24.3°C n invierno y de 24.3°C a 26.7°C en verano, además en la Figura 28, se pueden visualizar otros datos climáticos de la ciudad, que nos ofrece un panorama más amplio del comportamiento térmico de la ciudad durante el año.

CRITERIA: (Metric Units)	LOCATION: Tuxtla Gutierrez Llano San Juan AP, CHP, MEX																						
	Latitude/Longitude: 16.77° North, 93.341° West, Time Zone from Greenwich -6																						
	Data Source: ISD-TMYx 768430 WMO Station Number, Elevation 1051 m																						
ASHRAE Standard 55, current Handbook of Fundamentals Comfort Model (select Help for definitions)																							
1. COMFORT: (using ASHRAE Standard 55) <table border="1"> <tr><td>1.0</td><td>Winter Clothing Indoors (1.0 Clo=long pants,sweater)</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>Summer Clothing Indoors (.5 Clo=shorts,light top)</td></tr> <tr><td>1.1</td><td>Activity Level Daytime (1.1 Met=sitting,reading)</td></tr> <tr><td>90.0</td><td>Predicted Percent of People Satisfied (100 - PPD)</td></tr> <tr><td>20.3</td><td>Comfort Lowest Winter Temp calculated by PMV model(ET* C)</td></tr> <tr><td>24.3</td><td>Comfort Highest Winter Temp calculated by PMV model(ET* C)</td></tr> <tr><td>26.7</td><td>Comfort Highest Summer Temp calculated by PMV model(ET* C)</td></tr> <tr><td>84.6</td><td>Maximum Humidity calculated by PMV model (%)</td></tr> </table>	1.0	Winter Clothing Indoors (1.0 Clo=long pants,sweater)	0.5	Summer Clothing Indoors (.5 Clo=shorts,light top)	1.1	Activity Level Daytime (1.1 Met=sitting,reading)	90.0	Predicted Percent of People Satisfied (100 - PPD)	20.3	Comfort Lowest Winter Temp calculated by PMV model(ET* C)	24.3	Comfort Highest Winter Temp calculated by PMV model(ET* C)	26.7	Comfort Highest Summer Temp calculated by PMV model(ET* C)	84.6	Maximum Humidity calculated by PMV model (%)	7. NATURAL VENTILATION COOLING ZONE: <table border="1"> <tr><td>2.0</td><td>Terrain Category to modify Wind Speed (2=suburban)</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>Min. Indoor Velocity to Effect Indoor Comfort (m/s)</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>Max. Comfortable Velocity (per ASHRAE Std. 55) (m/s)</td></tr> </table>	2.0	Terrain Category to modify Wind Speed (2=suburban)	0.2	Min. Indoor Velocity to Effect Indoor Comfort (m/s)	1.5	Max. Comfortable Velocity (per ASHRAE Std. 55) (m/s)
1.0	Winter Clothing Indoors (1.0 Clo=long pants,sweater)																						
0.5	Summer Clothing Indoors (.5 Clo=shorts,light top)																						
1.1	Activity Level Daytime (1.1 Met=sitting,reading)																						
90.0	Predicted Percent of People Satisfied (100 - PPD)																						
20.3	Comfort Lowest Winter Temp calculated by PMV model(ET* C)																						
24.3	Comfort Highest Winter Temp calculated by PMV model(ET* C)																						
26.7	Comfort Highest Summer Temp calculated by PMV model(ET* C)																						
84.6	Maximum Humidity calculated by PMV model (%)																						
2.0	Terrain Category to modify Wind Speed (2=suburban)																						
0.2	Min. Indoor Velocity to Effect Indoor Comfort (m/s)																						
1.5	Max. Comfortable Velocity (per ASHRAE Std. 55) (m/s)																						
2. SUN SHADING ZONE: (Defaults to Comfort Low) <table border="1"> <tr><td>23.8</td><td>Min. Dry Bulb Temperature when Need for Shading Begins (°C)</td></tr> <tr><td>315.5</td><td>Min. Global Horiz. Radiation when Need for Shading Begins (Wh/sq.m)</td></tr> </table>	23.8	Min. Dry Bulb Temperature when Need for Shading Begins (°C)	315.5	Min. Global Horiz. Radiation when Need for Shading Begins (Wh/sq.m)	8. FAN-FORCED VENTILATION COOLING ZONE: <table border="1"> <tr><td>0.8</td><td>Max. Mechanical Ventilation Velocity (m/s)</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>Max. Perceived Temperature Reduction (°C) (Min Vel, Max RH, Max WB match Natural Ventilation)</td></tr> </table>	0.8	Max. Mechanical Ventilation Velocity (m/s)	3.0	Max. Perceived Temperature Reduction (°C) (Min Vel, Max RH, Max WB match Natural Ventilation)														
23.8	Min. Dry Bulb Temperature when Need for Shading Begins (°C)																						
315.5	Min. Global Horiz. Radiation when Need for Shading Begins (Wh/sq.m)																						
0.8	Max. Mechanical Ventilation Velocity (m/s)																						
3.0	Max. Perceived Temperature Reduction (°C) (Min Vel, Max RH, Max WB match Natural Ventilation)																						
3. HIGH THERMAL MASS ZONE: <table border="1"> <tr><td>8.3</td><td>Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)</td></tr> <tr><td>1.7</td><td>Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)</td></tr> </table>	8.3	Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)	1.7	Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)	9. INTERNAL HEAT GAIN ZONE (lights, people, equipment): <table border="1"> <tr><td>12.8</td><td>Balance Point Temperature below which Heating is Needed (°C)</td></tr> </table>	12.8	Balance Point Temperature below which Heating is Needed (°C)																
8.3	Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)																						
1.7	Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)																						
12.8	Balance Point Temperature below which Heating is Needed (°C)																						
4. HIGH THERMAL MASS WITH NIGHT FLUSHING ZONE: <table border="1"> <tr><td>16.7</td><td>Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)</td></tr> <tr><td>1.7</td><td>Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)</td></tr> </table>	16.7	Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)	1.7	Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)	10. PASSIVE SOLAR DIRECT GAIN LOW MASS ZONE: <table border="1"> <tr><td>157.7</td><td>Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>Thermal Time Lag for Low Mass Buildings (hours)</td></tr> </table>	157.7	Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)	3.0	Thermal Time Lag for Low Mass Buildings (hours)														
16.7	Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)																						
1.7	Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)																						
157.7	Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)																						
3.0	Thermal Time Lag for Low Mass Buildings (hours)																						
5. DIRECT EVAPORATIVE COOLING ZONE: (Defined by Comfort Zone) <table border="1"> <tr><td>20.0</td><td>Max. Wet Bulb set by Max. Comfort Zone Wet Bulb (°C)</td></tr> <tr><td>6.6</td><td>Min. Wet Bulb set by Min. Comfort Zone Wet Bulb (°C)</td></tr> </table>	20.0	Max. Wet Bulb set by Max. Comfort Zone Wet Bulb (°C)	6.6	Min. Wet Bulb set by Min. Comfort Zone Wet Bulb (°C)	11. PASSIVE SOLAR DIRECT GAIN HIGH MASS ZONE: <table border="1"> <tr><td>157.7</td><td>Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>Thermal Time Lag for High Mass Buildings (hours)</td></tr> </table>	157.7	Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)	12.0	Thermal Time Lag for High Mass Buildings (hours)														
20.0	Max. Wet Bulb set by Max. Comfort Zone Wet Bulb (°C)																						
6.6	Min. Wet Bulb set by Min. Comfort Zone Wet Bulb (°C)																						
157.7	Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)																						
12.0	Thermal Time Lag for High Mass Buildings (hours)																						
6. TWO-STAGE EVAPORATIVE COOLING ZONE: <table border="1"> <tr><td>50.0</td><td>% Efficiency of Indirect Stage</td></tr> </table>	50.0	% Efficiency of Indirect Stage	12. WIND PROTECTION OF OUTDOOR SPACES: <table border="1"> <tr><td>8.5</td><td>Velocity above which Wind Protection is Desirable (m/s)</td></tr> <tr><td>11.1</td><td>Dry Bulb Temperature Above or Below Comfort Zone (°C)</td></tr> </table>	8.5	Velocity above which Wind Protection is Desirable (m/s)	11.1	Dry Bulb Temperature Above or Below Comfort Zone (°C)																
50.0	% Efficiency of Indirect Stage																						
8.5	Velocity above which Wind Protection is Desirable (m/s)																						
11.1	Dry Bulb Temperature Above or Below Comfort Zone (°C)																						
	13. HUMIDIFICATION ZONE: (defined by and below Comfort Zone) 14. DEHUMIDIFICATION ZONE: (defined by and above Comfort Zone)																						

Figura 28 Datos climáticos generados por el software “climate consultant”, utilizando el estándar AHRAE 55, donde entre los datos encontramos el confort térmico. Fuente: Software Climate consultant.

Una vez generado el análisis de confort, se procede a la selección del equipo de aire acondicionado, para poder obtener datos de consumo y eficiencia. En cuanto eficiencia energética es importante identificar las características e innovaciones en el equipo, debido a que año con año optimización de la energía en este tipo de

producto es mucho mejor. A nivel internacional existen dos indicadores que nos ayudan a medir la eficiencia en los equipos de HVAC en nuestro mercado:

- **EER** (Energy Efficiency Ratio): factor de eficiencia energética en modo **refrigeración**. Es el cociente entre la potencia de refrigeración y la potencia eléctrica absorbida. (Actitud ecologica, 2020)
- **COP** (Coefficient Of Performance): coeficiente de eficiencia energética en modo **calefacción**. Es el cociente entre la potencia de calefacción y la potencia eléctrica absorbida. (Actitud ecologica, 2020)

Y se obtiene dividiendo el total de energía generada para refrigeración o calefacción (según sea el caso COP o EER) entre la cantidad de energía consumida para la generación. Por ejemplo, si un equipo de aire acondicionado tiene un EER de 5, quiere decir que, por cada Kw de energía eléctrica usada, genera 5 Kw de refrigeración.

Aunque posteriormente se ajustaron estos coeficientes para mejorar los datos, de acuerdo a las diversas condiciones del entorno y, el máximo esfuerzo para su funcionamiento en máximas temperaturas. Creando así el Season Energy Efficiency Ratio:

- **SEER**: es el factor de eficiencia energética estacional de la función de refrigeración, y está definida por la demanda anual de refrigeración (Kwh/año) entre el consumo anual de electricidad para refrigeración (Kwh/año). En la Figura 29 se muestran los rangos de eficiencia. (Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los acondicionadores de aire y a los ventiladores , 2011)

Donde se describen los siguientes parámetros de funcionamiento según las condiciones de temperatura (TOSHIBA, 2020):

- Unidad funcionando al **100%** de su capacidad, con una temperatura exterior de **35°C** y una temperatura interior de **27°C**.
- Unidad funcionando al **74%** de su capacidad, con una temp. ext. de **30°C** y una temp. int. de **27°C**.
- Unidad funcionando al **47%** de su capacidad, con una temp. ext. de **25°C** y una temp. int. de **27°C**.
- Unidad funcionando al **21%** de su capacidad, con una temp. ext. de **20°C** y una temp. int. de **27°C**.

Debido al uso de los datos que solicita el programa para calcular el consumo de energía para el aire acondicionado, se utilizó el SEER, porque se necesita el dato de eficiencia energética estacional.

	SEER
A+++	SEER > 8,5
A++	6,1 < SEER < 8,5
A+	5,6 < SEER < 6,1
A	5,1 < SEER < 5,6
B	4,6 < SEER < 5,1
C	4,1 < SEER < 4,6
D	3,6 < SEER < 4,1
E	3,1 < SEER < 3,6

Figura 29 Clasificación de equipos de aire acondicionado según su coeficiente SEER en la unión Europea.
Fuente: (TOSHIBA, 2020)

En México existe una norma para regular el comportamiento de los equipos de aire acondicionados, donde mediante un etiquetado se establece el mínimo y el coeficiente que posee el equipo. Esta norma contextualiza el SEER y lo define de la siguiente manera:

- **REEE:** Límite de valor de Relación de Eficiencia Energética Estacional (Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), 2015)

Se obtiene de forma similar al SEER, y tiene las mismas unidades de W/W, y a diferencia de los rangos aceptados en la Unión Europea, en México se considera un dato de salida REEE de 4.68. En la Figura 30 se puede apreciar el etiquetado

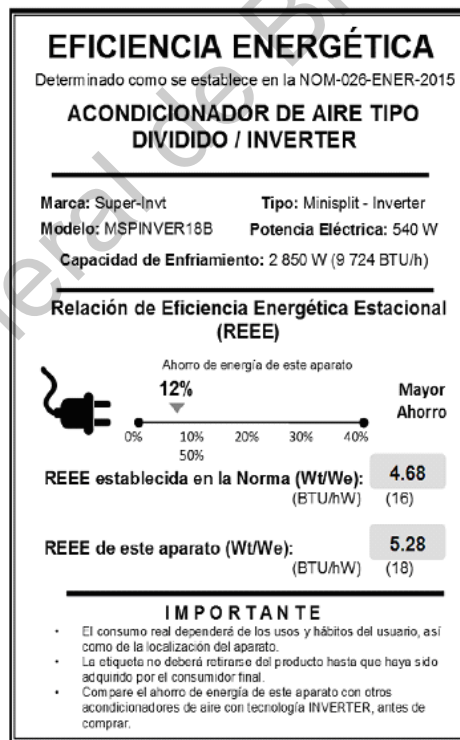


Figura 30 Etiquetado de equipo de aire acondicionado en México de acuerdo a su coeficiente REEE. Fuente: (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2017)

Por lo que la ponderación para la selección del equipo de aire acondicionado en el archivo de experimentación, después de realizar una búsqueda en el mercado de un equipo con las parámetros de SEER requeridos, se llegó a la conclusión, de que un equipo Toshiba modelo DAISEIKAI 9 es uno de los aires acondicionados con mejor rendimiento en la actualidad teniendo un SEER de 10.5 y un SCoP de 5.8, y siendo estos los que se colocaron en la plantilla de HVAC de nuestro simulador, para el cálculo de la energía utilizada para lograr el confort térmico de los prototipos, una vez que se rebasa la temperatura interior.

Base de datos para la ejecución de simulaciones.

La base de datos utilizada para las simulaciones y evaluación térmica y energética, se descargó del software "Meteonorm 7.3", que se caracteriza por generar datos climáticos en diferentes extensiones o tipos de softwares, obtenidos de estaciones climatológicas o interpolando datos de estaciones cercanas o similares, poniendo a disposición sus mediciones. Los datos de estas estaciones son horarios, y contemplan datos térmicos, como radiación global, directa, difusa, temperatura bulbo seco, humedad relativa, velocidad y orientación de vientos, albedos, entre muchos datos más.

Meteonorm genera la extensión deseada, en este caso Design Builder trabaja con un motor de simulación llamado "Energy Plus", la cual se ejecuta con un archivo tipo "Energy Plus Weather (EPW)".

Se analizó el archivo climático, revisando que no haya ninguna falta de datos, además de cotejar el archivo climático con el software "climate consultant", que es un visualizador de archivos climáticos, que genera estrategias a partir de bibliografía como la de Givoni y su carta higrotérmica, y genera parámetros de confort según algunos estándares como ASRAE.

Y es aquí donde está la importancia de conocer el tipo de clima del caso de estudio, porque con el podemos cotejar los datos climáticos y experimentación con el fenómeno. El archivo climático utilizado es el que pone a disposición la estación meteorológica del Llano San Juan en Tuxtla Gutiérrez Chiapas.

Herramientas

- Software Design Builder con motor de simulación Energy plus
- Software REVIT
- Computadora con requerimientos para las simulaciones.
- Paquetería Microsoft, para evaluación y documentación de resultados.

El proceso de interoperabilidad entre cada una de las herramientas, se puede observar en la figura 31, donde se inicia con un modelado en el programa Revit, donde previamente se realizó una plantilla de trabajo, que contempló edición de sistemas constructivos de muros, suelos y cubiertas, así como la inserción de componente como muebles, escalas humanas y edición de familias de documentación como cotas, ejes y espacios. Se decidió usar Revit como modelador de los prototipos porque, es más fácil poder generar formas cónicas, y muros inclinados, que de lo que se puede hacer en el programa Design Builder. Para la interoperabilidad entre los dos sistemas fue necesario crear un modelo energético en Revit, en su módulo de análisis energético, para que creara una zona en los espacios y Design Builder pudiera acetarlos. Una vez creado el modelo se exporta con la extensión gbXML, y se procede a realizar la simulación con la plantilla con los estudios de las homologaciones descritas en este capítulo.

Para el análisis de los resultados obtenidos de las simulaciones, se usó el programa Excel, donde se contuvo toda la información de salida y, mediante tablas y graficas se puedo generar la inferencia que se describirá en el capítulo 5.

Flujo de trabajo.

Una vez terminado los INPUTS del diagrama de la Figura 13, se inicia la experimentación de acuerdo al Flow chart descrito en la Figura 31, donde se inició con la generación de modelado de los prototipos, de acuerdo al estudio de áreas por forma de la Figura 17, y con base al catálogo de formas de la Figura 14. Posteriormente se exportó con formato gbXML el modelo hecho en Revit-Dynamo al software Design Builder, donde se hizo el análisis térmico a detalle, y se conoció la demanda energética, la transferencia de calor, temperaturas y humedades al interior y resistencia térmicas.

El programa design builder tiene representación gráfica de la evaluación de forma muy descriptiva y fácil de entender y comparar. Aun así, se utilizó el programa Excel para evaluar todas las simulaciones.

FLOW-CHART EXPERIMENTACIÓN

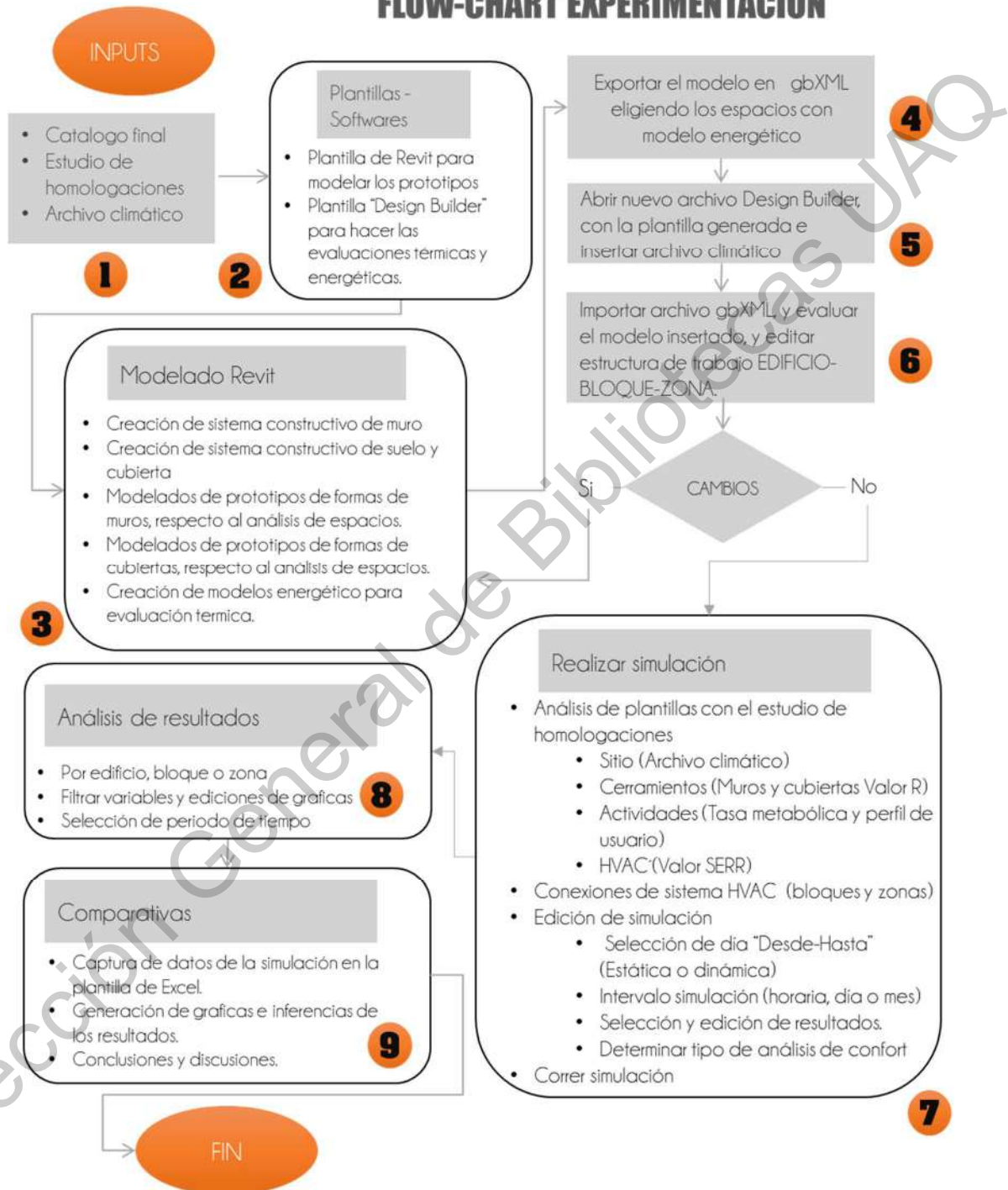


Figura 31 Flow Chart Experimentación.

Este Flow chart, se estableció iterando el proceso de modelado, análisis y evaluación, de los prototipos, iterando cada una de las fases y retroalimentando el proceso hasta que se obtuvo un proceso eficiente, entre la interoperabilidad entre los softwares usados. Dichos softwares, aunque son compatibles, pueden perder o cambiar características de si modelado nativo, sin embargo, se soluciona haciendo un modelo energético en Revit, y al exportarlo con la extensión gbXML se soluciona y pasa de manera completa al programa Design Builder.

En el capítulo 4 se exponen los resultados obtenidos por cada una de los indicadores del catálogo expuesto en este capítulo.

Dirección General de Bibliotecas UFR

VII. RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN.

Una vez realizadas la homologación de cerramientos, ocupación del espacio (donde se obtuvo la tasa metabólica por actividad y también la proporción y escala del prototipo), el HVAC, y el archivo climático tipo, se procedió a la realización del modelado de los prototipos a simular, siguiendo el procedimiento expuesto en la Figura 31. Primeramente, se generó una plantilla para cada homologación anteriormente comentada en la metodología, posteriormente se obtuvo y se analizaron los datos del archivo climático tipo, determinando que no hubiera un dato horario vacío, o incongruente a los datos de la fecha, para ello fue necesario el uso de “Excel” y de “Climate Consultant”, para hacer ese análisis a detalle. Cuando se terminó de analizar, se generó una nueva plantilla de sitio, insertando el archivo convertido por el programa “Energy plus launcher” y se colocó en los archivos climático de Design Builder localizado en el disco local c, archivos de programa, Design Builder y archivos climáticos.

Se procedió a la elaboración de los prototipos, con el análisis de áreas comentado en la metodología en el análisis de ocupación con el software Revit, se decidió crear ahí los prototipos, ya que ofrece mayor libertad y parámetros de modelado que Design Builder. Para este modelado se hizo un análisis en planta, alzado y 3d, para asegurar el uso confortable del espacio, mediante análisis de áreas de la actividad, muebles, uso y circulación. En la tabla 8 se pueden observar el orden de los prototipos, organizado según el catálogo generado en la metodología.

La exportación se realizó desde “Revit” con la extensión “gbXML”, propia de archivos que contienen información termica, siendo este el enlace para importar archivos térmicos al programa “Design Builder”, esta importación se realizó desde el archivo que ya contenía las plantillas de las variables homologadas, y situada en el archivo climático analizado previamente. Se hizo la última revisión y se procedieron a realizar las simulaciones.

Tabla 8. Organización de modelado de prototipos a simular. Fuente: Elaboración propia.

<p>1. Solidos primarios</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Cubo b. Esfera c. Pirámide 	
<p>2. Envoltente Muros</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Muro ortogonal b. Muro Circular desplantado horizontalmente c. Muro Circular desplantado Verticalmente d. Muro inclinado hacia el interior e. Muro inclinado hacia el exterior 	
<p>3. Envoltentes cubiertas</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Losa plana b. Losa esférica c. Losa inclinada d. Losa cono 	

Se programo el análisis de simulación a la fecha del 11 de mayo (en este caso no se coloca el año, ya que el archivo climático, ha homologado mediante un análisis de año climático tipo las variables climatológicas de datos horarios, de todos los días del año), se solicita los datos a obtener, que en este caso son la temperatura del espacio, la transferencia de calor, la refrigeración y la renovación de aire.

Explicación de resultados

Datos de simulaciones diarias

De las simulaciones obtenemos datos diarios y horarios para el análisis de los espacios, en la Figura 32 se observa la estructura de la simulación diaria, y posteriormente se analiza los datos que se obtienen de ella, todas las simulaciones se encuentran en los anexos, presentados por prototipo de forma horaria y diaria. En los Anexos A, B y C se presentan cada una las simulaciones diarias y horarias de los prototipos organizados por solidos primarios, muros y cubiertas.

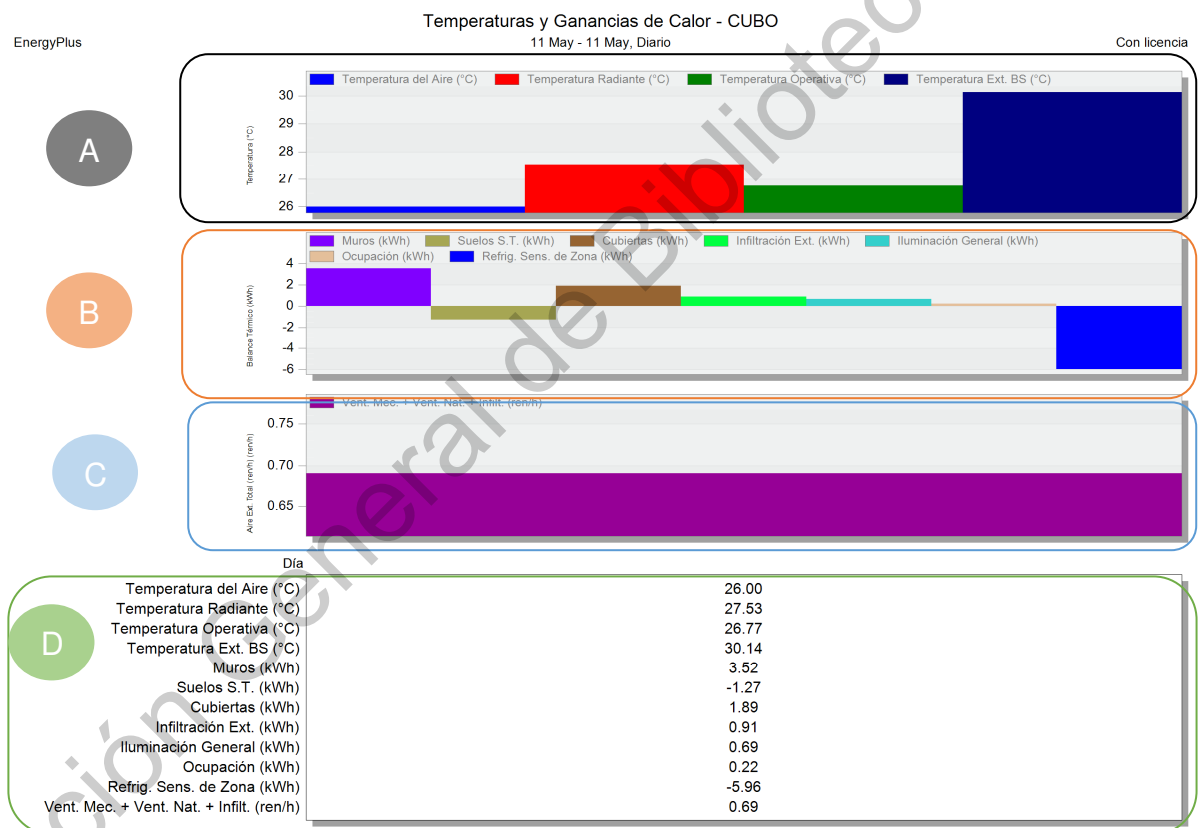


Figura 32. Datos diarios de simulaciones de prototipos. Fuente: Elaboración propia.

En la zona A se localiza el comportamiento térmico, comprendido por la temperatura (temperatura de consigna que se mantendrá a 26 °C), la temperatura radiante de las envolventes (muros y cubiertas), temperaturas de ocupación del espacio (generado por la tasa metabólica de la actividad del espacio y el perfil de usuario) y la temperatura bulbo seco.

La zona B contiene la información de energía calorífica transferida al espacio, por muros, suelos, cubiertas, infiltración, iluminación y ocupación. Además de la cantidad de energía para la refrigeración del espacio para lograr la temperatura de consigna de confort térmico.

En la zona C, la cantidad de renovaciones de aire en el espacio, relacionado al movimiento del aire al interior y la infiltración.

Y en la zona D la tabla de los datos diarios de las variables.

Datos de simulación horarias

Los datos horarios nos sirvieron para analizar las variables en determinadas horas importantes, como la temperatura bulbo seco más alta, o la hora en que se registra el dato más alto de refrigeración. En la Figura 33 se muestra la estructura de las gráficas, donde se puede observar que, la diferencia más grande entre diaria y horaria es el análisis más preciso de las variables según el momento del día.

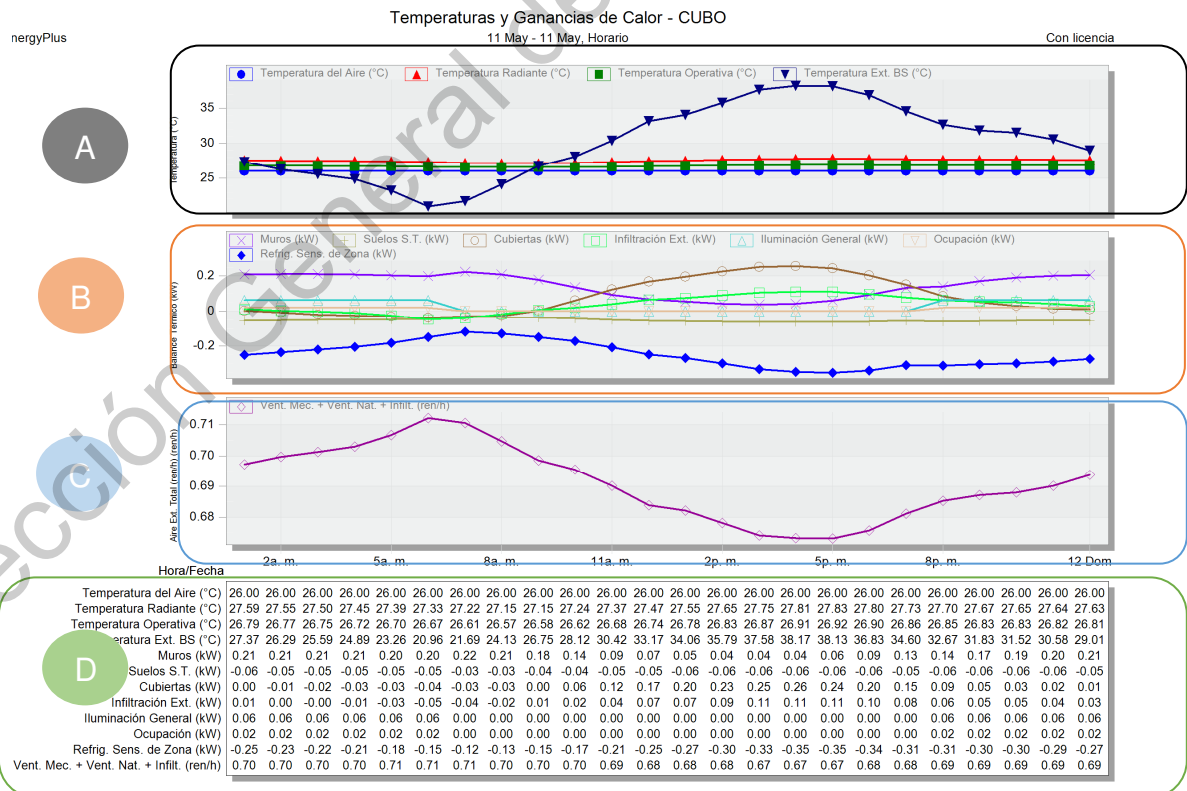


Figura 33. Datos horarios de simulación de prototipos. Fuente: Elaboración propia

En la “zona A” al igual que las tablas diarias, se encuentran las variables de temperaturas (radiante, ocupación y bulbo seco), en la “zona b” encontramos los diferentes datos de transferencia de calor y refrigeración, la “zona c” muestra las renovaciones de aire, mientras que la “zona d” las tablas horarias de los datos de cada variable. Con la explicación de los datos arrojado por Design Builder con el motor de simulación “Energy plus”, podemos inferir el comportamiento y las diferencias entre los prototipos del catálogo de formas, en el siguiente apartado de resultados.

Resultados

Una vez realizado la simulación y la compilación de datos que se obtuvieron de los prototipos, procedemos a realizar el análisis de los datos. Se ordenaron los datos por género, como se ve en la tabla 8, donde se realizaron las comparaciones entre los elementos de la categoría según su comportamiento térmico, energético y de radiación solar. A continuación, se presentan los resultados por género, y también se pueden ver a detalles los resultados de la simulación en el Anexo A.

Resultados Solidos primarios

Simulación energética.

En la Figura 34 se observa el comportamiento de los tres solidos primarios.

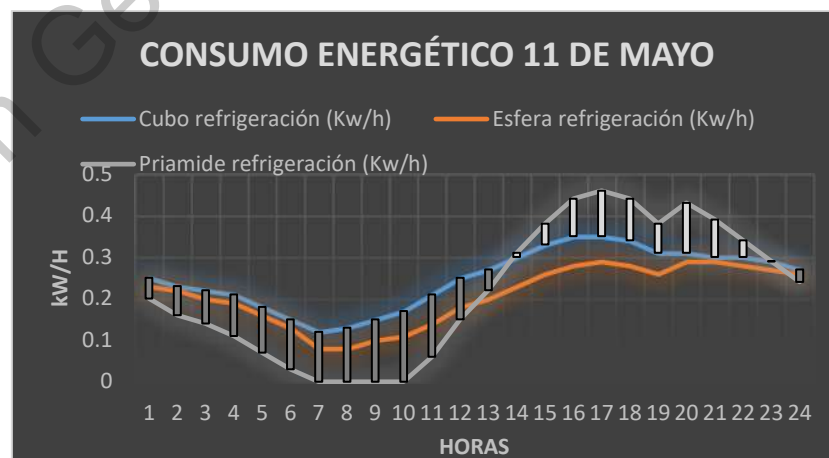


Figura 34. Comparación de comportamiento energético de solidos primarios. Fuente: Elaboración propia

Estos se comportaron de manera diferente debido a su constitución de contorneo geométrico. Como se ve la de mejor comportamiento en cuanto a la transferencia de calor es la esfera, esto se intuía desde un inicio, porque por la forma cóncava de la bóveda, los rayos solares al chocar con este tipo de superficie, se divide y se distribuye de forma indirecta, por lo que al no tener una superficie uniforme no capta tanta radiación. La pirámide cuenta con el dato de refrigeración más alto en varias horas del día, sin embargo no es la que mayor consumo genera durante el día, esto debido a que por la inclinación de sus caras, provoca que sea susceptible a quedar casi perpendicular a la declinación solar, por lo que tiene la máxima captación solar, en este caso por la disposición del prototipo, una de las caras está orientada al poniente y eso hace que tenga alta incidencia durante el periodo del día con mayor radiación. El cubo capta menos radiación solar que una pirámide, sin embargo, a diferencia de la esfera su forma ortogonal hace que tenga una incidencia solar uniforme, manteniendo contacto solar durante todo el día, a diferencia de la pirámide donde sus caras van recibiendo radiación en diferentes periodos del día, con una mayor concentración de radiación, pero con menos frecuencia. Por lo que se observa en la Figura 35, el que más refrigeración necesita para poder mantener la temperatura de consigna es el cubo por la condición antes mencionada.

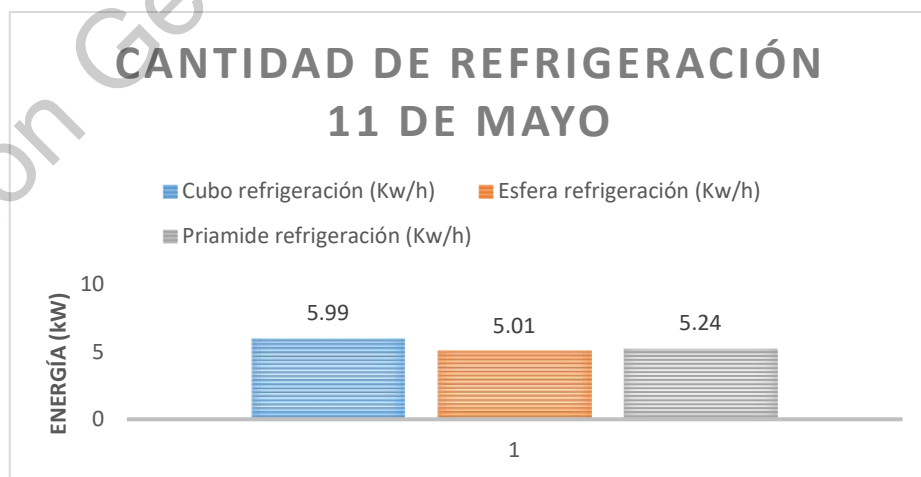


Figura 35. Refrigeración diaria por forma. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 podemos determinar el retardo térmico que la envolvente tiene durante el día, y aunque la temperatura máxima sucede a las 16 horas, la transferencia máxima de calor (que a su vez se refleja en el máximo consumo de energía) es a las 17 horas debido a la resistencia térmica de las envolventes.

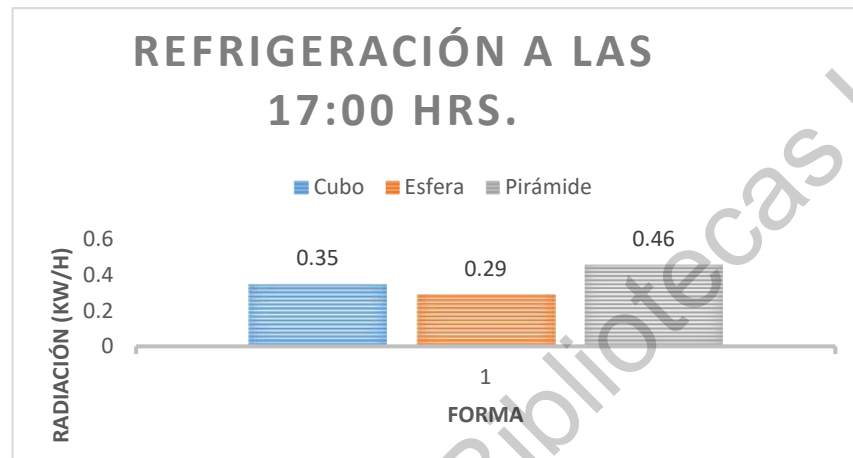


Figura 36. Cantidad de refrigeración a las 17 horas. Fuente: Elaboración propia.

Es así que podemos concluir que el consumo energético de un espacio por la forma de su envolvente, va a variar sobre tres condiciones, la primera por la característica geométrica del contorno, entre más cóncava capta menos radiación, y entre más inclinada capta más radiación en un tiempo determinado dependiendo de la orientación; la segunda, si la cantidad de superficie que contenga la envolvente es muy alta en relación a la superficie de desplante, generará más transferencia, independientemente del tipo de contorno de forma; y la tercera condición es la proporción de superficie de suelo de desplante, ya que se observó que durante la madrugadas y las primeras horas del día el suelo genera enfriamiento por masa térmica, derivado del estrato de tierra fría. En la figura 37 se muestra la colección de energía que generaron los diferentes prototipos durante el día. Ahí pudimos observar como la mayor parte de energía calorífica fue por cubiertas y muros, y la refrigeración natural, se hace por medio del suelo.

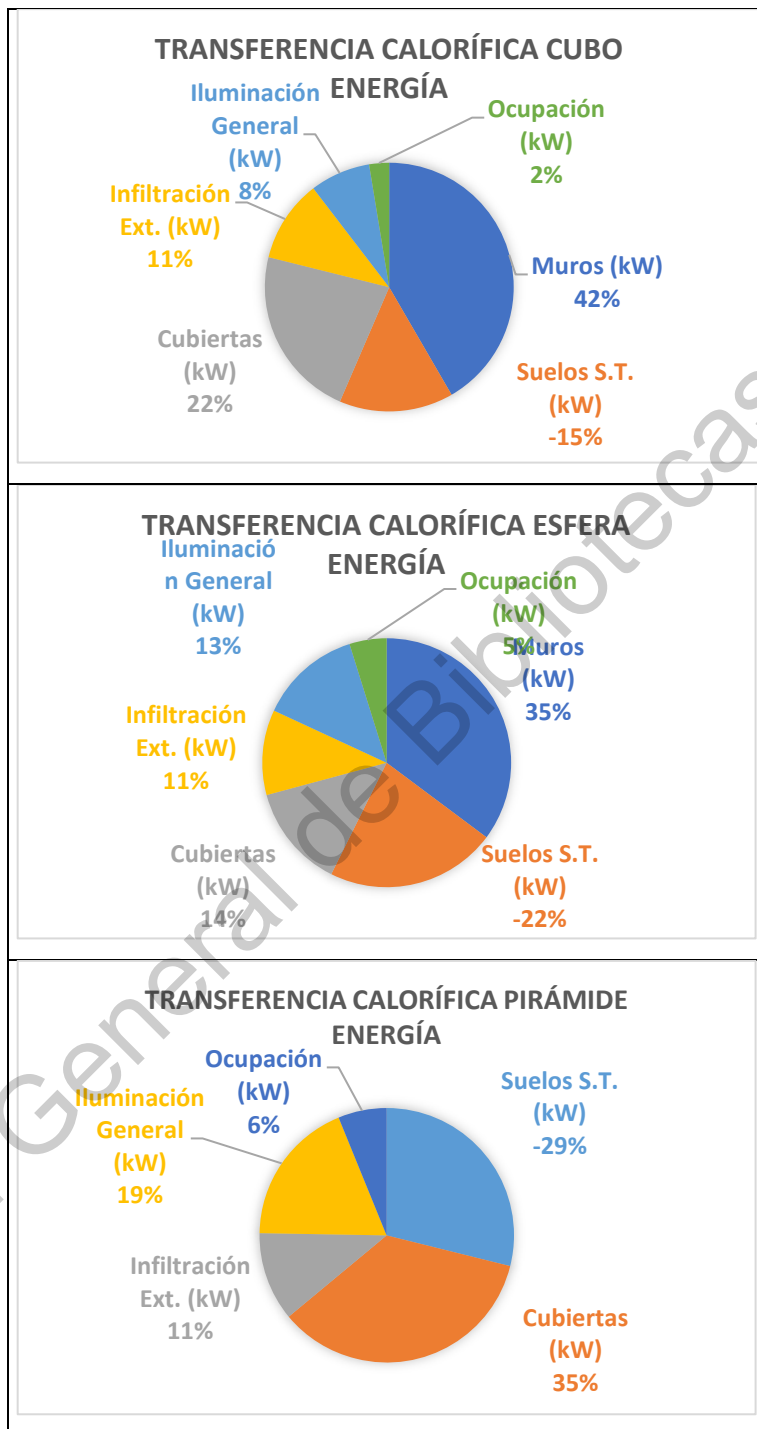


Figura 37. Comportamiento de transferencia de energía calorífica por elemento. Fuente: Elaboración propia.

Captación de radiación solar

El segundo estudio que se hizo para las formas, fue la de captación de radiación solar, esta se elaboró con el programa “Revit” con el plug in “Insight”, se localizó la misma estación meteorológica que se utilizó para el archivo climático tipo, y se estableció el día de experimentación al 11 de mayo. Los resultados pueden verse en las figuras 38 y 39, donde llamó la atención que el cubo capto menos radiación, sin embargo, fue la que más transfirió, esto debido a que aunque la radiación es indirecta sobre las envoltente del cubo, la frecuencia alta de exposición hacer que nunca deje de captar radiación solar.

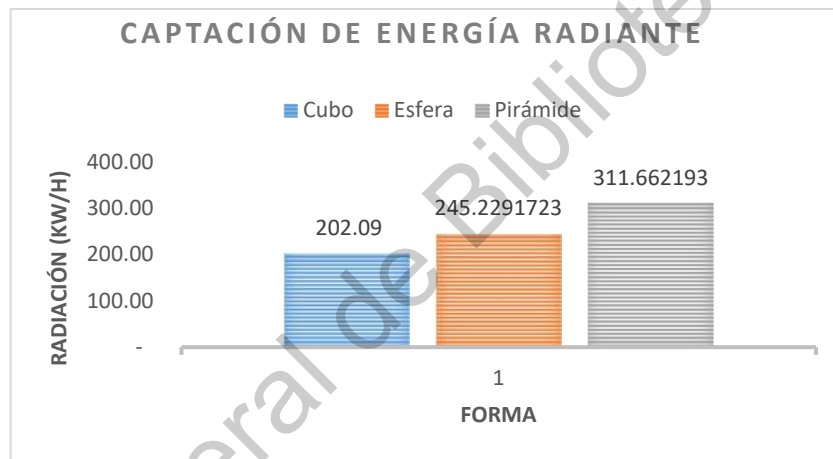


Figura 38. Colección diaria de radiación solar por prototipo. Fuente: Elaboración propia.

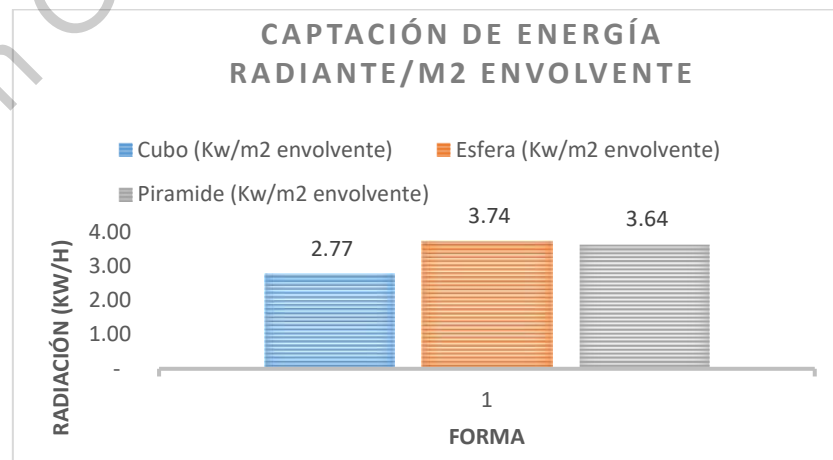
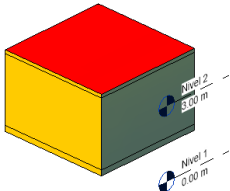
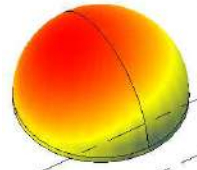
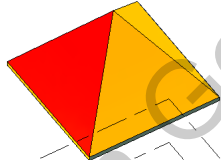


Figura 39. Colección de radiación solar durante el día / superficie de envoltente. Fuente: Elaboración propia.

Síntesis de comportamiento de formas.

En la Tabla 9 se exponen los resultados sintetizados del comportamiento, donde se obtuvieron factores de eficiencia de cada una de las formas, siendo 1 el de mejor comportamiento. También podemos observar los M² de envolvente, que nos sirvieron para localizar el parámetro de consumo por M² de envolvente durante un día, en un clima cálido y con cerramientos (muro y cubierta) que pasen la norma.

Tabla 9. Síntesis de comportamiento energético de los sólidos primarios. Fuente: Elaboración propia.

FORMA	FACTOR	M2 ENVOLVENTE	PARAMETRO DE CONSUMO /M2	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
	1.20	73.05 M ²	0.082 Kw DÍA /M ²	0.74 KW/DIA
	1.00	65.63 M ²	0.076 Kw DÍA /M ²	0.62 KW/DIA
	1.05	85.59 M ²	0.061 Kw DÍA /M ²	0.66 KW/DIA

Envolventes Cubiertas

Simulación energética

Las cubiertas se comportaron muy homogéneamente a las condiciones climáticas del sitio, sin embargo, se pueden observar comportamientos muy similares al de su sólido primario. Por ejemplo, en la Figura 40 se observa que las cubiertas que más consumen energía son la plana y la inclinada, referente al cubo

y la pirámide, mientras que el cono y la bóveda se mantienen uniformes y por abajo del consumo de las otras dos por su forma esférica. La losa planta recibe radiación constante y uniforme, la inclinada por la tarde dispara su consumo por la alta transferencia de calor, y la bóveda y el cono se mantienen por debajo debido a que los rayos solares no inciden directamente sobre su envolvente. Para el análisis de los resultados de las simulaciones en el Anexo B, se presentan las graficas y tablas de salidas de las simulaciones de las cubiertas.

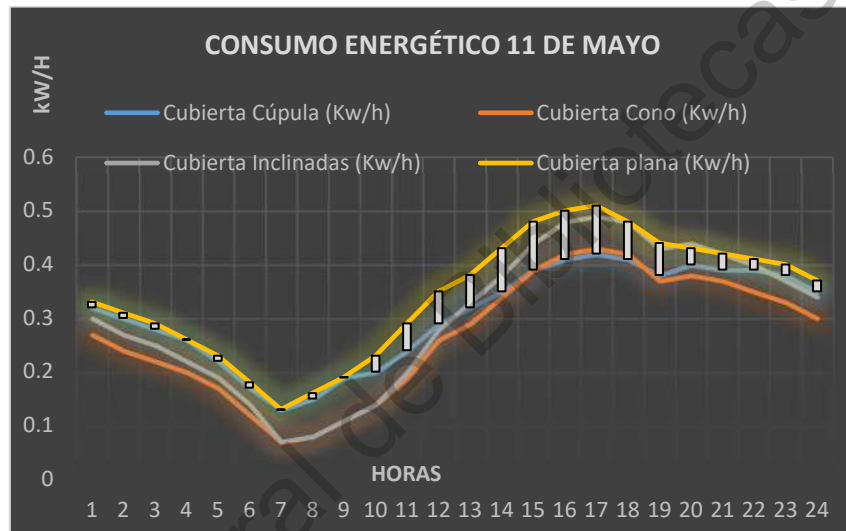


Figura 40. Comparación de comportamiento energético de cubiertas. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 41 queda expuesto, que las cubiertas se comportaron de la misma manera que los sólidos primarios en cuanto a la cantidad de refrigeración al día. Sin embargo, en este caso, la cúpula ha consumido más energía por la segunda condición del comportamiento de la forma de las envolventes, tiene la mayor cantidad de superficie de envolvente, y eso hace que se mantenga uniforme las condiciones térmicas del espacio.

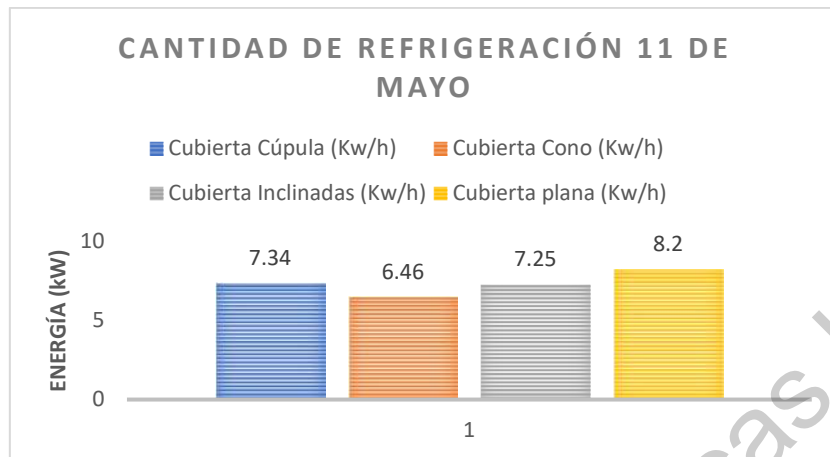


Figura 41. Refrigeración diaria por forma. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 43 se observa, la cantidad de refrigeración durante la hora de máxima captación de calor por envoltorio en los prototipos, se obtuvo que el que más energía de refrigeración generó fue la losa plana, las cubiertas inclinadas fueron la segunda, mientras que el cono y la cúpula fueron las que menos energía generaron.

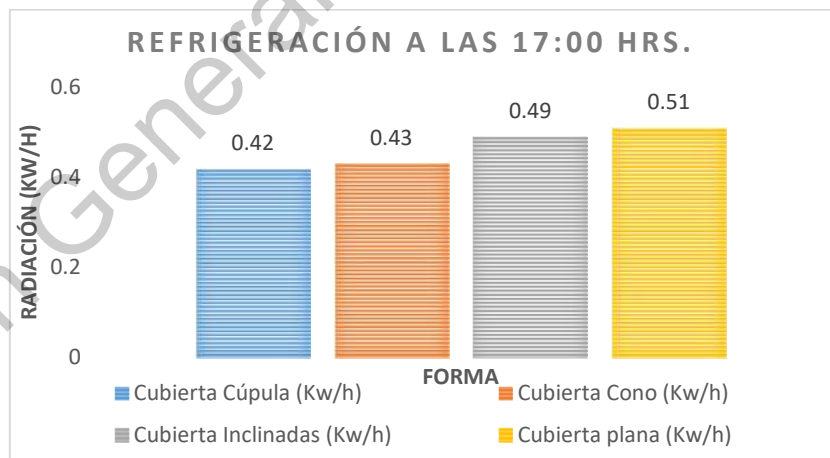


Figura 42. Cantidad de refrigeración a las 17 horas. Fuente: Elaboración propia

Captación de radiación solar

La segunda etapa de análisis referente a la captación de radiación solar, donde se obtuvieron datos reveladores del costo beneficio de implementar los diferentes tipos de cubiertas. En primer lugar, se muestra en la Figura 43 la

captación solar de las cubiertas donde nos sorprendió que él que consume menos radiación es la losa plana, mientras que la losa inclinada es la que más captación tiene, y el cono y la cúpula, se mantiene con un comportamiento similar.

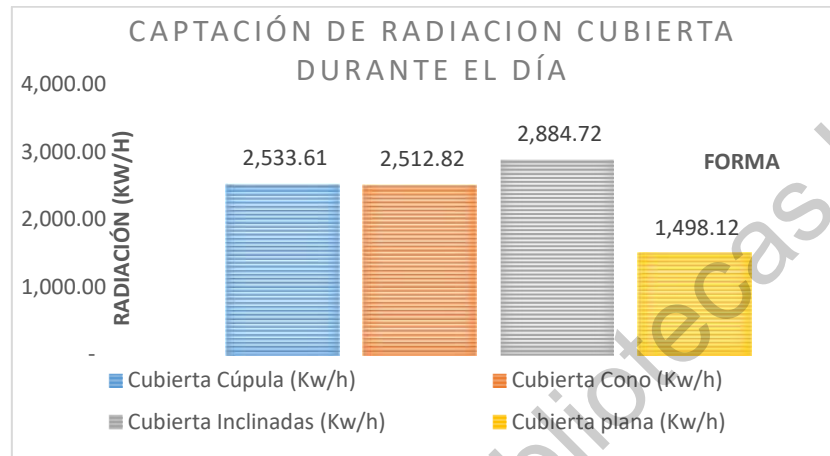


Figura 43. Colección diaria de radiación solar por prototipo. Fuente: Elaboración propia.

Por lo que fue necesario, hacer un análisis de esta cantidad de radiación sobre la superficie de envolvente para obtener un parámetro de radiación sobre M^2 . En la Figura 44 podemos observar que cuando se hace esta operación, el comportamiento es muy similar a lo obtenido en la simulación energética, donde por M^2 de envolvente la losa plana se mantiene como el prototipo con peor comportamiento. La losa a cuatro aguas o inclinada sabiendo que tiene poca frecuencia de incidencia, pero con alto grado de radiación es la segunda, y las otras por su forma esférica, se comportan mejor.

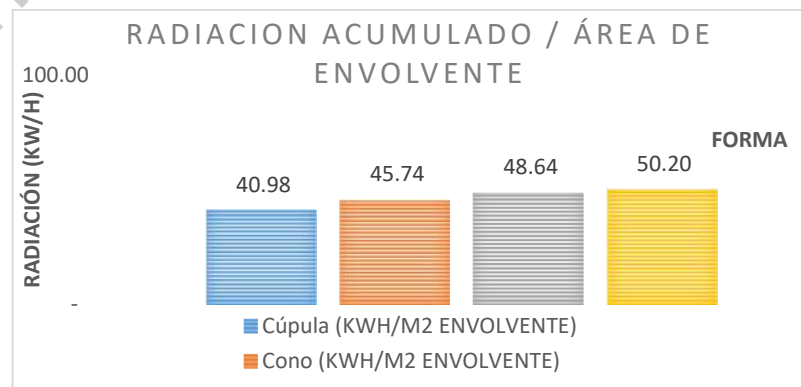


Figura 44. Colección de radiación solar durante el día / superficie de envolvente. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, sucede algo muy interesante cuando la relación de radiación se hace entre la superficie de ocupación del espacio, ósea los 29 M² de la habitación, donde obtenemos que el de mejor comportamiento es la losa plana, debido a que, por tener menos superficie de envolvente, adquiere menos radiación solar.

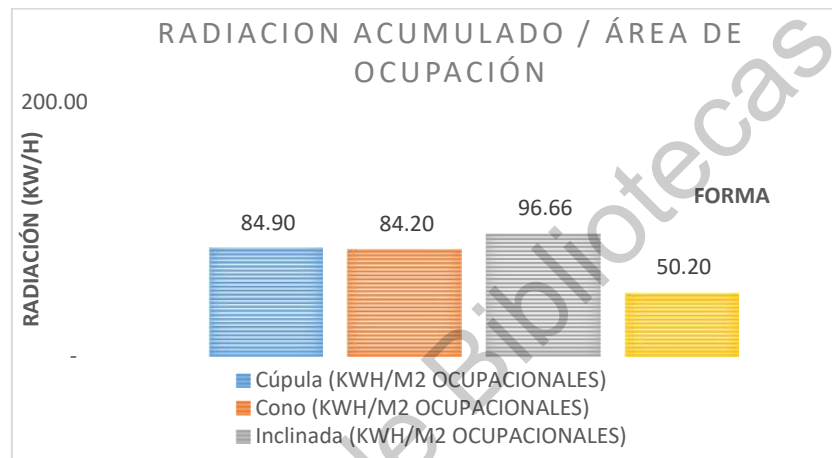
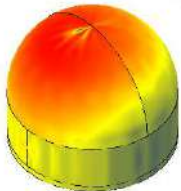
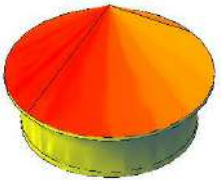
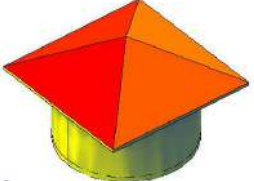
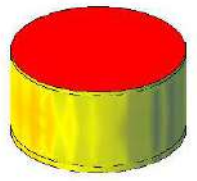


Figura 45. Colección de radiación solar diaria en relación al área de uso de la habitación. Fuente: Elaboración propia.

Síntesis de comportamiento de formas.

En la Tabla 10, se definen la síntesis de comportamiento de las cubiertas, obteniendo el factor de la forma según el mejor comportamiento de los prototipos, las superficies de las envolventes para cubrir el espacio de la habitación, el parámetro de cuando consumo de energía sobre M² de envolvente y el consumo total de energía durante el día.

Tabla 10. Síntesis de comportamiento energético de las cubiertas. Fuente: Elaboración propia.

FORMA	FACTOR	M2 ENVOLVENTE	PARAMETRO DE CONSUMO /M2	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
	1.13	61.82 M ²	0.03 KW/M ² DÍA	0.92 KW/DIA
	1.00	54.94 M ²	0.07 KW/M ² DÍA	0.81 KW/DIA
	1.12	59.30 M ²	0.08 KW/M ² DÍA	0.91 KW/DIA
	1.26	29.84 M ²	0.09 KW/M ² DÍA	1.03 KW/DIA

Envolventes Muros

Simulación energética

El análisis de simulación energética sobre muros, se hizo colocando los prototipos hacia la orientación más desfavorable, en este caso el poniente, se eligieron cinco tipos de muros: ortogonal, inclinado hacia afuera, inclinado adentro, circular desplantado horizontalmente y circular con el lado esférico verticalmente, tal como se observa en la tabla 11. De los resultados obtenidos se hizo una gráfica comparativa del consumo de refrigeración horaria como se ve en la Figura 46, donde detectamos a los muros inclinados como los de peor comportamiento, dado que son los que por la tarde reciben mayor radiación, el inclinado hacia adentro capta mayor

radiación debido a que en determinado momento del día está casi perpendicular a los rayos solares y eso hace que se almacene y transfiera más calor; el inclinado hacia adentro, al extender su segmento superior hacia afuera, extiende también la superficie de cubierta generando mayor exposición y ganancia por este medio. El muro ortogonal se mantiene uniforme debido a que contiene poca superficie de envolvente y a la vez mantiene poca frecuencia de radiación por recibir solo incidencia por la tarde. Los muros circulares tanto horizontal como vertical, generan muy poca captación, debido a su forma esférica que divide la radiación directa de los rayos solares, provocando menos ganancia. Como se ve, todos los comportamientos de muros para estas simulaciones, siguieron el patrón identificado para los sólidos primarios. En el Anexo C se presentan las tablas y gráficas de salida que arrojó las simulaciones en Design Builder

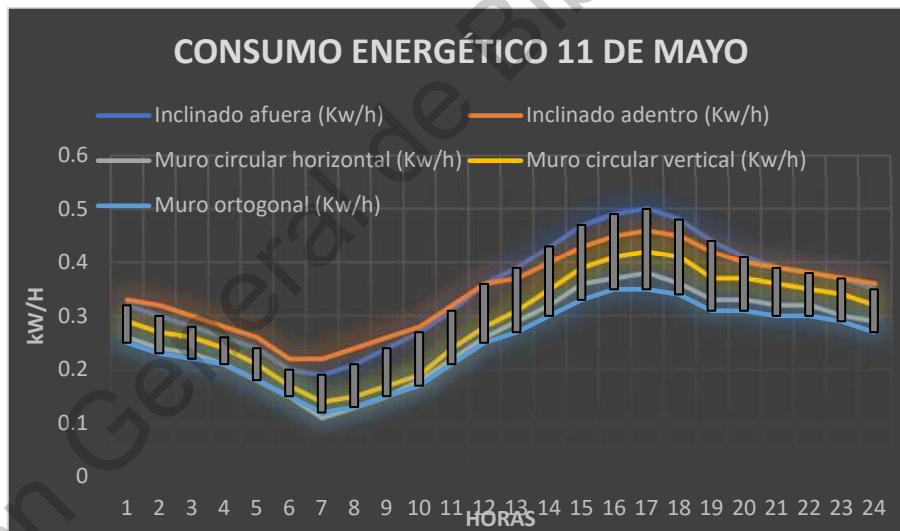


Figura 46. Comparación de comportamiento energético de cubiertas. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 47 puede corroborarse esta inferencia, en la cantidad de captación diaria en los prototipos, siendo los muros inclinado los peores, y los muros circulares los mejores.

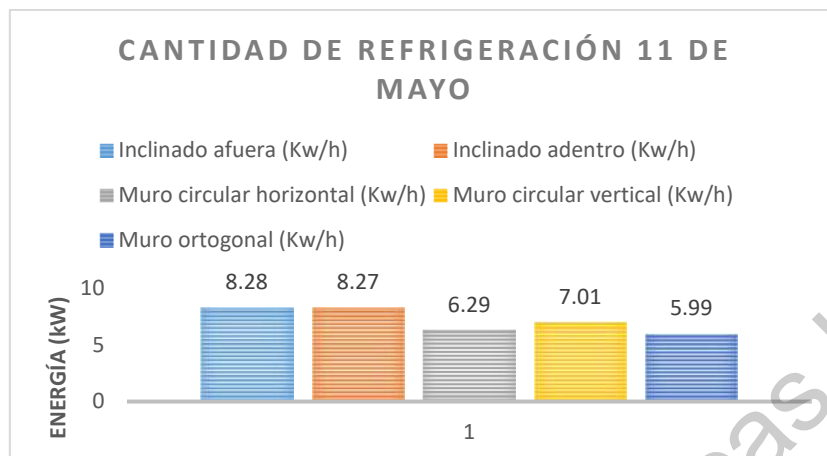


Figura 47. Refrigeración diaria por forma de muro. Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica de refrigeración durante la hora más extrema, referente a la Figura 48, observamos que la tendencia del mismo comportamiento de las gráficas pasadas, sin embargo, el prototipo que consume menos es el muro ortogonal (cubo), debido a que es el que menos superficie tiene, a diferencia de las otras formas, que por cubrir el mismo claro, necesitan más superficie de envolvente.

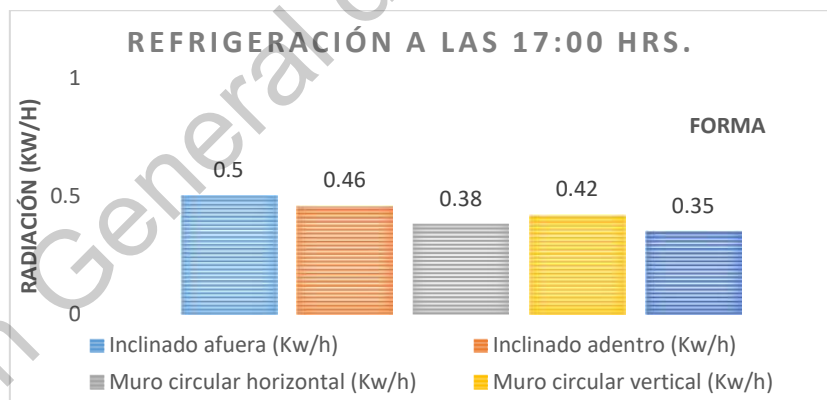


Figura 48. Cantidad de refrigeración a las 17 horas. Fuente: Elaboración propia.

Captación de radiación solar

En el análisis realizado con "Insight", obtuvimos que la forma de muro que capta más radiación es la de muro inclinado hacia adentro, esto ayuda a la radiación casi directa del muro con los rayos solares. El que menos capta es el muro inclinado hacia afuera, lo que se concluye que teniendo una posición contraría a los rayos solares, se protege a si mismo de la incidencia. Los muros circulares se mantienen

mediana y baja captación solar, y el muro ortogonal, es el que menos radiación recibe, por su baja superficie de envolvente. Se puede observar en la Figura 49 los resultados de los prototipos con el cual se infirió lo anterior.

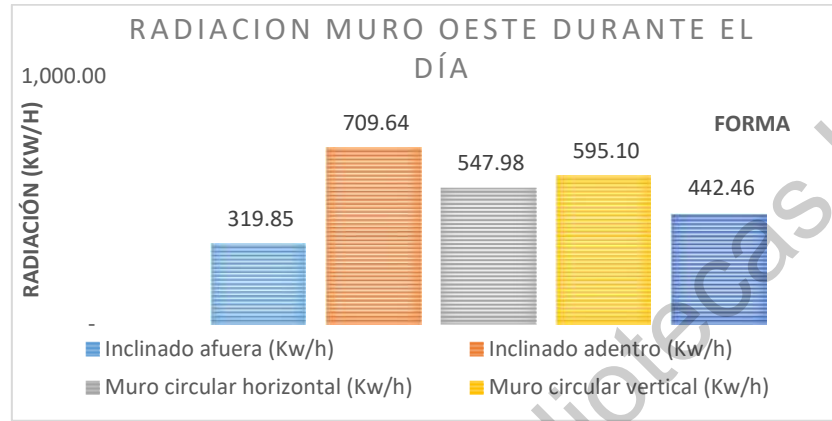


Figura 49. Colección diaria de radiación solar por prototipo. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo al hacer la relación de radiación captada sobre superficie como se ve en la Figura 50, se obtuvo que, el que más consume por M^2 es el muro inclinado hacia adentro, mientras que el muro inclinado hacia afuera es el menos capta, el ortogonal también tiene captación alta, el circular vertical genera alta radiación y se deduce que es debido a que amplía la cubierta y eso provoca que reciba radiación horizontal e intensifique el área de incidencia, tal como se ve en su figura en la tabla 11, mientras que el circular horizontal como ya se ha mencionado divide los rayos solares y disminuye la captación de radiación solar.

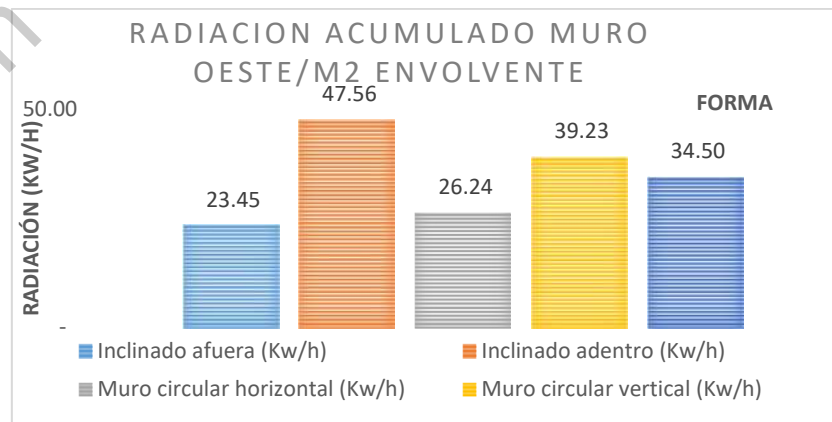
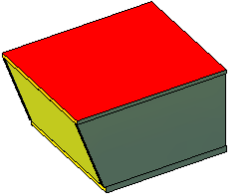
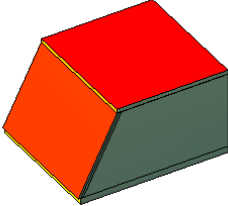
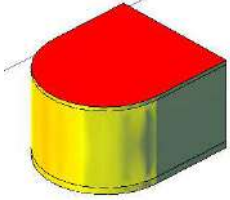
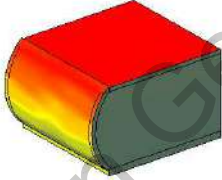
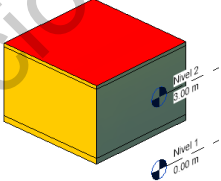


Figura 50. Colección de radiación solar durante el día / superficie de envolvente. Fuente: Elaboración propia.

Síntesis de comportamiento de formas.

Tabla 11. Síntesis de comportamiento energético de muros. Fuente: Elaboración propia.

FORMA	FACTOR	M2 ENVOLVENTE	PARAMETRO DE CONSUMO /M2	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
	1.38	13.64 M ²	0.60 KW/M ² DÍA	1.04 KW/DIA
	1.38	14.92 M ²	0.55 KW/M ² DÍA	1.03 KW/DIA
	1.05	20.88 M ²	0.30 KW/M ² DÍA	0.79 KW/DIA
	1.17	15.17 M ²	0.47 KW/M ² DÍA	0.88 KW/DIA
	1.00	12.83 M ²	0.46 KW/M ² DÍA	0.75 KW/DIA

En la Tabla 11 se sintetizan en factores de comportamiento y paramétricos de consumo en relación a la superficie del tipo de envolvente, así como el consumo de energía que generó cada prototipo.

VIII. DISCUSIONES.

Después de analizar los resultados de obtenidos del proceso de la experimentación hemos identificado los siguientes puntos de discusión para poder concluir las estrategias de adopción y mitigación por tipo de contorno de forma de envolvente, ya sea para forma global o por componente de muro o cubierta.

Las selecciones de las variables se hicieron analizando en primera instancia cuales eran los datos de salida que pudiera tener una investigación de este género, eligiendo así al comportamiento térmico y la eficiencia energética. Para la creación de factores de comportamiento, se seleccionó la cantidad de energía de refrigeración que generaban los diferentes prototipos, en relación a los metros cuadrados de ocupación del espacio. Se decidió usar el análisis energético de los prototipos, debido a que en ciudades con clima cálido o cálido húmedo, el uso de un equipo de aire acondicionado es necesario debido a las altas temperaturas que generan estrés térmico, porque aunque se utilicen sistemas pasivos de climatización, y se amplió el rango de confort en temperatura o ventilación, en algún momento del día no será suficiente por las inclemencias climáticas. Por ejemplo, aunque por ventilación cruzada se generen velocidades de viento altas, la carga de humedad no ayuda a disipar la humedad del cuerpo, o a ampliar la temperatura de confort cuando la temperatura bulbo seco sea mayor de 35 grados centígrados.

Además de que es un parámetro de comportamiento más asequible para identificar el performance y poder generar un análisis de rentabilidad, para saber si es atractivo o indiferente el uso de las estrategias que a continuación se establecerán. Y aunque el conocer térmicamente cómo se comportan es importante, puede ser relativo la diferencia termica entre los prototipos, porque la cognición que tenga cada lector acerca de la diferencia de temperatura, varía dependiendo de las condiciones climáticas del sitio donde este.

Discusiones sobre el mejor comportamiento de los sólidos primarios

Como se observó en los resultados el comportamiento de los tres sólidos primarios, el de mejor rendimiento para cubrir el espacio ocupacional seleccionado, fue la semiesfera, debido a que por su forma geométrica redonda mitiga la incidencia solar, específicamente cuando recibe los rayos solares las divide, haciendo que la ganancia por captación sea menor, la forma esférica para cubrir el espacio ocupación de la habitación necesita menos área de envolvente, por lo que tiene menos transferencia de calor por masa térmica. El cubo mantiene un comportamiento uniforme durante casi todo el día, la máxima ganancia la tiene por la cubierta que, por estar plana, recibe radiación solar durante todo el día en toda su superficie, por lo que la colecta solar aunque menor a otras formas, hace que transfiera mucho calor por la frecuencia de exposición, aunque la ventaja es que la mayoría de los muros no reciben radiación solar directa al mismo tiempo.

La pirámide tiene la desventaja que la inclinación de sus caras, hacen que quede perpendicular al ángulo de altura solar en diferentes periodos del año, lo que ayuda a maximizar la captación de energía por radiación solar directa, y si sumamos que tiene la máxima cantidad de superficie de envolvente de otros sólidos, hacen que por masa térmica sea la que más transfiera. Aunque durante la generación de las simulaciones, nos dimos cuenta que para satisfacer las necesidades de ocupación del espacio, fue el prototipo con mayor superficie de desplante, generando mayor refrigeración por transferencia del suelo, teniendo -3.6 KW de calor por este concepto, representado el 29% la refrigeración del espacio durante el día. Además de esta condición el hecho que la frecuencia de radiación solar directa en sus caras no es tan amplia, no transfiere tanto calor como lo hace el cubo. Por ejemplo, la cara del poniente recibe solo 4 horas de radiación, generando que sea la que más radiación capta sobre área de envolvente, sin embargo, tres de sus caras pueden no recibir radiación solar directa.

Como conclusión final de la discusión el cubo es el que más transferencia de calor puede generar, por lo uniforme de sus contornos en relación a la radiación

directa. Aunque un espacio con un muro inclinado a determinadas horas del día puede generar muchísimo más estrés térmico y por consecuencia consume más energía para climatizar el espacio, tal como se ve en la Tabla 9 donde se sintetizan el comportamiento y análisis de los sólidos primarios.

Discusión sobre el mejor comportamiento de las formas de las cubiertas

Cuando se realizó el análisis se observó que las formas de las cubiertas siguen el patrón de comportamiento de los sólidos primarios. El de mejor comportamiento fue la cubierta de forma de cono, debido a que su contorno cónico, le ayuda a dividir los rayos solares y ocupa menos superficie para cubrir el espacio, lo que nos reduce transferencia por radiación directa y por masa térmica. El de segundo mejor comportamiento fue la cubierta de cuatro aguas (asemejando a la pirámide) con un 12% más de consumo que el del cono, esto debido que, aunque una de sus caras captó más energía, que cualquier otro tipo de cubierta, el hecho de que las otras tres no estuvieran orientadas a la posición solar, hizo que redujera la transferencia al interior. El tercero con mejor rendimiento fue la cúpula (semejando a una forma semiesférica) con un 13% más de ganancia energética por refrigeración que el cono, la conclusión es que al tener 12% más de superficie que el cono hace que por masa térmica transfiera más calor, y en cuanto radiación fue la que menos captación de energía obtuvo, ya que por M^2 de envolvente obtuvo 40.98 Kw/Hora, a diferencia de la cubierta inclinada que captó 48.64 Kw/Hora o la cubierta plana que tiene un alto índice de 50.20 Kw/Hora sobre superficie de envolvente. La cubierta plana se comportó de manera muy diferente en los análisis realizados, primeramente en la simulación térmica resultó ser el prototipo que más consume energía con 8.2 Kw al día, contrastado con la del cono que utilizó 6.46 Kw de refrigeración, nos damos cuenta que consume 26% más, sin embargo cuando analizamos en cuanto a radiación con el plug in Insight de Revit, nos damos cuenta que es el que menos radiación colecta con 1498 Kw a comparación de la cubierta inclinada que capta 2884 Kw como se ve en la Figura 43. Sin embargo, cuando hacemos la división entre la superficie de envolvente de cada una de los prototipos,

nos damos cuenta que por M^2 de contorno es el que más capta con $50.20 \text{ Kw}/M^2$ un 25% más que la cúpula que presenta el mejor comportamiento, y muy similar al inclinado con $48.64 \text{ Kw}/m^2$. Sin embargo, resulto algo muy interesante cuando se dividió entre el área de ocupación del espacio, resultando que el cubo capta menos porque para cubrir ese espacio se requiere menos superficie de cubierta con la losa plana.

Discusión sobre el mejor comportamiento de las formas de los muros

El análisis de los muros se hizo emplazándolos con la orientación de los muros al poniente. Al igual que las cubiertas tuvieron un comportamiento siguiendo el patrón de los sólidos primarios, los inclinados fueron los de peor rendimiento energéticamente, consumiendo hasta 38% más de energía que el más eficiente, que en este caso es el muro ortogonal. Sin embargo, el comportamiento de los tipos de muros inclinados se debe a factores completamente diferentes. El primero, el muro inclinado hacia adentro queda más expuesto por la radiación solar, ya que su inclinación del muro, hace que toda su superficie de envolvente quede a un ángulo casi perpendicular a la radiación solar durante el sol poniente (el más crítico), y el muro inclinado hacia afuera al hacer esta inclinación, amplía superficie de la cubierta aumentando la colección solar en la superficie de esta, sin embargo en cuanto a la captación solar el muro inclinado hacia afuera, al tener un inclinación contraria a la radiación solar, mitiga la incidencia y hace que su transferencia de calor sea mínima.

Los muros circulares también se comportaron de forma diferente, el muro circular desplantado horizontalmente fue el de mejor comportamiento, ya que consumió solo 5% más de energía que el muro ortogonal (mejor rendimiento), y fue el de la prueba de captación de radiación el segundo mejor, después del muro inclinado hacia afuera, esto debido a su naturaleza circular, que hace que los rayos solares al entrar en contacto con ella se dividan y se reduzcan la captación. El muro circular dispuesto verticalmente se situó en medio de los comportamientos en relación a los otros prototipos, teniendo un 17% más de consumo, debido a que, al estar verticalmente, parte de su envolvente queda más horizontal, comportándose

esta parte del muro como una cubierta, teniendo alta ganancia de radiación solar, siendo este muro el segundo que más capta.

El muro ortogonal se comportó mejor que todos en simulación energética, aunque en el análisis de radiación, fue el tercero con mayor captación en relación a su superficie de envolvente, esto derivado a que su condición ortogonal, aunque no es tan perpendicular a los rayos solares como el muro inclinado, capta radiación solar uniformemente y eso hace que, almacene calor en su envolvente y la irradie al interior de forma constante.

El prototipo que resulto tener el mejor rendimiento es el ortogonal y concluimos, que la cantidad de superficie envolvente que tenga el muro, es lo que amplía la cantidad de transferencia de calor.

Discusión sobre el uso de los factores y paramétricos obtenidos.

Los factores se representan en las Tablas 9, 10 y 11, y representan el grado de eficiencia que tienen las formas obtenidas del estudio de esta investigación. Siendo 1 el prototipo con mejor comportamiento y los datos mayores de 1 representan un comportamiento un con porcentaje mayor de consumo energético, por ejemplo en el caso de los sólidos primarios, la esfera es la que mejor desempeño tuvo y tiene el factor de 1, mientras que la pirámide tiene el factor 1.05 debido a que consumió 5% más que la esfera, y el cubo tiene el factor de 1.20 que representa a un 20% más que el rendimiento de la esfera. Este rendimiento se obtuvo de la cantidad de energía que consumió cada prototipo bajo las variables homologadas para que estuvieran en igualdad de circunstancias.

Estos factores podemos usarlos como un parámetro en la fórmula de ganancias térmicas de un edificio como se ve en la Tabla 7, haciendo una multiplicación del resultado obtenido de esa fórmula por el factor del tipo de forma, de manera muy general de como resultado un. Si el edificio cuenta con formas diferentes de muro o cubierta, se hará un prorrateo en porcentajes de los diferentes

muros y cubiertas, y se multiplicara cada una de esos porcentajes por los factores que les corresponden.

Los paramétricos que también se representan en las tablas 9, 10 y 11, son los datos de cuanto consumieron las diferentes formas al día, en relación a su superficie de envolvente. Por ejemplo, el cubo consumió un total de 5.99 Kw durante el día, lo dividimos entre la superficie de envolvente que son 73.05 obtenemos un total de 0.082 Kw día/M². Por lo que si tenemos una forma de envolvente tipo cubo podríamos usar ese dato obteniendo la superficie de la envolvente del edificio y multiplicarlo por ese parámetro. Sin embargo como todo valor paramétrico, solo es un valor estimado, bajo condiciones de variables similares, por lo que para usar este parámetro tendríamos que tener una envolvente de cubo, con un espacio de baja actividad metabólica de 90watts/persona, con cerramientos (muros y cubiertas) que tengan un aislamiento térmico que pasen la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 de 1.40 M² K/W en muros y 2.65 M² K/W en cubiertas.

Discusión sobre las estrategias a emplear en el uso de las formas.

Una vez identificado los patrones de comportamiento de cada forma, podemos generar según estudio de arquitectura bioclimática algunas interpretaciones de las posibles estrategias para mitigar la transferencia de calor al interior, ya que el éxito de mitigarlas depende de muchas variables, sin embargo, aquí se proponen algunas de las que, siguiendo los patrones de comportamiento, podemos considerar como patrones de soluciones.

1. Sólidos primarios

a. Esfera

- Este tipo de contorno geométrico fue el de mejor comportamiento, sin embargo, se aconseja mantener materiales y sistema constructivo que pasen la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009, para tener un excelente retardo de transferencia, además de adoptar alguna estrategia de convección, como ventilación cruzada, efecto Venturi, diferencia de presiones o densidad para aumentar la renovación de

aire al interior, y desfogar eficientemente el aire caliente que obtuvo durante el día.

b. Pirámide.

- Para este contorno es preciso cuidar el emplazamiento del edificio, sobre todo la orientación al oeste, ya que sus superficies inclinadas, pueden provocar alta captación de radiación solar, que genera alto consumo energético.
- Si por cuestiones de diseño es preciso la disposición de ese muro a una orientación oeste, se aconseja usar estrategias de masa termica, como sistemas con amplias capas de aislamiento para minorizar la transferencia.
- Estudio de la radiación solar para proponer algún sistema de sombreado vegetal o artificial, para reducir la exposición solar.
- Estrategias de alta renovación de aire, para el rápido desfogue del aire caliente del interior.
- Utilizar colores claros en las envolventes de mayor incidencia, para que por reflexión se absorba menos radiación.

c. Cubo.

- El cubo, aunque no capta tanta radiación como los muros inclinado de la pirámide, la incidencia uniforme de la radiación solar, hacen que mantenga una transferencia constante, por lo que se aconseja el uso de sistemas constructivos de alta resistencia termica que pasen la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009.
- Estudio de la radiación solar para proponer algún sistema de sombreado vegetal o artificial, para reducir la exposición solar.
- Estrategias de alta renovación de aire, para el rápido desfogue del aire caliente del interior.
- Utilizar colores claros en las envolventes de mayor incidencia, para que por reflexión se absorba menos radiación.

2. Formas de cubierta

a. Cúpula

- Sigue los patrones de comportamiento de la esfera, por lo que la propia forma capta poca radiación solar, sin embargo, lo que provoca la alta transferencia es la cantidad de superficie de envolvente, por lo que se recomienda cúpulas o bóvedas rebajadas para disminuir la superficie o el uso de materiales y sistemas constructivos con alto aislamiento térmico, además de estrategias de renovaciones de aire y colores claros en las envolventes.

b. Cónica

- Esta cubierta fue la de mejor rendimiento, y la propia forma hace los rayos se dividan y reduzca la ganancia solar. Por lo que se recomienda sistemas de aislamiento térmico, renovaciones de aire y colores claros en las envolventes.

c. Losa inclinada

- Evitar una inclinación con orientación noroeste o suroeste, debido a que es la peor orientación para una superficie inclinada, para climas cálidos en latitudes por debajo de los 24° norte. Si se puede trabajar con 2 o 3 aguas para evitar cuarta cara al oeste reducirá la ganancia por radiación solar directa.
- Utilizar un ático o falso plafón con ventilación propia, para mantener una cámara térmica en la parte superior del edificio, que ayudará a retardar la transferencia de calor.
- Sistemas constructivos con alta resistencia térmica
- Estrategias de alta renovación de aire, el rápido desfogue del aire caliente del interior.
- Utilizar colores claros en las envolventes de mayor incidencia, para que por reflexión se absorba menos radiación.

d. Losa plana

- Este tipo de cubierta es de las más críticas, debido a que recibe durante todo el día incidencia solar, se recomienda el uso de sistemas de aislamiento como espuma de poliuretano o sistemas constructivos con materiales térmicos al interior.
- Uso de falso plafón para crear una cámara termica.
- Estrategias de alta renovación de aire, el rápido desfogue del aire caliente del interior.
- Utilizar colores claros en las envolventes de mayor incidencia, para que por reflexión se absorba menos radiación.

3. Formas de muros

a. Inclinado hacia afuera.

- Aunque por su característica morfológica inhibe o disminuye en gran medida la radiación solar directa, se observó que al inclinar el muro hacia afuera, la cubierta se extiende y eso provoca una mayor superficie de contacto con la incidencia solar, por lo que se recomienda al hacer esa inclinación del muro por cuestiones de propuesta formal, que la cubierta se mantenga en su posición original, dejando un vacío, o cubriendo el espacio entre la parte exterior del muro a la cubierta con un material ligero y aislante.

b. Inclinado hacia adentro.

- Evitar la orientación oeste, noroeste o suroeste de ese muro, ya que la captación solar será casi perpendicular durante las horas de máxima radiación y la transferencia será muy alta.
- Si no se puede evitar esas orientaciones, utilizar sistemas con alta resistencia termica.
- De ninguna manera utilizar vidrio con este muro en las orientaciones oeste, noroeste y suroeste. O usar algún tipo de sistema de vidrios con capa interior con material aislante como argón, además de protección solar.

- Utilización para espacio de baja actividad o poca frecuencia de permanencia de un usuario.
 - Estrategias de alta renovación de aire, el rápido desfogue del aire caliente del interior.
 - Utilizar colores claros en las envolventes de mayor incidencia, para que por reflexión se absorba menos radiación.
- c. Muro circular horizontal.
- Uso de sistemas de alta resistencia termica.
 - Reducir o rebajar la curva para disminuir la superficie de la envolvente, ya que entre más área más calentamiento por masa termica.
 - Colores claros para generar reflexión.
- d. Muros circulares vertical.
- Evitar las orientaciones oeste, noroeste y suroeste con esta forma.
 - Utilizar sistemas de alta resistencia termica.
 - Colores claros para generar reflexión.
- e. Muros Ortogonal.
- Usar al poniente sistemas constructivos con alta resistencia termica.
 - Uso de doble muro o de celosías para generar sombreamiento a la envolvente con orientación oeste.
 - Colores claros para generar reflexión.
 - Evitar ventanas o muros cortinas de vidrio con la orientación oeste, noroeste y suroeste.

Estas son algunas de las recomendaciones bioclimáticas para las formas de las envolventes exclusivamente para clima cálido en México. Y como se comentó el éxito de estas estrategias puede variar debido a las diferentes variables que puedan suscitarse, para una propuesta con mayor certidumbre utilizar algún tipo de simulador en la propuesta para validar el proyecto. Sin embargo, estas estrategias

aun ya validadas pueden fallar por errores sistémicos tanto en el uso del simulador o la ejecución real del proyecto.

Discusión sobre siguientes etapas de investigación.

Esta investigación está particularmente dirigido al clima cálido en México, con ciudades por debajo la latitud 24° norte, por lo que el uso de factores, paramétricos y estrategias está interpretado para ese condicionante. Se pretende hacer estudios posteriores de climas templados y fríos, en primera instancia en latitudes que conciernen a México. Se intuye que el comportamiento de los prototipos de peor rendimiento para climas cálidos en esta investigación, serán los que mejor se comporten para clima templado y frío, por ejemplo, el muro inclinado hacia adentro o las cubiertas inclinadas al poniente.

Esta investigación se concibió con la premisa que serían parte de los inputs de otros proceso o nuevas investigaciones. Entre los procesos que se pretenden crear con esta información, son la generación de una ecuación paramétrica, para que por medio interpolar datos de transferencia de calor por radiaciones sobre envolvente, mecánica, interna, convección, factor de forma y radiaciones globales, poder estimar preliminarmente un consumo de energía o de comportamiento térmico del espacio.

Otro proceso donde se estima utilizar esta información es en la generación de un sistema constructivo modular que pueda adaptarse mediante un sistema de domotización la forma según las inclemencias climáticas, además de la generación de una programación visual de este sistema con el programa "Dynamo".

IX. CONCLUSIÓN

La investigación arrojó datos que ayudo a crear factores que sintetizan el performance de las diferentes formas tanto para envolventes globales, como para muros y cubiertas. Además de poder localizar paramétricos energéticos que, bajo condiciones similares de las variables, ayudarán a hacer un estimado del consumo de cada envolvente. Después de un análisis protocolario del tratamiento de las formas de las envolventes, obtuvimos resultados que se intuían desde la preparación de la investigación, mientras que otros sorprendieron, y se pudo localizar cuales son las variables que impactan más en el comportamiento energético y térmico de las formas de la envolvente.

Del comportamiento de las formas de las envolventes podemos concluir los siguientes resultados, cabe recalcar que los factores entre más pequeños mejor desempeño generarán:

1. Sólidos primarios

- a. Esfera: Con un factor de 1.00 para las formas globales de solidos primarios, y con un consumo paramétrico de 0.076 KwDía/M^2 de refrigeración, fue la de mejor comportamiento, dado que por su contorno geométrico reduce la incidencia solar, sin embargo, se tiene que tener cuidado con la cantidad de superficie para evitar alta transferencia por masa termica.
- b. Pirámide: Con un factor de 1.05, y un paramétrico de 0.061 KwDía/M^2 de refrigeración, se comportó de una mejor manera de la que se pensó, dado que aunque si es la que mayor captación de radiación tiene por quedar casi perpendicular a los rayos solares, no todas sus caras son incididas al mismo tiempo, una de ellas ni siquiera tiene radiación solar directa, además de que por intercambio de calor del suelo al interior ayuda refrigerar naturalmente el espacio, dado que por su forma se necesita más superficie para desplantarla.

- c. Cubo: Con un factor de 1.20 y un paramétrico de 0.082 KwDía/M^2 , es el de peor comportamiento debido a que la frecuencia de radiación directa que tiene la mayoría de sus caras durante el día, hace que haya una constante transferencia de calor al interior, además de que su cubierta está en exposición de radiación solar directa durante todo el día.

2. Formas de cubierta

- a. Cúpula: La cúpula tiene el factor de 1.13 y un paramétrico de 0.03 KwDía/M^2 y aunque no es la más crítica, por la cantidad de superficie de envolvente puede generar alta transferencia de calor.
- b. Cono: La cubierta tipo cono tiene un factor de 1.00 y un paramétrico de 0.07 KwDía/M^2 que lo hace la de mejor comportamiento tanto por su contorno curvo que reduce la radiación directa y la poca cantidad de superficie de envolvente.
- c. Losa inclinada: Tiene un factor de 1.12 y un paramétrico de 0.08 KwDía/M^2 y aunque es la mayor captación de radiación, no fue la de peor comportamiento, ya que la mayoría de sus caras no recibían radiación directa simultáneamente, y cuando lo hacían era muy poco tiempo.
- d. Losa plana: La losa plana con un factor de 1.26 y con un paramétrico de 0.09 KwDía/M^2 , fue la de peor comportamiento, ya que las superficies de su envolvente reciben frecuente radiación directa durante todo el día, por lo que la transferencia es constante desde que amanece hasta que anochece.

3. Formas de muros

- a. Inclinado hacia afuera: Tiene un factor de 1.38 y un paramétrico de 0.60 KwDía/M^2 , que lo hacen uno de los peores muros, ya que por la extensión de dicha inclinación alarga la cubierta y aumenta la transferencia al interior, aunque es el muro que menos capta radiación

por su la declinación de su muro, quedando en contra de la radiación solar directa del poniente.

- b. Inclinado hacia adentro: El factor es de 1.38 y el paramétrico de 0.55 KwDía/M², Es el de peores condiciones debido a que es el más expuesto a la radiación solar directa, ya que los rayos solares casi lo inciden perpendicularmente haciendo que la captación y transferencia de calor sea muy alta.
- c. Muro circular horizontal: Con un facto de 1.05 y un paramétrico de 0.30 Kw Día/M² es el que mejor desempeño tuvo en el análisis de captación solar, por la forma curva que ayuda a reducir la radiación solar directa sobre su superficie, sin embargo, por tener el muro con más área, transfirió mucho calor por masa termica, además de extender el área de cubierta.
- d. Muros circulares vertical: Generó un factor de 1.17 y un paramétrico de 0.47 KwDía/M², y aunque su forma curva a reducir la captación de radiación solar, la parte superior del muro actúa como una especie de cubierta, por lo que aumenta la superficie de exposición de la envolvente a los rayos solares.
- e. Muros Ortogonal: El muro ortogonal tiene un factor de 1.00 y un paramétrico de 0.46 KwDía/M², Lo que lo hace el mejor comportamiento debido a que posee la menor superficie de envolvente de muro. Aunque puede presentar un índice alto de captación solar, si no se le da un tratamiento especial.

En resumen, estas fueron las conclusiones de los resultados obtenidos, explicados más a detalle en el capítulo V. En el caso del objetivo general se logró establecer factores, datos de consumo y estrategias, que sirvan de inputs dentro del proceso de diseño arquitectónico, anticipando el comportamiento que generaría la

forma de la propuesta conceptual. Esto ayuda a anticipar posibles problemas de estrés térmico o de un alto uso de energía para climatizar el espacio.

Dentro de los objetivos particulares se establecen los siguientes resultados:

- Se generaron factores de la forma de cada genero (global, cubiertas y muros), sin embargo, durante la investigación se observó que la variable volumen para un estudio de contorno geométrico no era tan pertinente, como si lo fue la superficie total de la envolvente, ya que volumen tiene más relación con un estudio de tamaño o escalas de la forma, y no de contorno. Y es por lo que se puede concluir, que el comportamiento por el contorno geométrico de una forma, dependen de dos factores, de los tipos de geometrías de la envolvente y cantidad de superficie de esta.
- Se obtuvieron datos paramétricos que, bajo condiciones de tipo de contorno de forma, actividad con baja tasa metabólica de 90 watts por persona, sistemas de techo y muro que pasen la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009; se pueden usar de tal de manera sirva como un parámetro de consumo del espacio. Cabe recalcar que este dato es solo un parámetro, para tener un dato preciso es recomendable hacer una simulación del proyecto.
- En los resultados de la experimentación se crearon las tablas 9, 10 y 11 donde se sintetizaron el comportamiento de las formas, que sirven como catálogo.
- El objetivo que se formulo acerca de crear recomendaciones de eficiencia energética, se hizo en el capítulo de las discusiones, en el apartado de estrategias, donde establecieron interpretaciones de alternativas bioclimáticas para mitigar el alto consumo que algunas envolventes generan.

En el caso de la hipótesis se consolido que, al tener la información de la caracterización de las formas de las envolventes de un edificio, podemos anticipar posibles escenarios, y con los datos obtenido en esta investigación podemos lograr

optimizar la energía consumida por equipo para climatizar el espacio. Por ejemplo, los factores nos sirven para identificar qué porcentaje extra puede gastar en refrigeración un espacio, de acuerdo a la forma con mayor eficiencia, si retomamos que el uso de una cubierta plana consume 26% más de energía que una cubierta cónica, podemos generar alguna estrategia para mitigar la alta transferencia. Además, con los paramétricos podemos estimar que propuesta puede consumir más energía multiplicándolos por la superficie de envolvente que tenga la propuesta, aunque hay aclarar que este dato es solo un parámetro para tener una idea de un estimado bajo las restricciones que se han estipulado para su uso. También en las discusiones podemos encontrar interpretaciones de algunas estrategias bioclimáticas que nos servirán a reducir las transferencias de calor de un espacio, una vez localizado la forma de envolvente que tengamos tanto en general en el edificio, como en los muros y cubiertas.

Sin embargo, tenemos que tener en claro, que al inicio esta hipótesis se estipulo de manera muy general, debido a que aún no se estudiaba a fondo al fenómeno. La hipótesis establecida fue:

“Con la caracterización de las formas de la envolvente de un edificio en climas cálidos, se podrá **optimizar** la eficiencia energética de la propuesta desde el proceso de conceptualización del diseño arquitectónico”.

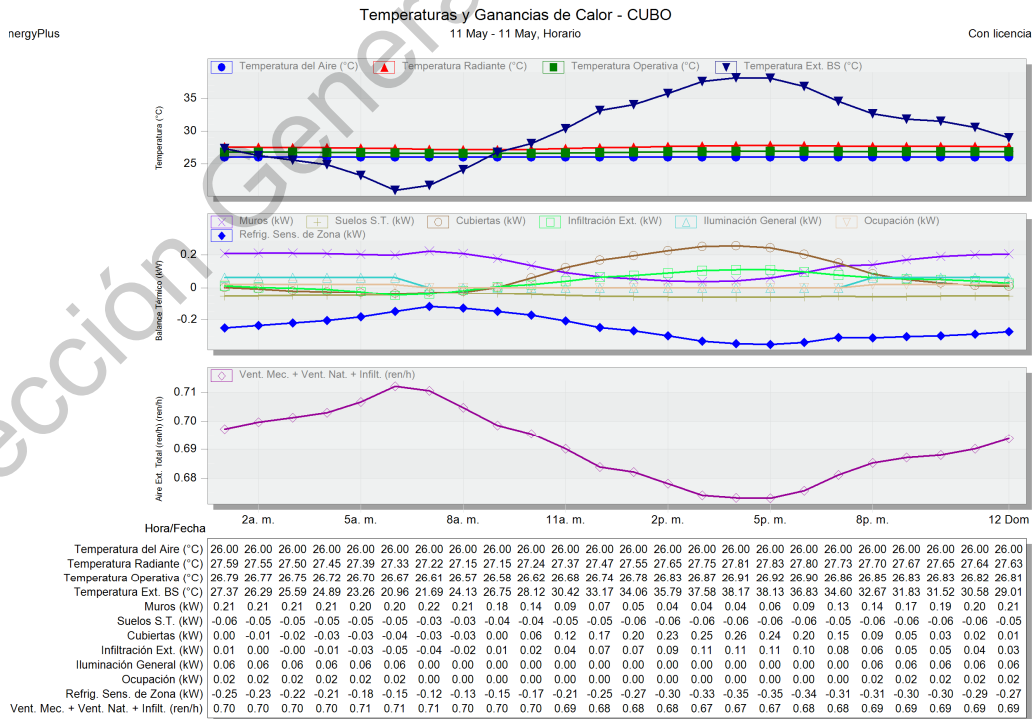
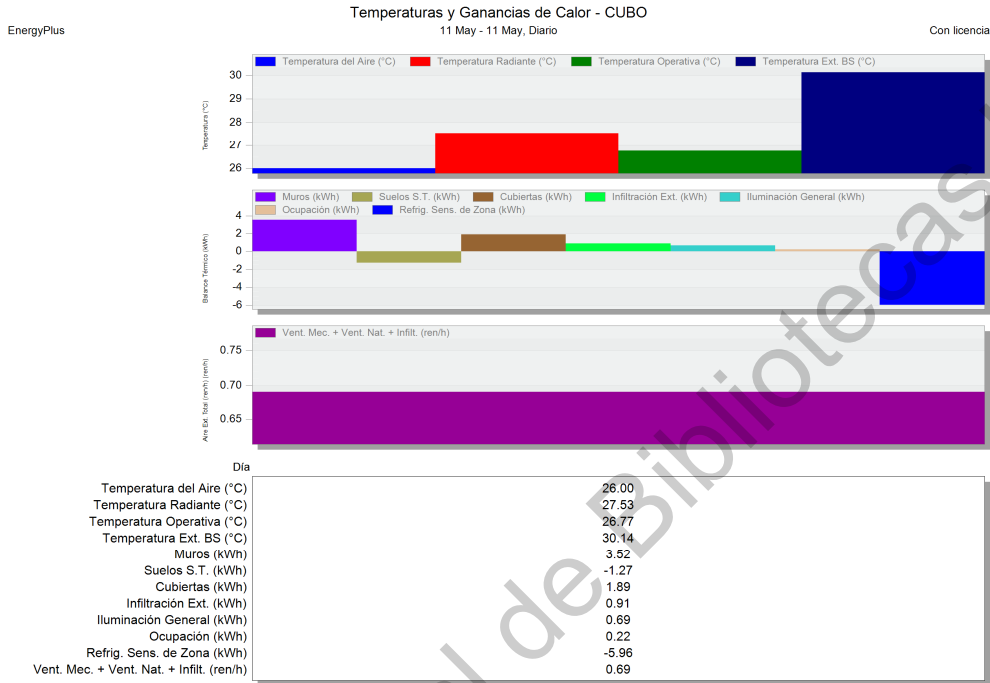
Y con el estudio generado podemos concluir que esa optimización recae en “anticipar comportamientos térmicos y energéticos de la forma de la envolvente propuesta, para poder establecer estrategias de mitigación “.

Concluyo que esta investigación solo es un inicio para poder seguir infiriendo, alrededor del uso eficiente de los recursos que se involucran en los edificios, en particular en el uso de las energías y en el proceso de diseño arquitectónico.

X. ANEXOS

Anexo A. Salida de datos "sólidos primarios"

Cubo



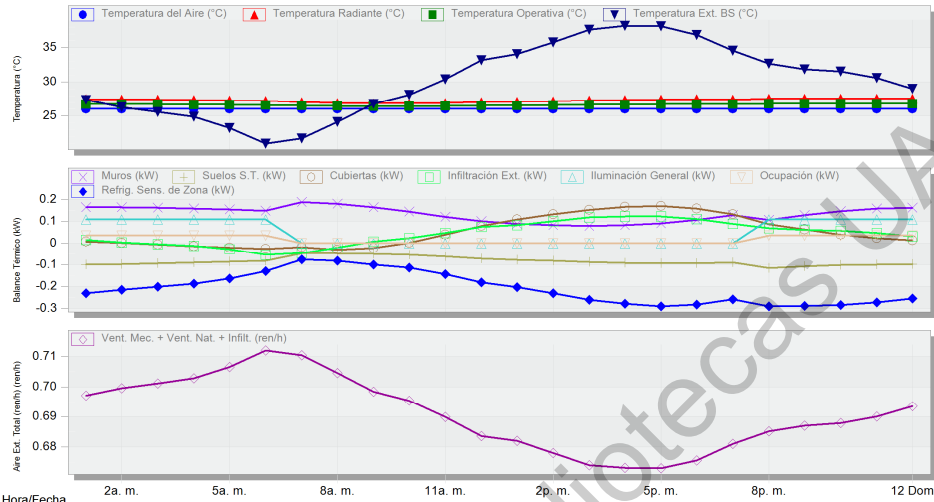
Esfera

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - ESFERA

11 May - 11 May, Horario

Con licencia



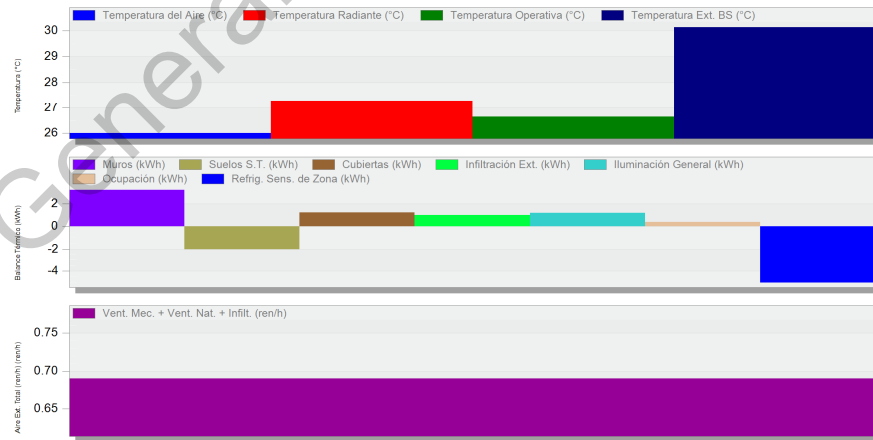
Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	12 Dom
Temperatura del Aire (°C)	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Temperatura Radiante (°C)	27.46	27.43	27.39	27.35	27.30	27.24	27.05	26.92
Temperatura Operativa (°C)	26.73	26.72	26.70	26.67	26.65	26.62	26.52	26.46
Temperatura Ext. BS (°C)	27.37	26.29	25.59	24.89	23.26	20.96	21.69	24.13
Muros (kW)	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.19	0.18	0.17
Suelos S.T. (kW)	-0.10	-0.10	-0.09	-0.09	-0.09	-0.08	-0.05	-0.05
Cubiertas (kW)	0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03
Infiltración Ext. (kW)	0.01	0.00	-0.00	-0.01	-0.03	-0.05	-0.05	-0.02
Iluminación General (kW)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.00	0.00	0.00
Ocupación (kW)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
Refrig. Sens. de Zona (kW)	-0.23	-0.22	-0.20	-0.19	-0.16	-0.13	-0.08	-0.10
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.71	0.71	0.71	0.70

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - ESFERA

11 May - 11 May, Diario

Con licencia



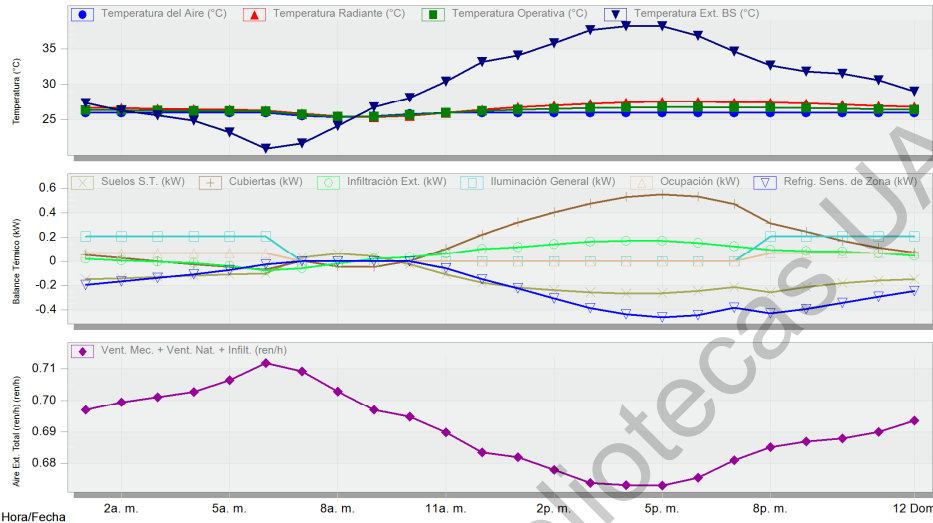
Día	26.00
Temperatura del Aire (°C)	26.00
Temperatura Radiante (°C)	27.28
Temperatura Operativa (°C)	26.64
Temperatura Ext. BS (°C)	30.14
Muros (kWh)	3.21
Suelos S.T. (kWh)	-2.03
Cubiertas (kWh)	1.24
Infiltración Ext. (kWh)	1.02
Iluminación General (kWh)	1.20
Ocupación (kWh)	0.39
Refrig. Sens. de Zona (kWh)	-5.03
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.69

Pirámide

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - PIRÁMIDE
11 May - 11 May, Horario

Con licencia



Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	12 Dom
Temperatura del Aire (°C)	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Temperatura Radiante (°C)	26.72	26.64	26.55	26.46	26.38	26.30	25.88	25.49
Temperatura Operativa (°C)	26.36	26.32	26.28	26.23	26.19	26.15	25.70	25.42
Temperatura Ext. BS (°C)	27.37	26.29	25.59	24.89	23.26	20.96	21.69	24.13
Suelos S.T. (kW)	-0.15	-0.14	-0.13	-0.12	-0.11	-0.10	0.03	0.06
Cubiertas (kW)	0.05	0.03	-0.00	-0.03	-0.05	-0.07	0.00	-0.05
Infiltración Ext. (kW)	0.02	0.00	-0.01	-0.02	-0.04	-0.08	-0.06	-0.02
Iluminación General (kW)	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.00	0.00	0.00
Ocupación (kW)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00
Refrig. Sens. de Zona (kW)	-0.20	-0.16	-0.14	-0.11	-0.07	-0.03	0.00	0.00
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.71	0.71	0.71	0.70

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - PIRÁMIDE
11 May - 11 May, Diano

Con licencia



Día	11 May
Temperatura del Aire (°C)	25.92
Temperatura Radiante (°C)	26.68
Temperatura Operativa (°C)	26.30
Temperatura Ext. BS (°C)	30.14
Suelos S.T. (kWh)	-3.58
Cubiertas (kWh)	4.38
Infiltración Ext. (kWh)	1.45
Iluminación General (kWh)	2.27
Ocupación (kWh)	0.73
Refrig. Sens. de Zona (kWh)	-5.25
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.69

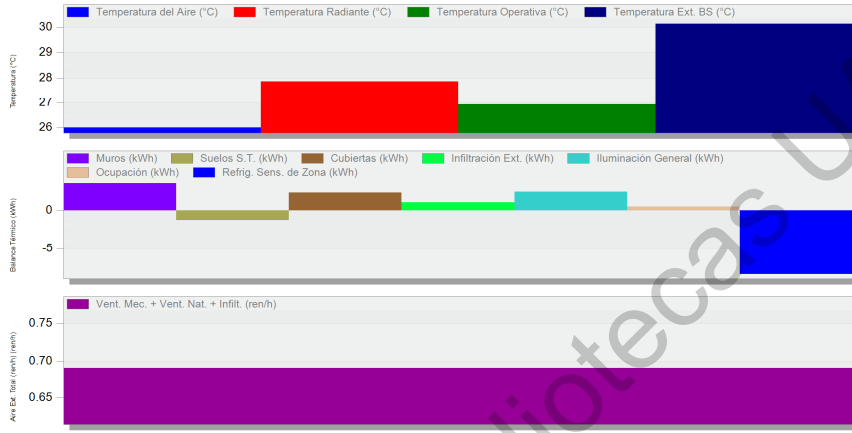
Anexo B. Análisis de envolventes de muros

Muro inclinado hacia afuera

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - Inclinado afuera oeste
11 May - 11 May, Diario

Con licencia

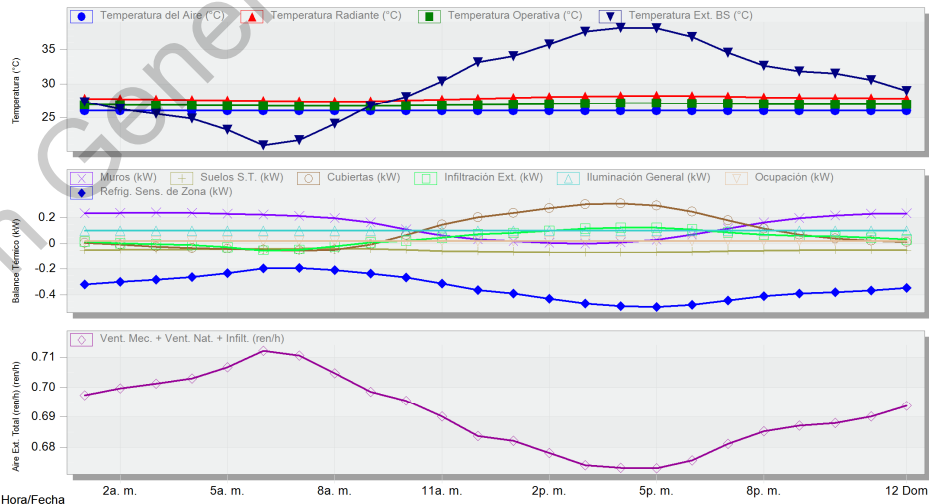


Día	
Temperatura del Aire (°C)	26.00
Temperatura Radiante (°C)	27.86
Temperatura Operativa (°C)	26.93
Temperatura Ext. BS (°C)	30.14
Muros (kWh)	3.45
Suelos S.T. (kWh)	-1.27
Cubiertas (kWh)	2.26
Infiltración Ext. (kWh)	1.01
Iluminación General (kWh)	2.36
Ocupación (kWh)	0.47
Refrig. Sens. de Zona (kWh)	-8.28
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.69

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - Inclinado afuera oeste
11 May - 11 May, Horario

Con licencia



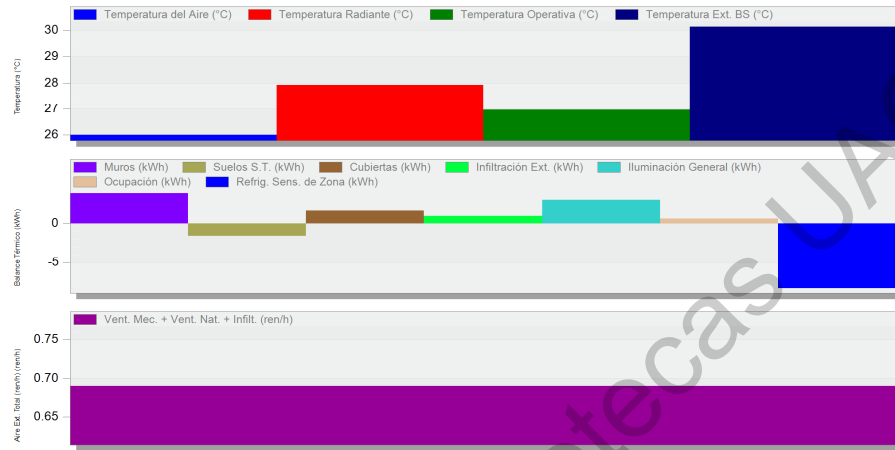
Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	12 Dom
Temperatura del Aire (°C)	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Temperatura Radiante (°C)	27.84	27.79	27.73	27.67	27.60	27.54	27.47	27.43
Temperatura Operativa (°C)	26.92	26.89	26.86	26.83	26.80	26.77	26.73	26.71
Temperatura Ext. BS (°C)	27.37	26.29	25.59	24.89	23.26	20.96	21.69	24.13
Muros (kW)	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.20
Suelos S.T. (kW)	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
Cubiertas (kW)	0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05
Infiltración Ext. (kW)	0.01	0.00	-0.00	-0.01	-0.03	-0.05	-0.05	-0.02
Iluminación General (kW)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Ocupación (kW)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Refrig. Sens. de Zona (kW)	-0.32	-0.30	-0.28	-0.26	-0.24	-0.20	-0.19	-0.21
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.71	0.71	0.70	0.70

Muro inclinado hacia adentro

Temperaturas y Ganancias de Calor - Inclinado interior oeste
11 May - 11 May, Diario

EnergyPlus

Con licencia

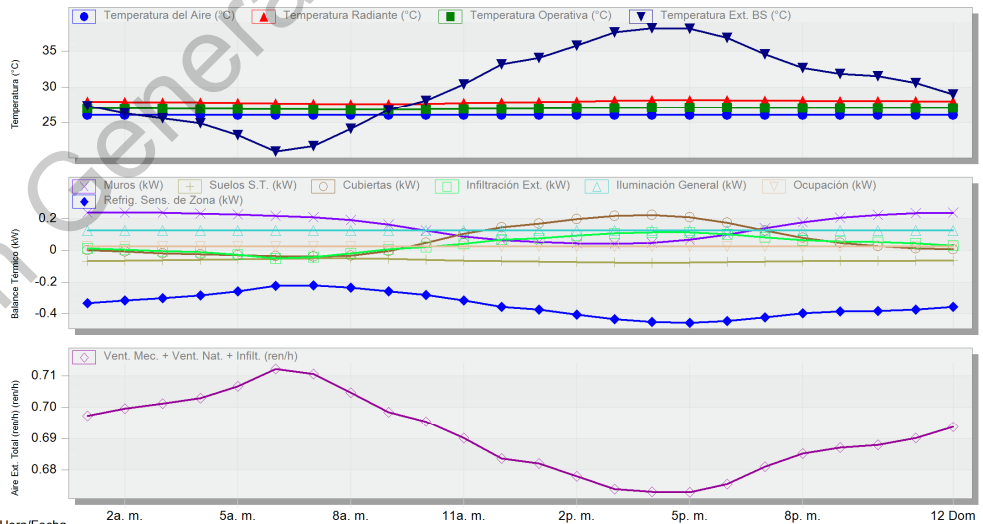


Dia	
Temperatura del Aire (°C)	26.00
Temperatura Radiante (°C)	27.93
Temperatura Operativa (°C)	26.96
Temperatura Ext. BS (°C)	30.14
Muros (kWh)	3.77
Suelos S.T. (kWh)	-1.58
Cubiertas (kWh)	1.58
Infiltración Ext. (kWh)	0.93
Iluminación General (kWh)	2.97
Ocupación (kWh)	0.59
Refrig. Sens. de Zona (kWh)	-8.26
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.69

Temperaturas y Ganancias de Calor - Inclinado interior oeste
11 May - 11 May, Horario

EnergyPlus

Con licencia



Horas/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	12 Dom
Temperatura del Aire (°C)	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Temperatura Radiante (°C)	27.97	27.93	27.88	27.83	27.78	27.72	27.65	27.61
Temperatura Operativa (°C)	26.99	26.97	26.94	26.92	26.89	26.86	26.83	26.80
Temperatura Ext. BS (°C)	27.37	26.29	25.59	24.89	23.26	20.96	21.69	24.13
Muros (kW)	0.24	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.19
Suelos S.T. (kW)	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05
Cubiertas (kW)	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03
Infiltración Ext. (kW)	0.01	0.00	-0.00	-0.01	-0.03	-0.05	-0.04	-0.02
Iluminación General (kW)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Ocupación (kW)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Refrig. Sens. de Zona (kW)	-0.33	-0.32	-0.30	-0.28	-0.26	-0.22	-0.22	-0.24
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.71	0.71	0.70	0.70

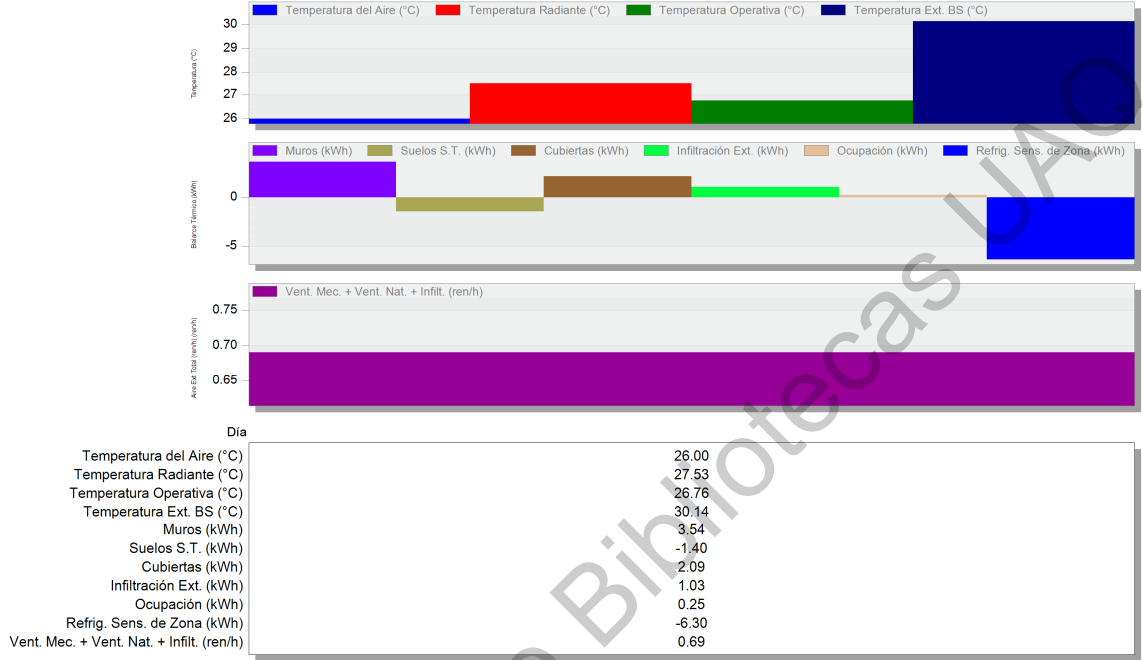
Muro circular horizontal

Temperaturas y Ganancias de Calor - HORIZONTAL OESTE

EnergyPlus

11 May - 11 May, Diario

Con licencia

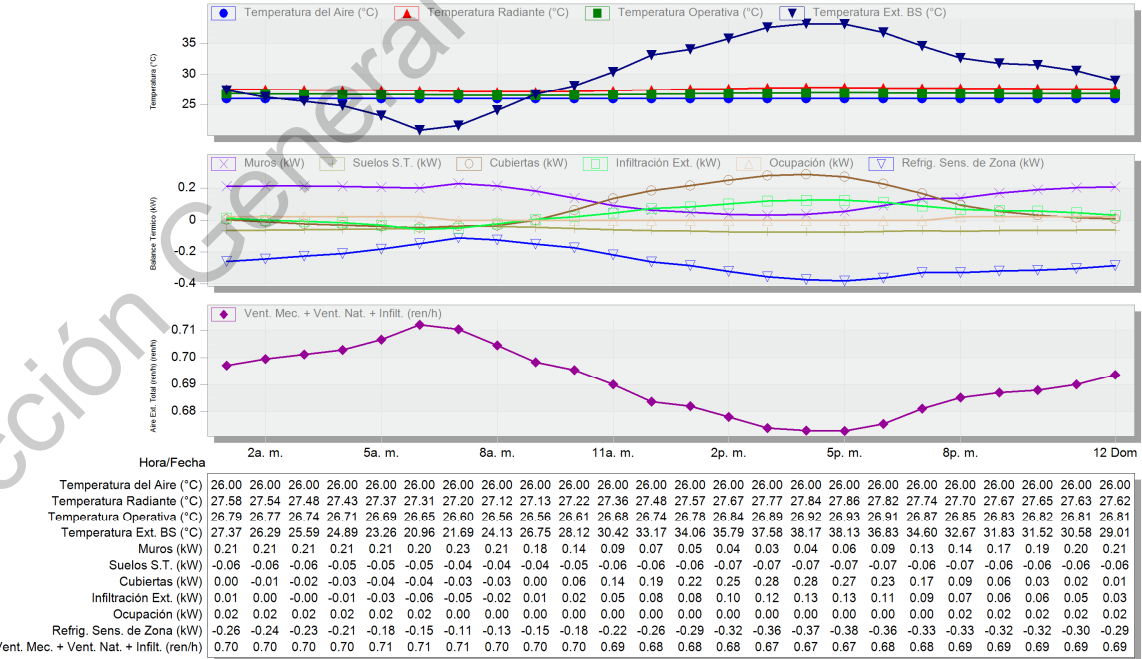


Temperaturas y Ganancias de Calor - HORIZONTAL OESTE

EnergyPlus

11 May - 11 May, Horario

Con licencia



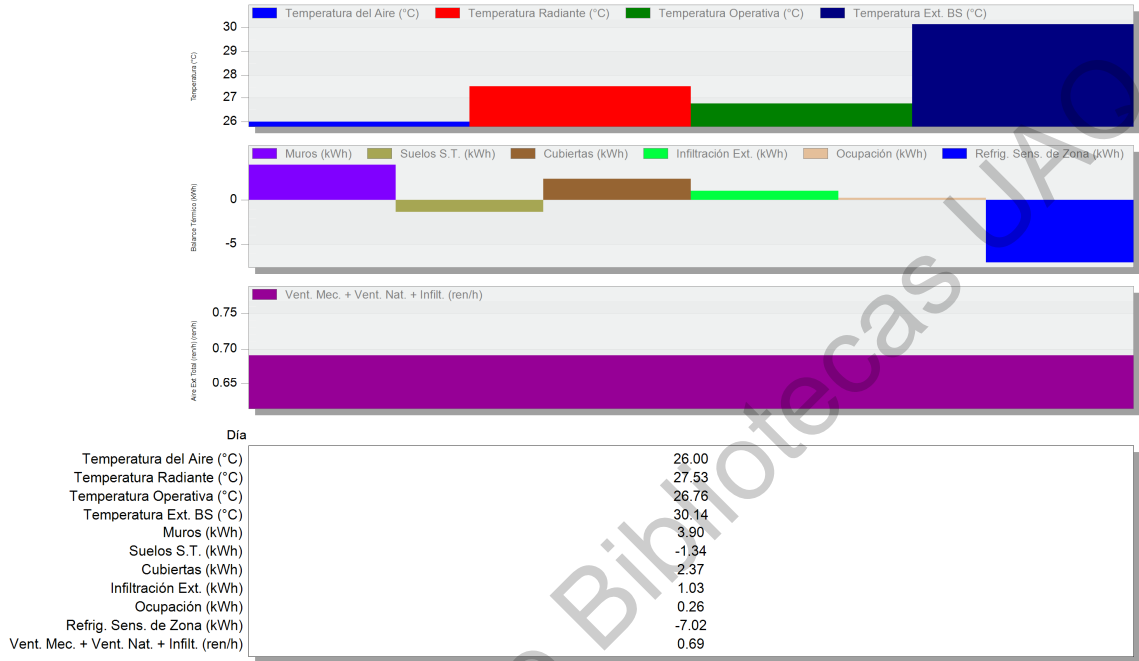
Muro circular vertical

Temperaturas y Ganancias de Calor - VERTICAL OESTE

EnergyPlus

11 May - 11 May, Diario

Con licencia

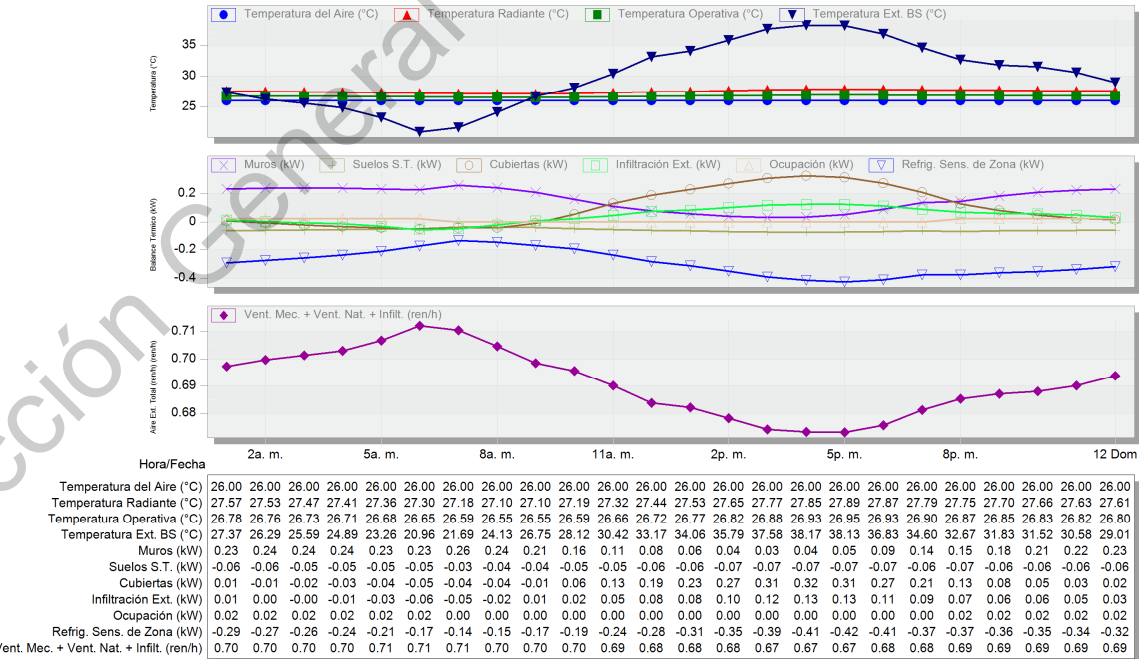


Temperaturas y Ganancias de Calor - VERTICAL OESTE

EnergyPlus

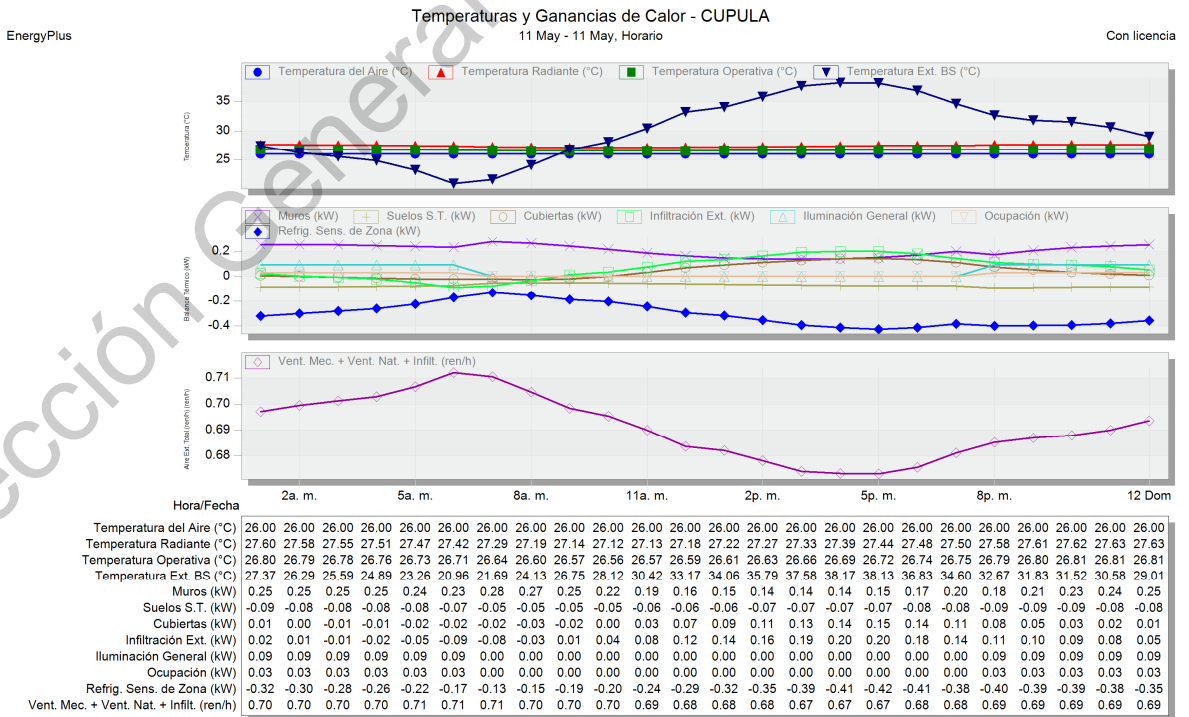
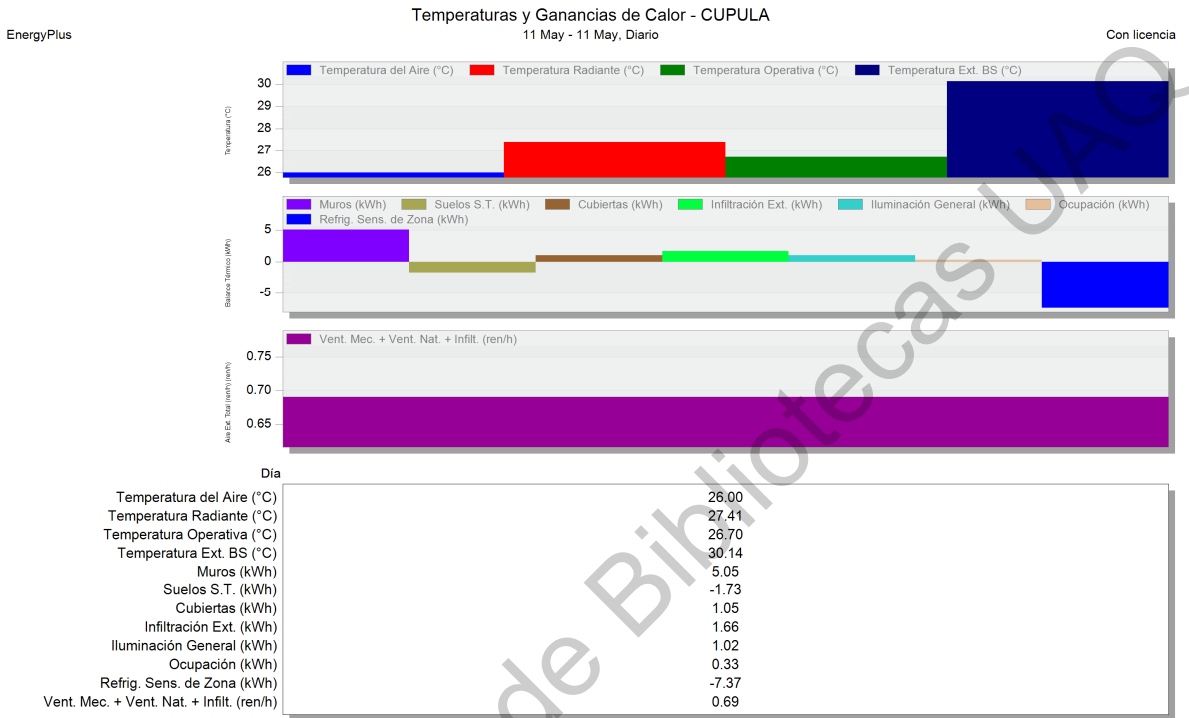
11 May - 11 May, Horario

Con licencia



Anexo C. Simulaciones de formas de envoltentes cubierta

Cúpula



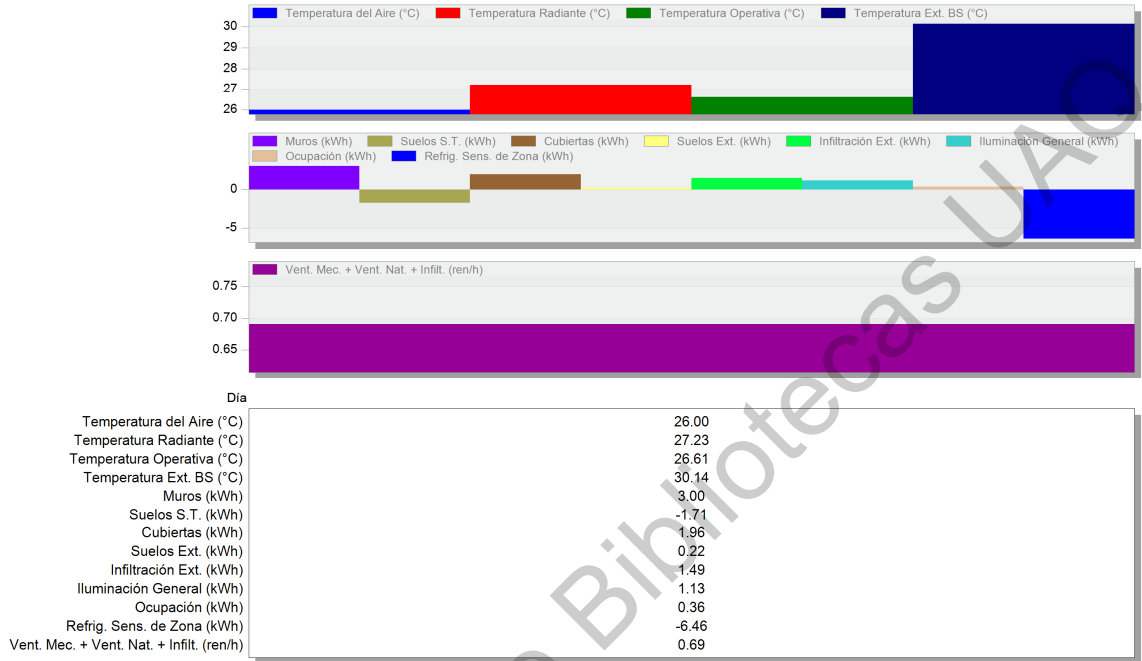
Cono

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - LOSA CONO

11 May - 11 May, Diario

Con licencia

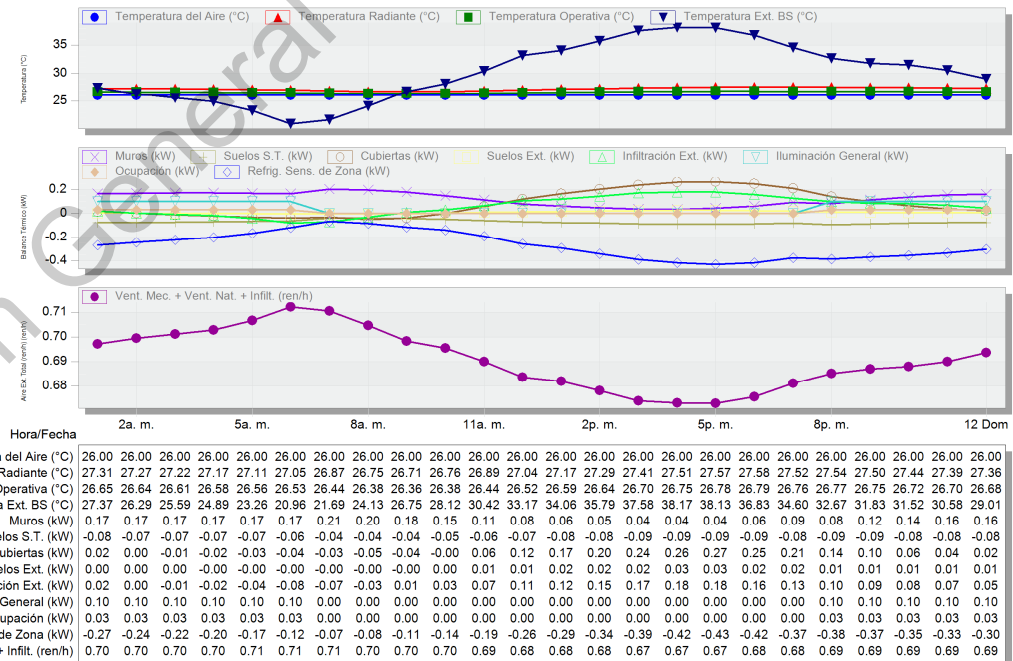


EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - LOSA CONO

11 May - 11 May, Horario

Con licencia



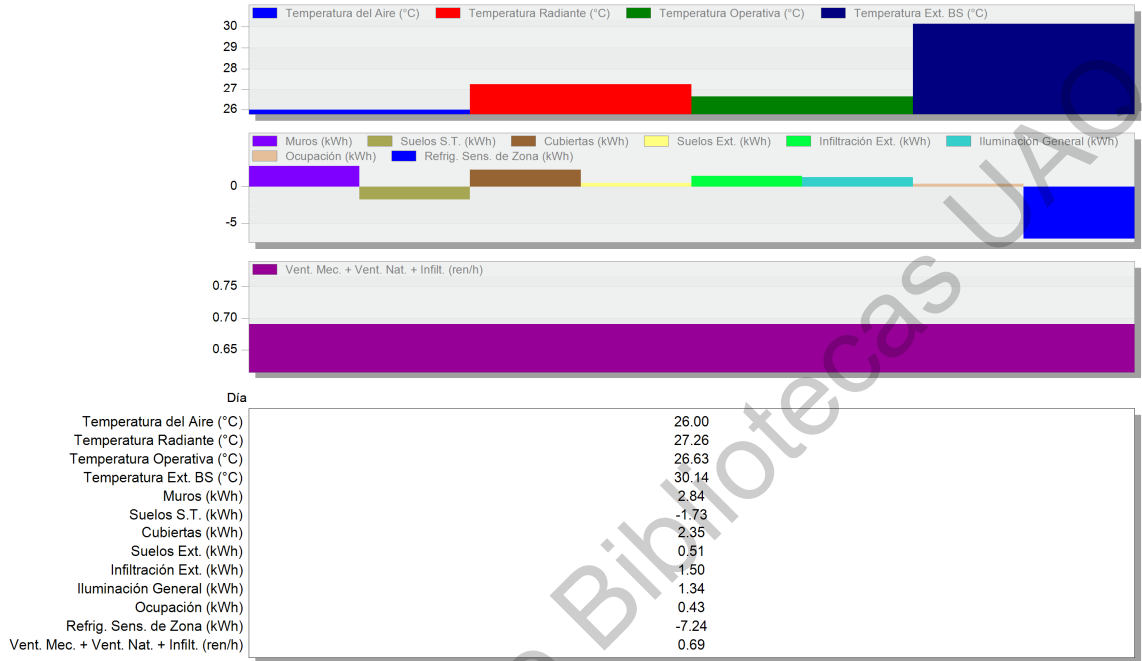
Losas inclinadas

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - LOSA INCLINADAS

11 May - 11 May, Diario

Con licencia

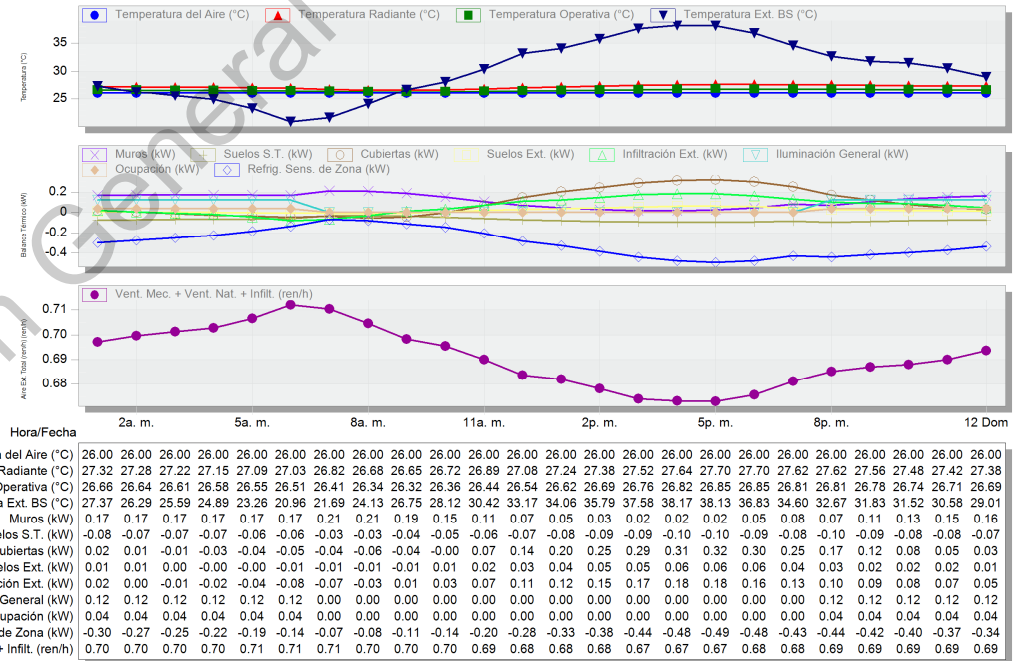


EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - LOSA INCLINADAS

11 May - 11 May, Horario

Con licencia



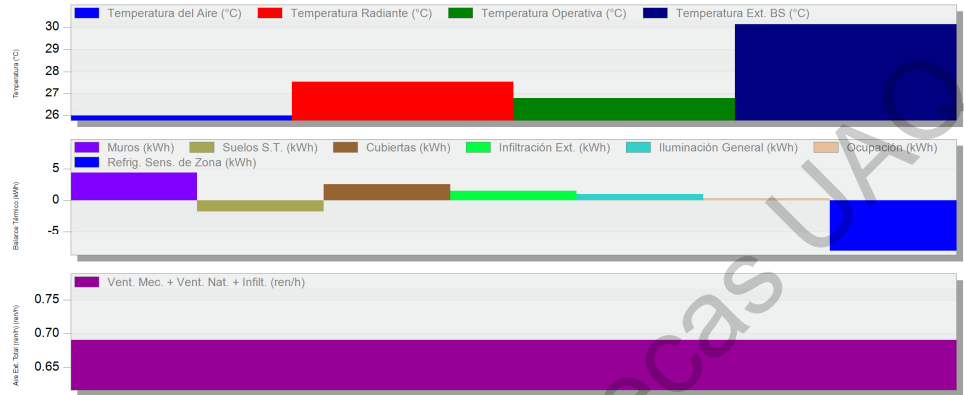
Losa plana

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - LOSA PLANA

11 May - 11 May, Diario

Con licencia



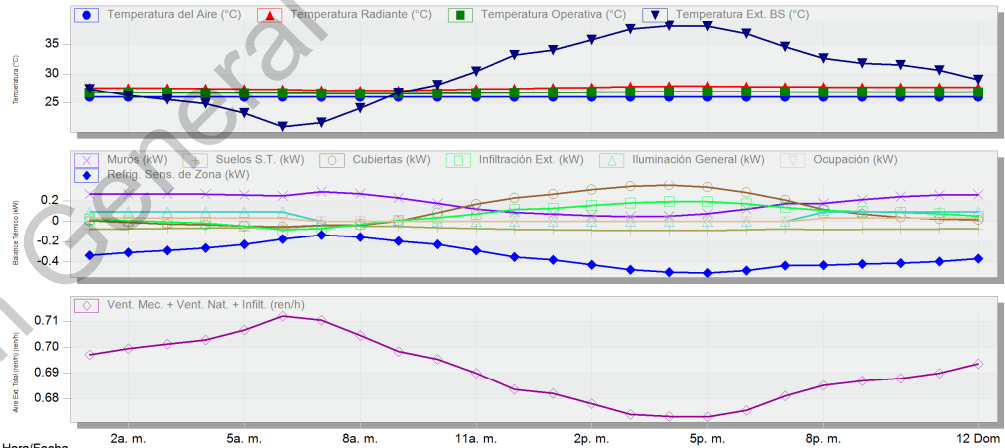
Día	Temperatura del Aire (°C)	Temperatura Radiante (°C)	Temperatura Operativa (°C)	Temperatura Ext. BS (°C)	Muros (kWh)	Suelos S.T. (kWh)	Cubiertas (kWh)	Infiltración Ext. (kWh)	Iluminación General (kWh)	Ocupación (kWh)	Refrig. Sens. de Zona (kWh)	Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)
26.00	26.00	27.56	26.78	30.14	4.45	-1.74	2.58	1.56	1.02	0.33	-8.19	0.69

EnergyPlus

Temperaturas y Ganancias de Calor - LOSA PLANA

11 May - 11 May, Horario

Con licencia



Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	12 Dom
Temperatura del Aire (°C)	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Temperatura Radiante (°C)	27.61	27.57	27.51	27.46	27.40	27.34	27.22	27.14
Temperatura Operativa (°C)	26.80	26.78	26.76	26.73	26.70	26.67	26.61	26.57
Temperatura Ext. BS (°C)	27.37	26.29	25.59	24.89	23.26	20.96	21.69	24.13
Muros (kW)	0.26	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.29	0.27
Suelos S.T. (kW)	-0.08	-0.07	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	-0.04	-0.04
Cubiertas (kW)	0.00	-0.01	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04	0.00
Infiltración Ext. (kW)	0.02	0.00	-0.01	-0.02	-0.04	-0.08	-0.07	-0.03
Iluminación General (kW)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00
Ocupación (kW)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
Refrig. Sens. de Zona (kW)	-0.33	-0.31	-0.29	-0.26	-0.23	-0.18	-0.13	-0.16
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infil. (ren/h)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.71	0.71	0.70	0.70

XI. Bibliografía

Ábalos, I., & Sentkiewicz, R. (2015). *Essays on Thermodynamic, Architecture and beauty*. New York: Actar D Inc.

Actitud ecologica. (19 de 10 de 2020). *actitudecologica.com*. Obtenido de *actitudecologica.com*: <https://actitudecologica.com/cop-eer-scop-seer-significado-y-utilidad/>

ASHRAE . (2012). *2012 ASHRAE HANDBOOK*. Atlanta: ASHRAE (American Society Of Heating, Refrigerating And A-C Engineers).

Baires, R. (2016). *The Fast, Guide to Architectural Form*. Amsterdam: BIS Publishers.

Chavez del Valle, F. J. (2002). *Zona Variable de Confort Térmico*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Ching, F. (1998). *Arquitectura, forma, espacio y orden*. Barcelona: Gustavo Gili.

Ching, F. (1998). *Arquitectura, Forma, Espacio y Orden* (11a. ed.). Ciudad de México: Gustavo Gili, S.A.

Comisión Nacional de la Vivienda. (2016). *NAMA de vivienda existente*. Ciudad de México: NAMA Facility México. Obtenido de <http://www.conavi.gob.mx>.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (Junio de 2017). *COSTOS Y BENEFICIOS DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA PARA ENVOLVENTE DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES (NOM-020-ENER)*. Obtenido de Gobierno de la Republica Mexicana: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/234755/Impacto_NOM-020-junio-2017-FINAL.pdf

Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE). (2015). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-026-ENER-2015, EFICIENCIA ENERGÉTICA EN*

ACONDICIONADORES DE AIRE TIPO DIVIDIDO (INVERTER) CON FLUJO DE REFRIGERANTE VARIABLE, DESCARGA LIBRE Y SIN DUCTOS DE AIRE. LÍMITES, MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación .

Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos. (12 de Marzo de 2001). Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001 Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. *Diario Oficial de la Federación* , págs. 59-100.

Comité Consultivo Nacional de Normalización para la preservación y uso racional de los recursos energéticos. (9 de Agosto de 2011). Norma oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones- Envoltentes de edificios para uso habitacional. *Diario oficial de la federación*, págs. 27-74.

Di Mari, A., & Yoo, N. (2018). *Operative Design-A Catalogue of Spatial Verb.* Amsterdam: BISPUBLISHERS.

El informado mx. (4 de Noviembre de 2016). *El informado mx.* Obtenido de www.informador.mx: <https://www.informador.mx/Mexico/Mexico-comprometido-a-reducir-gases-de-efecto-invernadero-Pena-20161104-0066.html>

Esteves, A., Oliva, A., & Gelardi, D. (07 de Abril de 2019). *Universidad de Mendoza.* Obtenido de <http://www.um.edu.ar/ojs-new/index.php/RUM/article/view/76>

García, E. (1998). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen.* Ciudad de México: Instituto de Geografía de la UNAM.

Granadeiro, V., Duarte, J., Joao, C., & Victor, L. (2013). Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating. *ELSEVIER*, 196-209.

- Henninger, R., & Witte, M. (2009). *EnergyPlus Testing with Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests from ANSI/ASHRAE Standard 140-2007*. Arlington Heights: Gard analytics.
- Hernandez Moreno, S. (2010). *Diseño y manejo sustentable en edificación*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Koenigsberger, O., Ingersoll, T., Mayhew, A., & Szokolay, S. (2010). *MANUAL OF TROPICAL HOUSING AND BUILDING-Climatic Design*. Hyderabad: Universities Press.
- Lacomba, R. (1991). *Manual de arquitectura solar*. Ciudad de México: Trillas.
- López, J., & Rodríguez Torres, J. (2016). Confort Térmico. *Tlamati Sabiduría, Volumen 7 Número Especial 2 (2016)*.
- Mazria, E. (1979). *The Passive Solar Energy Book*. Emmaus, PA: Rodale Press, Inc.
- Neila González, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería.
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima, Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili.
- ONU HABITAT. (2012). *UNHABITAT.ORG*. Obtenido de UNHABITAT.ORG: <http://es.unhabitat.org/temas-urbanos/energia/>
- Ourghi, R., Krarti, M., & Al-Anzi, A. (2007). A simplified analysis method to predict the impact of shape. *Energy Conversion and Management* 48, 300-305.
- Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los acondicionadores de aire y a los ventiladores . (2011). *Reglamento delegado (UE) No. / de la comisión de 4 de mayo de 2011 por el que se complementa la directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los acondicionadores de aire*. Diario Oficial de la Unión Europea.

Passive House Association. (2014). *Active for more comfort: Passive House*. Darmstadt: International Passive House Association.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (5 de Marzo de 2020). www.gob.mx/. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/hacer-mas-con-menos-energia?idiom=es#:~:text=La%20eficiencia%20energ%C3%A9tica%20es%20la,m%C3%A1s%20cosas%20con%20menos%20energ%C3%ADa>.

Shi, X., Tian, Z., Chen, W., Si, B., & Jin, X. (2016). A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Elsevier*, 873-882.

TOSHIBA. (19 de 10 de 2020). www.toshiba-aire.es. Obtenido de www.toshiba-aire.es: https://www.toshiba-aire.es/que-es-seer/#seer_02

Turégano , J. A., Velasco, M., & Martínez , A. (2009). *Arquitectura bioclimática y urbanismo sostenible volumen 1*. Zaragoza: ED. Prensa Universitaria de Zaragoza.

Yáñez Parareda, G. (2008). *Arquitectura Solar e Iluminación natural*. Madrid: Munilla-Lería.