



# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN  
ENERGÍAS RENOVABLES**

## **TESIS**

### **EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS SUSTENTABLES CON SIMULACIONES DINÁMICAS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**PRESENTA**

**JOEL ALBERTO SÁNCHEZ GARCÍA**

**DIRECTOR:**

**DRA. ARACELY LÓPEZ GRIJALVA**

**CO-DIRECTOR:**

**M. en C. FRANCISCO JAVIER SOL SAMPEDRO**

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.

NOVIEMBRE 2024



**Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas**  
**Dirección de Servicios Escolares**  
**Departamento de Certificación Escolar**  
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas  
Fecha: 14 de noviembre de 2024

C. Joel Alberto Sánchez García

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Energías Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:  
Evaluación Energética en Edificios Sustentables con Simulaciones Dinámicas

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

**Revisores**

Dr. Guillermo Rogelio Ibáñez Duharte

M. en C. Francisco Javier Sol Sampedro

Dra. Aracely López Grijalva

**Firmas:**

[Firma]  
[Firma]  
[Firma]

Ccp. Expediente

## **DEDICATORIA**

A mis padres por ser la principal fuente de apoyo y motivación a lo largo de mi travesía académica. Por enseñarme el valor del compromiso, la perseverancia y la dedicación al estudio y al trabajo; que con sus consejos y palabras animosas que han mantenido la moral alta para alcanzar este logro. Este trabajo es un reflejo de todo lo bien enseñado y bien aprendido de ellos.

A mis hermanos, quienes han sido un apoyo incondicional en esta importante segunda etapa de mi desarrollo profesional. Su respaldo ha sido fundamental desde el inicio como en su terminación para alcanzar este logro.

*Esta victoria no es mía, es de todos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Directora de Tesis, la Doctora Aracely López Grijalva, por su invaluable guía, paciencia y compromiso durante todo este proceso. Su capacidad para transmitir conocimientos con claridad y su constante apoyo han sido fundamentales para la realización de este trabajo como culminación de una etapa muy importante en mi desarrollo académico y profesional. Su pasión por la investigación ha sido una fuente de inspiración y me ha motivado a superar cada desafío.

A mi Co-Director de Tesis, Mtro. Francisco Javier Sol Sampedro, por su meticulosa revisión y sus valiosas sugerencias, que enriquecieron este proyecto en cada etapa. Su dedicación y disposición para ayudar en todo momento fueron esenciales para llevar esta investigación a buen puerto.

Concluyendo que este trabajo es fruto del conocimiento y apoyo de las personas que han promovido sus buenas ideas y acciones. A ellos mi más profundo agradecimiento.

Noviembre 2024

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	4
RESUMEN.....	8
ABSTRACT .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
OBJETIVO GENERAL .....	13
OBJETIVOS PARTICULARES.....	13
JUSTIFICACIÓN .....	14
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	16
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	22
2.1 CLIMATOLOGÍA .....	23
2.1.1 Factores climáticos.....	23
2.1.2 Regímenes Climáticos.....	26
2.1.3 Clasificación Climática .....	28
2.1.4 Bioclimática .....	33
2.1.5 Estrategias pasivas de diseño .....	35
2.1.6 Zona de confort .....	39
2.2 EDIFICACIONES SUSTENTABLES .....	40
2.2.1 Características de los materiales.....	42
2.2.2 Normativas Nacionales para construcciones sostenibles .....	55
2.3 SIMULACIONES DINÁMICAS .....	60
2.3.1 Programas de simulación .....	60
2.3.2 CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) aplicada a edificios.....	63
CAPÍTULO 3. METODOLÓGIA.....	67
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	71
4.1 Ubicación Geográfica y Datos Climatológicos .....	71
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89
ANEXOS.....	92

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Casa Separo / Hypertext ARCH Studio .....	44
Foto 2. Casa 1219 / HARQUITECTES .....	47
Foto 3. Casa de Madera / MAATworks .....	49
Foto 4. Oficinas CLJ / MORO Taller de arquitectura .....	51
Foto 5. Nave industrial FM / Emilio Alvarez Abouchard Arquitectura.....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1. Evolución del consumo eléctrico de consumidores residenciales por tipo general de clima (1982-2019).....	16
Grafica 2. Evolución estimativa de consumo eléctrico para confort térmico en México (1998-2019) .....	17
Grafica 3. Datos Climáticos Mensuales .....	79
Grafica 4. Grafica temperaturas y ganancias de calor por bloques .....	82
Grafica 5. Horas de Discomfort en Periodo anual.....	83
Grafica 6. Energía Requerida para enfriamiento.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los componentes de la envolvente .....	55
Tabla 2. Especificaciones de la Envolvente .....	57
Tabla 3. Ganancia de calor a través del piso .....	57
Tabla 4. Base de Datos climatológicos estación #20149. ....	72
Tabla 5. Tabla de temperaturas mínimas, promedio mensual .....	72
Tabla 6. Tabla de temperaturas máximas, promedio mensual .....	73
Tabla 7. Tabla de temperaturas máximas, promedio mensual .....	73
Tabla 8. Configuración del sitio (Tehuantepec).....	78
Tabla 9. Datos climáticos mensuales .....	78
Tabla 10. Temperaturas y ganancias de calor por bloques.....	82
Tabla 11. Confort Mensual.....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de Zonas Climáticas Köppen-Geiger .....	29
Figura 2. Esquema de uso de estrategias Bioclimáticas .....	33
Figura 3. Gráfica Psicométrica de Givoni .....	36
Figura 4. Clasificación de materiales en edificación.....	42
Figura 5. Ejemplo de Etiqueta de Eficiencia Energética.....	59
Figura 6. Diagrama de Flujo del M.A.C. en Edificios .....	69
Figura 7. Mapa Interactivo de Estaciones Climatológicas .....	71
Figura 8. Modelado Geométrico Edificio Industrial .....	76
Figura 9. Vista en planta (zonas).....	76
Figura 10. Elementos constructivos del Edificio.....	77
Figura 11. Grafica estereográfica tridimensional. ....	80
Figura 12. Temperatura Operativa .....	81

## **RESUMEN**

El presente trabajo analiza el comportamiento térmico y energético de un edificio de características sustentables, ubicado en Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, mediante el uso de simulaciones dinámicas. Para ello, se emplea un modelo tridimensional en el software DesignBuilder, que se alimenta con datos climatológicos locales, permitiendo identificar las necesidades de enfriamiento y las estrategias bioclimáticas más efectivas en el contexto de altas temperaturas y radiación solar predominante en la región. Este análisis facilita la propuesta de claves de identificación bioclimática que optimizan el consumo energético y el confort térmico, contribuyendo así al desarrollo de edificaciones más eficientes y resilientes ante el cambio climático.

### **PALABRAS CLAVE:**

Evaluación energética, simulaciones dinámicas, edificaciones sustentables, confort térmico, energía renovable, DesignBuilder, estrategias bioclimáticas, eficiencia energética, climas cálidos, radiación solar.

## **ABSTRACT**

This study evaluates the thermal and energy performance of a sustainable building located in Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, through dynamic simulations. A three-dimensional model developed in DesignBuilder software, integrated with local climatic data, allows identifying cooling demands and effective bioclimatic strategies suitable for the high temperature and solar radiation of the region. This analysis proposes bioclimatic identification keys that enhance energy efficiency and thermal comfort, contributing to the development of buildings with greater resilience and efficiency in response to climate change.

## **KEYWORDS:**

Energy assessment, dynamic simulations, sustainable buildings, thermal comfort, renewable energy, DesignBuilder, bioclimatic strategies, energy efficiency, warm climates, solar radiation.

# INTRODUCCIÓN

México es uno de los países con condiciones más favorables para el aprovechamiento energético, principalmente debido a su ubicación geográfica. Gran parte del territorio mexicano recibe una irradiación solar considerablemente alta. Según estudios del Instituto de Energías Renovables de la UNAM, la irradiancia solar promedio en México varía entre 5 y 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, con algunas regiones alcanzando hasta 8 kWh/m<sup>2</sup>/día, especialmente en el altiplano y zonas desérticas del norte del país. (González et al., 2020). Esta irradiancia solar es una de las más altas a nivel mundial, lo que coloca a México en una posición privilegiada para el desarrollo de tecnologías solares, tanto fotovoltaicas como térmicas.

Conocer los valores de irradiancia solar es un factor clave para el diseño y la optimización en edificaciones y sistemas renovables. La ganancia térmica en materiales, por ejemplo, depende directamente de la cantidad de energía solar que reciben. Esto se mide en términos de la potencia solar recibida por unidad de área, expresada en Watts sobre metro cuadrado W/m<sup>2</sup> (Rivas & Pérez, 2018). Por lo tanto, en zonas con alta irradiación solar como México, es necesario aprovechar al máximo la relación entre la ganancia-extracción térmica y la generación eléctrica por unidad de área a través de sistemas energéticos renovables. Obteniendo una relación consumo-generación alineada con el incremento de la eficiencia del sistema de generación solar renovable.

En cuanto al clima, es importante entender que la clasificación de Köppen es un sistema ampliamente utilizado de clasificación de tipos de clima en relación con la temperatura y las precipitaciones. En México, se encuentran varios subtipos climáticos, siendo generalmente relevantes para el análisis de edificaciones los climas cálidos y subtropicales debido a la extensión misma de estas regiones a través de la zona sureste y cálidos secos para las zonas más al norte del país. Para el estado de Oaxaca, que predomina el clima clasificado como "Aw" según la clasificación Köppen, indica un clima tropical con una estación seca bien definida (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2019). En esta región los inviernos son suaves y los veranos cálidos con periodos cálido-secos entre marzo y mayo. Este tipo de clima genera desafíos específicos en cuanto a la eficiencia y consumo energético

en edificios y viviendas, ya que se debe minimizar el uso de energía para climatización y maximizar el confort térmico a lo largo del año.

Para analizar la eficiencia energética de un edificio, es vital estudiar las propiedades térmicas de los materiales utilizados; de estos debe incluirse la conductividad térmica, resistencia térmica, inercia térmica y capacidad calorífica. La conductividad térmica ( $\lambda$ ) es la capacidad de un material para conducir calor. Los materiales con alta conductividad térmica, como el acero o el hormigón, permiten el paso rápido del calor, lo que puede incrementar la demanda de refrigeración en climas cálidos (Torres & Fernández, 2017). La resistencia térmica (R) es la capacidad de un material para resistir el flujo de calor, y se expresa como el inverso de la conductividad térmica. Materiales como el aislamiento de fibra de vidrio o las paredes con cámaras de aire tienen una alta resistencia térmica, lo que ayuda a mantener temperaturas internas estables (Martínez & Rodríguez, 2016).

Mientras que la capacidad calorífica es la cantidad de calor que un material puede almacenar. Los materiales con una alta capacidad calorífica, como el adobe o el hormigón, pueden ayudar a regular la temperatura interna al absorber el calor durante el día y liberarlo lentamente durante la noche, lo que resulta útil en zonas con grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche (García et al., 2019). Por último, la inercia térmica es la capacidad de un material para retrasar el paso del calor, o, en otras palabras, ralentiza la transferencia de calor. Existen materiales con alta inercia térmica, como el hormigón y el ladrillo, beneficiosos para regiones con climas cálidos durante el día y frescos por la noche, dado que ayudan a mantener temperaturas internas mucho más estables (Santos & Moreno, 2021).

En este sentido, se hace necesario desarrollar una clasificación de materiales constructivos que permita englobar propiedades térmicas en un solo sistema analítico. Este sistema de clasificación debe ser implementado como complemento para programas de simulación como **DesignBuilder**, que es una de las herramientas más utilizadas para la simulación energética y ambiental de edificios. DesignBuilder permite introducir las características térmicas de los materiales, como conductividad, capacidad calorífica y densidad, modelando

con precisión la transferencia de calor en el edificio, zonas exteriores, zonas interiores y calcular la demanda energética para climatización.

Para llegar a esos resultados tendremos que realizar un análisis previo de las condicionantes del edificio, accediendo a los datos históricos de los sistemas de observación meteorológica, incluida la realización del levantamiento arquitectónico, zonificando y detallando orientaciones y materiales, para que la base de datos dentro de DesignBuilder clasifique los materiales de construcción en función de su desempeño térmico, permitiendo una evaluación más precisa del comportamiento energético de las edificaciones. Esta clasificación podría incluir materiales de alto, medio y bajo aislamiento térmico, así como aquellos materiales con alta capacidad de almacenamiento térmico, que serían útiles para mitigar los efectos de la ganancia térmica en climas cálidos.

Además, la metodología propuesta debe considerar las estrategias pasivas de diseño aplicadas, tales como la orientación del edificio, el sombreado natural, la ventilación cruzada y el uso de materiales de alta inercia térmica que maximizan el confort térmico y reducen la dependencia de sistemas mecánicos de climatización. Por ejemplo, un diseño que aproveche al máximo la ventilación natural en Oaxaca podría reducir la necesidad de sistemas de enfriamiento en hasta un 40%, según estudios similares.

La implementación de estrategias de diseño bioclimático, junto con una correcta selección y clasificación de los materiales de construcción en programas como DesignBuilder, es esencial para optimizar la eficiencia energética de las edificaciones en climas cálidos y subtropicales, como los que prevalecen en el sur de México. Estas herramientas no solo permiten la evaluación precisa del consumo energético, sino que también facilitan la toma de decisiones informadas en la fase de diseño, contribuyendo a la construcción de edificaciones más sostenibles y resilientes ante los efectos del cambio climático.

## **OBJETIVO GENERAL**

Analizar el comportamiento térmico y energético en un edificio de características sustentables a través del análisis de datos estadísticos térmicos y energéticos utilizando un modelo en tercera dimensión como referencia para simulaciones dinámicas por medio del software Design Building para generar una clave de identificación bioclimática.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Recopilar datos climatológicos de Santo Domingo Tehuantepec, Oax. para su análisis y caracterización climática.
- Generar un modelo en tercera dimensión de un edificio con características bioclimáticas en el software Design Builder configurado con los datos estadísticos recopilados.
- Simular el modelo 3D con los parámetros de comportamiento térmico-energético mediante simulación dinámica en el software Design Builder de un edificio de características sustentables.

# JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo busca demostrar la comparativa de resultados entre una simulación dinámica alimentada con datos estadísticos de temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones obtenidos de estaciones de observación climáticas aplicadas en un modelo geométrico de la edificación contra las características reales en sitio de materiales y espacios arquitectónicos proyectados bajo directrices bioclimáticas y sustentables. Aplicando parámetros de transferencia térmica, ganancia térmica en materiales, disminución del consumo eléctrico por área y aumento del confort térmico; con resultado lateral, la creación de un sistema de claves que logrará identificar los parámetros de confort para diferentes tipos de edificaciones en diferentes tipos de zonas climáticas, según su uso.

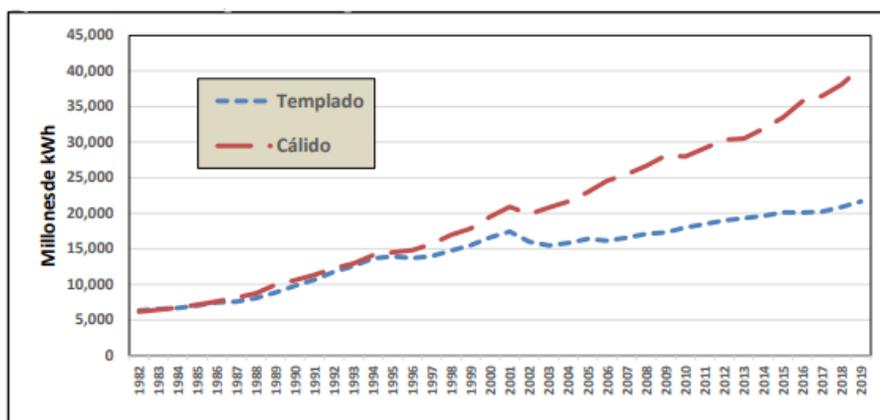
# Capítulo 1

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El consumo eléctrico en la República Mexicana ha ido en aumento considerable y está reflejando una tendencia a largo plazo. A partir de la segunda mitad de los noventa, el consumo en zonas de clima cálido donde las tarifas aplicadas son la 1A y 1F, que representan aproximadamente el 42% del consumo nacional, consumían la misma cantidad de electricidad que las ubicadas en climas templados, a quienes aplicaba la tarifa 1, representando un 53% del total. Con estos datos se determina según la tendencia de viviendas ubicadas en climas cálidos su consumo eléctrico. Durante un periodo de 15 años han llegado a ser el doble que las viviendas ubicadas en climas templados. (de Buen O, 2020)

**Grafica 1. Evolución del consumo eléctrico de consumidores residenciales por tipo general de clima (1982-2019)**

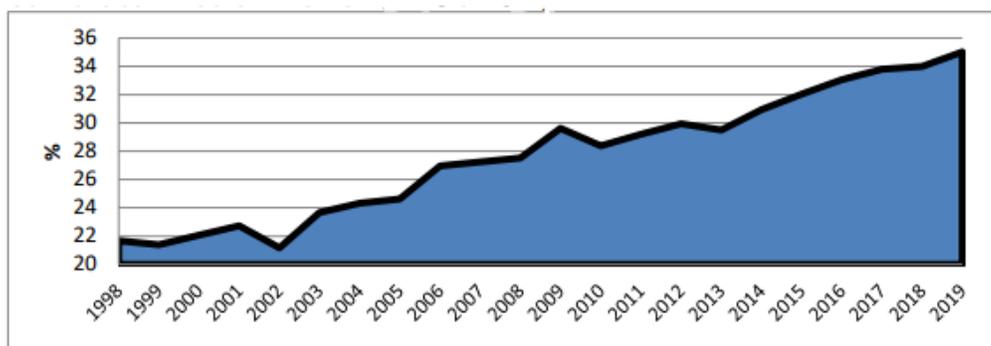


*Fuente: CFE, varias fuentes.*

La creciente demanda de energía en viviendas supone un reto para las edificaciones con la meta de hacer reducir el consumo energético. En la actualidad, se estima una aproximación contra los datos de consumo básico de los usuarios de clima templado, entre los periodos de 1988 a 2019, representando un 20 % del consumo total eléctrico en viviendas en México,

utilizadas para el confort térmico, mientras la tendencia de crecimiento los coloca en un 35% en 2019, con una tendencia a seguir aumentando.

**Grafica 2. Evolución estimativa de consumo eléctrico para confort térmico en México (1998-2019)**



*Fuente: Clasificación de climas y su aplicación a la norma para envolvente de viviendas*

Existe una relación latente, entre el aumento del consumo eléctrico y el confort térmico para zonas con clima de tipo cálido subhúmedo o seco, ligada principalmente a la necesidad de regular la temperatura interior manteniendo un nivel de confort adecuado. En las zonas del sureste del país, donde se presenta el caso de estudio, como lo son Oaxaca y Chiapas, por lo general las temperaturas pueden superar los 35° durante el verano, ocasionando una mayor demanda de energía para sistemas de climatización como el aire acondicionado y ventiladores. El consumo energético en estas regiones aumenta de forma temporal debido a una alta demanda de refrigeración, principalmente en meses calurosos. Según la Comisión Federal de Electricidad (CFE), se registran aumentos de hasta un 50% del consumo total de energía para sistemas de enfriamiento en el sector residencial, durante la temporada de verano en los meses de junio, julio y agosto, incluidos abril, mayo, y junio para la región sur, debido a la temporada seca. Durante estos meses es intensivo el uso de aires acondicionados, como los dispositivos de consumo principales de energía en hogares y edificios comerciales, esto refleja una búsqueda por mantener condiciones aceptables de confort para esta región de México. (INEGI,2020)

Para las zonas de climas cálidos, se depende de la capacidad de los espacios para mantenerse frescos, el cual se logra principalmente con propuestas de diseño vernáculas, muchas de ellas no siempre aplicadas bajo normas reguladas, sino a un conocimiento empírico del lugar o siguiendo técnicas constructivas conocidas del lugar. Las cuales no siempre mantienen un método constructivo definido o alguna estrategia de control térmico pasivo. Ya que, en estas zonas, el índice de humedad se incorpora como una variable muy importante para el confort térmico, ya que una alta humedad en el ambiente disminuye la capacidad del cuerpo para poder enfriarse a través de la evaporación del sudor, incrementando la sensación de calor. Esto obliga a los habitantes a recurrir en un mayor uso energético, para poder alcanzar los niveles de confort aceptables, especialmente durante temporadas de mayor humedad.

Por tal motivo, los sistemas de aire acondicionado son los principales elementos que aumentan la demanda eléctrica en este tipo de climas. En promedio, un AC residencial de 12,000 BTU (1 TON) llega a consumir entre 1.2 y 1.5 kWh por hora de uso.

Por tal motivo, se buscan estrategias para poder adaptar las construcciones a las condiciones climáticas del entorno, optimizando el uso de los recursos naturales con el objetivo de crear espacios confortables con un consumo energético reducido, aprovechando las características climáticas locales como la radiación solar, el viento y la humedad, integrándolas como un método de diseño llamado soluciones pasivas.

Para llegar a estas soluciones es necesario recurrir a los valores registrados en los sistemas de monitoreo meteorológico. En México, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) pertenece a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que es la institución encargada de proporcionar los datos precisos sobre el comportamiento atmosférico, que son esenciales para aplicaciones de estrategias climáticas en edificaciones. (CONAGUA,2023)

El SMN recopila la información de una extensa red nacional de estaciones meteorológicas, Estas estaciones miden variables como la temperatura del aire, la precipitación y humedad relativa, así como la velocidad y dirección del viento, la radiación solar y la presión atmosférica. Estos datos son vitales para los diseñadores arquitectónicos como ingenierías en sistemas renovables, pues permiten realizar un análisis detallado sobre las condiciones ambientales que predominan en una zona en específico. Se pueden optimizar estrategias o diseños en función de estos datos meteorológicos disponibles. (Olgyay,2025)

Por otra parte, el SMN ofrece información sobre la insolación y la radiación solar, elementos clave en el aprovechamiento de la energía solar pasiva en el diseño bioclimático del edificio. Con estos datos, es posible calcular la cantidad de energía solar disponible en una región, lo que facilita la implementación de tecnologías como los paneles solares fotovoltaicos o térmicos, así como el diseño de espacios que maximizan la iluminación natural y el calentamiento pasivo durante el invierno. Para la ventilación, ocurre el mismo caso: los datos arrojados sobre velocidad y dirección predominante resultan esenciales para reducir las dependencias de sistemas de ventilación y disminuir la dependencia de sistemas de refrigeración artificial. (González & Domínguez, 2011). Así, los datos proporcionados por el SMN ayudan a determinar estrategias de confort térmico debido al índice de humedad en el aire y a desarrollar estrategias de captación de agua pluvial; las cuales pueden ser integradas como estrategias complementarias en un diseño arquitectónico sostenible. Los pronósticos climáticos a largo plazo que ofrece el SMN permiten evaluar el impacto de los fenómenos climatológicos, así como sus cambios durante determinados periodos, obteniendo métricas que ayudan a mejorar los escenarios extremos a los que se enfrentará la edificación, como olas de calor o lluvias torrenciales.

Gracias a la plataforma digital del SMN, se permite a diseñadores profesionales acceder fácilmente a bases de datos históricas y en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones informadas y basadas en datos científicos. El uso de esta información es esencial para cumplir los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética requeridas para un diseño bioclimático integrado a las energías renovables. (Servicio Meteorológico Nacional, 2023).

Con los datos obtenidos de los sistemas de información, se complementan con un levantamiento arquitectónico previo, el cual es la digitalización y modelado, en tercera dimensión, de todos los valores espaciales de un edificio. Tomando en cuenta para este trabajo el listado de materiales y elementos, con el objetivo de realizar en el software un análisis detallado según cada análisis a realizar. Las simulaciones dinámicas son herramientas clave en el proceso de diseño arquitectónico. Este programa logra predecir el comportamiento energético y térmico de un edificio bajo condiciones climáticas. En estas simulaciones se permite observar el impacto de las decisiones de diseño, como orientación del edificio, tipo de materiales utilizados y los niveles de aislamiento, sean estos por

propiedades de materiales o por la zonificación del edificio, ventilación y refrigeración, así como el índice de consumo energético y el confort de los ocupantes durante un periodo de tiempo determinado. Las simulaciones dinámicas también ayudan a evaluar la efectividad de diferentes estrategias pasivas o activas de climatización, como en evaluaciones de los elementos aisladores de conducción térmica, elementos de sombreado, ventilación natural y acoplamiento con sistemas energéticos renovables. (Szokolay, 2004).

Uno de los programas utilizados para este tipo de tareas de simulación es DesignBuilder, este programa permite modelar el edificio en tercera dimensión, evaluando su comportamiento bajo condiciones reales. Utiliza un motor de cálculo EnergyPlus, desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, para analizar el comportamiento térmico de las cargas de calefacción y refrigeración, el consumo de energía y otros aspectos clave del rendimiento energético. Además, que DesignBuilder permite incorporar datos climáticos específicos del sitio, facilitando la personalización del diseño para adaptarlo al contexto local. (DesignBuilder Software Ltd., 2024).

Esta capacidad de poder prever el desempeño ambiental de una estructura en diversas condiciones climáticas supone una ventaja contra los edificios que no están planeados con este método. Con el uso de estos modelos los diseñadores pueden probar diferentes alternativas antes de tomar decisiones definitivas y seleccionar las estrategias de forma más precisa, lo cual reduce el riesgo de cometer error y mejora la sostenibilidad final del proyecto. (Chastas, Theodosiou, & Bikas, 2016).

# Capítulo 2

# CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

## INTRODUCCIÓN

Se puede definir al clima como al conjunto de condiciones que caracterizan la atmósfera de un lugar específico, determinados por valores medios de diferentes elementos, cuyos valores extremos, frecuencia o duración de fenómenos atmosféricos determinan el tipo de clima específico para un periodo de tiempo muy prolongado. Estos valores normalmente son analizados por datos históricos en intervalos de 30 años, lo cual permite precisar una certeza de la "normalidad climática" en la zona. Se clasifica para medir y evaluar las variaciones en temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitaciones, dirección del viento, cuenta de partícula atmosférica y otras variables en la región durante un tiempo muy prolongado. (Santillán, N., & Garduño)

Los factores climáticos abarcan todos aquellos fenómenos que afectan de manera directa al clima de una región, pudiendo no ser propiamente de carácter climático. Entre los más relevantes se encuentran la latitud, la continentalidad y la altitud, mientras que otros como el tipo de suelo, la vegetación y el factor humano tienen un impacto más local. La latitud es determinante debido a que el ángulo con el que los rayos solares inciden sobre la superficie terrestre varía en función de la ubicación geográfica, lo que provoca diferencias en la intensidad y duración de la insolación (González et al., 2018).

La continentalidad, por su parte, genera mayores oscilaciones térmicas en áreas alejadas del mar, dado que las masas terrestres se calientan y enfrían más rápidamente que las masas de agua, que tienden a moderar las temperaturas gracias a su capacidad de almacenar calor (Pérez & Ramírez, 2020). La altitud también influye, ya que a medida que aumenta, la presión atmosférica y la temperatura disminuyen, mientras que las precipitaciones aumentan debido al enfriamiento de las masas de aire húmedas (Martínez, 2017).

El tipo de suelo, dependiendo de su color y composición, regula la cantidad de calor que absorbe y la humedad que retiene, afectando así al clima local (López & Hernández, 2019). La vegetación actúa principalmente en la modificación de la temperatura y la humedad, creando pequeños microclimas en su entorno (Silva & Ortega, 2016). Finalmente, el factor

humano tiene la capacidad de alterar significativamente las condiciones climáticas, ya sea a través de actividades industriales o mediante la creación de entornos urbanos artificiales, lo que también influye en la generación de microclimas locales (Ruiz, 2021).

## **2.1 CLIMATOLOGÍA**

### **2.1.1 Factores climáticos**

Los factores climáticos son los elementos del clima que influyen en las condiciones ambientales de una región, determinando su temperatura, humedad, precipitaciones, vientos, presión atmosférica y radiación solar. Estos factores interactúan entre sí y con características geográficas como la latitud, altitud y proximidad al mar, moldeando los ecosistemas y actividades humanas en diferentes zonas del planeta.

#### **I. Temperatura**

Es un parámetro que permite comparar la transmisión de calor entre dos cuerpos mediante una escala. En el análisis de este parámetro se consideran las temperaturas media, máxima, máxima extrema, mínima y mínima extrema. Para el diseño bioclimático, la temperatura horaria resulta útil para evaluar el confort térmico y la comodidad del usuario, mientras que las oscilaciones térmicas se determinan utilizando las temperaturas máximas y mínimas. El análisis de las variaciones a lo largo del día se enfoca tanto en la temperatura como en la humedad, considerando las mediciones registradas en distintos momentos para generar tablas de valores de temperatura y humedad horaria. Estos datos son fundamentales para establecer estrategias de diseño específicas. (IPCC, 2018)

#### **II. Radiación Solar**

La radiación solar es la energía proveniente del sol captada por una superficie, siendo el principal impulso de los sistemas climáticos. La cantidad de radiación que recibe un lugar dependerá de su latitud, la estación del año y las condiciones atmosféricas

del momento. Las regiones cercanas al Ecuador reciben más radiación, mientras que las zonas polares reciben menos, lo que explica el diferencial de temperatura entre estas áreas. (Peixoto, 1992) Siendo también fundamental para la fotosíntesis en plantas donde se regula la cantidad de gases de efecto invernadero, concentración de oxígeno en el ambiente e índices de humedad microclimáticos. Variaciones en la radiación solar provocarán alterar las variables anteriores y en consecuencia modificaciones a otros factores climáticos y al propio clima de una región. Este valor es medido en watts sobre metro cuadrado.

### III. **Precipitación**

La precipitación incluye toda forma de agua que cae de la atmósfera a la superficie terrestre, como la lluvia, la nieve, el granizo y la llovizna. Es un componente vital del ciclo del agua y desempeña un papel crucial en la regulación del clima de una región. La cantidad y el tipo de precipitación que recibe un área influyen en sus patrones climáticos y determinan la disponibilidad de agua para los ecosistemas. Cambios en los patrones de precipitación, como las lluvias torrenciales o la escasez de lluvias en zonas específicas, son efectos directos del cambio climático y pueden desencadenar inundaciones o sequías prolongadas, afectando las condiciones operativas de los sistemas energéticos de los edificios. (Trenberth, 2011)

### IV. **Humedad**

La humedad es la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, y su variación puede tener efectos profundos en las condiciones meteorológicas. La humedad relativa afecta la sensación térmica, ya que altos niveles de humedad aumentan la percepción de calor. Además, la humedad es esencial para la formación de nubes y la precipitación. Regiones con altos niveles de humedad tienden a tener climas más moderados, mientras que las zonas secas, como los desiertos, experimentan mayores oscilaciones de temperatura entre el día y la noche. (Oke, 1987). Este parámetro es directamente proporcional a la sensación de confort, siendo este, en mayor o menor medida, un indicador para la irritación del usuario en un espacio determinado y en una locación determinada. La precipitación es un valor medio en milímetros de

precipitación (mm) durante un lapso determinado donde un milímetro de precipitación es un litro por metro cuadrado.

#### **V. Viento:**

El viento es el movimiento del aire desde áreas de alta presión hacia áreas de baja presión y es un factor clave en la redistribución del calor y la humedad en la atmósfera. La velocidad y la dirección del viento afectan los patrones meteorológicos locales y globales, así como la dispersión de contaminantes atmosféricos, la erosión del suelo y la dispersión de semillas en los ecosistemas. Los vientos dominantes, como los alisios o los vientos del oeste, influyen en los climas regionales al traer aire húmedo o seco, dependiendo de su origen. Al conocer su dirección y velocidad, podremos diseñar parámetros de aprovechamiento de captación para sistemas de generación eólicos o para estrategias de diseño climático en edificios, como lo son las circulaciones de viento cruzadas o ventilaciones sin utilizar dispositivos activos. (Stull R. 1988)

#### **VI. Presión atmosférica**

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire sobre la superficie de la Tierra. Varía con la altitud: a mayor altura, menor es la presión atmosférica. Los cambios en la presión atmosférica son responsables de los patrones meteorológicos, como la formación de ciclones y anticiclones. Las áreas de baja presión suelen asociarse con mal tiempo, como lluvias y tormentas, mientras que las áreas de alta presión están vinculadas a cielos despejados y climas más estables. La presión atmosférica también afecta la densidad del aire, que a su vez influye en la temperatura y la humedad. (Wallace J.M., 2006)

#### **VII. Altitud**

La altitud, o la altura sobre el nivel del mar, es un factor clave que afecta el clima local. A medida que aumenta la altitud, la temperatura disminuye y la presión atmosférica se reduce. Esto se debe a que el aire es menos denso en alturas mayores, lo que provoca una menor retención de calor. Las regiones de gran altitud, como las

montañas, tienden a tener climas más fríos en comparación con las áreas a nivel del mar. Además, la altitud influye en la vegetación y los ecosistemas presentes en una región, creando zonas de vida diferenciadas, como la tundra alpina en las montañas. (Barry, 2008)

Estos factores incluyendo la oscilación térmica, efectos de las corrientes oceánicas, y la nubosidad; interactúan entre sí para poder formar las diferentes características de los climas que encontramos en el planeta, y cualquier alteración resulta en cambios significativos en las condiciones meteorológicas globales. Determinando los parámetros medibles de cada clima, siendo que, en sus variaciones o anomalías se caracteriza cada tipo de clima.

### **2.1.2 Regímenes Climáticos**

Se refiere al conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región determinada, influenciado por la prevalencia de ciertos factores sobre otros. Según la clasificación climática, se pueden identificar varios regímenes específicos, entre los cuales destacan el marítimo, continental, desértico y de montaña. Cada uno de estos regímenes presenta características particulares que afectan tanto las condiciones meteorológicas como los ecosistemas locales.

- I. **Clima marítimo:** Este régimen está marcado por la influencia del mar, que actúa como un moderador térmico, disminuyendo las oscilaciones de temperatura diarias y estacionales. En las zonas costeras bajo este régimen, las temperaturas suelen ser suaves durante todo el año, con una oscilación térmica anual promedio de apenas 5°C a 15°C, dependiendo de la latitud (García & López, 2020). La humedad del aire es alta, con valores superiores al 80% en la mayoría de los meses, lo que favorece una alta frecuencia de nieblas y lluvias ligeras distribuidas a lo largo del año. Este tipo de clima se observa principalmente en regiones como Europa occidental, el noroeste de Estados Unidos y el sur de Chile (Martínez et al., 2018).
  
- II. **Clima continental:** En contraste con el régimen marítimo, el clima continental se caracteriza por una alta oscilación térmica tanto diaria como anual, con diferencias

de temperatura que pueden alcanzar los 40°C entre invierno y verano. Las zonas afectadas por este régimen, ubicadas generalmente en el interior de los continentes, experimentan inviernos extremadamente fríos y veranos calurosos. Por ejemplo, en Siberia, las temperaturas de invierno pueden descender hasta -40°C, mientras que en verano pueden superar los 30°C (Pérez & Gómez, 2019). La precipitación en estas áreas es escasa y distribuida de manera irregular, con niveles anuales entre 300 mm y 600 mm, lo que contribuye a la sequedad del aire.

- III. **Clima desértico:** Este régimen se caracteriza por una extrema aridez y precipitaciones mínimas, que en la mayoría de los casos no superan los 100 mm anuales. En áreas desérticas como el Sahara o el desierto de Atacama, las precipitaciones pueden incluso estar por debajo de los 50 mm anuales (López & Hernández, 2021). Las oscilaciones térmicas son muy pronunciadas, con diferencias diarias que pueden llegar a superar los 20°C debido a la baja capacidad del suelo para retener calor. En los desiertos subtropicales, como el del norte de África o Medio Oriente, las temperaturas diurnas pueden alcanzar los 50°C, mientras que por la noche pueden descender a valores cercanos a los 0°C (Rodríguez et al., 2022).
- IV. **Clima de montaña:** Este régimen está asociado a las zonas de altitud elevada, donde las condiciones climáticas varían drásticamente con la altura. Por cada 1000 metros de altitud, la temperatura disminuye en aproximadamente 6.5°C, lo que genera un clima significativamente más frío que el de las regiones circundantes a menor altitud (Pérez & Ramírez, 2020). Las precipitaciones tienden a aumentar en estas áreas debido a la elevación orográfica, con valores que pueden superar los 2000 mm anuales en algunas zonas montañosas como los Andes o los Alpes (Martínez, 2019).
- V. **Régimen monzónico:** Aunque algunos autores lo consideran parte de los climas intertropicales, el régimen monzónico es característico de ciertas regiones como el sudeste asiático e India, donde se producen grandes contrastes estacionales. Durante la temporada de monzones, las precipitaciones pueden superar los 3000 mm anuales, mientras que en la estación seca se observa una disminución drástica de las lluvias.

(Silva & Ortega, 2016). Está asociado a la interacción entre las masas de aire caliente y húmedo procedentes del océano y las masas de aire frío y seco del interior continental.

### **2.1.3 Clasificación Climática**

Las zonas climáticas son áreas geográficas delimitadas por condiciones atmosféricas relativamente homogéneas en cuanto a temperaturas, precipitaciones, humedad y vientos. Estas zonas definen patrones específicos de clima que influyen en los ecosistemas, la biodiversidad y las actividades humanas. Uno de los sistemas más utilizados para clasificar estas zonas es la clasificación climática de Köppen-Geiger, que se basa en parámetros como la temperatura media mensual y anual, así como la cantidad y estacionalidad de las precipitaciones. Este sistema, desarrollado por Wladimir Köppen a principios del siglo XX y modificado por Rudolf Geiger en la década de 1950, es ampliamente utilizado para describir los climas de todo el mundo con gran precisión.

El sistema clasifica el clima en cinco grupos principales, cada uno representado por una letra, y a su vez, cada grupo se divide en subcategorías según las características particulares de temperatura y precipitación:

- **A: Clima Tropical.**
- **B: Clima Seco (árido y semiárido).**
- **C: Clima Templado.**
- **D: Clima Continental.**
- **E: Clima Polar.**
- **H: Clima de Alta montaña**

**Figura 1. Clasificación de Zonas Climáticas Köppen-Geiger**



*Fuente: Clasificación Köppen-Geiger*

El sistema utiliza una combinación de dos o tres letras para clasificar cada zona climática. La primera letra indica el tipo de clima, la segunda se refiere a la estacionalidad de las precipitaciones, y la tercera se refiere a las temperaturas.

Para identificar los diferentes subgrupos o subtipos de clima, se utilizan letras minúsculas adicionales que proporcionan información más detallada sobre las precipitaciones. Por ejemplo:

**f:** Indica lluvias durante todo el año sin una estación seca definida, típico de zonas intertropicales, como en el caso del clima de selva (Af).

**w:** Representa lluvias concentradas en verano; también característico de la zona intertropical, como el clima de sabana (Aw).

**m:** Se refiere a las lluvias de monzón. Aunque similar al Aw, presenta precipitaciones más intensas debido a las marcadas diferencias en la presión atmosférica entre el océano y los continentes. Este tipo de clima se encuentra principalmente en el sur y sureste de Asia.

Durante el monzón, las lluvias son intensas y prolongadas, particularmente en la temporada cálida, cuando las bajas presiones continentales atraen vientos húmedos del Océano Índico, los cuales se descargan sobre las laderas del Himalaya y otras cordilleras. Esto ocasiona desbordamientos de grandes ríos como el Indo, Ganges, Brahmaputra, Irawaddy, Saluen y Mekong, así como otros ríos en el sur de China.

**s:** Corresponde a las lluvias en invierno, típicas de climas subtropicales secos o mediterráneos (clasificación Csa según Köppen), que se encuentran en las latitudes subtropicales de las costas occidentales de los continentes.

A pesar de que la clasificación climática de Köppen es ampliamente utilizada a nivel mundial, esta no ha sido adoptada con fines de regulación técnica en el sector de la construcción.

### 1) **Clima Tropical (A)**

El clima tropical se caracteriza por temperaturas elevadas todo el año, con una temperatura media mensual que no baja de los 18°C, y precipitaciones abundantes en muchas áreas. Se subclasifica en tres categorías principales:

**Af:** Tropical lluvioso. Precipitaciones abundantes durante todo el año, con un promedio superior a 60 mm en cada mes. Este clima es típico de las regiones ecuatoriales, como el Amazonas, el Congo y el sudeste asiático (Miller et al., 2019).

**Am:** Tropical monzónico. Precipitaciones estacionales muy intensas, asociadas al fenómeno del monzón. Las lluvias monzónicas pueden exceder los 2,000 mm anuales, como ocurre en regiones de India y Bangladesh (Silva & Ortega, 2016).

**Aw:** Tropical de sabana. Lluvias concentradas en una estación, y un periodo seco muy marcado. Las sábanas africanas y partes de Brasil presentan este tipo de clima, con precipitaciones entre 500 mm y 1500 mm anuales, distribuidas en una estación lluviosa (García & López, 2020).

## 2) Clima Seco (B)

El clima seco es predominante en áreas donde la evaporación excede a las precipitaciones. Se considera la temperatura media anual y el acumulado medio anual de la precipitación acumulada de la media mensual. Se subclasifica en dos categorías:

**BW:** Clima desértico. Se caracteriza por precipitaciones inferiores a los 250 mm anuales, como en el desierto del Sahara o el de Atacama (López & Hernández, 2021). Las temperaturas pueden superar los 50°C en verano y caer bajo cero por la noche.

**BS:** Clima semiárido. Precipitaciones entre 250 mm y 500 mm anuales, como en las estepas de Asia Central o el suroeste de Estados Unidos. Las temperaturas presentan grandes oscilaciones diarias y estacionales (Rodríguez et al., 2022).

## 3) Clima Templado (C)

El clima templado se caracteriza por veranos cálidos o templados e inviernos suaves. Este tipo de clima es común en zonas costeras y en latitudes medias. Se subclasifica en varias categorías:

**Cfa:** Clima subtropical húmedo. Precipitaciones durante todo el año, con veranos cálidos e inviernos suaves. Este clima se encuentra en áreas como el sureste de Estados Unidos, partes de China y Japón. Las precipitaciones suelen estar entre 1,000 y 1,500 mm anuales (Pérez & Ramírez, 2020).

**Cfb:** Clima oceánico. Presenta lluvias durante todo el año, con veranos frescos e inviernos suaves. Es típico en el noroeste de Europa y la costa occidental de América del Sur. Las precipitaciones anuales varían de 800 mm a 2,000 mm (Martínez et al., 2018).

**Csa/Csb:** Clima mediterráneo. Veranos secos y cálidos, e inviernos húmedos y templados. Las precipitaciones anuales están entre 300 mm y 900 mm, siendo características del sur de Europa y partes de California y Chile (García & López, 2020).

#### 4) Clima Continental (D)

Este tipo de clima se presenta principalmente en el interior de los continentes, en latitudes medias y altas, con grandes variaciones estacionales de temperatura. Se divide en:

**Dfa/Dfb:** Clima continental húmedo. Invierno frío y verano cálido, con precipitaciones durante todo el año. Se encuentra en áreas como el noreste de Estados Unidos, Canadá y gran parte de Europa del Este. Las temperaturas en invierno pueden bajar de  $-20^{\circ}\text{C}$ , y en verano superar los  $25^{\circ}\text{C}$  (Pérez & Gómez, 2019).

**Dfc/Dfd:** Clima subártico. Este tipo de clima presenta inviernos muy largos y fríos, con temperaturas que pueden llegar hasta  $-40^{\circ}\text{C}$  o más. Se encuentra en el norte de Rusia, Canadá y Alaska. Las precipitaciones anuales son bajas, generalmente inferiores a 500 mm (Rodríguez et al., 2022).

#### 5) Clima Polar (E)

El clima polar se caracteriza por temperaturas extremadamente frías durante la mayor parte del año. Se divide en dos tipos:

**ET:** Clima de tundra. Las temperaturas del mes más cálido están entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $10^{\circ}\text{C}$ . Este clima se encuentra en las regiones árticas y antárticas, así como en las altas montañas. Las precipitaciones son bajas, generalmente menos de 300 mm al año (López & Hernández, 2021).

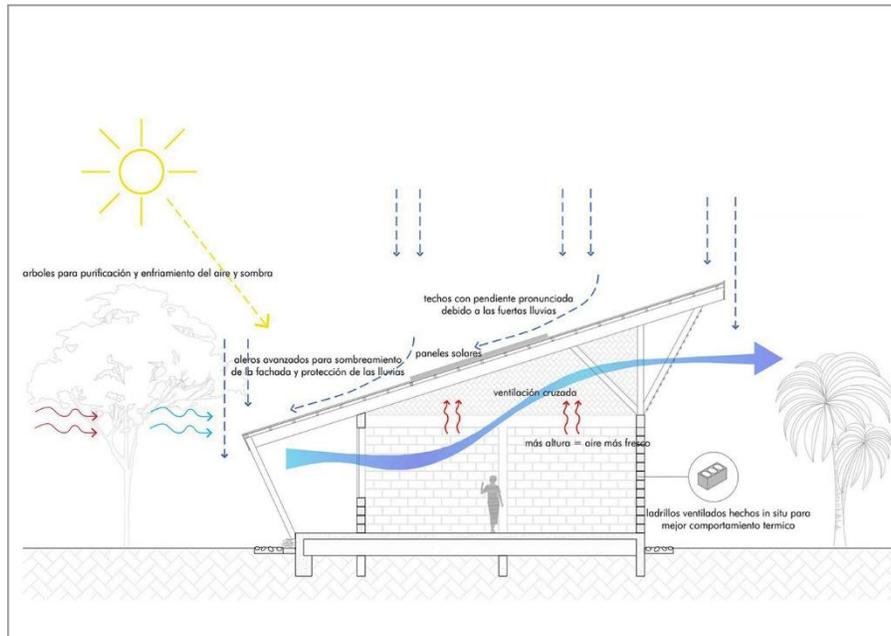
**EF:** Clima de casquete polar. Las temperaturas no superan los  $0^{\circ}\text{C}$  en ningún momento del año. Este tipo de clima se encuentra en Groenlandia y la Antártida, y las precipitaciones son muy escasas, a menudo en forma de nieve (Silva & Ortega, 2016).

## 2.1.4 Bioclimática

La bioclimática es una disciplina que estudia la interacción entre las condiciones climáticas y los seres vivos, prestando especial atención a cómo los organismos y las actividades humanas se ven afectados por el clima y cómo pueden adaptarse a él. En la arquitectura y el urbanismo, la bioclimática se enfoca en diseñar espacios que aprovechen las condiciones climáticas locales para reducir el consumo energético y maximizar el confort térmico. Este enfoque, basado en principios sostenibles, busca minimizar la dependencia de sistemas artificiales de calefacción, ventilación y aire acondicionado a través de una combinación de la orientación adecuada de los edificios, el uso de materiales con alta inercia térmica y la incorporación de tecnologías pasivas.

Los principales factores que influyen en el diseño bioclimático son la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar. La temperatura es un factor determinante que afecta directamente la demanda de energía para calefacción y refrigeración. En climas cálidos, se emplean estrategias para reducir el sobrecalentamiento, como la incorporación de techos ventilados y el uso de materiales de alta inercia térmica. (Olgay, 1963)

**Figura 2. Esquema de uso de estrategias Bioclimáticas**



*Fuente: Archdaily*

En climas fríos, se prioriza el aislamiento térmico y la orientación adecuada para captar la radiación solar y mantener el calor durante el invierno. Por otro lado, la humedad relativa del aire también afecta el confort térmico. En climas húmedos, la bioclimática favorece la ventilación cruzada para reducir la humedad interior, mientras que, en climas secos, la incorporación de cuerpos de agua cercanos puede aumentar la humedad ambiental de manera natural.

El viento es un elemento crucial para la ventilación natural, que es uno de los pilares del diseño bioclimático. La orientación de ventanas y aberturas hacia la dirección predominante del viento permite reducir la necesidad de ventilación artificial, mejorando el flujo de aire dentro de los edificios. Por ejemplo, en regiones donde los vientos predominan del norte, los edificios suelen ser diseñados con ventilación cruzada para aprovechar el enfriamiento natural del aire (Olgay, 1963). La radiación solar es otra fuente de energía fundamental para el diseño bioclimático. La orientación adecuada del edificio, en particular hacia el sur en el hemisferio norte, permite maximizar la captación de luz natural durante el invierno y, al mismo tiempo, utilizar sistemas de sombreado para proteger los interiores del sobrecalentamiento en verano (González & López, 2019).

El diseño bioclimático se basa en principios que permiten un control efectivo del clima interior sin recurrir a tecnologías intensivas en energía. La orientación de los edificios es clave, ya que la exposición correcta a la luz solar y al viento puede optimizar tanto el calentamiento como la ventilación. En regiones frías, las fachadas orientadas al sur maximizan la ganancia solar pasiva, mientras que en climas cálidos se evita la exposición directa al sol para reducir el sobrecalentamiento (Olgay, 1963). Otro principio fundamental es el uso de materiales de alta inercia térmica, como el ladrillo, el hormigón o la piedra, que tienen una gran capacidad para almacenar calor y liberarlo gradualmente. Esto es especialmente útil en zonas con variaciones significativas entre las temperaturas diurnas y nocturnas, ya que estos materiales mantienen una temperatura interior estable (Givoni, 1998).

El aislamiento térmico también es esencial para el diseño bioclimático, especialmente en climas fríos, donde es necesario evitar la pérdida de calor. Los materiales de construcción con altos valores de resistencia térmica (R-Values) ayudan a minimizar las pérdidas energéticas. Por ejemplo, el uso de ventanas de doble acristalamiento con un valor U bajo,

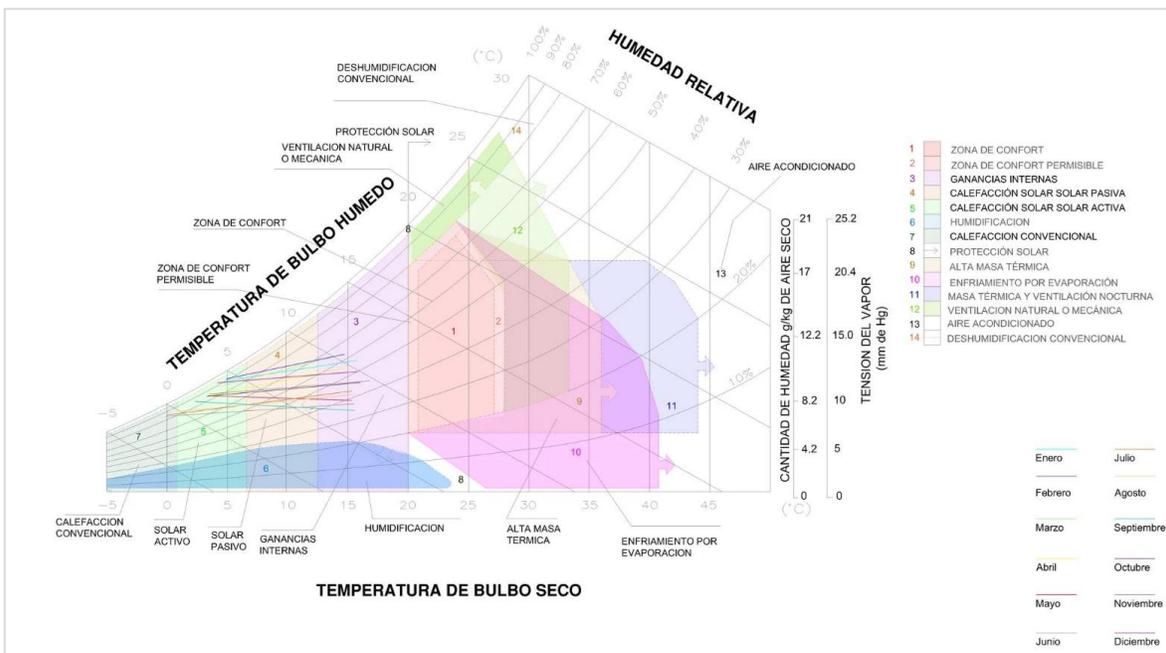
inferior a  $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , puede reducir hasta en un 50% las pérdidas de calor en comparación con ventanas convencionales (González & López, 2019). La ventilación cruzada es otra estrategia pasiva eficaz que permite el enfriamiento natural en climas cálidos y templados. Al abrir ventanas en lados opuestos del edificio, se facilita la circulación de aire fresco y la expulsión de aire caliente del interior, lo que mejora el confort sin necesidad de sistemas mecánicos.

El diseño bioclimático ofrece numerosos beneficios, tanto desde una perspectiva ambiental como económica. Uno de los mayores beneficios es la reducción del consumo energético. Al aprovechar las condiciones climáticas naturales, el diseño bioclimático puede disminuir hasta en un 70% el consumo de energía destinada a calefacción y refrigeración. Esto no solo se traduce en menores costos operativos para los edificios, sino también en un impacto ambiental significativamente menor. Los edificios bioclimáticos también proporcionan un mayor nivel de confort térmico, ya que mantienen una temperatura interior más estable y adecuada durante todo el año. Además, la bioclimática está alineada con los principios de sostenibilidad, al reducir la dependencia de recursos no renovables, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar el uso de materiales locales y de bajo impacto ambiental. (Givoni, 1998).

### **2.1.5 Estrategias pasivas de diseño**

El diagrama de Givoni es una herramienta fundamental en el diseño bioclimático y en el análisis del confort térmico. Desarrollado por el arquitecto y climatólogo Baruch Givoni, este diagrama permite evaluar las condiciones climáticas y determinar estrategias pasivas adecuadas para alcanzar el confort térmico en un edificio, sin depender de sistemas mecánicos como la calefacción o el aire acondicionado. A través de la interpretación de variables como la temperatura, la humedad relativa y el viento, el diagrama sugiere estrategias de diseño bioclimático para diferentes combinaciones de estos factores.

**Figura 3. Gráfica Psicométrica de Givoni**



Fuente: Givoni, 1998

El diagrama varias zonas que representan el rango de condiciones climáticas en las que se pueden aplicar diferentes estrategias bioclimáticas para lograr el confort térmico. Las principales zonas y estrategias son:

**Zona de confort térmico pasivo**

La zona de confort térmico pasivo se encuentra en la intersección de valores moderados de temperatura y humedad relativa. Esta zona varía en función de la actividad humana y el tipo de ropa utilizada. Por lo general, el rango de confort se sitúa entre los 20°C y 27°C, con niveles de humedad relativa entre el 30% y el 70%. En esta zona, los ocupantes de un edificio se sienten cómodos sin necesidad de aplicar estrategias adicionales de climatización. Si las condiciones climáticas de una región caen dentro de esta área, se puede considerar que el diseño arquitectónico ya cumple con los requisitos de confort térmico.

## **Ventilación**

Cuando la temperatura ambiental está por encima del rango de confort térmico pero la humedad relativa es baja, el diagrama sugiere la ventilación como una estrategia eficaz para disipar el calor. La ventilación natural es crucial para mejorar la calidad del aire y reducir la sensación de calor mediante la evaporación del sudor. Este método es más efectivo cuando la temperatura está entre 27°C y 30°C y la humedad relativa es inferior al 60%. En condiciones donde el viento es insuficiente, se puede recurrir a ventilación mecánica para mejorar la circulación de aire en el interior del edificio.

## **Sombreado**

El sombreado es una estrategia recomendada cuando las temperaturas exteriores superan el rango de confort y la radiación solar directa causa un aumento significativo de la temperatura interior. El diagrama de Givoni indica que, en climas cálidos y soleados, es fundamental bloquear el sol directo mediante dispositivos de sombreado como toldos, aleros o vegetación. El objetivo es evitar el sobrecalentamiento de los espacios interiores. Este tipo de estrategia es aplicable cuando la temperatura ambiental supera los 30°C y se experimenta alta radiación solar.

## **Enfriamiento evaporativo**

El enfriamiento evaporativo es una estrategia que se utiliza en climas áridos o semiáridos donde la humedad relativa es baja (inferior al 40%) y la temperatura es elevada, superando los 30°C. El diagrama de Givoni sugiere el enfriamiento evaporativo cuando el aire seco permite la evaporación eficiente de agua, lo que reduce la temperatura del aire sin la necesidad de costosos sistemas de climatización mecánica. Este método puede ser implementado mediante sistemas de rociadores, fuentes o superficies de agua cercanas a las áreas habitables, lo que mejora el confort térmico mediante la humidificación del aire.

## **Aislamiento térmico**

El aislamiento térmico es esencial en regiones donde las temperaturas exteriores caen por debajo de la zona de confort, especialmente en climas fríos. Según el diagrama de Givoni, el aislamiento ayuda a reducir la pérdida de calor interior, manteniendo una temperatura estable en los espacios habitados. Esta estrategia se recomienda cuando las temperaturas exteriores están por debajo de los 20°C. Para climas fríos con temperaturas cercanas a los 0°C o inferiores, es fundamental contar con materiales de construcción con altos valores de resistencia térmica (R-values) y ventanas de doble o triple acristalamiento para evitar pérdidas de calor significativas (Olgyay, 1963).

## **Calefacción pasiva**

En zonas donde las temperaturas exteriores son muy bajas, una estrategia adicional es la calefacción pasiva. El diagrama de Givoni indica que, mediante el diseño adecuado y la orientación solar, es posible capturar la radiación solar y aprovecharla para calentar los espacios interiores. Esta estrategia incluye la orientación de las ventanas hacia el sur en el hemisferio norte para maximizar la captación de luz solar en invierno, y el uso de materiales con alta inercia térmica que almacenen calor durante el día y lo liberen por la noche. Esto es especialmente importante en climas donde las temperaturas invernales descienden por debajo de los 10°C (Olgyay, 1963).

## **Eficiencia Energética en materiales**

La implementación de materiales con alta inercia térmica es especialmente importante en climas con fluctuaciones diurnas significativas, como en áreas desérticas, donde la temperatura puede variar en más de 20°C entre el día y la noche. En estas condiciones, el uso de hormigón o ladrillo puede estabilizar la temperatura interna del edificio, reduciendo la necesidad de climatización artificial. En la actualidad, el diagrama de Givoni sigue siendo una herramienta ampliamente utilizada en proyectos de arquitectura bioclimática y diseño sostenible. Su aplicación se ha extendido no solo en viviendas residenciales, sino también en edificios comerciales e industriales. En regiones como el suroeste de Estados Unidos y partes

del sur de Europa, el uso de estrategias bioclimáticas basadas en este diagrama ha demostrado ser eficaz en la reducción del consumo energético, la mejora del confort térmico.

## 2.1.6 Zona de confort

El cálculo de la zona de confort se basa en criterios que tienen en cuenta la temperatura del aire y la humedad relativa. Al igual que otros modelos bioclimáticos, el modelo de Szokolay utiliza una gráfica psicrométrica para definir los límites dentro de los cuales se considera el ambiente como para la mayoría de las personas. Szokolay desarrolló un método simple para el cálculo de la zona de confort, especialmente útil para edificaciones en climas cálidos y templados.

Los parámetros con los cuales Szokolay establece método para el cálculo son los siguientes:

Temperatura del aire (T): para el modelo la zona de confort térmico debe encontrar entre las temperaturas 18° C a 26°C.

Humedad Relativa (RH): debe estar limitada a valores de humedad entre el 30% al 70%

Velocidad del aire: Esta velocidad afecta la sensación térmica, no superando una aproximación a 0.2 m/s.

El modelo propuesto por Szokolay sugiere que la temperatura de confort "Tc" puede calcularse como:

$$T_n = (0.31 \times T_{ma}) + 17.8 \quad (1)$$

Donde:

Tc= Temperatura neutra (°C)

Tma= Temperatura media anual (°C)

También Szokolay propone límites pico para el confort:

$$ZC_{min} = T_n - 2.5 \quad (2)$$

Donde:

Zcmin= Límite de confort térmico mínimo (°C)

Tn= Temperatura neutra (°C)

$$ZC_{max} = T_n + 2.5 \quad (3)$$

Donde:

Zcmax= Límite de confort térmico mínimo (°C)

Tn= Temperatura neutra (°C)

Con estas fórmulas se define la temperatura neutra y los picos de confort térmico para cualquier ciudad, conociendo su temperatura media anual.

## 2.2 EDIFICACIONES SUSTENTABLES

La sostenibilidad esta intrínsecamente relacionada con la optimización de recursos tanto en el entorno urbano como en el natural. Las normativas y recomendaciones de gestión ambiental buscan atender las necesidades inmediatas sin comprometer las necesidades de generaciones futuras. La sostenibilidad en la construcción requiere la aplicación de estrategias y soluciones técnicas que minimicen los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de los edificios. Estas estrategias incluyen la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, la optimización del consumo energético y la integración de sistemas eficientes en términos económicos, ecológicos y sociales.

Uno de los aspectos clave es la reducción del consumo energético y el uso de energías renovables. De acuerdo con las normativas establecidas, como la ISO 50001, los edificios deben implementar sistemas de gestión energética para reducir su demanda total en un 30-50%. Esto puede lograrse mediante la instalación de tecnologías de generación de energía renovable como paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas o sistemas geotérmicos. Por ejemplo, un sistema fotovoltaico con una capacidad instalada de 5 kW puede generar aproximadamente 7,000 kWh anuales, lo que reduciría significativamente la dependencia de fuentes de energía convencionales (Calderón, 2021). Además, los sistemas de almacenamiento de energía a través de baterías de ion-litio, con capacidades de 10-15 kWh, permiten almacenar la energía generada para su uso eficiente, especialmente en viviendas unifamiliares (Rodríguez & Pérez, 2020).

Otra estrategia importante es el uso de materiales de construcción sostenibles, que reducen la huella de carbono del edificio. Por ejemplo, el uso de hormigón reciclado o madera certificada por el Forest Stewardship Council (FSC) puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta en un 40% en comparación con los materiales convencionales (González, 2019).

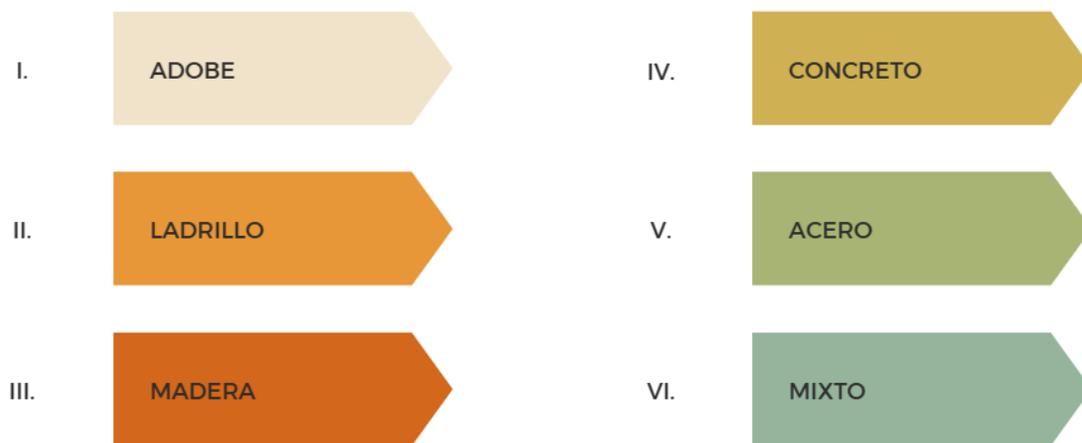
Asimismo, el empleo de aislantes térmicos avanzados como la lana mineral o espumas a base de materiales reciclados permite mejorar la eficiencia energética, disminuyendo la demanda de calefacción y refrigeración entre un 25-40% (Martínez & López, 2022). La optimización del diseño estructural es otro pilar de la sostenibilidad.

El diseño debe garantizar la durabilidad y resistencia de las estructuras frente a diversas condiciones ambientales y de carga. Para ello, se recomienda aplicar criterios de diseño pasivo, como la ventilación cruzada y la orientación optimizada (generalmente hacia el sur en el hemisferio norte), lo que reduce la carga térmica en verano y maximiza la ganancia solar en invierno (Santos & Romero, 2023). Además, el diseño estructural debe contemplar un ciclo de vida estimado de entre 50 y 100 años, utilizando técnicas de análisis modal y simulación de elementos finitos (FEM) para mejorar el uso de materiales y aumentar la resiliencia frente a fenómenos como terremotos o cargas dinámicas. (Pérez, 2021)

## 2.2.1 Características de los materiales

Para clasificar a las viviendas según su material o sistema constructivo, es necesario analizar las propiedades que afecten la temperatura, siendo aplicable tanto para un conjunto habitacional como para un espacio dentro de la vivienda. Dentro de los materiales más comunes con los cuales las casas son construidas, se engloba en seis categorías, así como su caracterización:

**Figura 4. Clasificación de materiales en edificación**



*Fuente: Elaboración Propia*

En las edificaciones, la combinación de materiales busca un equilibrio entre ambos aspectos, dependiendo del clima local y las necesidades del diseño. Por ejemplo, en climas cálidos se favorecen materiales con baja ganancia térmica y alta resistencia térmica, mientras que en climas fríos se buscan materiales que permitan cierta ganancia térmica durante el día pero con alta resistencia térmica para retener el calor en la noche. Además, se toman en cuenta factores como la ubicación, orientación y acabados del edificio, complementando las propiedades intrínsecas de los materiales con técnicas como el uso de capas aislantes y sistemas pasivos de ventilación y sombreado.

## I. Adobe

El adobe, un material tradicional elaborado a partir de tierra, agua y fibras naturales, presenta características térmicas destacadas que lo convierten en una opción sostenible y eficiente para la construcción. A continuación, se resumen sus principales ventajas y desventajas térmicas:

### Ventajas Térmicas del Adobe

- *Alta Inercia Térmica:* Su capacidad para almacenar y liberar calor de manera gradual permite mantener temperaturas interiores estables, especialmente en climas con grandes fluctuaciones entre el día y la noche.
- *Aislamiento Natural:* El adobe tiene baja conductividad térmica, lo que reduce la transferencia de calor entre el interior y el exterior. Esto contribuye a un ambiente fresco en verano y cálido en invierno.
- *Sostenibilidad Energética:* Su uso minimiza la dependencia de sistemas artificiales de calefacción o refrigeración, favoreciendo la eficiencia energética.
- *Adaptabilidad Climática:* Es ideal para climas áridos y secos, donde sus propiedades térmicas se maximizan gracias a la baja humedad ambiental.

### Desventajas Térmicas del Adobe

- *Sensibilidad a la Humedad:* El rendimiento térmico del adobe disminuye en ambientes húmedos, ya que el agua puede penetrar el material y alterar sus propiedades aislantes.
- *Mantenimiento Frecuente:* Su exposición a condiciones climáticas extremas puede requerir tratamientos o recubrimientos adicionales para preservar su integridad térmica.
- *Limitada Eficiencia en Climas Extremos:* En climas extremadamente fríos o cálidos, el adobe por sí solo puede no ser suficiente para garantizar un aislamiento térmico óptimo, requiriendo complementos.
- *Dependencia de la Calidad del Material:* Sus propiedades térmicas pueden variar significativamente según la composición de la mezcla y el proceso de fabricación.

Los parámetros para contemplar dentro del análisis del material son:

- **Composición:** Mezcla de tierra cruda con alto contenido de arcilla, arena, agua y fibras naturales como paja o estiércol para reforzar la estructura.
- **Resistencia a la compresión:** Entre 1 y 3 MPa, dependiendo de la calidad de la mezcla y el proceso de fabricación.
- **Aislamiento térmico:** Bueno, con un coeficiente de conductividad térmica de aproximadamente 0.3 W/m·K, ideal para mantener temperaturas interiores estables.
- **Resistencia al fuego:** Moderada, soporta temperaturas de hasta 500 °C antes de comprometer su estructura, dependiendo de la calidad del adobe.
- **Durabilidad:** Entre 30 y 50 años, con mantenimiento adecuado y protección contra la humedad.
- **Absorción de agua:** Alta, entre 15% y 30%, debido a su porosidad, lo que lo hace vulnerable en ambientes húmedos.

**Foto 1. Casa Separo / Hypertext ARCH Studio**



*Fuente: Archdaily*

## II. Ladrillo

El ladrillo es un material constructivo versátil con importantes ventajas térmicas, como su alta inercia térmica, que permite mantener temperaturas interiores estables, y su capacidad de aislamiento natural gracias a su composición porosa, lo que contribuye a la eficiencia energética. Además, es duradero, resistente y compatible con materiales aislantes adicionales para mejorar su desempeño. Sin embargo, presenta desventajas como la conducción de calor, que puede ser insuficiente en climas extremos, la necesidad de complementos aislantes para optimizar su rendimiento y su peso, que puede requerir paredes más gruesas, ocupando mayor espacio en las construcciones.

### Ventajas Térmicas del Ladrillo

- *Inercia Térmica Moderada:* Su capacidad de almacenar y liberar calor permite que, aunque no sea tan eficiente como el adobe en regular la temperatura, contribuya a la estabilidad térmica en interiores, especialmente cuando se emplea en muros gruesos.
- *Aislamiento Relativo:* El ladrillo tiene una conductividad térmica media, que permite cierto aislamiento y ayuda a reducir las variaciones de temperatura, manteniendo un ambiente más cálido en invierno y relativamente fresco en verano.
- *Durabilidad y Baja Mantenimiento:* Requiere menos mantenimiento que el adobe, ya que resiste mejor la humedad y los cambios de temperatura, lo que reduce la necesidad de tratamientos adicionales.
- *Versatilidad en Climas Diversos:* Es adecuado para distintos climas, ya que su estructura soporta tanto ambientes secos como húmedos, lo que aumenta su versatilidad.

### Desventajas Térmicas del Ladrillo

- *Conductividad Térmica Alta:* En comparación con el adobe, el ladrillo presenta una mayor conductividad térmica, lo que puede implicar una mayor transferencia de calor entre el interior y el exterior, y en consecuencia, una menor eficiencia en el aislamiento.

- *Menor Adaptabilidad en Climas Extremadamente Cálidos:* En climas cálidos, la capacidad del ladrillo para mantener fresca interior es limitada, especialmente si no se combinan con otros materiales aislantes.
- *Sensibilidad a la Composición y Proceso de Fabricación:* La calidad térmica del ladrillo depende de factores como la mezcla, la cocción y la densidad del material, lo cual puede influir en su capacidad de aislamiento.
- *Mayor Consumo de Energía en Producción:* La fabricación de ladrillos implica un proceso de cocción a altas temperaturas, lo que genera un mayor impacto ambiental en comparación con materiales como el adobe.

Los parámetros para contemplar dentro del análisis del material son:

- **Composición:** Hecho de arcilla cocida a altas temperaturas, con aditivos que pueden mejorar su resistencia y propiedades térmicas.
- **Resistencia a la compresión:** Generalmente alta, entre 7 y 10 MPa, dependiendo del tipo de ladrillo y el proceso de fabricación.
- **Aislamiento Térmico:** Medio, con un coeficiente de conductividad térmica aproximado de 0.6 W/m·K, menos eficiente que el adobe para la estabilidad térmica.
- **Resistencia al fuego:** Alta, soporta temperaturas superiores a 1000 °C sin comprometer su estructura, lo que lo hace adecuado para construcciones resistentes al fuego.
- **Durabilidad:** Muy alta, con una vida útil que puede superar los 50 años sin mantenimiento intensivo, especialmente en climas secos.
- **Absorción de agua:** Moderada, entre 10% y 20%, lo que lo hace más resistente que el adobe en ambientes húmedos, aunque puede requerir impermeabilización en algunas condiciones.

**Foto 2. Casa 1219 / HARQUITECTES**



*Fuente: Archdaily*

### **III. Madera**

La madera es un material constructivo versátil, natural y renovable que ha sido utilizado durante siglos en la arquitectura y la construcción debido a su funcionalidad, estética y sostenibilidad. Sus propiedades térmicas la convierten en una opción interesante y eficiente para edificaciones en diversos climas, ya que combina un buen rendimiento térmico con una notable capacidad de aislamiento. Además, la madera es un material ligero, fácil de trabajar y que, con el tratamiento adecuado, puede ofrecer un rendimiento duradero si recibe los tratamientos y mantenimiento adecuados.

#### **Ventajas Térmicas de la Madera**

- *Baja Conductividad Térmica:* La madera tiene un coeficiente de conductividad térmica bajo, lo que la hace un buen aislante natural, reduciendo la transferencia de calor entre el exterior e interior.
- *Estabilidad Térmica:* Su capacidad para retardar el flujo de calor contribuye al ahorro energético, especialmente en climas fríos o templados.

- *Aislamiento Acústico y Térmico Combinado:* La madera no solo es térmicamente eficiente, sino que también contribuye al aislamiento acústico, mejorando el confort general.
- *Inercia Térmica Moderada:* Aunque no es tan elevada como en materiales como el adobe, la madera almacena y libera calor en cierta medida, lo que ayuda a estabilizar temperaturas interiores.

▪

### **Desventajas Térmicas de la Madera**

- *Inflamabilidad:* Aunque se pueden aplicar tratamientos retardantes, la madera es un material combustible, lo que limita su uso en ciertas aplicaciones donde la resistencia al fuego es crítica.
- *Sensibilidad a la Humedad:* La madera puede absorber humedad, lo que altera sus propiedades térmicas y estructurales, afectando su eficiencia como aislante.
- *Durabilidad Variable:* En condiciones extremas de calor, humedad o plagas, la madera puede requerir tratamientos adicionales para mantener sus propiedades térmicas y estructurales.
- *Limitada Masa Térmica:* En comparación con materiales como el adobe o el concreto, la madera tiene menor capacidad para almacenar calor, lo que puede ser una desventaja en climas con grandes variaciones térmicas diarias.

Los parámetros para contemplar dentro del análisis del material son:

- **Composición:** Celulosa, hemicelulosa y lignina, con tratamientos como secado o barnices que mejoran su desempeño.
- **Resistencia a la compresión:** Entre 2 y 7 MPa (maderas blandas) y hasta 30 MPa (maderas duras).
- **Aislamiento Térmico:** Excelente, con un coeficiente de conductividad térmica de 0.12-0.15 W/m·K.
- **Resistencia al fuego:** Moderada; se carboniza superficialmente, pero mejora con tratamientos ignífugos.
- **Durabilidad:** Alta, de 50 a 100 años o más, con mantenimiento en ambientes húmedos.

- **Absorción de agua:** Moderada a alta, entre 20% y 30%, mejorable con tratamientos impermeabilizantes.

**Foto 3. Casa de Madera / MAATworks**



*Fuente: Archdaily*

#### **IV. Concreto**

El concreto es uno de los materiales constructivos más utilizados en la arquitectura y la ingeniería debido a su resistencia, versatilidad y durabilidad. Sin embargo, desde un punto de vista térmico, tiene características específicas que influyen en su comportamiento en edificaciones. A continuación, se describen sus principales ventajas y desventajas térmicas:

##### **Ventajas Térmicas del Concreto**

- *Alta Inercia Térmica:* El concreto es excelente para almacenar y liberar calor de forma gradual, lo que ayuda a mantener temperaturas interiores estables y reducir la necesidad de sistemas de calefacción o refrigeración. Esto es especialmente útil en climas con grandes fluctuaciones térmicas diarias.
- *Resistencia al Calor:* Su capacidad para soportar altas temperaturas, superiores a 1,000 °C, lo hace adecuado para aplicaciones donde la resistencia al fuego es crucial, como muros cortafuegos o estructuras en industrias.

- **Durabilidad Térmica:** Mantiene sus propiedades térmicas a lo largo del tiempo sin degradarse, incluso en condiciones climáticas extremas.
- **Adaptabilidad:** Puede combinarse con aditivos o recubrimientos aislantes para mejorar su desempeño térmico, haciéndolo más eficiente en climas extremos.
- *Reducción de Ganancia Térmica Solar:* En edificaciones de concreto con recubrimientos claros, se minimiza la absorción de calor solar, lo que contribuye al confort interior en climas cálidos.

### **Desventajas Térmicas del Concreto**

- *Baja Capacidad de Aislamiento Térmico:* Su conductividad térmica es relativamente alta (1.4–1.7 W/mK) lo que facilita la transferencia de calor a través de sus superficies. Esto implica que, en climas fríos o cálidos extremos, es necesario complementarlo con materiales aislantes.
- *Ganancia Térmica en Climas Cálidos:* El concreto tiende a absorber y retener calor en climas cálidos, lo que puede generar interiores sobrecalentados si no se utiliza adecuadamente con aislamientos o recubrimientos.
- *Peso y Espesor Requerido:* Para aprovechar su inercia térmica, el concreto necesita ser empleado en elementos gruesos, lo que aumenta el peso de la estructura y los costos asociados.
- *Enfriamiento No Inmediato:* Aunque almacena calor eficazmente, el concreto libera esta energía de forma lenta, lo que puede ser una desventaja en climas cálidos durante la noche si no hay ventilación adecuada.
- *Sensibilidad a Cambios de Temperatura:* Aunque resistente, los cambios bruscos de temperatura pueden causar microfisuras debido a la dilatación y contracción térmica.

Los parámetros para contemplar dentro del análisis del material son:

- **Composición:** Mezcla de cemento, agua, arena y grava, con aditivos que pueden mejorar su resistencia y propiedades térmicas.
- **Resistencia a la compresión:** Muy alta, generalmente entre 20 y 40 MPa, dependiendo de la mezcla y el refuerzo utilizado.

- **Aislamiento Térmico:** Bajo, con un coeficiente de conductividad térmica de 1.4-1.7 W/m·K, lo que requiere complementos aislantes.
- **Resistencia al fuego:** Alta, soporta temperaturas superiores a 1,000 °C sin comprometer su estructura.
- **Durabilidad:** Muy alta, con una vida útil que puede superar los 100 años, especialmente en condiciones controladas.
- **Absorción de agua:** Baja a moderada, entre 5% y 10%, dependiendo de su porosidad y acabado.

**Foto 4. Oficinas CLJ / MORO Taller de arquitectura**



*Fuente: Archdaily*

## V. Acero

El acero es un material constructivo clave y la ingeniería debido a su excepcional resistencia, versatilidad y capacidad de soportar cargas significativas en estructuras ligeras. Su uso es especialmente prominente en edificios de gran altura, puentes y estructuras industriales, gracias a su capacidad para adaptarse a diseños complejos y dinámicos. Su alta conductividad térmica lo hace eficiente en disipar calor, pero también implica que no actúa como aislante térmico en términos de eficiencia energética.

### **Ventajas Térmicas del Acero**

*Rapidez en la Transferencia de Calor:* Su alta conductividad térmica permite disipar rápidamente el calor, lo que puede ser útil en sistemas constructivos donde se necesite esta característica, como en fachadas ventiladas.

*Compatibilidad con Aislantes:* Aunque no es un buen aislante, su estructura delgada facilita la incorporación de materiales aislantes, mejorando el rendimiento térmico general.

*Adaptabilidad en Climas Controlados:* En edificaciones con sistemas de control térmico artificial, el acero puede integrarse eficientemente.

*Estabilidad Dimensional:* Mantiene su forma y dimensiones bajo cambios moderados de temperatura, a diferencia de otros materiales que pueden expandirse significativamente.

### **Desventajas Térmicas del Acero**

*Baja Eficiencia Térmica:* Su alta conductividad térmica  $\approx 45-50$  W/mK lo hace ineficaz para evitar la transferencia de calor, lo que puede generar puentes térmicos en las estructuras.

*Pérdida de Resistencia a Altas Temperaturas:* El acero pierde rigidez y resistencia mecánica a partir de los 500 °C, por lo que necesita protección ignífuga en edificios expuestos a riesgos de incendio.

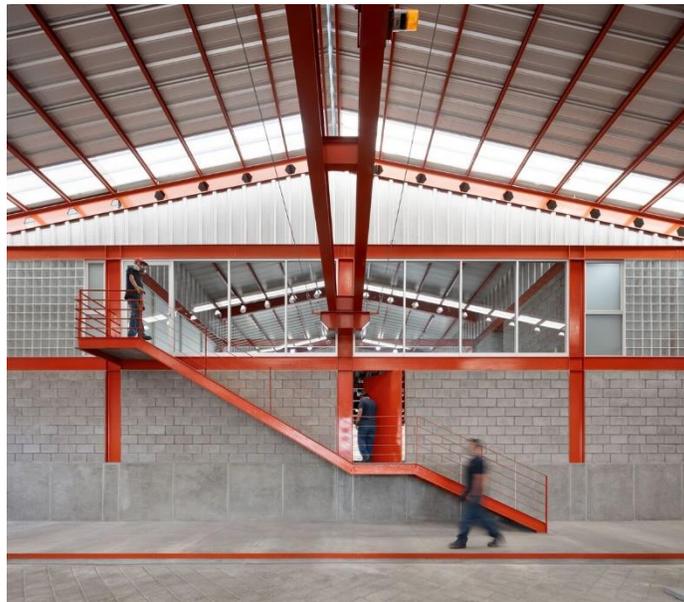
*Condensación Térmica:* Su rápida respuesta a los cambios de temperatura puede causar condensación en ambientes húmedos, lo que puede acelerar la corrosión.

*Dependencia de Recubrimientos:* Para mitigar problemas térmicos, como la transferencia de calor o la corrosión, es necesario aplicar recubrimientos protectores o combinarlo con otros materiales.

Los parámetros para contemplar dentro del análisis del material son:

- **Composición:** Aleación de hierro con carbono y otros elementos como manganeso, cromo o níquel para mejorar su resistencia y propiedades específicas.
- **Resistencia a la compresión:** Muy alta, aunque es más valorado por su resistencia a la tracción, que puede superar los 400 MPa.
- **Aislamiento Térmico:** Muy bajo, con un coeficiente de conductividad térmica de aproximadamente 45-50 W/m·K, lo que lo hace ineficiente como aislante.
- **Resistencia al fuego:** Moderada; pierde rigidez y resistencia a partir de los 500 °C, requiriendo protección ignífuga.
- **Durabilidad:** Alta, con una vida útil superior a los 50 años, aunque requiere protección contra la corrosión en ambientes húmedos o salinos.
- **Absorción de agua:** Nula

**Foto 5. Nave industrial FM / Emilio Alvarez Abouchard Arquitectura**



*Fuente: Archdaily*

## VI. Materiales Mixtos

Los materiales mixtos en construcción se refieren a la combinación de distintos materiales para lograr propiedades mejoradas en aspectos como la resistencia, durabilidad, y eficiencia térmica. Estos materiales suelen combinar elementos como concreto, acero, madera, vidrio, y materiales aislantes, para obtener las mejores características de cada componente en una estructura. En cuanto a sus propiedades térmicas, el uso de materiales mixtos ofrece ventajas y desventajas.

- **Combinación de Materiales:** Se utilizan diferentes materiales como ladrillo, hormigón, acero y madera en una sola edificación. Cada uno de estos materiales cumple funciones específicas.
- **Resistencia y durabilidad:** Depende del material predominante en la estructura principal, pero se puede mejorar el comportamiento al combinar las propiedades de diferentes materiales. (revisar especificaciones en los puntos anteriores)
- **Aislamiento térmico:** Puede optimizarse mediante la correcta combinación de materiales (madera para aislamiento, hormigón para estructura, ladrillo para divisiones).
- **Protección al fuego:** El uso de hormigón y ladrillo mejora la resistencia al fuego, mientras que la madera y otros materiales ligeros pueden requerir tratamientos adicionales.

Esta clasificación nos permite poder evaluar de forma visual las características técnicas de cada material, al realizar el levantamiento arquitectónico correspondiente; durante las mediciones y recorridos se debe especificar por elemento o espacio, a que tipo de material corresponde,

## 2.2.2 Normativas Nacionales para construcciones sostenibles

### NOM-008-ENER-2001

La Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales, entró en vigor el 21 de septiembre de 2001. Los edificios deben cumplir con estos lineamientos, y es obligatorio para quienes estén involucrados en construcciones, remodelaciones o gestión de tipo instalaciones. Esta norma limita a la ganancia de calor en las edificaciones o envolventes de edificios no residenciales, con el objetivo de racionalizar el uso de energía en los sistemas de enfriamiento. Aplicando a edificios nuevos o aplicaciones de edificios existentes, dentro de las excepciones encontramos principalmente industria y habitacional, debido a que el uso de la edificación debe contar con el 90% o más del área construida para que la norma sea aplicable en la totalidad del edificio.

Podemos clasificar la envolvente de un edificio según sus elementos de la siguiente forma:

**Tabla 1. Clasificación de los componentes de la envolvente**

Nombre de la componente	Angulo de la normal a la superficie exterior con respecto a la vertical	Partes
Techo	Desde 0° y hasta 45°	Opaco transparente
Pared	Mayor a 45° y hasta 135°	Opaca (muro) transparente
Superficie inferior	Mayor a 135° y hasta 180°	Opaca transparente
Piso	Generalmente 180°; también se deben considerar los pisos inclinados	Opaco

*Fuente: CENER*

El método de cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado y del edificio de referencia incluye tanto la ganancia de calor por conducción como por radiación solar.

### **Ganancia de calor por conducción**

Este componente se calcula como la suma de la ganancia de calor que pasa a través de las partes opacas de la envolvente (como techos, paredes, y pisos cuando aplicable). Se basa en la fórmula de conducción de calor:

$$\phi_p = \sum (A_i \cdot U_i \cdot \Delta T)$$

Donde:

- $\Phi_p$  = ganancia de calor por radiación solar total (W),
- $A_i$  = área de las superficies transparentes (m<sup>2</sup>),
- $U_i$  = coeficiente de ganancia de calor solar (Solar Heat Gain Coefficient) de las ventanas o vidrios.
- $\Delta T$  = irradiancia solar incidente sobre la superficie (W/m<sup>2</sup>).

### **Ganancia de calor por radiación Solar**

$$\phi_r = \sum (A_i \cdot SHGC_i \cdot I_i)$$

Donde:

- $\Phi_r$  = ganancia de calor por radiación solar total (W),
- $A_i$  = área de las superficies transparentes (m<sup>2</sup>),
- $SHGC_i$  = coeficiente de ganancia de calor solar (Solar Heat Gain Coefficient) de las ventanas o vidrios.
- $I_i$  = irradiancia solar incidente sobre la superficie (W/m<sup>2</sup>).

### **Ganancia de calor total**

En las especificaciones de la norma, la ganancia de calor obtenida por una envolvente del edificio deber ser menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia, es decir:

$$\phi_p \leq \phi_r$$

Donde:

$\Phi_p$  = ganancia de calor de la envolvente

$\Phi_r$  = ganancia de referencia

El edificio de referencia es aquel que, conservando la misma orientación, las mismas condiciones de colindancia y las mismas dimensiones en planta y elevación del edificio proyectado, considera las siguientes especificaciones para el envolvente.

**Tabla 2. Especificaciones de la Envolvente**

Techo			
Parte	Porcentaje del área total %	Coefficiente global de transferencia de calor K (W/m <sup>2</sup> K)	Coefficiente Sombreado CS
Opaca	95	Tabla 1, Apéndice A	-----
Transparente	5	5,952	0,85

Fuente: CENER

Para calcular la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia, no se considera la ganancia a través del piso, a menos que el edificio proyectado tenga uno o más pisos de estacionamiento sobre el nivel del suelo.

**Tabla 3. Ganancia de calor a través del piso**

Pared			
Parte	Porcentaje del área total %	Coefficiente global de transferencia de calor K (W/m <sup>2</sup> K)	Coefficiente Sombreado o CS
Fachada opaca	60	Tabla 1, Apéndice A	-----
Fachada transparente	40	5,319	1
Colindancia opaca	100	Tabla 1, Apéndice A	-----

Fuente: CENER

El método de cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente, tanto del edificio proyectado como del edificio de referencia, consiste en sumar dos componentes: la ganancia de calor por conducción y la ganancia de calor por radiación solar. En ambos casos, estos valores se combinan para obtener la ganancia total de calor a través de la envolvente.

$$\phi_p = \phi_{pc} + \phi_{ps}$$

Donde:

$\phi_{pc}$  = ganancia por conducción

$\phi_{ps}$  = ganancia por radiación

El etiquetado es un aspecto importante de esta norma, este etiquetado proporciona información clave sobre la ganancia de calor de un edificio proyectado en comparación con el edificio de referencia facilitando la toma de decisiones sobre el desempeño energético. El objetivo del etiquetado proporciona a los usuarios y propietarios de un edificio, la relación sobre la eficiencia térmica del mismo, permitiendo identificar que tan eficientes son las envolventes del edificio en cuanto a limitación de la ganancia de calor.

## **NOM-020-ENER-2001**

Es una norma oficial mexicana que establece los lineamientos técnicos para los sistemas de aislamiento térmico en edificaciones con el fin de mejorar la eficiencia energética. Esta norma es aplicable para nuevas construcciones y remodelaciones, particularmente para climas extremos donde el uso de los sistemas de calefacción o enfriamiento pueden llegar a generar un consumo excesivo.

El objetivo de esta norma es establecer los valores mínimos de resistencia térmica que deben cumplir los elementos constructivos de la envolvente del edificio, como muros, techos, ventanas, etc. Asegurando el adecuado aislamiento, esto se traduce a mejor tasa de transferencia de calor entre el interior y el exterior del edificio para reducir la carga de trabajo de los sistemas de climatización. Esta norma se aplica para edificaciones comerciales, industriales y de servicios, al igual que para edificaciones habitacionales unifamiliares y multifamiliares, su propósito es regular ampliaciones y remodelaciones que cumplan con los estándares de materiales que no excedan la ganancia térmica correspondiente según el tipo de elemento y material proyectado para el edificio. Los factores más relevantes para el entendimiento de la norma son:

Resistencia térmica (R): la cual su unidad de medición es en metros cuadrados Celsius por vatios ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ). Estos valores de resistencia dependerán del tipo de clima donde este ubicado el edificio, al igual que los valores varían en función de la temperatura exterior, índices de humedad y tasa de velocidad de vientos.

Transmitancia térmica (U): es el parámetro inverso a la resistencia, este parámetro mide la cantidad de calor que atraviesa al elemento según el material del que este fabricado, se expresa como vatios por metro cuadrado por grado Celsius ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ). A mayor valor de U, mayor será la capacidad de aislamiento térmico del material.

En la aplicación de la norma se establece que los materiales utilizados por la envolvente deben de cumplir con el etiquetado adecuado, a previo análisis de propuesta, al igual que al ser instalados estos no puedan crear puentes térmicos, en otras palabras, puntos por donde pueda existir pérdidas de temperatura para climas fríos o ganancias térmicas adicionales no proyectadas para climas cálidos. Estas recomendaciones deben estar pensadas en la parte de diseño para poder cumplir con la norma, incluso analizando los parámetros anteriores para muros, techos, ventanas y compararlos con los valores preestablecidos de su zona climática.

**Figura 5. Ejemplo de Etiqueta de Eficiencia Energética**



Fuente: D.O.F.

A demás que la NOM-020, establece recomendaciones de diseño de sistemas de ventilación pasiva y sombreado para poder reducir el uso de los sistemas mecanismos de climatización llegando a generar ahorros significativos de energía, especialmente para climas extremos, con una correcta ejecución es posible lograr una reducción del 20% en consumo energético total del edificio.

## 2.3 SIMULACIONES DINÁMICAS

### 2.3.1 Programas de simulación

Las simulaciones dinámicas se basan en la resolución de ecuaciones que describen el comportamiento de sistemas en movimiento. En el caso de la dinámica de fluidos, se utilizan principalmente las ecuaciones de Navier-Stokes, que representan la conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía.

Los objetivos de las simulaciones dinámicas son la predicción del comportamiento, el cual permite anticipar cómo un sistema responderá a condiciones cambiantes, como variaciones de temperatura, presión o velocidad del viento. Para poder validar las teorías propuestas, los programas durante la simulación parcial o final permiten generar graficas o reporte de datos finales, donde se puede ajustar o validar, los valores numéricos o variables de los modelos matemáticos que se compilan durante la simulación. Durante la recopilación de datos o la ejecución misma de la simulación, permite ajustar las hipótesis para mejorar el comportamiento del modelo y optimizar las estrategias de transferencia de flujo y calor, así como de gasto energético.

#### Datos Técnicos en Simulaciones Dinámicas

##### a. Ecuaciones Fundamentales

Ecuación de Continuidad: describe la conservación de la masa en un fluido, establece que, para un flujo incompresible, la tasa de entrada y salida de masa en un volumen de control es constante, es decir que no hay acumulación de masa.

$$\nabla \cdot u = 0$$

$\nabla$  es el operador “nabla” o gradiente, que representa las derivadas espaciales. En este caso, la divergencia indica la tasa de cambio del flujo de un fluido en un punto dado.

$u$  es el campo de velocidad, que representa la velocidad del fluido en cada punto espacial, definida por tres componentes.  $(u_x, u_y, u_z)$

Ecuaciones de Navier-Stokes: describen el movimiento de los fluidos basándose en las leyes de conservación de la masa, el momento y la energía, para un fluido incompresible y con viscosidad.

$$\frac{\partial y}{\partial x} + u \cdot \nabla u = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 u + f$$

En conjunto estas ecuaciones, nos permiten modelar y simular el comportamiento de fluidos en escenarios complejos, como flujos alrededor de edificios o dentro de ellos, Estas ecuaciones no lineales requieren técnicas numéricas avanzadas para resoluciones en la mayoría de los casos prácticos.

### **b. Condiciones de Borde**

Las condiciones de borde son esenciales para definir el comportamiento del flujo en el dominio simulado. Las condiciones de borde incluyen:

- Condiciones de Ingreso: Definen la velocidad, presión y temperatura en la entrada del dominio.
- Condiciones de Salida: Establecen cómo se comporta el flujo al salir del dominio, como condiciones de presión fija o flujo libre.
- Condiciones de Pared: Determinan cómo se comporta el flujo en las superficies del modelo (pueden ser deslizantes, no deslizantes, adiabáticas, etc.).

### **c. Malla y Discretización**

- Malla (Mesh): La discretización del dominio en elementos finitos o volúmenes finitos. La calidad de la malla afecta la precisión y la convergencia de la solución.
  - Malla Estructurada: Uniforme y ordenada, ideal para geometrías simples.
  - Malla No Estructurada: Más flexible, adecuada para geometrías complejas.
- Tamaño de Celda: Un tamaño de celda más pequeño proporciona una mejor resolución, pero requiere más recursos computacionales.

#### **d. Modelos de Turbulencia**

Dado que muchos flujos son turbulentos, se utilizan modelos de turbulencia para describir el comportamiento del flujo. Algunos de los más comunes son:

- Modelo k- $\epsilon$ : Adecuado para flujos con mezcla y turbulencia moderada.
- Modelo k- $\omega$ : Mejora el comportamiento en capas límite y es útil para flujos cercanos a superficies.
- Simulación de Grandes Escalas (LES): Captura mejor las estructuras turbulentas en flujos complejos.

#### **e. Configuración del Software**

- Selección de Software: Elegir un software CFD (como ANSYS Fluent, OpenFOAM o Autodesk CFD).
- Creación del Modelo: Utilizar herramientas de CAD para crear el modelo 3D del edificio y su entorno.

#### **f. Ejecución de la Simulación**

- Definición de Parámetros: Configurar las condiciones iniciales, de borde y los modelos de turbulencia.
- Cálculo: Ejecutar la simulación, que puede requerir horas o días, dependiendo de la complejidad del modelo y la capacidad computacional.

#### **g. Post-Procesamiento**

- En el análisis de resultados, se utiliza herramientas de visualización gráfica para analizar los datos obtenidos, como flujos, temperaturas y presiones. a través de histogramas y gráficos dinámicos, que pueden situar valores en función a una línea temporal, accediendo de forma precisa a valores en determinado momento de la simulación, permitiendo evaluar el comportamiento histórico del sistema bajo diferentes condiciones.

## Aplicaciones de Simulaciones Dinámicas en Edificios

- Evaluación de Ventilación Natural: Simular cómo el aire se mueve a través del edificio, identificando áreas con bajo flujo de aire y optimizando la ubicación de aberturas.
- Análisis de Cargas Eólicas: Evaluar las fuerzas del viento en la fachada del edificio, que es crucial para el diseño estructural.
- Optimización del Confort Térmico: Simular cómo la radiación solar y la temperatura interior afectan el confort de los ocupantes y ajustar el diseño arquitectónico en consecuencia.

### 2.3.2 CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) aplicada a edificios

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es una técnica numérica que permite analizar el comportamiento de fluidos (líquidos y gases) en diversas condiciones y geometrías. Cuando se aplica a edificios, CFD se convierte en una herramienta esencial para evaluar la interacción entre el entorno construido y los flujos de aire, lo que tiene implicaciones significativas para el diseño arquitectónico, la eficiencia energética, el confort de los ocupantes y la sostenibilidad.

#### Fundamentos de CFD

CFD se basa en las ecuaciones de Navier-Stokes, que describen el movimiento de fluidos, así como en la conservación de la masa, la energía y el momento. Estas ecuaciones son altamente no lineales y requieren métodos numéricos para su solución. La metodología típica incluye:

- **Discretización del Dominio:** La geometría del edificio y su entorno se divide en una malla (mesh), que puede ser estructurada o no estructurada. La calidad de la malla es crucial, ya que afecta la precisión de los resultados.

- **Resolución de Ecuaciones:** Se utilizan esquemas numéricos para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes en cada celda de la malla. Los métodos comunes incluyen el Método de Volúmenes Finitos y el Método de Elementos Finitos.
- **Modelos de Turbulencia:** Se implementan modelos de turbulencia (como k- $\epsilon$ , k- $\omega$  o LES) para capturar el comportamiento turbulento del flujo, que es común en flujos alrededor de edificios.

## Aplicaciones de CFD en Edificios

### a. Ventilación Natural

CFD permite simular el flujo de aire a través de aberturas y sistemas de ventilación natural, evaluando la eficacia de diferentes configuraciones arquitectónicas y ubicaciones de ventanas. Se pueden analizar:

- **Efecto de la presión dinámica y estática:** Se examinan las diferencias de presión que generan corrientes de aire, optimizando la ubicación de aberturas.
- **Comportamiento de flujo en condiciones reales:** Simulaciones que consideran factores como la temperatura interna, la radiación solar y la humedad para modelar la ventilación efectiva.

### b. Análisis de Eficiencia Energética

La integración de CFD en el diseño de sistemas HVAC permite:

- **Evaluar la distribución del aire en interiores:** Mediante simulaciones, se pueden visualizar patrones de flujo y temperaturas, permitiendo ajustar el diseño para mejorar el confort y minimizar el consumo energético.
- **Optimización de la geometría del edificio:** A través de la simulación de diferentes formas y orientaciones, se busca maximizar la captación de luz natural y minimizar la carga térmica.

### **c. Estudio de Vientos y Cargas Eólicas**

CFD es utilizado para Evaluar el impacto del viento en la fachada del edificio, Se pueden analizar los patrones de flujo de viento y calcular las cargas eólicas, cruciales para el diseño estructural. Al igual que el Estudio de efectos de vórtices: Se evalúa cómo se forman y dispersan los vórtices alrededor de edificios, lo que puede influir en la seguridad y el confort.

### **d. Control de Contaminación**

La simulación de la dispersión de contaminantes es clave para:

- **Evaluar el impacto de la ubicación de edificios en la calidad del aire:** Se analizan las trayectorias de contaminantes en el aire, considerando fuentes externas como tráfico y emisiones industriales.
- **Diseñar estrategias de mitigación:** Se pueden probar diferentes configuraciones de paisajismo y arquitectura para reducir la exposición a contaminantes.

# Capítulo 3

## CAPÍTULO 3. METODOLÓGIA

Para llevar a cabo la evaluación de un edificio diseñado bajo criterios bioclimáticos, se establece una metodología inicial que integra aspectos espaciales, dimensionales y térmicos, además de un análisis detallado usando los materiales que conforman su envolvente.

El proceso comienza con la identificación del uso y la clasificación del edificio en cuestión, lo que permite determinar la actividad principal que se realiza en su interior y, por ende, las cargas metabólicas asociadas a dicha actividad. Así mismo, es esencial definir su ubicación geográfica en términos de altitud, latitud y orientación respecto al norte magnético.

Posteriormente, se procede a caracterizar los materiales de los elementos de la envolvente. Esta clasificación incluye una descripción detallada de cada componente del sistema constructivo, considerando su estructura multicapa (por ejemplo, un muro compuesto por mortero, tabique rojo y mortero). Este nivel de detalle es crucial para garantizar un análisis preciso de las propiedades térmicas del edificio.

Con la ubicación geográfica definida, se recopilan los datos meteorológicos necesarios para el análisis, como precipitaciones, humedad relativa, y temperaturas máximas, mínimas y promedio. Estos datos son fundamentales para situar el edificio dentro de su contexto climático y geográfico.

El siguiente paso implica la elaboración del modelo geométrico del edificio en una herramienta de simulación energética como DesignBuilder. Este modelado se realiza a partir de la planimetría disponible, ya sea en la fase de diseño o a partir de un levantamiento físico. El modelo incluye dimensiones detalladas de áreas, alturas, componentes de la envolvente (muros, cubiertas, ventanas y vanos), así como una descripción de los espacios interiores (pasillos, salones, cuartos). Especial atención se presta a la orientación del edificio y a la identificación precisa de los elementos constructivos (por ejemplo, "muro sur de ladrillo en el pasillo principal"), ya que estos aspectos son determinantes para la precisión del análisis energético.

Finalmente se procede a seguir el método para el uso del software siguiente:

*a. Obtención y Delimitación de parámetros y variables*

- **Definir los parámetros** a medir específicos de la simulación.
- **Obtener las medidas** espaciales del edificio según un levantamiento arquitectónico

*b. Configuración del Modelo*

- **Creación de la Geometría:** Se crea la geometría del edificio y/o su entorno.
- **Etiquetado de componentes:** según elemento del edificio y tipo de material.

*c. Condiciones de Borde y Parámetros Iniciales*

- **Condiciones de Borde:** Definir condiciones de entrada, salida y de las paredes
- **Propiedades del Fluido:** Establecer las propiedades físicas del aire (densidad, viscosidad, etc.) y cualquier variable relevante para la simulación.

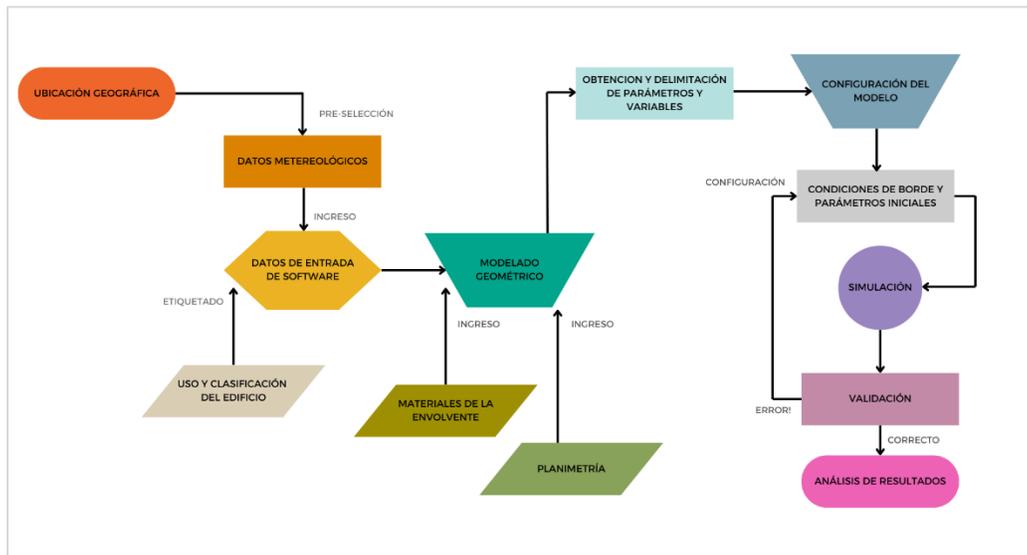
*d. Simulación y Validación*

- **Ejecutar la Simulación:** Realizar la simulación en función de las condiciones definidas.
- **Validación de Resultados:** Comparar los resultados obtenidos con datos experimentales o teóricos para validar la precisión del modelo.

*e. Análisis de Resultados*

- **Visualización:** Utilizar herramientas de post-procesamiento para visualizar flujos, temperaturas y concentraciones de contaminantes.
- **Interpretación:** Analizar los resultados en función de los objetivos iniciales y realizar recomendaciones basadas en la simulación.

**Figura 6. Diagrama de Flujo del M.A.C. en Edificios**



*Fuente: Elaboración Propia*

El proceso de análisis climático para edificaciones comienza con la recolección de datos meteorológicos de temperatura máxima, mínima, media y precipitaciones durante un periodo de un año. Posteriormente se delimitan los parámetros y variables como orientación, comportamiento solar y vientos, introduciendo la ubicación geográfica del edificio para contextualizar los datos de su entorno y definir su zona climática específica.

Una vez recopilada esta información, se ingresa en el software DesignBuilder, incorporando también la clasificación del edificio según su uso (residencial, comercial o industrial). Seleccionando los materiales de la envolvente, fachada e interiores, considerando los parámetros relacionados a ganancia y disipación térmica de cada elemento constructivo. A la par, se realiza el ingreso de la planimetría dimensionando los espacios. Creando un modelo geométrico digital del edificio. Posteriormente, se ejecuta la simulación, permitiendo prever el comportamiento del edificio bajo condiciones extremas puntuales o comportamientos temporales. Se analizan los resultados post-simulación evaluando el trabajo térmico del edificio. Se incluye una verificación de los datos obtenidos. Resultando que, si presentan errores, se deberá ajustar el modelo o los parámetros de estudio, repitiendo el proceso hasta asegurar resultados concluyentes. Una vez revisado correctamente, el modelo se considera completo y confiable para su propósito de análisis climático y se procede a realizar reportes exportando data y gráficos.

# Capítulo 4

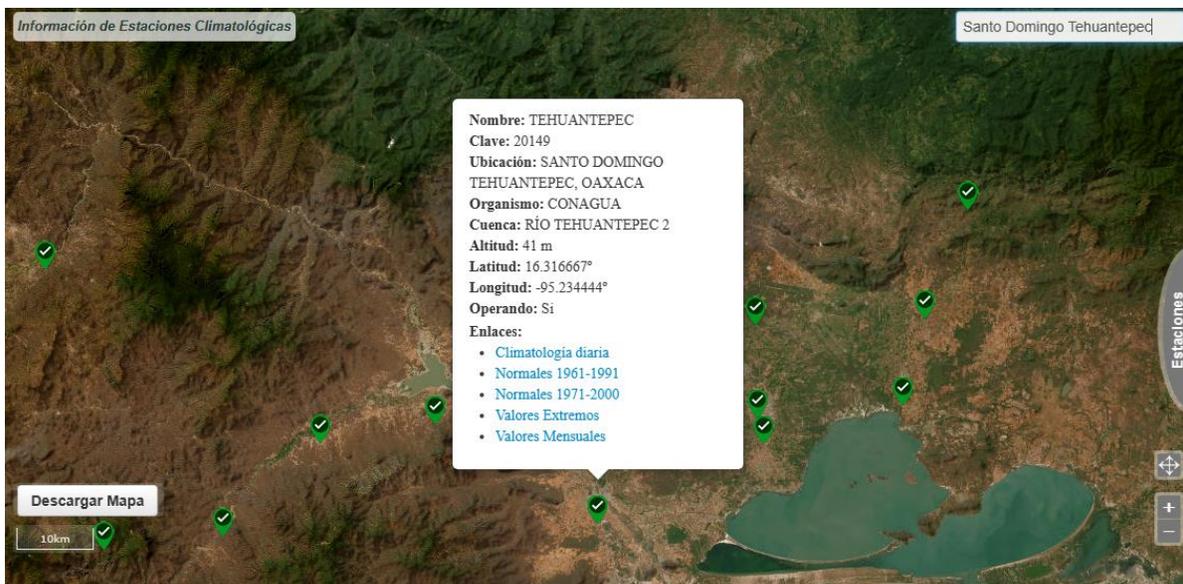
# CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

## 4.1 Ubicación Geográfica y Datos Climatológicos

La ciudad de Santo Domingo Tehuantepec se localiza en la región del Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, a una altitud aproximada de 50 metros sobre el nivel del mar, y sus coordenadas geográficas son: al Norte 16°19' de latitud Norte, al Sur 16°15' de latitud Norte, al Este 95°11' y al Oeste 95°25' de longitud Oeste. Limita al Norte con el municipio de San Pedro Huitepec, al Este con los municipios de San Blas Atempa y Magdalena Tlacotepec, al Sur con el Golfo de Tehuantepec en la costa del Océano Pacífico, y al Oeste con el municipio de Mixtequilla.

Primeramente, en el mapa interactivo de estaciones de observación climatológica se realiza la localización de Santo Domingo Tehuantepec, utilizando el buscador para acelerar la búsqueda, una vez ubicado, se procede a abrir su interfaz y acceder a los datos de climatología de valores mensuales. Allí encontramos datos necesarios para el ajuste inicial del programa, encontrado que la estación con clave 20149, corresponde a Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, ubicado a una altitud de 41 m s.n.m. Así como sus coordenadas latitud 16.316667° y longitud -95.234444° (Figura 7).

**Figura 7. Mapa Interactivo de Estaciones Climatológicas**



*Fuente: Sistema Meteorológico Nacional*

En la Tabla 4 se muestran los datos del histórico climatológico con los promedios mensuales y anuales del periodo de 1941 hasta el año 2023, obtenidos de la base de datos de la comisión Nacional del Agua. Para estos calculo se tomarán en cuenta las categorías de temperatura mínima promedio y máxima promedio, así como la humedad relativa.

**Tabla 4. Base de Datos climatológicos estación #20149.**

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA  
COORDINACIÓN GENERAL DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL  
BASE DE DATOS CLIMATOLÓGICA NACIONAL

ESTADÍSTICA MENSUAL  
EMISIÓN : 25/10/2024

DATOS DISPONIBLES EN LA BASE DE DATOS A: OCTOBER DE 2024;  
CON LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LAS UNIDADES ADMINISTRATIVAS

ESTACIÓN : 20149  
NOMBRE : TEHUANTEPEC  
ESTADO : OAXACA  
MUNICIPIO : SANTO DOMINGO TEHUANTEPEC  
SITUACIÓN : OPERANDO  
CVE-OMM :  
LATITUD : 16.31666667 °  
LONGITUD : -95.23444444 °  
ALTITUD : 41 msnm

LLUVIA MÁXIMA 24 H.														PROM	MESES
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ACUM		
1941	0	0	0	0	0	22.5	29.5	46.4	135.5	20	8.5	1.9	264.3	22	12
1943	3.9	0	0	0	28.5	76.1	135.3	100	43.6	16	0	0	403.4	33.6	12
1944	0.8	0	0	0	0	210.3	47.5	75.4	154.7	0	0	0	488.7	40.7	12
1945	4.4	1.8	0	0	4.4	100	37	66.1	42.4	322.2	0.2	4.7	583.2	48.6	12
1946	2	0.7	20.2	0	83.1	126.7	28.2	13.9	161.2	83.4	19.6		539	49	11
1947	0	5.5	0.2	0.6	28.2	106.3	19	63.8	40.8	198	27	0	489.4	40.8	12
1948	11.5	0	0	0	0	64.3	51	26	31.5	20.5	20	0	224.8	18.7	12
1949	0	0	0	50	17.3	63.7	30.6	52.8	24.5	44.3	0	12	295.2	24.6	12
1950	0	0	0	0	43.5	87.2	127	28	53.5	109.5	0	0	448.7	37.4	12
1951	0	0	0	0	145	97.2	283.5	89.5	79.5	14.5	31.5	2.5	743.2	61.9	12
1952	1.5	0	0	2.5	16.8	194.5	37.5	44.5	114.5	5.6	0	0	417.4	34.8	12
1953	0	5.2	0	0	12.7	35.5	70.2	50.5	2.8	38.2	9.5	27.3	251.9	21	12
1954	0	8.5	0	15.5	66.2	210.8	88.9	23	90.3	114.9	0	0	618.1	51.5	12
1955	0	0	0	2.8	6.2	155	162.7	45.5	159.5	28.5	3.5	8.5	572.2	47.7	12
1956	6.5	0	2.5	0	113.5	89.5	46	16	12	0	0	0	286	23.8	12
1957	0	0	0	0.5	20.8	72.5	106	14.5	27.5	0	0	0	241.8	20.1	12

Fuente: Comisión Nacional del Agua

Se realiza un análisis paramétrico de las temperaturas (ver Tabla 5), encontrando que la temperatura mínima registrada se produjo durante el mes de febrero, promediando 15.4° C. Siendo que, el promedio de temperatura mínima anual es de 19.3°C; siendo ubicados durante los meses de enero, febrero y marzo como los meses más fríos registrados.

**Tabla 5. Tabla de temperaturas mínimas, promedio mensual**

TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO															
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	MESES	
MÍNIMA	15.6	15.4	16.2	15.6	15.8	15.9	20.5	20.8	18.9	18.9	17.4	16.5	19.3	4	
MÁXIMA	22.7	23.1	23.5	24.6	26.6	27.1	25.8	26.8	25.7	25.3	24.9	23.9	24.3	12	
MEDIA	19.9	20.1	21.3	22.7	23.8	23.3	23.6	23.7	22.9	22.8	21.9	20.8	22.2	11.2	
DESV.ST	1.4	1.4	1.3	1.3	1.5	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1	1.8	

Fuente: Comisión Nacional del Agua

En los datos de la Tabla 6. Observamos que la temperatura máxima promedio registrada durante el año es de 37.4 °C; ubicando el mes de mayo como el mes más caluroso para la región con una temperatura máxima registrada de 38.8 °C. Así mismo, el periodo de los meses de mayo, junio, julio y agosto son los meses de más altas temperaturas registradas. Lo anterior determina la necesidad de observar el comportamiento térmico de los materiales del edificio para ajustar el modelo.

**Tabla 6. Tabla de temperaturas máximas, promedio mensual**

TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	MESES
MÍNIMA	30.3	30.6	31.3	30.9	30.9	28.7	31.6	31	30	31	29.7	29.8	32.2	4
MÁXIMA	37.6	37.1	37.9	38.1	38.8	38.5	38.5	38.4	38.7	37.9	38	37.6	37.4	12
MEDIA	32.8	33.4	34.5	35.4	36	34.6	35.3	35.3	34.3	34.2	33.8	33.1	34.4	11.2
DESV.ST	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.4	1.7	1.8	1.7	1.7	1.7	1.3	1.8

*Fuente: Comisión Nacional del Agua*

La Tabla 7 de temperatura media mensual muestra que en el sitio se reporta una temperatura media anual de 28.3 °C, oscilando entre 2.1 °C grados durante el año.

**Tabla 7. Tabla de temperaturas máximas, promedio mensual**

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	MESES
MÍNIMA	24.2	23.9	24	23.2	23.5	22.3	26.9	26.9	25.8	26	24.6	23.4	26.1	4
MÁXIMA	29.6	30	30.5	31.2	32	32.8	32.1	32.4	32.2	31.5	30.4	30	30.4	12
MEDIA	26.4	26.7	27.9	29.1	29.9	28.9	29.4	29.5	28.6	28.5	27.8	26.9	28.3	11.2
DESV.ST	1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	0.9	1.8

*Fuente: Comisión Nacional del Agua*

De los datos climatológicos de la tabla anterior, se realiza el cálculo para la zona de confort térmico, partiendo de una temperatura media anual de 28.3° C, Se determina el límite máximo y límite mínimo mediante las fórmulas propuestas por Szokolay para la zona de confort térmico.

$$T_n = (T_{ma} \times 0.31) + 17.60$$

Donde:

T<sub>n</sub>= Temperatura neutra (°C)

T<sub>ma</sub>= Temperatura media anual (°C)

Resolviendo obtenemos:

$$Tn = (28.3 \times 0.31) + 17.60 = 26.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Zc_{max} = Tn + 2.5$$

$$Zc_{min} = Tn - 2.5$$

Donde:

Zcmax=Límite de confort térmico mínimo ( $^\circ\text{C}$ )

Zcmin=Límite de confort térmico mínimo ( $^\circ\text{C}$ )

Tn= Temperatura neutra ( $^\circ\text{C}$ )

Resolviendo obtenemos:

$$Zc_{max} = 26.3 + 2.5 = 28.8$$

$$Zc_{min} = 26.3 - 2.5 = 23.8$$

Los resultados definen la zona de confort térmico para la ciudad de Santo Domingo Tehuantepec que se encuentra en los rangos de temperaturas de 23.8  $^\circ\text{C}$  como mínima y 28.8  $^\circ\text{C}$  como máxima.

Según la clasificación Köppen, se define a su clima principalmente como Aw (clima tropical con una estación seca definida) y BSh (clima semiárido cálido) para algunas áreas circundantes. La temperatura promedio anual en Tehuantepec oscila entre los 26 $^\circ\text{C}$  y 28 $^\circ\text{C}$ , siendo una de las regiones más cálidas del estado de Oaxaca. Durante el verano, las temperaturas pueden superar los 30 $^\circ\text{C}$ , mientras que en invierno las temperaturas mínimas rara vez bajan de los 20 $^\circ\text{C}$ , manteniéndose relativamente cálidas incluso en esta estación. La precipitación promedio anual se sitúa entre 700 y 1,000 mm, concentrándose en los meses de junio a octubre, que corresponde a la temporada de lluvias. La temporada seca se extiende desde noviembre hasta mayo, con precipitaciones mínimas (INEGI, 2020).

Uno de los factores climáticos más característicos de Tehuantepec es la presencia de los vientos del Istmo, conocidos como "vientos Tehuanos", que resultan de un fenómeno de canalización de masas de aire frío provenientes del Golfo de México, lo que genera vientos

intensos en la región durante gran parte del año, especialmente en los meses de noviembre a marzo. Estos vientos, que pueden alcanzar velocidades superiores a los 100 km/h, impactan la flora, la agricultura y el desarrollo de infraestructura en la región, además de tener implicaciones en la generación de energía eólica, una actividad creciente en el Istmo (Jáuregui, 2000; Romero-Centeno et al., 2003).

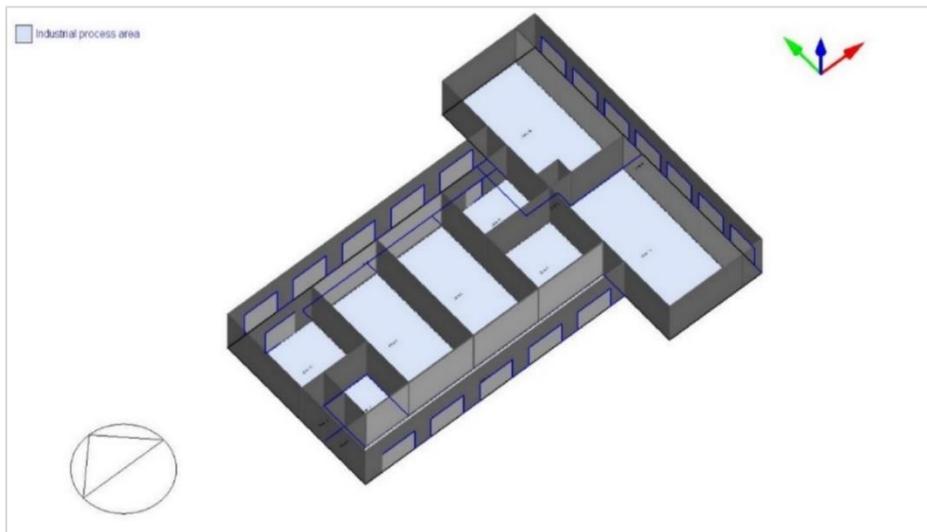
La combinación de un clima tropical cálido con temporada seca y las fuertes ráfagas de viento hace que Tehuantepec presente condiciones de aridez en algunas áreas, lo que limita ciertos tipos de cultivos y obliga a adaptaciones en la agricultura y el abastecimiento de agua. Las características climáticas de Santo Domingo Tehuantepec reflejan no solo su ubicación geográfica y topográfica, sino también la influencia de patrones atmosféricos regionales, que son fundamentales para comprender la dinámica ambiental y económica de la región (García, 2004).

## 4.2 Simulación térmico-energética

El modelo 3D realizado en el programa, partiendo de una planimetría generada con antelación, contando con 15 zonas, con una configuración de dos espacios adosados perpendicularmente, cuyas zonas de circulación son representadas por los pasillos laterales Zona #1 y Zona #3, así como el pasillo principal por Zona #4, estos pasillos recibirán la mayor incidencia solar, y serán responsables de la circulación del aire dentro de la edificación, así como de la ganancia térmica que pueda alcanzar el área de cancelería en los vidrios debido a su conductividad térmica que va desde los 0.9 a 1.2 W/(m·K).

La orientación con menor ganancia térmica serán las zonas que se encuentren orientadas al norte, noreste y noroeste, ya que recibe pocas horas de sol en el año, desde el amanecer hasta alrededor de las 11:00 a.m. Y en verano cuando el sol incide en los horarios de 11:00 a.m. a 14:00 a.m. será de forma indirecta, por lo tanto, no le aportará ganancia térmica excesiva.

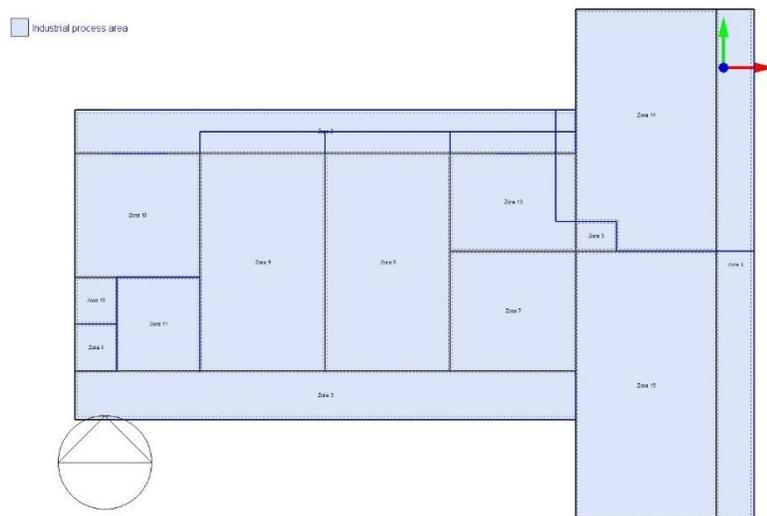
**Figura 8. Modelado Geométrico Edificio Industrial**



*Fuente: DesignBuilder, 2024*

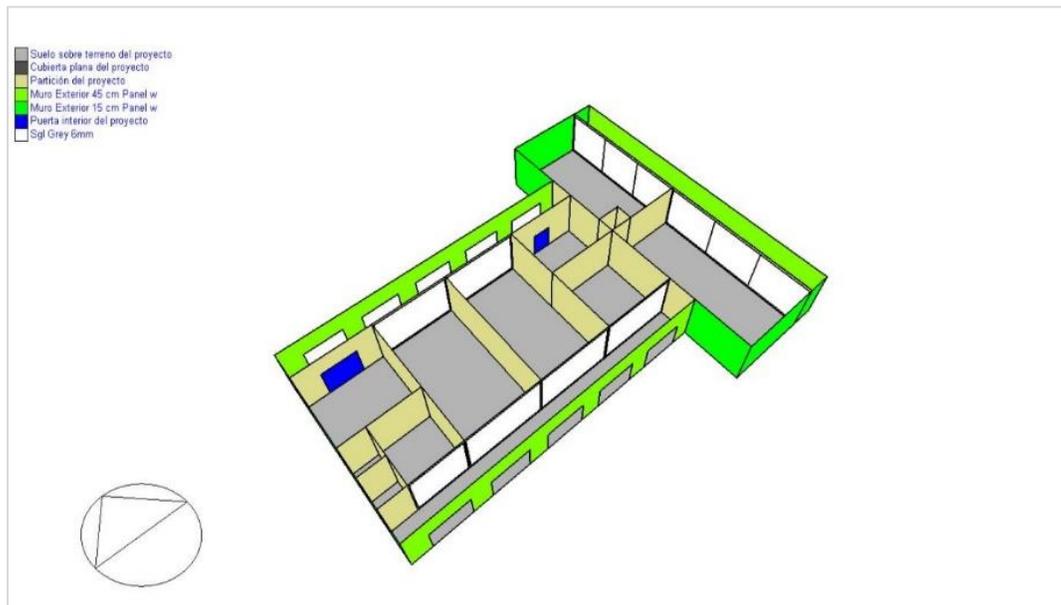
En las figuras 8 y 9, observamos la distribución espacial del edificio en un modelado 3D, y la vista en planta respectivamente. Cada zona fue marcada con un numero para su zonificación. El edificio está destinado al uso industrial, dicho dato es indispensable para colocarlo dentro del programa debido a que lo solicita como parámetros de simulación en la configuración inicial del software y este considere el tipo de cargar metabólica que existirá en el ambiente dentro de cada espacio.

**Figura 9. Vista en planta (zonas)**



*Fuente: DesignBuilder, 2024*

**Figura 10. Elementos constructivos del Edificio**



*Fuente: DesignBuilder, 2024*

Es importante realizar una correcta elección de la base de datos que se utilizara para generar una simulación correcta, en la Tabla 5 se muestran los datos climatológicos de Ubicación, y características del sitio donde se localiza el proyecto. Se debe otorgar las características de los materiales de la envolvente, que es primordial para que los resultados de los análisis sean correctos.

En la Figura 10 se visualiza el uso de los diferentes elementos que componen la edificación y su estructura, como el panel W de 15 cm de espesor, etiquetado por el color verde lima, este elemento es utilizado en los muros exteriores y pasillos. Otro material compuesto por un alma de poliuretano que dentro de ella existe una malla de acero recubierta por mortero de 2.5 cm de espesor en ambas caras, teniendo una conductividad térmica dentro del rango de 0.032 a 0.038 W/(m·K). Los pasillos internamente se encuentran flanqueados por muros cortina de cristal con cancelería de aluminio; mientras que al interior en los muros altos es considerado el uso de tabique rojo con aplanados de mortero.

**Tabla 8. Configuración del sitio (Tehuantepec)**

Fuente: DesignBuilder, 2024

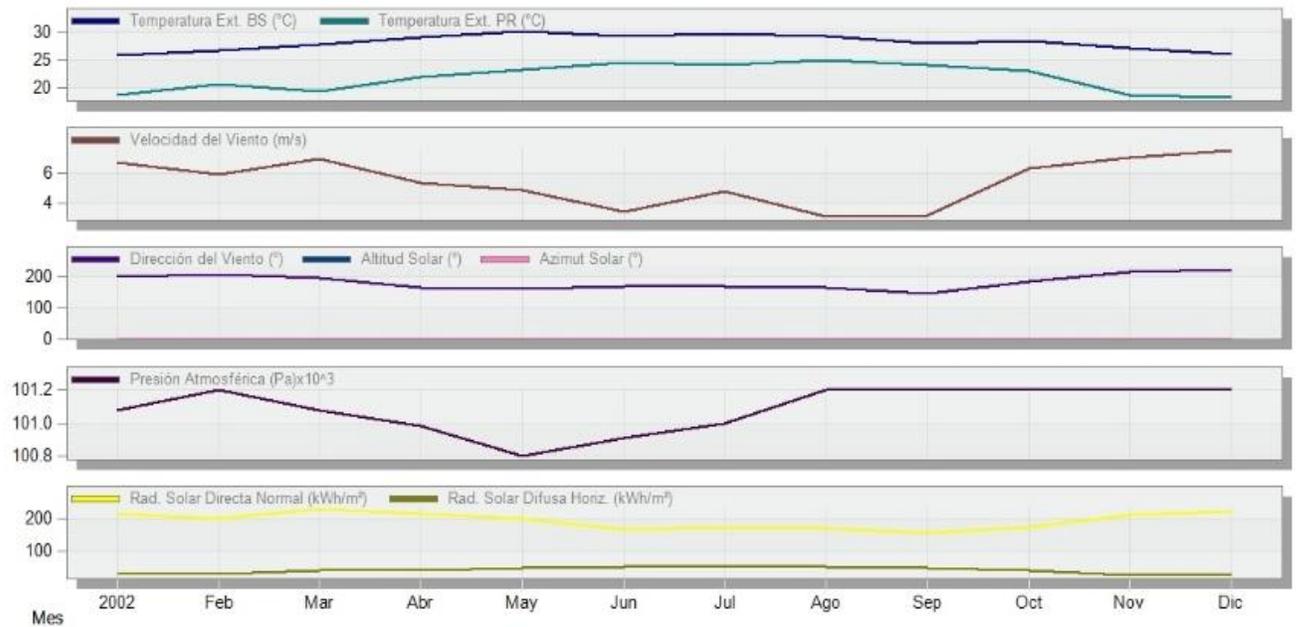
Una vez cargado el software con la base de datos e iniciar la simulación, se generan los datos que caracterizan climatológicamente el sitio donde se observan los valores utilizados en cada calculo computacional, cabe menciona que se simularon los 365 días del año, en la Tabla 9 y Gráfica 3, se observa que los datos como temperaturas, velocidad y dirección del viento, azimut y radiación solar mensual.

**Tabla 9. Datos climáticos mensuales**

Mes	2002	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura Ext. BS (°C)	25.81	26.72	27.81	29.13	30.15	29.30	29.80	29.38	28.11	28.55	27.08	25.98
Temperatura Ext. PR (°C)	18.59	20.52	19.26	21.83	23.16	24.60	24.08	24.97	24.09	23.00	18.58	18.21
Velocidad del Viento (m/s)	6.77	5.93	7.01	5.38	4.93	3.46	4.81	3.17	3.24	6.35	7.02	7.52
Dirección del Viento (°)	199.60	208.87	196.21	164.27	162.31	169.56	167.88	165.16	146.60	185.57	217.08	222.44
Altitud Solar (°)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Azimut Solar (°)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Presión Atmosférica (Pa)x10 <sup>3</sup>	101.07	101.20	101.07	100.98	100.80	100.91	101.00	101.20	101.20	101.20	101.20	101.20
Rad. Solar Directa Normal (kWh/m <sup>2</sup> )	215.07	200.75	227.70	213.44	200.60	166.38	173.85	172.00	155.47	175.29	209.93	222.38
Rad. Solar Difusa Horiz. (kWh/m <sup>2</sup> )	33.78	33.88	42.01	44.00	49.98	53.92	57.11	55.42	49.88	43.16	30.74	29.89

Fuente: DesignBuilder, 2024

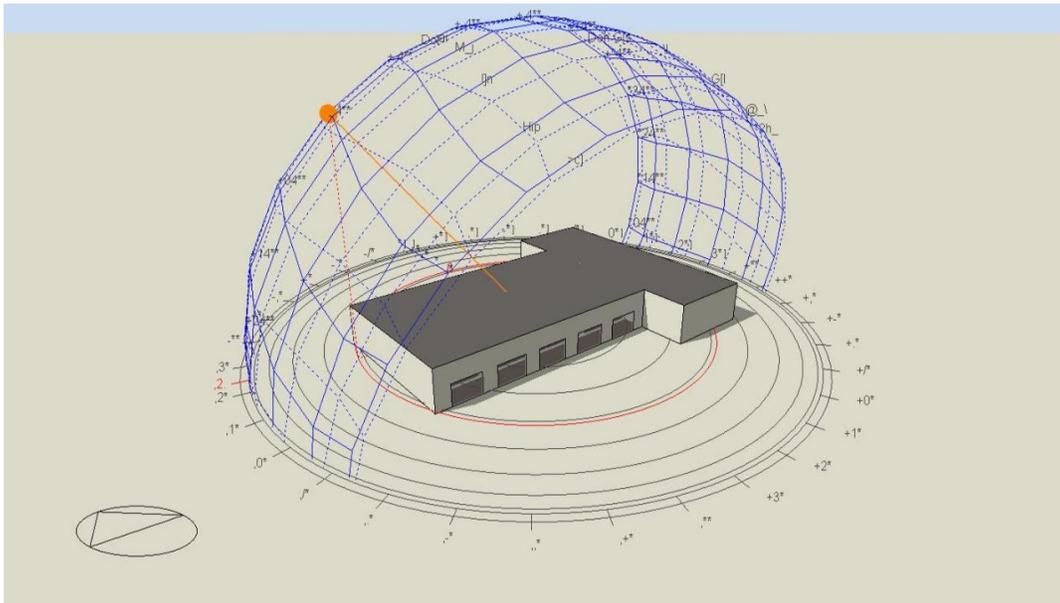
**Grafica 3. Datos Climáticos Mensuales**



*Fuente: DesignBuilder, 2024*

Entre los análisis generados por el software se incluye una gráfica tridimensional de recorridos solares, que permite observar las posiciones del sol en tres dimensiones. Estas posiciones se trazan sobre una semiesfera, incorporando líneas correspondientes al mes, día y hora. En la Figura 11 se muestra cómo el diseño de protección solar de la edificación responde frente a la incidencia solar durante el periodo primavera-verano, específicamente a las 16:00 horas. En este horario, el diseño cumple su objetivo al proyectar sombra sobre el interior del edificio, reduciendo así las ganancias térmicas derivadas de la irradiación solar directa.

**Figura 11. Grafica estereográfica tridimensional.**

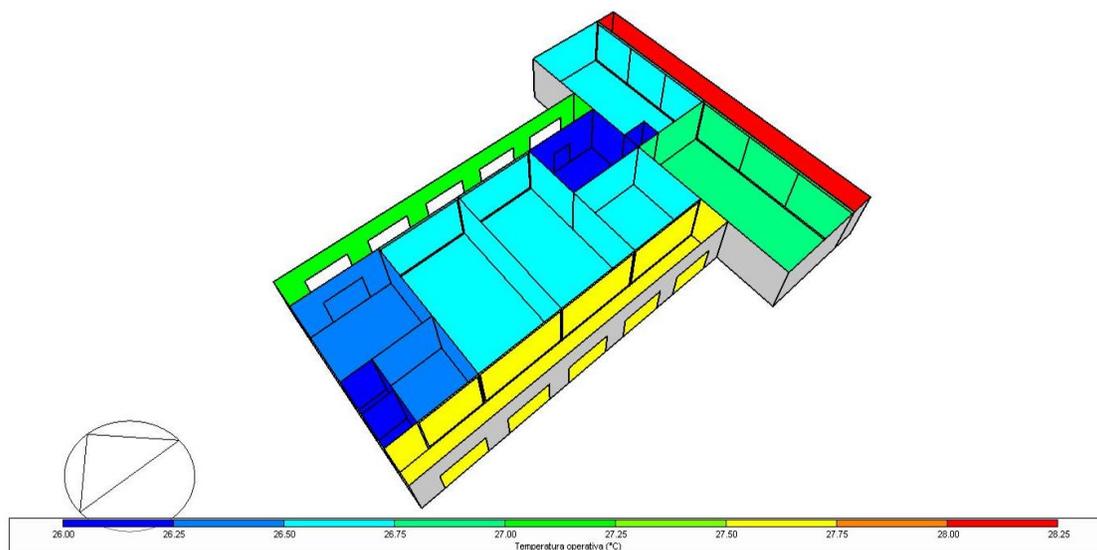


*Fuente: DesignBuilder, 2024*

En los resultados de la simulación observamos que las temperaturas operativas, las temperaturas generadas en el interior de la edificación durante el uso, se encuentran en el rango de 26.57 °C a 27.11° C, como temperaturas mínimas y máximas por lo que se infiere que las temperaturas en el interior del edificio se localizan dentro de la zona de confort calculada con respecto a los datos de promedio mensual.

Los resultados mostrados en la Figura 12, se observa las temperaturas estratificadas al interior del edificio, en donde los pasillos exteriores Sur y Este, son ambientes con comportamiento de mayor temperatura con lecturas de 28.8 °C como máximo. Sin embargo, en el interior de las áreas productivas marcadas en color Cian, las temperaturas entran en el orden de 26.75 °C promediado anual, lo cual indica que se encuentra dentro de la zona de confort.

**Figura 12. Temperatura Operativa**



*Fuente: DesignBuilder, 2024*

Otro punto importante en los resultados mostrados por el programa es que por el diseño de ventilación cruzada las renovaciones del aire son del orden de 9.5 ren/hr, cumpliendo con los requerimientos para edificaciones de tipo industrial, las cuales van en un rango entre 5 a 10 ren/hr para fábricas en general. (Tabla 9 y Figura 12).

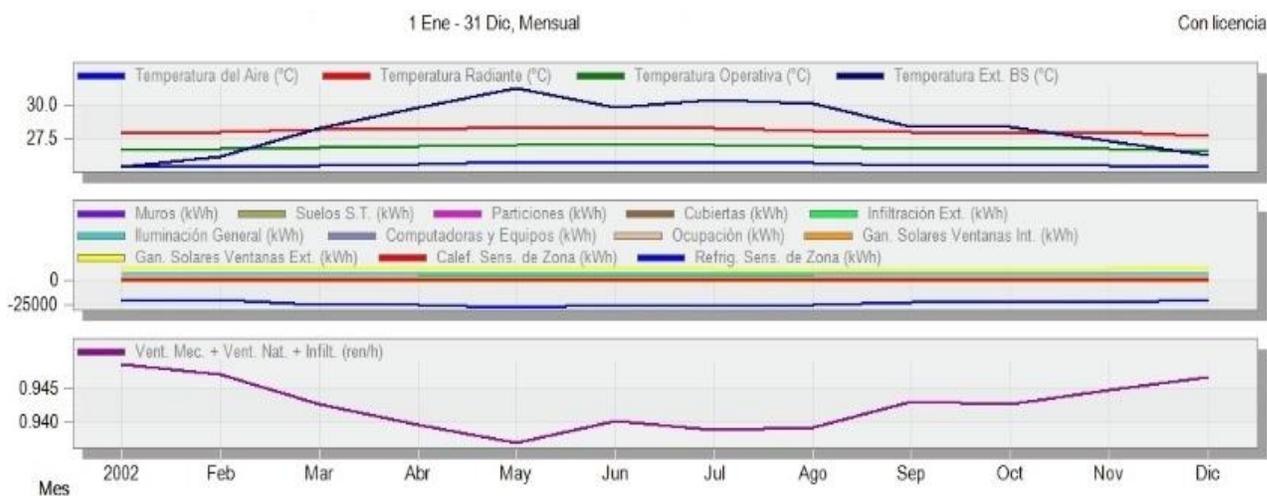
En relación con las ganancias térmicas por irradiación solar, se observa que la cubierta, al ser el elemento constructivo más expuesto como parte de la envolvente, esta presenta un mayor aporte térmico con 2,270 kWh; mientras que los muros aportaran 1,049.89 kWh durante el mes de mayo, siendo el más crítico tanto los ángulos de incidencia, así como por las temperaturas registradas. Sin embargo, por las características de los materiales de construcción permiten que las temperaturas del interior se conserven (Tabla 10).

**Tabla 10. Temperaturas y ganancias de calor por bloques.**

Mes	2002	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura del Aire (°C)	25.40	25.44	25.56	25.66	25.79	25.71	25.75	25.70	25.56	25.56	25.51	25.41
Temperatura Radiante (°C)	27.90	28.03	28.19	28.25	28.42	28.36	28.32	28.16	28.01	27.95	27.99	27.72
Temperatura Operativa (°C)	26.65	26.74	26.88	26.95	27.11	27.03	27.04	26.93	26.78	26.75	26.75	26.57
Temperatura Ext. BS (°C)	25.39	26.16	28.33	29.81	31.33	29.84	30.47	30.17	28.37	28.43	27.34	26.32
Muros (kWh)	79.80	160.41	578.03	815.27	1049.89	898.31	949.57	880.90	682.53	553.04	312.05	147.14
Suelos S.T. (kWh)	-1932.04	-1817.19	-2013.01	-1901.14	-2051.84	-1948.26	-1976.66	-1969.25	-1814.65	-2001.16	-1889.21	-1913.48
Particiones (kWh)	1.94	-2.00	-2.32	2.89	-2.74	-0.94	1.79	-1.95	5.87	-1.95	1.69	2.74
Cubiertas (kWh)	672.10	804.71	1698.37	2124.76	2270.22	2132.09	2184.35	2091.03	1793.83	1319.45	862.90	562.81
Infiltración Ext. (kWh)	-36.55	499.29	2165.81	3149.75	4334.29	3136.03	3703.82	3506.26	2138.73	2263.23	1382.01	694.75
Iluminación General (kWh)	6941.51	6269.75	6941.51	6717.59	6941.51	6717.59	6941.51	6941.51	6717.59	6941.51	6717.59	6941.51
Computadoras y Equipos (kWh)	2366.66	2137.63	2366.66	2290.32	2366.66	2290.32	2366.66	2366.66	2290.32	2366.66	2290.32	2366.66
Ocupación (kWh)	1607.76	1457.43	1617.33	1565.80	1617.98	1565.23	1617.99	1617.99	1565.79	1616.12	1557.35	1610.48
Gan. Solares Ventanas Int. (kWh)	646.31	612.71	608.26	520.04	543.15	521.93	516.41	491.23	484.97	547.80	601.22	569.32
Gan. Solares Ventanas Ext. (kWh)	12837.25	12146.53	12609.34	11131.56	12098.27	11756.68	11565.72	10486.36	10040.51	10888.31	11904.79	11143.09
Calef. Sens. de Zona (kWh)	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.08	0.06	0.04	0.03	0.01	0.00
Refrig. Sens. de Zona (kWh)	-21499.93	-20604.11	-25048.44	-25151.04	-28022.70	-25704.09	-26667.91	-25223.64	-22580.85	-23158.99	-22325.60	-20660.77
Vent. Mec. + Vent. Nat. + Infiltr. (ren/h)	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.95

Fuente: DesignBuilder, 2024

**Grafica 4. Grafica temperaturas y ganancias de calor por bloques**



Fuente: DesignBuilder, 2024

En cuanto al confort térmico el análisis de la simulación muestra que mensualmente se generan 384 horas de desconfort de las 720 horas expresadas para el mes de julio, representando un 53% para el mes más crítico. Y el mes más confortable, reporta 203 horas para el mes de diciembre, representando el 28% de las horas (Gráfica 11), debido al carácter industrial del edificio, se consideró el uso de cualquier tipo de ropa para el usuario.

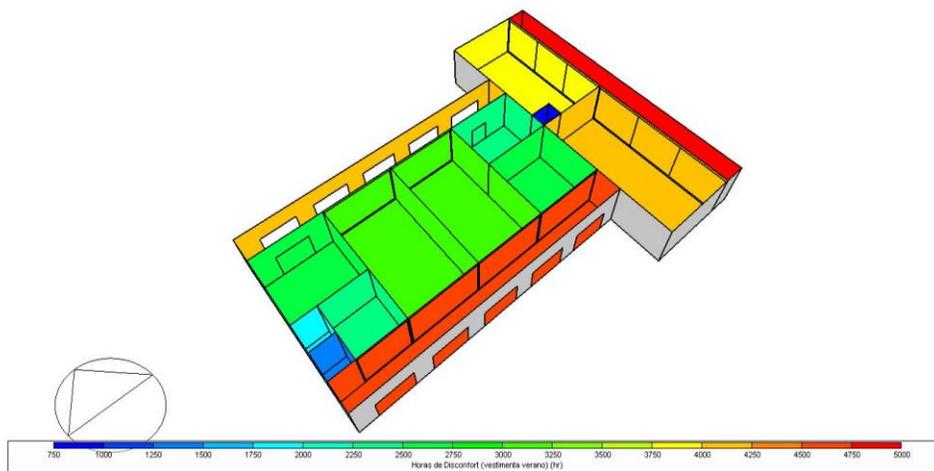
**Tabla 11. Confort Mensual**

Mes	2002	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura del Aire (°C)	25.40	25.44	25.56	25.66	25.79	25.71	25.75	25.70	25.56	25.56	25.51	25.41
Temperatura Radiante (°C)	27.90	28.03	28.19	28.25	28.42	28.36	28.32	28.16	28.01	27.95	27.99	27.72
Temperatura Operativa (°C)	26.65	26.74	26.88	26.95	27.11	27.03	27.04	26.93	26.78	26.75	26.75	26.57
Temperatura Ext. BS (°C)	25.39	26.16	28.33	29.81	31.33	29.84	30.47	30.17	28.37	28.43	27.34	26.32
Humedad Relativa (%)	57.33	57.45	58.47	60.07	62.42	63.91	64.00	62.84	64.74	62.62	60.31	58.47
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	209.07	205.99	269.51	274.73	347.62	380.33	384.76	339.59	357.65	310.23	262.23	203.85

Fuente: DesignBuilder, 2024

Se analiza la influencia de diversos factores y parámetros, tanto ambientales como personales, que inciden en la percepción de disconfort térmico. Variables como la presión, la humedad relativa y la velocidad del aire afectan tanto el confort térmico como el consumo energético en el ámbito de la edificación. A través del programa DesignBuilder, se representa el nivel de disconfort en una escala de colores que permite visualizar los escenarios donde el usuario experimenta mayor o menor disconfort (Tabla 11).

**Grafica 5. Horas de Disconfort en Periodo anual**



Fuente: DesignBuilder, 2024

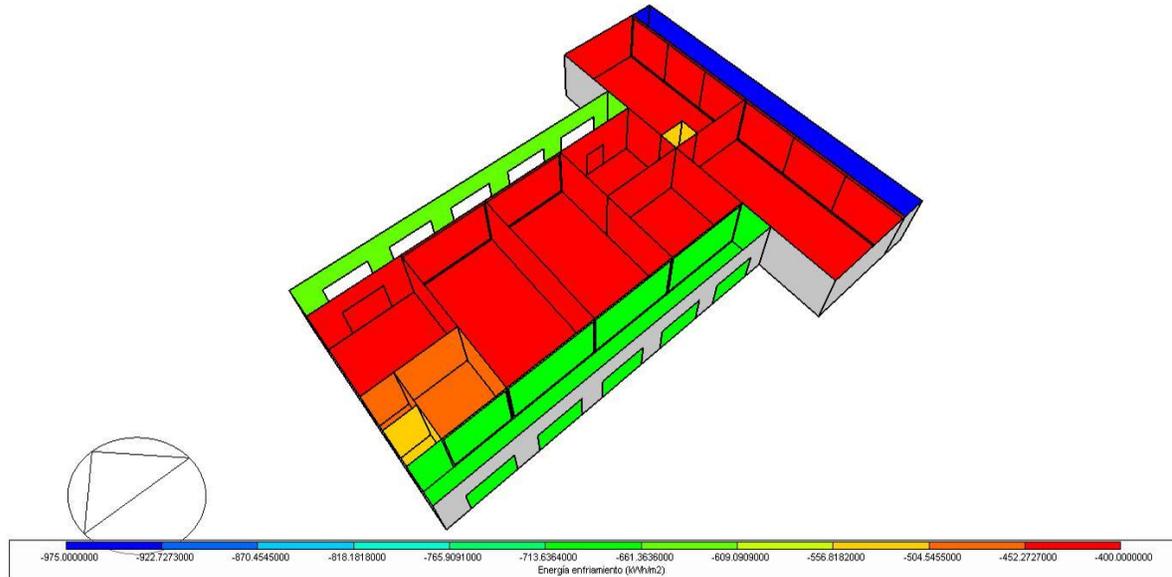
Los resultados muestran que las zonas representadas en tonalidades azules reflejan un menor desconfort térmico. Específicamente, la Zona #1 y Zona #12 presentan un desconfort acumulado anual entre 1250 y 2000 horas, lo que equivale a un rango aproximado de 52 a 83 días con un desconfort reducido. La Zona #5, ubicada dentro de la edificación, muestra un menor desconfort anual, registrando alrededor de 750 horas al año.

En contraste, los pasillos ubicados en la Zona #2 (Norte) y Zona 3 (Sur) presentan un índice de desconfort significativamente mayor, siendo el pasillo sur el más afectado, con un rango anual de 4500 a 4750 horas, representado en colores de naranja intenso a rojo. La Zona #4, correspondiente al pasillo del lado Este, alcanza hasta 5000 horas de desconfort, representado por un rojo total, representando aproximadamente 208 días al año.

La Gráfica 5 muestra en escala de colores, la energía de enfriamiento necesaria para cada espacio, se logra una similitud junto a la gráfica de horas de desconfort, debido a la necesidad de extracción de energía térmica en cada zona; vemos que las zonas con menor extracción se encuentran inmersas en el edificio, siendo las zonas de mayor tamaño, ya que el volumen de aire aumenta proporcionalmente con el área de desplante. Se entiende que, a mayor volumen de aire, se requiere una mayor cantidad de energía para enfriarse, aunque si la temperatura ya alcanzo un límite de confort aceptable, la cantidad de extracción se mantendrá estable o reducida.

Las Zonas #15, #14, #13 #10, #9, #8, #7 están representadas por un color rojo, en la escala grafica observamos que estos espacios necesitaran una extracción de 400.00 kWh/m<sup>2</sup>, debido a las estrategias de ventilación implementadas en el diseño bioclimático y por su lejanía de una radiación solar directa sobre sus paredes. En amarillo y naranja tenemos a las zonas #1 #5, #11 y #12, encontramos con una extracción necesaria de entre 556.54 y 452.27 kWh/m<sup>2</sup>. siendo zonas de menor dimensión y contiguas a zonas de extracción elevada.

## Grafica 6. Energía Requerida para enfriamiento



Fuente: DesignBuilder, 2024

La gráfica de extracción de energía térmica de las Zonas #2, #3, y #4 en el edificio señala una alta demanda de enfriamiento, evidenciada por la intensidad energética requerida para mantener las temperaturas dentro de los límites deseados en estas áreas. (Gráfica)

### 1. Zonas #2 y #3 (Pasillos Norte y Sur):

- Estas zonas presentan valores de extracción de energía térmica entre 661.36 y 609.1 kWh/m<sup>2</sup>. Esto indica una carga térmica significativa, posiblemente derivada de una combinación de factores como la orientación del edificio y la ventilación inadecuada en los pasillos.
- La demanda de enfriamiento en estas áreas sugiere la necesidad de sistemas que incrementen la extracción de calor, como sistemas de aire acondicionado o ventilación forzada. Los valores registrados reflejan una acumulación térmica que el sistema actual no logra disipar eficazmente, llevando a la recomendación de reforzar el sistema de extracción de calor en estos pasillos.

## 2. Zona #4 (Pasillo Este):

- Esta zona muestra la necesidad de la mayor extracción de energía térmica, con un valor de hasta 975.0 kWh/m<sup>2</sup>, lo que sugiere una carga térmica particularmente elevada.
- El pasillo Este, debido a su orientación, recibe la mayor radiación solar durante las horas de la mañana y parte del día, lo cual aumenta la temperatura interna de esta zona de manera significativa en comparación con otras áreas del edificio. La radiación solar directa sobre esta zona provoca que se convierta en el área con la mayor demanda de enfriamiento, resaltada en azul en la gráfica.
- La alta carga térmica en esta zona podría controlarse mediante la implementación de estrategias de mitigación, como el uso de películas reflectantes en las ventanas, persianas automatizadas, o sistemas de aislamiento que reduzcan el impacto de la radiación solar. También es viable considerar un aumento en la capacidad de los sistemas de aire acondicionado o el uso de sistemas de ventilación natural pasiva para disipar el calor de manera eficiente.

# Capítulo 5

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Se recopilaron datos climáticos correspondientes a Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, revelando que el clima de la región se clasifica como Aw (clima tropical con estación seca definida). La temperatura media anual es de 28.3 °C, con una variación anual de hasta 2.1 °C. A partir de esta información, se determinó que la zona de confort térmico abarca temperaturas mínimas y máximas de 23.8 °C y 28.8 °C, respectivamente.

En el modelado del edificio, se consideraron las propiedades de los materiales que conforman cada componente de la envolvente para reflejar fielmente el desempeño del edificio durante su operación. Además, se integraron los parámetros climáticos y de ubicación geográfica específicos del sitio en el software de simulación, para su posterior análisis dinámico. Los resultados de las simulaciones dinámicas evidenciaron que el diseño arquitectónico contribuye significativamente al control térmico interno, logrando temperaturas interiores que varían entre 26.57 °C y 27.11 °C. Estas temperaturas se encuentran dentro del rango de confort establecido para la región. Sin embargo, un análisis horario detallado mostró la ocurrencia de 384 horas de discomfort durante julio, equivalentes al 53% de las horas del mes, y 203 horas en diciembre, representando el 28%.

Con relación al consumo energético, se estimó que, en caso de requerirse enfriamiento mediante sistemas mecánicos, las zonas interiores operativas demandarían un consumo de 400.00 kWh/m<sup>2</sup>, el bajo requerimiento energético se atribuye a la implementación de estrategias de ventilación bioclimática y a la protección del edificio frente a la incidencia directa de la radiación solar en sus paredes.

Finalmente, el software utilizado para la simulación dinámica demostró ser una herramienta eficiente para analizar el comportamiento climático de edificaciones, tanto nuevas como existentes. Este programa, basado en datos reales, permite caracterizar cada elemento de la envolvente, proporcionando información crucial para decisiones relacionadas con rediseño, orientación y optimización de elementos constructivos. Además, ofrece proyecciones de consumo energético para sistemas de climatización mecánica (HVAC), facilitando una planificación más precisa y sustentable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

de Buen O., Eficiencia energética en el confort térmico en viviendas de clima cálido en México, 2020, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía: CDMX. p. 27

Santillán, N., & Garduño, R. (n.d.). Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática.

González, A., Fernández, P., & Soto, M. (2018). *Factores geográficos y climáticos*. Editorial *Clima*.

Pérez, R., & Ramírez, C. (2020). *Continentalidad y su impacto en el clima*. *Revista de Geociencias*.

Martínez, L. (2017). Altitud y clima: Efectos en las precipitaciones. *GeoClima Estudios*.

López, M., & Hernández, A. (2019). *El suelo y sus efectos climáticos*. *Climática: Revista de Medio Ambiente*.

Silva, J., & Ortega, F. (2016). *Vegetación y microclimas: Relaciones locales*. *Ecología Aplicada*.

Ruiz, D. (2021). *El factor humano y el cambio climático local*. *Revista de Ciencias Ambientales*.

Servicio Meteorológico Nacional. (2023). *Estaciones meteorológicas*. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

Olgyay, V. (2015). *Diseño con el clima: una aproximación bioclimática al diseño arquitectónico*. Ediciones GG.

González, J., & Domínguez, S. (2011). Diseño bioclimático en arquitectura. *Revista de Arquitectura y Urbanismo*, 32(2), 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.raurb.2011.05.002>

DesignBuilder Software Ltd. (2024). *DesignBuilder: Building performance simulation software*. <https://www.designbuilder.co.uk/>

Szokolay, S. V. (2004). *Introduction to architectural science: The basis of sustainable design*. Routledge.

Chastas, P., Theodosiou, T., & Bikas, D. (2016). Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review. *Building and Environment*, 105, 267-282. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.040>

IPCC. (2018). *Global warming of 1.5°C. Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Peixoto, J. P., & Oort, A. H. (1992). *Physics of climate*. Springer-Verlag.

Trenberth, K. E. (2011). *Changes in precipitation with climate change*. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>

Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates* (2nd ed.). Methuen.

Stull, R. (1988). *An introduction to boundary layer meteorology*. Springer.

Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: An introductory survey* (2nd ed.). Elsevier.

Barry, R. G. (2008). *Mountain weather and climate*. Cambridge University Press.

Beck, H.E., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E.F. (2018). *Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution*. *Scientific Data*, 5, 180214.

García, A., & López, P. (2020). *El clima marítimo y sus efectos moderadores*. Editorial Climatología Global.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263.

Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. Wiley.

González, A., & López, P. (2019). *Estrategias bioclimáticas en la arquitectura contemporánea*. Ediciones Sustentables.

Miller, J., Wang, Y., & Zhang, Z. (2019). Sustainable building design: Bioclimatic strategies for energy efficiency. *Journal of Green Building*.

Olgyay, V. (1963). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.

Sol Sampedro, F. J. (2006). *Estrategias de diseño bioclimático para la ciudad de Oaxaca y zona conurbada* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca.

Secretaría de Energía. (2001). *Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>

Secretaría de Energía. (2011). NOM-020-ENER-2011, *Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional, comercial, de servicios y públicos*. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5193257&fecha=09/08/2011](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5193257&fecha=09/08/2011)

# ANEXOS