

MARCO LÓGICO

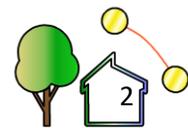
Introducción

Los cambios que sufre el planeta tierra a causa de las mismas actividades de los seres humanos son cada vez nocivos, afectando con mayor puntualidad en aspectos diarios de nuestras vidas que determinan la calidad de la misma. En el campo de la arquitectura, la necesidad de diseñar edificios sostenibles, de bajo impacto ambiental y eficientes energéticamente se ha vuelto crucial. Este estudio se centra en la integración de principios bioclimáticos en el diseño arquitectónico para mitigar dichos efectos negativos, con una visión a futuro en la cual no se tenga que seguir dañando el medio ambiente a cambio de bienestar y calidad de vida.

El problema de investigación que aborda esta tesis es la falta de estrategias efectivas para incorporar principios bioclimáticos en el diseño de edificios en el clima cálido seco de Villa Montes. Este problema es significativo porque los edificios mal diseñados pueden contribuir al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, al consumo excesivo de energía y una reducción en la calidad de vida de los ciudadanos.

Los objetivos de esta investigación son: el determinar la eficiencia de los materiales de construcción y su comportamiento térmico en el lugar para determinar cuáles son los más adecuados y complementar esta información con la generación y recopilación de pautas o estrategias de diseño y desarrollar parámetros prácticos para profesionales, especialistas en las áreas de la arquitectura y la construcción, así como para cualquier persona particular.

Esta investigación es relevante porque contribuye a la creación de edificios más sostenibles y eficientes, reduciendo así el impacto ambiental de la construcción en Villa Montes, además, puede servir como referencia para futuros estudios en el campo de la arquitectura bioclimática sostenible.



Planteamiento del Problema

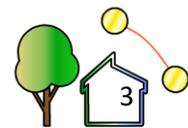
Durante los últimos 200 años el cambio climático ha provocado un aumento en las temperaturas medias globales de la atmósfera y los patrones climáticos a largo plazo. Desde la primera revolución industrial a principios del siglo XIX las actividades humanas han sido la principal razón de un tipo específico de cambio climático conocido como calentamiento global, ya que desde entonces, el incremento de la temperatura media global es 1,36 grados más cálida, siendo la más alta registrada desde que comenzó el mantenimiento de registros en 1880¹; algunas de las actividades humanas que más han influido son los cambios de uso de suelo, la deforestación, la destrucción de hábitats naturales y la biodiversidad; además de otros factores como los fenómenos naturales extremos, hechos que tienen un impacto significativo en la vida diaria de las personas.

Por su parte la arquitectura y la construcción también han influido ya que el 36% de la energía global se dedica a los edificios y la construcción, 22% es para edificios residenciales, el 8% es de uso no residencial y el 6% para la industria de la construcción², según estimaciones de la ONU esta última es la responsable del 37% de las emisiones de (GEI), tomando en cuenta todo el ciclo de vida del edificio incluyendo el transporte y fabricación de los materiales de construcción, su mantenimiento y los restos generados en su posterior demolición, proceso que determina la huella de carbono.³

¹ NASA, Vital Signs of the Planet, *Temperatura Global*, última anomalía del promedio anual en 2023.

² Niall Patrick Walsh, *Arch Daily - Datos reales sobre la arquitectura y la crisis climática*, enero de 2020.

³ Naciones Unidas, cambio climático y medio ambiente, *Las emisiones históricas del sector de la construcción, lo alejan de los objetivos de la descarbonización*, noviembre 2022.



En términos globales el sector de la construcción contribuye al 23% de la contaminación atmosférica, 40% de contaminación del agua potable y 50% de residuos en los vertederos⁴. A nivel nacional, las estimaciones determinan que para el 2021 se generaron 22,428 megatoneladas de dióxido de carbono, posicionando a **Bolivia** en el puesto N°99 de un ranking de 184 países ordenados de menor a mayor contaminación⁵. También, datos nacionales de medio ambiente y biodiversidad indican que entre 2019 y 2022 la calidad del aire era relativamente buena, pero las ciudades que estaban empezando a preocupar por sus niveles de contaminación eran Cochabamba, Oruro, El Alto y **Tarija**⁶; la situación departamental refleja el problema de la contaminación en diferentes ríos y quebradas ya que en los residuos es común encontrar escombros de construcciones, afectando a la calidad del aire y del agua, generando riesgos de enfermedades en la salud pública y contaminación ambiental.

Dentro de este marco, la ciudad de **Villa Montes** también se ha visto afectada por las externalidades del cambio climático y la contaminación ambiental; al ser parte de la región geográfica del Chaco Occidental, el clima es semi árido y templado, presentando temperaturas de hasta 46.7 C° en verano⁷, además su rápido crecimiento en los últimos 20 años ha generado aumento en la generación de residuos sólidos urbanos, del 100% de dichos residuos, el 19% son materiales inertes , 2% de materiales ferrosos y no ferrosos y un 2% de vidrios, porcentajes de los cuales son parte los desechos de las construcciones.

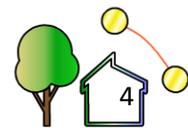
En cuanto a la arquitectura y la construcción existente, se puede evidenciar una clara intención en los primeros edificios, principalmente viviendas del lugar, de adaptarse a las

⁴ Karolina Dobrowolska, *Archdesk - ¿Cómo afecta la construcción al medio ambiente?*, marzo del 2021.

⁵ Expansión, Datosmacro.com, *Bolivia Sube sus emisiones de CO2*, 2021.

⁶ La Razón, *Bolivia, en el puesto 112 de 131 países en contaminación del aire*, octubre de 2023

⁷ Wikipedia, Climate data.org, *Villa Montes – Clima*.



condiciones climáticas mediante técnicas constructivas tradicionales, lo que también se conoce como arquitectura Vernácula, empleando materiales como tierra, paja, caña, palma, adobe y tapial, en pisos paredes y techos, materiales que si responden a los criterios de confort térmico propios de la arquitectura bioclimática.

En estas últimas décadas se evidencia que en las construcciones no consideran las altas temperaturas y la utilización de materiales que respondan a criterios de confort térmico, simplemente optan por materiales más duraderos y resistentes como el cemento, calamina de plancha metálica, tejas de arcilla y cemento, hormigón armado, ladrillo y bloque de cemento en pisos, techos y muros, lo que genera ineficiencia energética, morfologías indefinidas sin diseño espacial ni orientación adecuada para el contexto, provocando un impacto ambiental urbano.⁸

Preguntas de Investigación

¿Como influye el diseño arquitectónico con características bioclimáticas en la factibilidad medioambiental de una edificación?

¿Qué tan importante es tomar en cuenta las características climatológicas propias de un lugar para el diseño arquitectónico y la elección de los materiales?

¿Qué tanto influye la correcta elección de los materiales de construcción en el bienestar y calidad de vida de las personas?

⁸ PTDI, *Plan Territorial de Desarrollo Integral Para Vivir Bien - Municipio de Villa Montes, 2021 – 2025*



Justificación

Los cambios negativos que se han generado en el mundo, han provocado que el interés por la aplicación de soluciones sustentables crezca y se globalice llegando a ser consideradas incluso en los países menos desarrollados, pero no siempre se hace el uso correcto de la información que se tiene acerca de la arquitectura bioclimática.

En Bolivia, actualmente existen pocos proyectos referidos al bioclimatismo en la arquitectura, ya que no se tiene interiorizado el enfoque sustentable que busca concebir edificaciones energéticamente eficientes. Se aplican ciertas técnicas y criterios como la instalación de paneles solares sin tomar en cuenta el diseño integral, o el uso de materiales que pueden ser considerados, bioclimáticos, ecológicos, sustentables, etc., pero no se tienen presentes variables que determinan la efectividad de sus aplicaciones como la ubicación, la orientación del edificio, el diseño, entre otros.

Entre los casos más representativos dentro del país, que en realidad son solo proyectos de investigación, están las adaptaciones realizadas en el altiplano boliviano por parte de la Universidad Técnica de Oruro, que consisten en establecer estrategias bioclimáticas adecuadas para el contexto del lugar, basadas en modelos europeos como la casa Rauch en Australia o la mini CO2 Husene en Dinamarca; también existen investigaciones realizadas sobre la casa bioclimática para climas fríos en Oruro, realizados por especialistas de la Universidad de Buenos Aires, donde se consideran principalmente las pérdidas de calor de los materiales de construcción y los sistemas de aprovechamiento solar pasivo, o los realizados por la Universidad Autónoma de Andalucía en España sobre la vivienda social bioclimática en Santa Cruz de la Sierra, parte de un enfoque integral orientado a las energías renovables, el urbanismo y la ciudad sostenible.



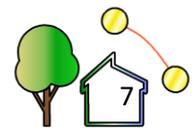
Por otra parte, desde la dirección departamental de arquitectura y diseño gráfico de la Universidad Católica Boliviana se tiene el objetivo de despertar la conciencia de las nuevas generaciones mediante actividades como “La Semana Verde” un evento de integración entre estudiantes y profesionales para conocer más sobre el paradigma de la sostenibilidad.

De manera general el conocimiento está presente, tanto a nivel nacional como departamental, principalmente en trabajos académicos y estudios realizados por las universidades, aplicados en lugares como las ciudades de Sucre, Oruro, Tarija entre otros, evidenciado el impacto del cambio climático a nivel nacional y la necesidad de adaptarnos a los nuevos e inevitables cambios que requieren mayor conciencia ambiental en el desarrollo la construcción bioclimática.

Por lo tanto, con el presente proyecto de investigación con modalidad de campo, documental y de proyecto factible, se pretende incentivar el correcto manejo de los recursos naturales disponibles en la ciudad de Villamontes que presenta una de las temperaturas más altas registradas en el departamento, para una nueva arquitectura con conceptos bioclimáticos que nos permite operar con factores como el clima, la radiación solar, los materiales, la vegetación, el espacio, la latitud o la orientación; con la finalidad de atenuar las incomodidades que provoca la naturaleza que en realidad, se ven inducidas por las propias actividades humanas.

Planteamiento de Oportunidad

En la actualidad, los efectos del cambio climático nos obligan a reformular los paradigmas tradicionales de la edificación, del hábitat y del modo de vida, tal como ha sucedido desde siempre en la historia de la humanidad; las alteraciones extremas en la temperatura y los patrones climáticos, las olas de calor, las sequías, los deshielos de polos y glaciares, la acidificación y contaminación del agua, del aire, la extinción de especies y los fenómenos naturales devastadores, son los indicativos claros de que es momento de cambiar las líneas directrices que determinan



nuestro desarrollo como sociedad en los diferentes campos que la conforman; y en su sabiduría misma, la naturaleza nos presenta estas experiencias, como oportunidades para cambiar y aprender de nuestros errores para poder aspirar a un futuro sostenible.

El siguiente proyecto generará aportes de conocimiento a nivel departamental y nacional sobre un área de la arquitectura poco interiorizada, la cual se ha posicionado como base fundamental para el desarrollo de otros proyectos con enfoques denominados sustentables en la concepción de los edificios a nivel global, dicho aporte coadyuvará a la disminución del impacto medioambiental que generan las actividades humanas desde el ramo de la arquitectura y la construcción, y se podrá disponer como instrumento para proyectos prácticos y como base bibliográfica para futuros trabajos académicos e investigaciones adaptables en el departamento y el país, en donde se pueda determinar las estrategias de diseño y técnicas constructivas más adecuadas para su aplicación, además, será una contribución a la globalización e integración nacional a los nuevos modelos que determinan nuestro modo de vivir y que siempre se encuentran en constante cambio.

Planteamiento de Objetivos

Objetivo General

Elaborar parámetros para edificaciones ambientalmente adecuadas para la ciudad de Villa Montes y aplicarlos al diseño arquitectónico de una vivienda, buscando mejores condiciones de habitabilidad y confort, eficiencia energética y una respetuosa integración con el medio ambiente.



Objetivos Específicos

- Analizar la relación entre el uso de materiales de construcción en la arquitectura y el clima en Villa Montes, con el fin de propiciar el conocimiento científico adecuado y recomendar un cambio en los paradigmas tradicionales de la edificación.
- Realizar un análisis entre los parámetros de confort mínimos en las edificaciones y los datos climatológicos del lugar para determinar cómo influyen en el diseño arquitectónico.
- Recomendar pautas bioclimáticas para el diseño arquitectónico en Villa Montes, con la finalidad de complementar la propuesta de parámetros y así generar diseños más completos y eficientes.

Delimitación del Tema

Temática

Investigación de los factores climatológicos que influyen en el diseño y construcción de edificaciones según el tipo de material y como estas variables influyen en el grado de confort térmico de los usuarios.

Geográfica

La investigación se realizará en la ciudad de Villa Montes en el municipio del mismo nombre, en la provincia Gran Chaco del Departamento de Tarija, bajo los conceptos de diseño de la arquitectura bioclimática que toma en cuenta factores como el clima, el entorno natural y los recursos naturales disponibles.



Temporal

Se pretende determinar parámetros Bioclimáticos apropiados a aplicarse en el contexto de la ciudad de Villa Montes para las edificaciones, logrando una arquitectura ambientalmente adecuada a las condiciones climatológicas del lugar siendo su aplicación sustentable y atemporal.

Teórica

Esta investigación se basa principalmente en los conceptos de bioclimatismo y sustentabilidad aplicados en el diseño arquitectónico de las edificaciones; existen algunos otros enfoques conceptuales que también pueden ser considerados como complementarios, tales como el diseño ecológico o ambiental, ya que estos comparten un fin en común con la arquitectura bioclimática y sustentable: la búsqueda de la eficiencia energética de las edificaciones, el confort y bienestar de sus ocupantes y la reducción del impacto ambiental.

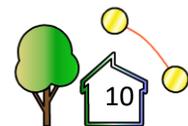
MARCO METODOLÓGICO CIENTÍFICO

Hipótesis

La correcta aplicación de parámetros ambientalmente adecuados para edificaciones en la ciudad de Villamontes, mejorará las condiciones de habitabilidad de los ciudadanos dándoles un mejor confort térmico, generando eficiencia energética y respeto con el medio ambiente.

Enfoque de Investigación Mixta: Cualitativa y Cuantitativa

Permite integrar sistemáticamente un enfoque mixto de la investigación donde los datos cualitativos en el uso de materiales pueden ayudar a interpretar los resultados cuantitativos, proporcionando un contexto más rico y una comprensión más profunda de los fenómenos observados.



Paradigma de la Investigación: Positivista

Es una corriente filosófica que sostiene que el conocimiento válido proviene de la observación empírica y la experiencia sensorial, por lo que permitirá afirmar el conocimiento desde la medición de los objetos y los usos de los materiales de construcción a ser investigados.

Método de la Investigación: Inductivo, Analítico, Sintético

Se basa en la recopilación de datos empíricos y la identificación de patrones, los descompone por separado y los integra para tener una visión holística, esto permitirá el estudio individual del comportamiento térmico los materiales y mediante su análisis llegar a resultados para recomendar en el territorio y tender hacia una arquitectura bioclimática.

Diseño de la Investigación: Experimental, Transversal

Permite la manipulación o elección entre las variables independientes para ver cómo reaccionan las dependientes en un momento específico del tiempo, esto permitirá la observación de cada material de construcción solo o combinado, midiendo sus características o variables de uso en la construcción.

Tipo de Investigación: Descriptiva, Explicativa, Aplicada

Permitirá la descripción de las características de los materiales de construcción y explicar los fenómenos de confort en función al clima de la Región y nos ayudará a determinar los mejores usos en la construcción para una arquitectura que se adecue al clima.

Modalidad de la Investigación: De Campo, Documental, De Proyecto Factible

Permite hacer levantamiento de información de diferentes variables en la construcción en el sitio, documentar esta información, seleccionar y entender la necesidad de demostrar como una modalidad de investigación a través del diseño arquitectónico de una vivienda con características



bioclimáticas, la factibilidad de aplicar toda la investigación en el proyecto de grado adecuado a la región de Villa Montes.

Definición de Constantes y Variables de Estudio

Constantes de la Investigación

- La ciudad de Villa Montes, como lugar de estudio y área urbana del municipio de Villamontes.
- El clima (Temperatura, humedad relativa, vientos, radiación solar, precipitaciones.)
- El rango de confort térmico.

Variables de la Investigación

Las variables que se analizaran y compararan para alcanzar los objetivos y resultados que respondan al problema de estudio se clasificaran en dos tipos; la variable principal que se conoce como variable dependiente (efecto), mientras que las que influyen en ella se llaman variables independientes (causa).

Variables según su operatividad

Las variables de investigación por su operatividad se refieren a cómo se definen y miden las variables en un estudio de investigación. Este proceso se conoce como operacionalización de variables y consiste en un proceso lógico a través del cual se descomponen los conceptos que forman parte de una investigación con la intención de hacerlos más comprensibles y útiles para el proceso investigativo. Cuando cada variable puede ser recogida, valorada y observada se convierte en un indicador. Estas variables pueden ser Cualitativas o Cuantitativas.



Variables Cualitativas

Las variables cualitativas se conocen también como variables categóricas. Se caracteriza por no utilizar valores numéricos, sino que describe los datos por categorías o características sin un orden natural. Estas variables serán:

Politómicas: Permiten que existan múltiples valores, de los cuales puede seleccionarse a uno y omitir los demás.

Variables Cuantitativas

Las variables cuantitativas son numéricas, es decir, representan una cantidad medible. Estas variables serán:

Continuas: En este tipo de variables pueden encontrarse valores intermedios.

Operacionalización de Variables:

Variables Independientes (Causas)

Tabla 1 *Variables Independientes*

VARIABLES INDEPENDIENTES - MUROS						
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPEACIONAL	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Materiales de Construcción (Ladrillo Hueco, Ladrillo Gambote, Madera, Adobe)	Los materiales de construcción son los componentes de los elementos constructivos y arquitectónicos de una edificación o de una construcción.	Medición de las temperaturas en ambas caras, verificando que no se interpongan otros elementos en el diametro del laser puntero.	Cualitativa	Temperatura interior Temperatura exterior	Temperatura en cara interior + temperatura media + humedad relativa Temperatura en cara exterior.	Termómetro de Infrarrojos

VARIABLES INDEPENDIENTES - PISOS						
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPEACIONAL	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Materiales de Construcción (Cemento, Ladrillo Gambote, Mosaico, Ceámica, Tierra)	Los materiales de construcción son los componentes de los elementos constructivos y arquitectónicos de una edificación o de una construcción.	Medición de las temperaturas en ambas caras, verificando que no se interpongan otros elementos en el diámetro del laser puntero.	Cualitativa	Temperatura interior Temperatura exterior	Temperatura en cara interior + temperatura media + humedad relativa Temperatura en cara exterior.	Termómetro de Infrarrojos
VARIABLES INDEPENDIENTES - TECHOS						
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPEACIONAL	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Materiales de Construcción (Calamina, Teja de Arcilla, Losa de H° A°, Placas de Fibrocemento, Madera)	Los materiales de construcción son los componentes de los elementos constructivos y arquitectónicos de una edificación o de una construcción.	Medición de las temperaturas en ambas caras, verificando que no se interpongan otros elementos en el diámetro del laser puntero.	Cualitativa	Temperatura interior Temperatura exterior	Temperatura en cara interior + temperatura media + humedad relativa Temperatura en cara exterior.	Termómetro de Infrarrojos

Variables dependientes (efectos)

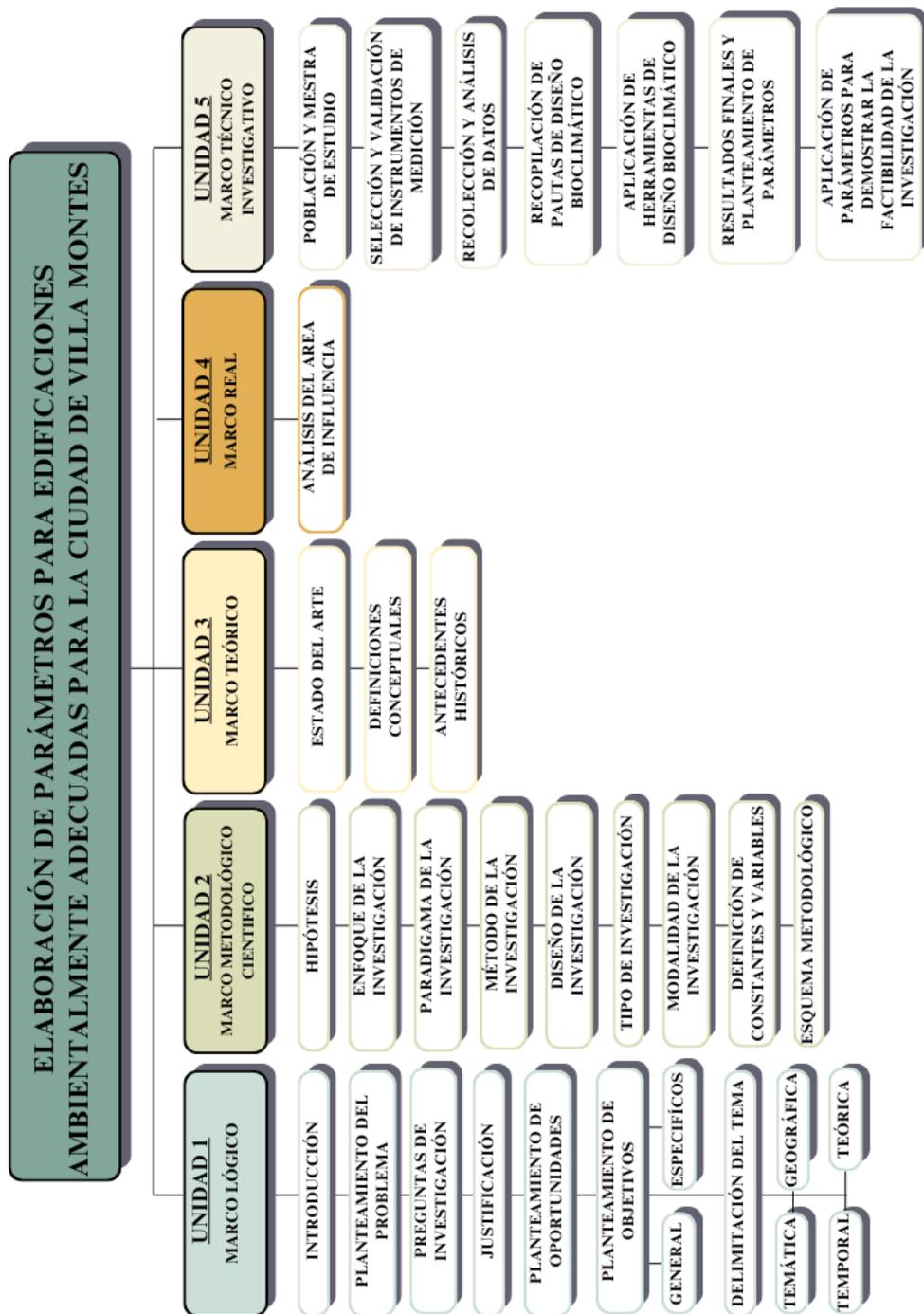
Tabla 2 Variables Dependientes

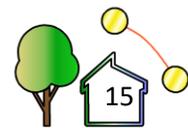
VARIABLES DEPENDIENTES - TEMPERATURAS Y HUMEDAD						
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPEACIONAL	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Temperatura Superficial	Temperatura medida en la superficie del material de construcción.	Medición de la temperatura en la superficie del material utilizando un termómetro infrarrojo.	Cuantitativa	INTERIOR EXTERIOR	Temperatura en grados Celsius (°C)	Termómetro de Infrarrojos
Temperatura Ambiental	Temperatura del aire dentro de la edificación.	Medición de la temperatura en aire dentro de la edificación.	Cuantitativa	INTERIOR	Temperatura en grados Celsius (°C)	Termohigrómetro
Humedad Ambiental	Porcentaje de humedad relativa del aire dentro de la edificación.	Medición del porcentaje de humedad relativa del aire dentro de la edificación.	Cuantitativa	INTERIOR	Porcentaje de HUmidad Relativa (%)	Termohigrómetro

Esquema Metodológico

Figura 1

Esquema Metodológico



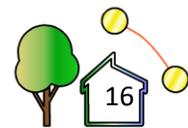


MARCO TEÓRICO

Estado del Arte

Las necesidades de adaptarnos a los cambios que experimenta el planeta tierra han provocado que las ciencias del entorno humano evolucionen y se adapten constantemente, y debido a los antecedentes del cambio climático y los efectos negativos que se agravan año tras años se sabe que las acciones tomadas al respecto no son recientes, de hecho, datan del siglo XIX (1801), y en el campo de la arquitectura a lo largo de los años consiguientes se han desarrollado diferentes paradigmas relacionados con la eficiencia energética y el bajo impacto medioambiental; dentro de este marco existen algunos autores que sentaron las bases de lo que hoy es la arquitectura bioclimática y sostenible y que permitieron el perfeccionamiento de nuevos medios de diagnóstico y el desarrollo de trabajos de investigación científica aplicables a nivel mundial.

En primer lugar, el arquitecto húngaro **Victor Olgay**, nos habla de la “interpretación bioclimática” de la Arquitectura (bioclimatic approach), definiendo los efectos del “clima” sobre el hombre (el “bios”) se trata de un análisis científico que se apoya en la biología humana, la meteorología y la ingeniería aplicable al diseño arquitectónico, utilizar el gráfico del confort o de Olgay (lleva su nombre) desarrollado por él en el año 1963, es una herramienta fundamental para aplicar los principios arquitectónicos ajustables según condiciones del clima de Villamotes; si bien hoy en día la informática nos provee de herramientas o programas de evaluación energética más fáciles de utilizar, los principios estudiados por Olgay siguen siendo válidos y no van a cambiar al momento de estudiar la relación del medio con la arquitectura. El puntualiza que el primer paso es definir el grado y la medida de bienestar del habitante en los diferentes climas, latitudes y altitudes y esta respuesta está en la biología, el segundo paso es estudiar el clima de la región donde se va a trabajar y esta ciencia es la meteorología y finalmente nos hace ver que el tercer paso es



una solución racional en las ciencias de la ingeniería donde la arquitectura es la expresión en el diseño adecuado. (*Arquitectura y Clima* 1998 versión en español editorial Gustavo Gili)

Años más tarde en el año **1969** Baruch Givoni, arquitecto Israelí se hizo presente en la arquitectura bioclimática a partir de la publicación del libro “Hombre clima y arquitectura” (Man, climate and architecture) en 1969 donde nos plantea que siempre existirá una relación entre el confort humano, el clima y la arquitectura, él utiliza el diagrama planteado por Olgyay: Diagrama psicométrico y traza una zona de confort en invierno y verano, donde plantea la incorporación de estrategias de energías pasivas, si bien el estudio lo hace para hombres caucásicos, es aplicable para todo el mundo con la incorporación de los datos de temperatura y humedad, lo que permite con su modelo elaborar un climograma y trazar una zona de confort higrotérmico con las características bioclimáticas para cada sitio y a través de la interpretación resultan estrategias de diseño arquitectónico adecuadas para aplicarlos en la zona de estudio. (Givoni “Man, Climate and Architecture” (Hombre, clima y arquitectura 1969)

Como último pilar histórico el concepto desarrollado por Carl Mahoney en Nigeria en **1971**, compara los datos climáticos del lugar con límites de confort diurno y nocturno, proporcionando la base para plantear un método de diseño bioclimático, elaborado juntamente con Jhon Martin Evans y Otto Konigsberger y publicado por Naciones Unidas, donde se utilizan datos climáticos de un lugar en específico y permiten evaluar las condiciones climáticas y utilizarlas como referencia para establecer el tipo de recurso bioclimático a utilizar en el diseño arquitectónico del hábitat, mostrándonos límites de confort de día y de noche, comparar medidas mensuales con límites de bienestar tanto de día como de noche y la temperatura:

Superior a los límites de confort = caluroso

Dentro de los límites de confort = bienestar

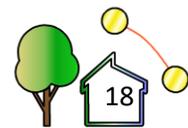


Inferior a los límites de confort = frío

A través de indicadores de condiciones húmedas o áridas nos permite comparar las condiciones de confort y clima que resultan en recomendaciones de diseño esquemático como por ej. Orientación de la edificación, abertura promedio de ventanas en los muros, techos de alta masa y aislamiento, etc. (En XIII CTV 2019 Proceedings: XIII International Conference on Virtual City and Territory: “Challenges and paradigms of the contemporary city”: UPC, Barcelona, October 2-4, 2019. Barcelona: CPSV, 2019, p. 8676. E-ISSN 2604-6512.DOI <http://dx.doi.org/10.5821/ctv.8676>)

Directa o indirectamente estas herramientas han influido en el desarrollo de las investigaciones posteriores que se pueden encontrar a día de hoy, un ejemplo de ello el estudio realizado en 2019 sobre “EFECTOS EN EL AMBIENTE TÉRMICO POR RECUBRIMIENTO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL, EN CLIMA CÁLIDO SECO” aplicado en el Valle de San Pedro en Tijuana donde surge del interés de generar información inédita y original respecto a la correcta selección de materiales para la vivienda de interés social y se hace el análisis de una vivienda donde se evaluó el sistema constructivo para comprobar que los recubrimientos propuestos tuvieran capacidad de carga y la capacidad térmica, para esto se tomaron en cuenta las temperaturas de bulbo seco, humedad relativa, punto de rocío y temperatura ambiente; finalmente se determinaron aspectos como la correcta orientación, disposición y composición de los recubrimientos para poder optimizar el confort térmico interior.

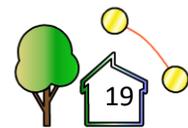
Revisando información sobre investigaciones realizadas en el mismo tipo de clima, en el año 2018 se desarrolló un trabajo denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA BIOCLIMÁTICA EN CLIMA CÁLIDO SECO, EN LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO” en el cual realizó un estudio térmico y energético para el análisis y obtención de un



prototipo de vivienda en clima cálido seco en el que se abordan estrategias ahorradoras de energía y confort térmico, así como de diseño para poder ofrecer una alternativa a la problemática actual en la vivienda económica. La investigación se llevó a cabo mediante la aplicación de encuestas a usuarios de las viviendas económicas de los fraccionamientos previamente identificados como determinadas características, con el objetivo de caracterizar este tipo de vivienda. Los periodos de aplicación de encuestas fueron los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre donde se midieron las condiciones ambientales de la casa. De esta investigación, los resultados nos ayudaron a identificar de manera general las características físicas de la vivienda económica en la ciudad de La Paz, el perfil de los usuarios que habitan en esta casa y la percepción de la vivienda. Finalmente se realizó una aplicación de criterios de diseño bioclimático buscando generar una vivienda tipo que englobe los parámetros adecuados para generar una vivienda ambientalmente adecuada, entre dichos parámetros se aplicaron: orientación, ubicación de ambientes, ventilación cruzada, materiales a emplear, sistema constructivo, sistemas pasivos, etc.

Pero sin dudas ejemplo más adecuado para nuestro contexto es la investigación realizada en el año 2011 “DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA LA CIUDAD DE SUCRE (BOLIVIA) ya que comparte muchas similitudes con el tipo de clima y el tipo de enfoque de proyecto en donde se realiza una aplicación de los diferentes diagramas bioclimáticos y una determinación de las estrategias de diseño arquitectónico más adecuadas para el tipo de clima de estepa seco y caliente propios de la ciudad de Sucre.

A pesar de ello no existe un estudio realizado para el tipo de clima de estepa seco y muy caluroso característico de las llanuras secas de la región del Gran Chaco, es por ello que esta investigación cumple con la generación del conocimiento adecuado para la concepción de edificaciones ambientalmente adecuadas para el lugar.



Definiciones Conceptuales

La investigación tomara conceptualmente los principios fundamentales de energía y confort térmico, así como los de la arquitectura bioclimática y su aprovechamiento de las condiciones climatológicas, del entorno natural y el empleo de materiales de construcción eficientes para crear espacios de vida cómodos para sus ocupantes y respetuosos con el medio ambiente y las variables que determinan su efectividad, también se apoyará en el marco de los diagramas de confort de Victor Olgyay y de Baruch Givoni empleados para el diseño de edificios eficientes y sostenibles. Todo esto como un marco para la teorización acerca de los parámetros más apropiados para concebir edificaciones ambientalmente adecuadas para la ciudad de Villa Montes.

La Energía

La energía es una magnitud física que asociamos con la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo mecánico, emitir luz, generar calor, frío, etc. En todas estas manifestaciones hay un sustrato común, al que llamamos energía, que es propio de cada cuerpo (o sistema material) según su estado físico-químico, y cuyo contenido varía cuando este estado se modifica. En física, la energía es uno de los conceptos básicos debido a su propiedad fundamental: la energía total de un sistema aislado se mantiene constante. Por tanto, en el universo no puede existir creación o desaparición de energía, sino transferencia de un sistema a otro o transformación de energía de una forma a otra.

La energía primordial que mantiene la vida en nuestro planeta proviene de la radiación solar, la que se transfiere al ecosistema transformándose en las muy variadas formas de energía que conocemos.

Clasificación de las Fuentes de Energía

Renovables: Son aquellas cuyo potencial es inagotable por provenir de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de otros planetas de nuestro sistema solar. Son la energía solar, eólica, hidráulica, mareomotriz y la biomasa.

Figura 2 Fuentes de Energía



FUENTE: <https://www.freepik.com/free-vector/isometric>

No Renovables: Son aquellas que existen en una cantidad limitada en la naturaleza. No se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes. Los más comunes son el carbón, petróleo, gas natural, uranio e hidrógeno (éstas utilizadas en fisión y fusión nuclear respectivamente).

Figura 3 No Renovables



FUENTE: <https://ecologia.facilísimo.com/blog/s/energias-renovables>

Por su Utilización: Según sea su utilización las fuentes de energía las podemos clasificar en primarias y secundarias. Las primarias son las que se obtienen directamente de la naturaleza, como ejemplo tenemos el carbón, petróleo, gas natural. Es una energía acumulada. Las secundarias, llamadas también útiles o finales, se obtienen a partir de las primarias mediante un proceso de transformación por medios técnicos. Es el caso de la electricidad o de los combustibles.

Energía Solar

El sol es una masa de materia gaseosa caliente que irradia a una temperatura efectiva de unos 6000°C. La energía solar es energía radiante producida en el sol como resultado de reacciones

nucleares de fusión. Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre.

En la Tierra la energía solar es el origen del ciclo del agua y del viento. El reino vegetal, del que depende el reino animal, también utiliza la energía solar transformándola en energía química a través de la fotosíntesis. Con excepción de la energía nuclear, de la energía geotérmica y de la energía mareomotriz (proveniente del movimiento del agua creado por las mareas), la energía solar es la fuente de todas las energías sobre la Tierra.

Gracias a diversos procesos, la energía solar se puede transformar en otra forma de energía útil para la actividad humana: en calor, en frío, en energía eléctrica o en biomasa. Por lo tanto, el término “energía solar” se utiliza con frecuencia, para describir la electricidad o el calor obtenidos a partir de ella. Las diversas técnicas para capturar directamente una parte de esta energía solar están disponibles en gran parte del mundo y están siendo mejoradas permanentemente con el objeto de sustituir la matriz energética actual basada en el petróleo.

Tipos de Energía Solar

Energía Solar Fotovoltaica: Se refiere a la electricidad producida por la transformación de una parte de la radiación solar con una célula fotoeléctrica, que es un componente electrónico que, expuesto a la luz (fotones) genera una tensión. Varias celdas están conectadas entre sí en un módulo solar fotovoltaico. Y después, varios módulos se agrupan para formar un sistema solar para uso individual o una planta de energía solar fotovoltaica, que suministra una red de distribución eléctrica.

Figura 4 *Energía*

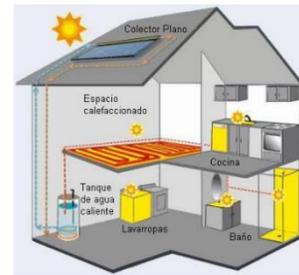
Fotovoltaica



FUENTE:
<https://www.pinterest.es/pin>

Energía Solar Térmica: Consiste en utilizar el calor de la radiación solar en diferentes formas: agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración solar, cocinas, secadores solares, etc. La energía solar termodinámica es una técnica que utiliza energía solar térmica para generar electricidad.

Figura 5 Energía Solar



FUENTE:
<https://gramaconsultores.wordpress.com/2011/11/24/energia-solar-termica>

Energía Solar Pasiva: El uso más antiguo de la energía solar consiste en beneficiarse del aporte directo de la radiación solar y es la llamada energía solar pasiva. Para que un edificio se beneficie con muy buena radiación solar, se debe tener en cuenta la energía solar en el diseño arquitectónico: fachadas dobles, orientación hacia el norte y superficies vidriadas, entre otros.

El aislamiento térmico desempeña un papel importante para optimizar la proporción del aporte solar pasivo en calefacción y en la iluminación de un edificio. Una casa o un edificio que posean energía solar pasiva estarán contribuyendo a un importante ahorro energético.

Figura 6 Energía Pasiva



FUENTE:
<https://icasasecologicas.com/casas-pasivas-frio-o-calor>

Bioclimática-co

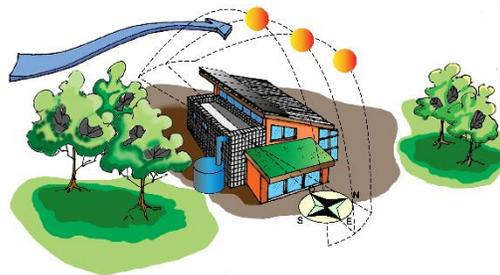
“La palabra bioclimática intenta recoger el interés que tiene la respuesta del hombre, el BIOS, como usuario de la arquitectura, frente al ambiente exterior y el clima, afectando ambos al mismo tiempo la forma arquitectónica. Por tanto, se trata de optimizar la relación hombre-clima mediante la forma arquitectónica”.⁹

⁹ Cubasolar, González, D., Apuntes sobre Arquitectura Bioclimática, 2008.

Arquitectura Bioclimática

La arquitectura bioclimática es la que se centra en el diseño y construcción de edificios tomando en cuenta las condiciones climáticas de la región o país en que se está construyendo, y se enfoca, además, en el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles (sol, vegetación, lluvia, viento) para disminuir en lo posible el impacto ambiental generado por la construcción y el consumo de energía.¹⁰

Figura 7 *Arquitectura Bioclimática*



FUENTE: <https://casambiental.com.ar/descubre-la-eficiencia-y-sostenibilidad-de-la-arquitectura-bioclimatica>

Los principios para el diseño de la arquitectura bioclimática son:

El entorno climático.

El entorno físico.

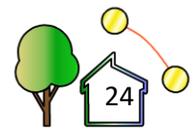
La forma, orientación y distribución del edificio.

Los cerramientos, el aislamiento y la inercia térmica.

El Entorno Climático

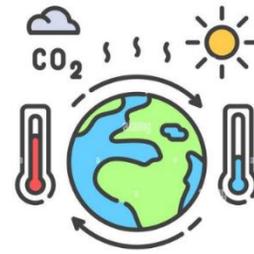
El entorno climático se refiere al conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región durante un período de tiempo determinado. Estas condiciones son determinadas por una serie de variables climáticas, que son los fenómenos atmosféricos o propiedades de la atmósfera que determinan el clima de un lugar durante un periodo de tiempo representativo:

¹⁰ Saint Gobain, ¿QUÉ ES LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y POR QUÉ ES TAN IMPORTANTE PARA SAINT-GOBAIN?, extraído de: Ovacen.com, Construmatica.com.



- Temperatura.
- Humedad Relativa.
- Precipitaciones.
- Viento.
- Radiación solar.

Figura 8 Entorno Climático



FUENTE:
<https://www.alamy.com/climate-change-color-line-icon->

Además, existen componentes abióticos como la topografía y el suelo que también influyen en el ambiente, por ejemplo, la altitud, la orientación de las laderas y la composición del suelo pueden afectar las condiciones climáticas de una región.

El Entorno Físico

El entorno físico, también conocido como medio ambiente físico, se refiere al conjunto de elementos materiales y tangibles que nos rodean y que influyen directa o indirectamente en nuestro desarrollo y supervivencia. Está directamente relacionado

Figura 9 Entorno Físico



FUENTE: <https://www.pinterest.es/pin>

al entorno climático y se refiere al emplazamiento del proyecto arquitectónico bioclimático. Los principales factores son:

Altitud: La temperatura atmosférica disminuye entre 0.5° a 1° C cada 100 metros.

Distancia del mar (o masas de agua): Regulador térmico, eleva nivel de humedad y crea regímenes especiales de vientos.

Orografía: Los lugares más elevados tienen más ventilación, más radiación solar y tienen menos humedad que los valles y depresiones.

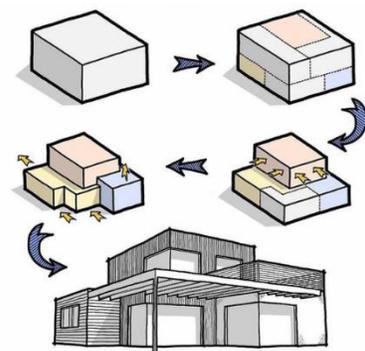
Proximidad a vegetación: Por acción del viento, hace de regulador térmico, y actúa como filtro de polvo y contaminantes.

Emplazamientos urbanos: Presencia de microclimas, con aumento de temperatura y contaminación, posibles obstrucciones al sol por las edificaciones.

La Forma del Edificio

La forma del edificio interviene de forma directa con el aprovechamiento climático del entorno, esto a través de dos elementos básicos: la superficie (piel del edificio) que tiene que ver con los intercambios de calor entre el exterior e interior; y el volumen, que está relacionado directamente con la capacidad de almacenar energía: a más volumen, más capacidad para almacenar calor.

Figura 10 *Forma del Edificio*

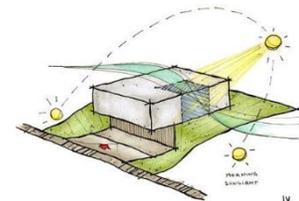


FUENTE: <https://www.pinterest.es/pin>

La Orientación del Edificio

La orientación del edificio determina su exposición al sol y a los vientos; siendo importante determinar las ventajas y desventajas de una determinada orientación para aprovechar las ventajas o mitigar los problemas del sol y vientos.

Figura 11 *Orientación*



FUENTE: <https://www.archdaily.cl/cl/886961/casa-cumaru-raffo-arquitectura>

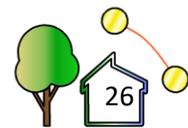
La Función Principal de los Cerramientos

La función principal de los cerramientos es mantener las condiciones interiores que son independientes de las exteriores. Una forma de conseguir esto, es a través de los materiales que disminuyan el intercambio de calor entre el interior y el exterior, de

Figura 12 *Cerramientos*



FUENTE: <https://pedrojherandez.com/2014/03/08/la-transmision-del-calor>



tal manera que sean los muros que funcionen como aislantes térmicos debido a:

- Grosor del material.
- Las dimensiones de los cerramientos.
- Las propiedades termo físicas de los materiales que los componen.

Este intercambio de calor se produce a través de la envolvente térmica del edificio, que incluye todos los cerramientos opacos, huecos y puentes térmicos.

Existen tres formas principales de transferencia de calor:

Conducción: Es el paso del calor por contacto directo entre un cuerpo y otro.

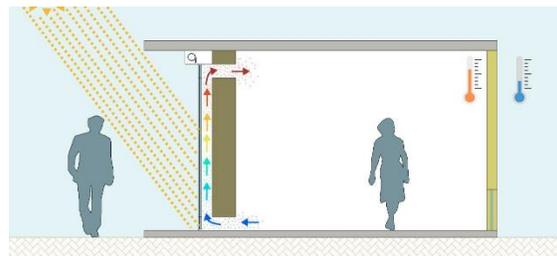
Radiación: Es la emisión de energía desde la superficie de un cuerpo.

Convección: Se refiere a la transferencia de calor en gases y líquidos, al mezclarse partes de diferente temperatura.

La Masa térmica

La masa térmica de un edificio tiene la capacidad de almacenar energía en forma de calor, ésta puede ser liberada nuevamente al ambiente, cuando la temperatura del entorno es menor a la temperatura de los materiales; la capacidad de poder hacer esto es la inercia térmica.

Figura 13 Masa Térmica de un Edificio



FUENTE:
<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=fwIdRKwiOD4>

Sistemas Solares Pasivos

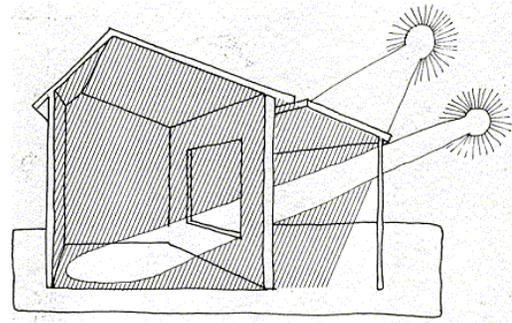
Un sistema solar pasivo es aquel que utiliza parte de la energía solar que llega a la envoltura exterior de un edificio, la recoge, la convierte en calor, la acumula y entonces cuando es necesario, la distribuye por el interior, todo ello son instalaciones bombas o ventiladores que necesiten

combustibles fósiles. Estas funciones las llevan a cabo diversas partes del edificio que también cumplen otras funciones tales como: cerramiento, iluminación, etc.

Tipos de Sistemas Solares Pasivos

Ganancia directa de Calor: Esta es la solución más simple. La radiación solar penetra directamente en los espacios habitados a través de las superficies acristaladas, donde es recogido y acumulado gracias a la capacidad térmica de los suelos y las paredes. Una ventana representa el ejemplo más sencillo de este sistema.

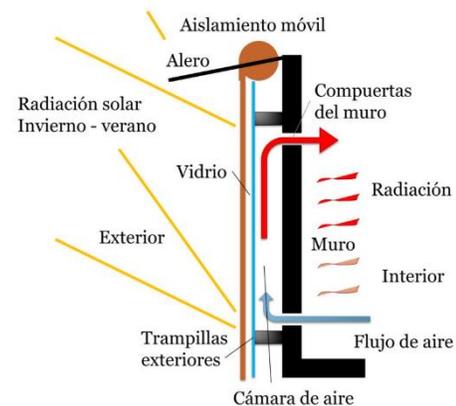
Figura 14 Ganancia Solar Directa



FUENTE:
http://www.arquinstal.com.ar/eficiencia/ure_esso/ure.html

Ganancia Indirecta de Calor: La ganancia indirecta se produce cuando la luz solar incide sobre una superficie alternativa, se absorbe, se convierte en energía térmica y luego se transfiere al espacio; un ejemplo típico es el llamado “Muro Trombe” (creada por Félix Trombe), es un colector de calor compuesto por un muro macizo (de hormigón o mampostería) que actúa como colector.

Figura 15 Ganancia Indirecta



FUENTE:
<https://angelsinocencio.com/diferencias-entre-un-muro-trombe-y-parietodinamico>

Ganancia Aislada de Calor: La ganancia aislada implica la captura pasiva del calor del Sol, para posteriormente transportarlo dentro o fuera de la vivienda usando para ello un líquido o aire, un ejemplo típico que sigue este esquema es la adición de un invernadero en un lateral del edificio. La radiación es

Figura 16 Ganancia Aislada



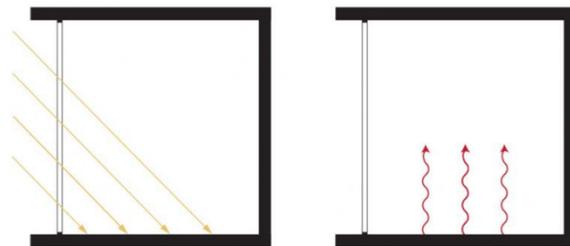
FUENTE: <https://www.warmup.es/blog/que-es-la-ganancia-solar-pros-y-contras>

capturada y almacenada en un espacio separado de la zona habitada. Este invernadero puede funcionar como una zona de estar añadida además de utilizarse para vegetación.

El Vidrio: La importancia del vidrio en la determinación del comportamiento energético de un edificio se define principalmente por su reacción a la energía radiante. El vidrio funciona como una especie de válvula: deja pasar la radiación solar, pero impide, al menos parcialmente, la salida de la radiación reflejada.

El nivel de intercambio de calor debido al diferencial de temperatura entre el aire interno y el externo es alto, especialmente debido al poco espesor de las hojas de vidrio. Por ejemplo, una hoja de vidrio, siendo las condiciones de

temperatura iguales, deja pasar 5 a 10 veces más calor que un muro de mampostería opaco con un aislamiento medio. La conveniencia de utilizar superficies acristaladas en vez de opacas debe evaluarse por caso, desde el punto de vista del equilibrio entre las ganancias y las pérdidas.



Img.1. Sistema de ganancia directa durante el día y noche.

FUENTE: <https://www.alvaroruiarquitectura.com/sistemas-solares-pasivos-para-climatizacion>

Enfriamiento Pasivo

Los métodos de enfriamiento pasivo en arquitectura bioclimática consisten en estrategias y técnicas que aprovechan las condiciones naturales para reducir la temperatura en los espacios interiores sin necesidad de sistemas mecánicos, algunos de ellos

Figura 18 Enfriamiento Pasivo



FUENTE: <https://gramaconsultores.wordpress.com/2014/11/12/sistemas-de-refrigeracion-pasiva>

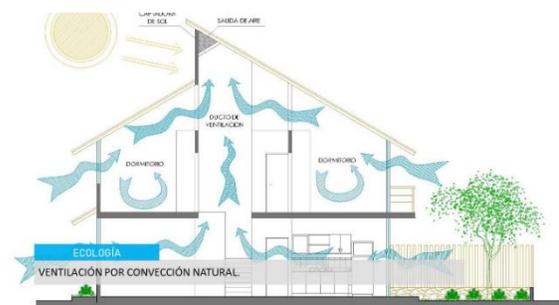
tales como los patios interiores, la “arquitectura enterrada”, elementos constructivos para proteger de la radiación solar, cubiertas vegetales, refrigeración por evaporación, etc.

Ventilación Natural

El intercambio de calor entre el edificio y el aire que lo rodea depende, entre otras cosas, de la velocidad del aire. En el sentido de que, mientras mayor sea la velocidad del aire mayor será el intercambio de calor. En consecuencia, cuando queramos eliminar calor de un edificio, debemos facilitar la penetración del viento, mientras que **Figura 19 Ventilación Natural**

tendremos que protegerlo de los vientos cuando queramos contener la dispersión del calor.

El movimiento del aire facilita los intercambios por convección en función de la superficie de la envoltura, y también los intercambios debidos a la infiltración y a la ventilación.



Cuando el viento golpea la fachada de un

FUENTE: https://arqzon.com.mx/2021/04/07/ventilacion-por-conveccion-natural/#google_vignette

edificio produce un incremento de la presión del aire, mientras que en la fachada situada a sotavento (la cual está protegida del viento) se produce una reducción de la presión; por ello se ocasiona un movimiento de aire de un lado del edificio a otro a través de las aberturas y grietas.

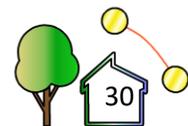
Confort Térmico

Figura 20 Confort Térmico

El confort térmico se define como la condición en la que el usuario siente satisfacción respecto al ambiente térmico en el que está. La forma en que las personas responden al ambiente térmico depende de la temperatura del aire, de las temperaturas de los cerramientos del local, de la velocidad



FUENTE: <https://www.pinterest.es/pin>



del aire y de su humedad, además de depender del vestido y de la actividad que desarrollan.

El confort térmico se define en la norma ISO 773 como “esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Una definición en que la mayoría de las personas puede estar de acuerdo, pero también es una definición que no se traslada fácilmente a parámetros físicos.

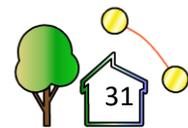
El confort térmico se produce cuando se dan al mismo tiempo las 2 condiciones siguientes:

- La cantidad de calor producida por el metabolismo es igual a la cantidad de calor cedida al ambiente. En reposo absoluto y estado de comodidad, la producción mínima de calor en el cuerpo humano es de 70 kcal/h (1 kcal/h por Kg de peso), 80 Kcal/h sentado en un trabajo normal de oficina, 200 Kcal/h caminando despacio, 500 Kcal/h corriendo, con trabajo duro hasta 600 kcal/h.
- En ninguna parte del cuerpo se percibe sensación de frío o calor.

Todos estos elementos se integran con instrumentos de análisis y de síntesis, como los diagramas solares estereográficos, análisis de geometría solar, diagramas bioclimáticos (elementos gráficos de trabajo) y un software de apoyo; estos instrumentos permiten realizar con mayor certeza las apreciaciones del lugar de estudio.

Propiedades Térmicas de los Materiales de Construcción

- **Conductividad térmica:** Mide la capacidad de un material para conducir el calor. Los materiales con alta conductividad térmica, como los metales, permiten el paso rápido del calor, mientras que los materiales con baja conductividad, como los aislantes, lo retienen.



- **Resistencia térmica:** Es la capacidad de un material para resistir el flujo de calor. Se calcula dividiendo el espesor del material entre su conductividad térmica. Un material con alta resistencia térmica actúa como un buen aislante.
- **Inercia térmica:** Indica la capacidad de un material para mantener una temperatura constante a pesar de las fluctuaciones térmicas externas. Los materiales con alta inercia térmica, como el concreto, pueden absorber y liberar calor lentamente.
- **Difusividad térmica:** Relaciona la conductividad térmica con la capacidad calorífica y la densidad del material. Un material con alta difusividad térmica se calienta y enfría rápidamente.
- **Capacidad calorífica:** Es la cantidad de calor que un material puede almacenar por unidad de masa. Los materiales con alta capacidad calorífica pueden absorber más calor sin aumentar mucho su temperatura.
- **Efusividad térmica:** Mide la capacidad de un material para intercambiar calor con su entorno. Es importante para evaluar cómo un material se siente al tacto y su capacidad para absorber o liberar calor.

Diagramas Estereográficos

Un diagrama solar estereográfico es una representación gráfica que proyecta el movimiento del sol en una superficie esférica. En este diagrama, las trayectorias solares son sectores de circunferencias y es muy útil para el estudio de espacios abiertos exteriores y para entender cómo la posición del sol cambia a lo largo del día y del año. En el diagrama, se supone que el lugar de interés se ubica en el centro del mismo y la trayectoria solar se sitúa en el sur.

Geometría Solar

La geometría solar es un campo de estudio que se ocupa de la posición y el movimiento del sol en relación con la Tierra. En la arquitectura bioclimática, la geometría solar permite determinar los ángulos de incidencia solares sobre las superficies y volúmenes de un edificio.

Diagramas Bioclimáticos

Permiten comprobar a la vez, las exigencias humanas, el clima local y la respuesta cualitativa de la solución arquitectónica, brindando estrategias para el proyectista de modo que se pueda comenzar a desarrollar el proyecto con claridad para las soluciones de confort.

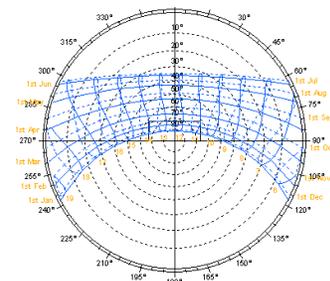
Ya que el objetivo de la arquitectura bioclimática es el hacer que las diferencias de temperaturas en el interior del edificio, a lo largo del año, estén dentro de un rango (denominado confort térmico) sin la intervención de sistemas mecánicos, adquiere gran importancia el diseño, es decir, cómo será la piel de la edificación, de que materiales está conformado, cómo es la orientación, cómo son los vanos.

Con esas consideraciones se puede conseguir que los componentes que forman la piel o envolvente del edificio puedan tener la captación, acumulación y distribución de la energía solar necesaria para desarrollar arquitectura bioclimáticamente resuelta.

Los diagramas bioclimáticos elementales empleados son los ya mencionados:

- Diagrama de Olgyay
- Diagrama de Givoni
- Tablas de Mahoney

Figura 21 Carta Solar



FUENTE:
https://seslab.org/fotovoltaico/52_diagramas_estereograficos.html

Antecedentes Históricos

El Bioclimatismo en los Orígenes

Para poder entender la importancia que tiene el bioclimatismo en la arquitectura y en nuestras vidas es necesario volver atrás, a los orígenes, donde la influencia del sol siempre ha sido un factor determinante; ejemplo de esto es el observatorio de Stonehenge (3100 a. C.)¹¹, un antiguo monumento ubicado en Gran Bretaña, y en el cual durante el solsticio de verano el sol sale detrás de la piedra Heel, y los rayos se ven en el centro del círculo, por lo que se cree que podría haber sido un calendario solar¹², aunque también se sugiere que podría haber tenido la función de un templo ceremonial y religioso, aunque todavía no se sabe con exactitud¹³; lo que es irrefutable es su relación directa con el sol.

Figura 22 *Origen del Bioclimatismo*



Nota: Maqueta del recorrido del sol en el solsticio de invierno en Stonehenge, donde el sol al mediodía alcanza su menor altitud por encima del horizonte. Exposición del Sol en Cosmo Caixa Barcelona 2022 (Isabel Troytiño)

Posturas de autores griegos

En el año (523 a 456 a.C.) el dramaturgo **Esquilo** acuso: “*Los primitivos y bárbaros no tienen conocimiento de las casas que se orientan hacia el sol, como un enjambre de hormigas que habitan en las cavidades sin sol.*” Para él, hace 2500 años atrás, orientar las casas hacia el sur era una señal de modernidad. Medio siglo después, en la antigua Grecia, **Sócrates** (470 a 399 a.C.), fue el primero en anticipar como debían diseñarse las casas (siglo V a.C.) defendía conceptos tales como “*(...) en las casas orientadas al sur, el sol penetra por el pórtico en invierno, mientras que*

¹¹ Pedro Hernández, Arquitectura eficiente, *Antecedentes históricos de la Arquitectura bioclimática*, marzo del 2014.

¹² Reporte Índigo, *¿Es un enorme calendario solar? Esta es la relación de Stonehenge con el solsticio de verano*, junio del 2022.

¹³ Encuentra el Significado, *Stonehenge: ¿Qué significa y cuál es su historia?*,

en verano el arco solar descrito se eleva sobre nuestras cabezas y por encima del tejado, de manera que hay sombra...”, “(...) es más agradable tener la casa fresca en verano y cálida en invierno” (palabras recogidas por el historiador Jenofonte) defendiendo así una forma de construir que tenía en cuenta la incidencia del sol en casas orientadas hacia el sur y en casas orientadas hacia el norte, además del viento. Así, recomendaba que las casas orientadas al norte no fueran de demasiada altura, para evitar los vientos de tramontana. Más tarde, **Aristóteles** (384 a 322 a. C.) defendería también similares principios básicos de la arquitectura al afirmar que *“resguardarse del frío norte y aprovechar el calor del sol es una forma moderna y civilizada”*.¹⁴

Figura 23 Antigua Casa Griega



Principios Bioclimáticos de Vitruvio

En el siglo (I a.C.), el ingeniero arquitecto romano **Vitruvio** adoptó las

Reconstrucción de casa griega. Fuente:
<https://procomo.es/es/blog/los-indicios-de-la-arquitectura-bioclimatica-en-la-antiguedad/>

ideas de los griegos y busco optimizarlas; en su obra VI *Architectura* desglosó los que fueron los “principios de arquitectura bioclimática “que se utilizarían a lo largo del territorio del Imperio Romano, resaltando la importancia de tener en cuenta la ubicación y la comunión del hombre con su entorno: *“tomar buena nota de los países y climas donde vamos a construir, una casa apropiada para Egipto no lo es para Roma”, “Los edificios privados estarán correctamente ubicados si se tiene en cuenta, en primer lugar, la latitud y la orientación donde van a levantarse”;*

¹⁴ PROCOMO, *Qué es la arquitectura bioclimática y ejemplos de la Antigüedad*, junio del 2019.

defendiendo que los edificios de los territorios del norte debían orientarse siempre hacia el sur para aprovechar mejor el calor, y tener la cubierta abovedada. Por el contrario, en zonas sureñas, recomendaba diseñar edificios abiertos y orientarlos hacia el noroeste: *“Por medio del arte se deben paliar las incomodidades que provoca la misma naturaleza. De igual modo se irán adaptando las construcciones en otras regiones, siempre en relación con sus climas diversos y con su latitud”*.¹⁵

Figura 24 Antigua ciudad de Roma y sus viviendas.



Ciudad romana de Baelo Claudia, en Cádiz. - Reconstrucción de una casa típica en los asentamientos y ciudades en las provincias del noroeste del Imperio Romano. Fuente://procomo.es/es/blog/los-indicios-de-la-arquitectura-bioclimatica-en-la-antiguedad

Antecedentes Orientales

Miles de años antes, lejos del mundo occidental, los astrónomos chinos estudiaron la posición del sol durante un año, y aprendieron a optimizar sus edificios en relación con el astro. La necesidad de calor en invierno y bien de sombra en verano los llevó a construir casas con una fachada larga orientada hacia el sol, pero

Figura 25 Antiguo Palacio Oriental



Reconstrucción de un Palacio Erlitou, Provincia de Henan, China, 1500 a.C. aprox. FUENTE: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/quien-invento-la-arquitectura-bioclimatica>

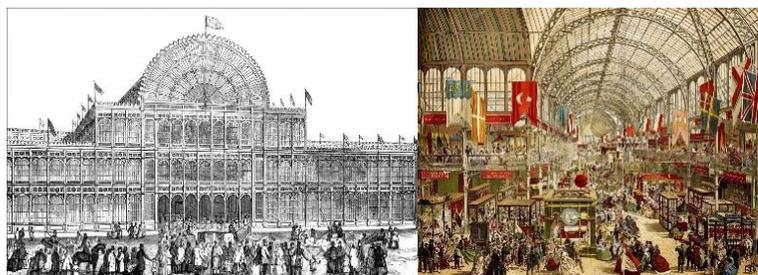
15 Arq. María Blender, Arquitectura y Energía, *¿Quién inventó la arquitectura bioclimática?*, mayo del 2015.

protegida por un alero, tal como se ve en la reconstrucción de un palacio chino del 2do milenio antes de Cristo.¹⁶

Antecedentes Siglo XIX

Si hablamos de arquitectura más cercana en el tiempo podemos encontrar los “grandes invernaderos”, como el Palacio de Cristal de Londres de Joseph Paxton dedicado a albergar la exposición de 1851. Para su ejecución se utilizaron materiales como el cristal y el metal, mejorando el confort interior en el caso del vidrio y mejorando la resistencia y durabilidad de las edificaciones mediante el uso de estructuras metálicas. que eran nuevos materiales alejados del uso generalizado por aquel entonces del ladrillo como material destinado a las grandes edificaciones. Este edificio supuso un cambio en la arquitectura mundial que comenzó a incluir estos materiales en las nuevas edificaciones como solución a una óptima iluminación.¹⁷

Figura 26 Antecedentes del siglo XIX



Fachada principal original del Crystal Palace – Vista interior. FUENTE: <https://www.metalocus.es/es/noticias/el-primer-gigante-de-hierro-y-cristal-crystal-palace-por-joseph-paxton>

Aporte Bioclimático de Le Corbusier

Ya en el siglo XX, durante los años 30, **Le Corbusier**, arquitecto de gran relevancia en la arquitectura moderna, comenzó un periodo de investigación de los efectos de la luz solar y la

¹⁶ Arq. María Blender, Arquitectura y Energía, *¿Quién inventó la arquitectura bioclimática?*, mayo del 2015.

¹⁷ Pedro Hernández, Arquitectura eficiente, *Antecedentes históricos de la Arquitectura bioclimática*, marzo del 2014.

relación de la arquitectura con su entorno, donde aportó en el desarrollo de “Epure du soleil” en el año 1951, gráficos que anticiparían los manuales clásicos de **Olgay y Givoni**; también defendió principios que bien podrían ser los cimientos de la arquitectura bioclimática: “*el sol, la vegetación y el espacio son las tres materias primas del urbanismo*” afirmaba en el manifiesto urbanístico de “La Carta de Atenas” de 1933, publicado posteriormente en el año 1942.¹⁸

En mayor o menor medida, los principios en los que se fundamenta la arquitectura bioclimática tales como el aprovechamiento de la alta inercia térmica de la tierra y su temperatura estable han influenciado la arquitectura a lo largo de su historia, dando pie a que grandes arquitectos de la arquitectura orgánica hayan optado por soluciones que combinen la captación de la radiación solar con una arquitectura semienterrada, entre todas las obras cabe

Figura 27 Casa de Le

Corbusier



Casa Herbert Jacobs 2 – Hemiciclo solar. FUENTE: <https://twitter.com/oscarjosegm>

destacar el “Hemiciclo Solar” (1944), obra del arquitecto **Frank Lloyd Wright**.

Defendió que sus viviendas “*debían ser parte de la naturaleza y crecer desde el suelo hasta la luz*”, así queda reflejado en su obra y en concreto en su libro “The Natur House” donde promovía “una integración tanto en el lugar, en el entorno como en la vida de sus habitantes”. Es un ejemplo de adaptación al entorno (condiciones extremas de frío), utilización de materiales de la zona, eficiencia térmica y luz natural.

La mayoría de arquitectos bioclimáticos en la actualidad se nutren de las enseñanzas de estos arquitectos, desarrollando otro tipo de herramientas adaptadas al tipo de proyecto, formando parte de la nueva corriente arquitectónica denominada también como arquitectura sostenible.

¹⁸ Pedro Hernández, Arquitectura eficiente, *Antecedentes históricos de la Arquitectura bioclimática*, marzo del 2014.

Uno de los representantes modernos es **Sim Van der Ryn**, arquitecto estadounidense que ha desarrollado proyectos que incorporan estrategias pasivas de climatización, y el uso de materiales ecológicos mostrando que los edificios no son objetos sino organismos, y que las

Figura 28 *Centro de Vida Solar Real*

Goods



FUENTE: <http://simvanderryn.com/sim-architect>

ciudades no son máquinas sino ecosistemas complejos¹⁹. Con el tiempo se ha tratado de definir a la arquitectura bioclimática bajo otros términos como diseño ambiental, eco diseño, diseño natural, biodiseño, entre otros, pero en esencia, tienen el mismo fin de establecer una relación entre el hombre, la naturaleza y la arquitectura

Arquitectura Vernácula

Figura 29 *Arquitectura Vernácula*



Casas de bambú tejido en Etiopía. FUENTE: <https://weareshifta.com/7-ejemplos-de-arquitectura-vernacula-sostenible>

Por otra parte, es importante destacar los aportes de la denominada “Arquitectura Vernácula”, expresión que surge a mediados del siglo XIX para describir los estilos y técnicas de construcción tradicionales y autóctonos de las distintas regiones²⁰. Su origen lo estableció el sacerdote y escritor **William Gilpin** en 1748 en el libro “*Un diálogo sobre los jardines*” donde se hace la primera defensa de la

arquitectura tradicional. El termino se origina en lo “*vernaculus*”, (doméstico), se vincula al lugar

¹⁹ India, Conciencia Eco, *Los Arquitectos Bioclimáticos que Están Revolucionando el Diseño de Edificios*, mayo 2023

²⁰ María Quintero, QUE ES, *¿Qué es la arquitectura vernácula? - Origen, características, beneficios e impacto*. Septiembre del 2023.

donde se ubica, y se caracteriza por que al momento de proyectar se fija en las condiciones climatológicas, y en la historia, las costumbres, los aspectos biológicos, culturales y sociales, así como en los medios de producción de su ámbito, por lo que su aplicación podría definirse como atemporal.²¹

MARCO REAL

Análisis del Área de Influencia

Ubicación Dentro del Municipio

El principal centro urbano del municipio es la ciudad de Villa Montes, la cual fue creada por Ordenanza Municipal N.º 26/2.000, aprobada con una extensión total de 2.167,55 hectáreas.

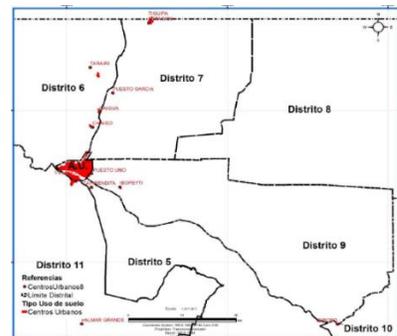
La ciudad está situada entre las laderas de la Serranía del Aguaragüe y las llanuras, lo que incluye también un paso por el pie de montaña, y se encuentra a 388 m sobre el nivel del mar, en la banda izquierda del río Pilcomayo que cruza la Serranía y baja hacia el sudeste rumbo a la planicie del Gran Chaco, y a su vez es atravesada por la quebrada Caiguamí que vierte sus aguas al río Pilcomayo.

Figura 30 *Arquitectura Vernácula 2*



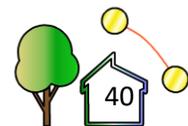
Rascacielos de adobe en Sana'a (Yemen). FUENTE: <https://weareshifta.com/7-ejemplos-de-arquitectura-vernacula-sostenible>

Figura 31 *Ubicación de la ciudad de Villa Montes*



FUENTE: PTDI, Plan Territorial de Desarrollo Integral Para Vivir Bien - Municipio de Villamontes, 2021 – 2025

²¹ Carlos Guillermo Vargas Febres, *Arquitectura y Urbanismo, Reflexiones sobre arquitectura vernácula, tradicional, popular o rural*, enero del 2021.



Villa Montes como principal centro urbano se constituye en el centro motor del desarrollo económico y social de la región del Chaco Tarijeño, porque está favorecida por su estratégica

Figura 32 Centro Urbano de Villamontes



FUENTE: PTDI, Plan Territorial de Desarrollo Integral Para Vivir Bien - Municipio de Villa Montes, 2021 – 2025

ubicación a los márgenes del río Pilcomayo y al pie de la serranía del Aguaragüe; en ella habita el 74,1% de la población del municipio; asimismo, en ella tienen sus actividades importantes, instituciones públicas como el Gobierno Municipal, la Gobernación Regional, la Dirección Distrital de Educación, la Universidad Juan Misael Saracho, YPFB, SENASAG Policía Boliviana, Ejército y otros; también el sector privado está presente con instituciones financieras, medios de comunicación, tiendas de insumos agropecuarios, servicios de Hotelería y otros.

Organización Territorial

La ciudad de Villa Montes fue homologada el año 2000 y cuenta con 19 distritos urbanos y 23 barrios. Para más detalles del plano general del área urbana, consulte el Anexo B.

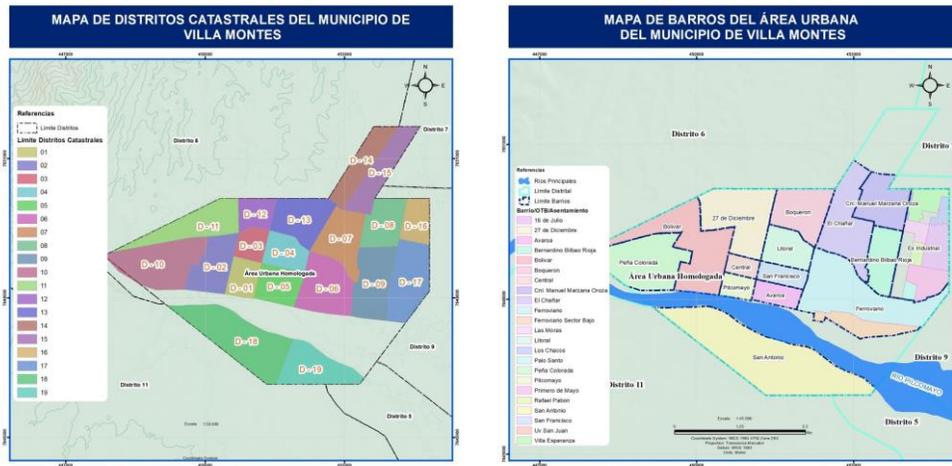
Figura 33

Organización territorial de los distritos urbanos

Distritos urbanos	Comunidades/Barrios
Distrito 1	Central, Pilcomayo
Distrito 2	Bolívar
Distrito 3	27 de Diciembre
Distrito 4	Litoral
Distrito 5	San Francisco, Avaroa
Distrito 6	Ferrovio
Distrito 7	El Chañar
Distrito 8	Bernardino Bilbao Rioja, Las Moras, Villa Esperanza
Distrito 9	Bernardino Bilbao Rioja, Ferrovio
Distrito 10	Peña Colorada y Bolívar
Distrito 11	27 de Diciembre y Bolívar
Distrito 12	27 de Diciembre
Distrito 13	Boquerón
Distrito 14	El Chañar
Distrito 15	El Chañar
Distrito 16	(Ex Zona Industrial) Villa Esperanza, Urbanización San Juan, Los Chacos, 16 de Julio, Las Moras
Distrito 17	(Ex Zona Industrial) Las Moras, Rafael Pabon, 16 de Julio, 1ro de Mayo, Palo Santo, Ferrovio
Distrito 18	San Antonio
Distrito 19	San Antonio

FUENTE: PTDI, Plan Territorial de Desarrollo Integral Para Vivir Bien - Municipio de Villa Montes, 2021 – 2025

Figura 34 *Distritos y Barrios de la Ciudad de Villa Montes*



FUENTE: PTDI, Plan Territorial de Desarrollo Integral Para Vivir Bien - Municipio de Villa Montes, 2021 – 2025

Uso de Suelo Urbano

En el perímetro del radio urbano del centro poblado de Villa Montes, se encuentra los siguientes usos de suelo, de acuerdo a un orden correlativo de la superficie ocupada: **1)** Uso residencial (predio) que representan el 35,5%, **2)** Vías con el 20,5%, **3)** Áreas de uso productivo con el 15,9%, **4)** Cursos y fuentes de agua con el 11,1% que representan a los elementos naturales como el río Pilcomayo que pasa por la parte Sur del centro urbano y la quebrada Caiguami, **5)** Áreas de protección con el 7,7%, designadas como franjas de protección del río Pilcomayo o servidumbres de los gasoductos, **6)** Equipamientos con el 5,9%, **7)** Áreas verdes, deportivo y de recreación con el 2,8%, **8)** Infraestructura de la industria con sólo 0,6% del total.

Figura 35 *Uso de suelo Urbano*

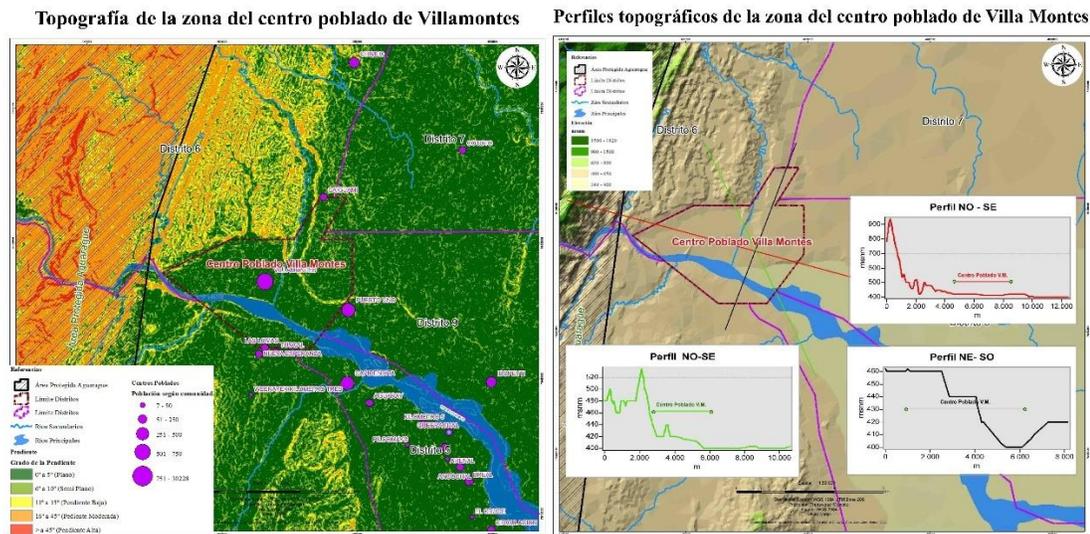


FUENTE: PTDI, Plan Territorial de Desarrollo Integral Para Vivir Bien - Municipio de Villa Montes, 2021 – 2025

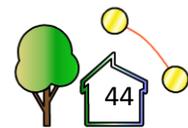
Características Topográficas

La zona del centro poblado de Villa Montes, se encuentra entre la cota 340 m.s.n.m. y 650 m.s.n.m. donde la pendiente es plana y semi plana, además que la presencia de la quebrada Caiguaimi donde se puede observar que tiene una mayor pendiente según el grafico del perfil NO-SE, y el río Pilcomayo el cual cuenta con una pendiente entre baja y moderada, también existe la presencia de un área protegida como es el Aguarague, en el cual cuenta con una superficie de 108,307 hectáreas; el cual comienza desde la cota 650 m.s.n.m. hasta 1920 m.s.n.m., desde la cota 900 m.s.n.m. para adelante se considera como Parque Nacional y de la cota 900 m.s.n.m. como área de manejo integrado.

Figura 36 Topografía en la ciudad de Villa Montes



FUENTE: Informe Técnico Urbano de Delimitación del Área Urbana del Municipio de Villa Montes



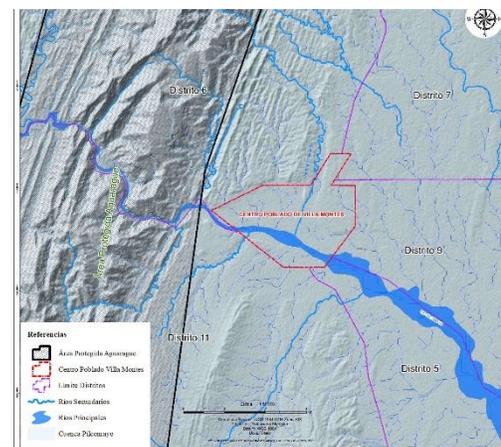
Zona Pie de Monte, formada en las estribaciones de la serranía del Aguaragüe, con relieve variable, pendientes elevada, de donde bajan diferentes ríos y quebradas. Presenta diferentes grados de disección, desde colinas denudativas, terrazas y llanuras deposicionales, formadas por sedimentos como areniscas, arcillitas y limolitas del terciario. Los suelos son mayormente profundos a muy profundos con poca pedregosidad superficial, con texturas medias a finas, con drenaje superficial mayormente rápido.

La zona de las serranías y colinas, desde la serranía del Aguaragüe hacia el oeste, se constituye de serranías con dirección norte-sur. La litología se constituye de areniscas, lutitas y arcillitas; las pendientes generalmente son bastante inclinadas, llegando a pendientes de mayor a 45° pero también contiene valles de menor pendiente, sobre todo en el extremo oeste. Los suelos son bien drenados en las pendientes, y profundos en los valles.

Características Hidrográficas

El centro poblado de Villa Montes, se encuentra dentro la cuenca “Río Pilcomayo Bajo” este nombre a escala municipal, a nivel internacional se encuentra dentro la “Cuenca de la Plata”, la cual tiene como río principal el Río Pilcomayo. Las quebradas nacientes de las serranías y área protegida Aguarague, desembocan la mayoría sus pequeños al Río Pilcomayo.

Figura 38 *Hidrografía Villamontes*



FUENTE: Informe Técnico Urbano de Delimitación del Área Urbana del Municipio de Villa Montes



Clasificación Climática de Villamontes según Wladimir Köppen

Existen diversos métodos de clasificación climática, sin embargo, el más usado mundialmente es el propuesto por el Dr. Wladimir Köppen (1918) ya que se basa en la vegetación (los principales grupos de plantas superiores), Köppen trató de interrelacionar las fronteras vegetales con las climáticas. De esta forma se puede considerar como una clasificación “bioclimática”, ya que relaciona la vida (vegetal) con las condiciones del clima.

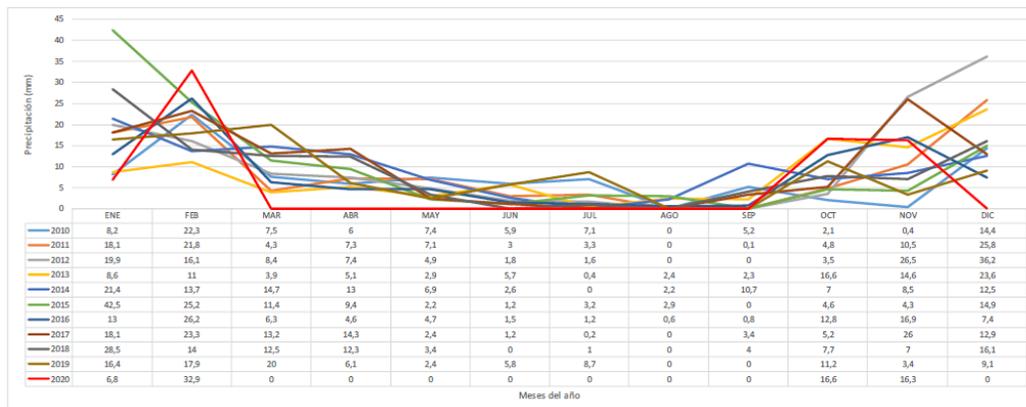
Wladimir Köppen propone una clasificación climática en la que se tiene en cuenta tanto las variaciones de temperatura y humedad como las medias de los meses más cálidos o fríos, y lo más importante, hace hincapié en las consecuencias bioclimáticas.

Según Köppen, Villamontes pertenece al grupo de clima B inciso C de climas secos, cálidos y húmedos de estepa con invierno seco y muy caliente (BSwh’) característico de las llanuras secas del Chaco y la parte central del departamento de Santa Cruz, con inviernos secos muy calientes, donde la temperatura es mayor a 25° C y 30° C, pero cuando soplan los vientos provenientes del sur, la temperatura baja hasta menos de 2° C.

Características Climatológicas

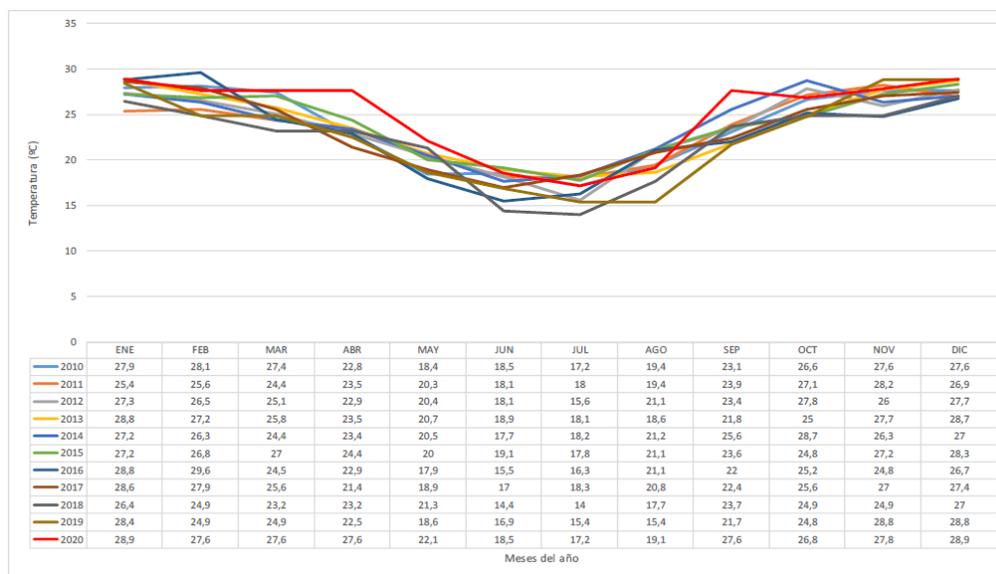
Precipitación por Años del Centro Poblado de Villa Montes: La precipitación pluvial media anual es de 72,6 mm según dato del año 2020, Por una parte, los antecedentes climatológicos según años muestran que las precipitaciones elevadas en su mayoría comienzan desde los meses de octubre hasta diciembre, y las precipitaciones más bajas en los meses de julio y agosto.

Tabla 3 Precipitación por Años del Centro Poblado de Villa Montes



FUENTE: Informe Técnico Urbano de Delimitación del Área Urbana del Municipio de Villamontes

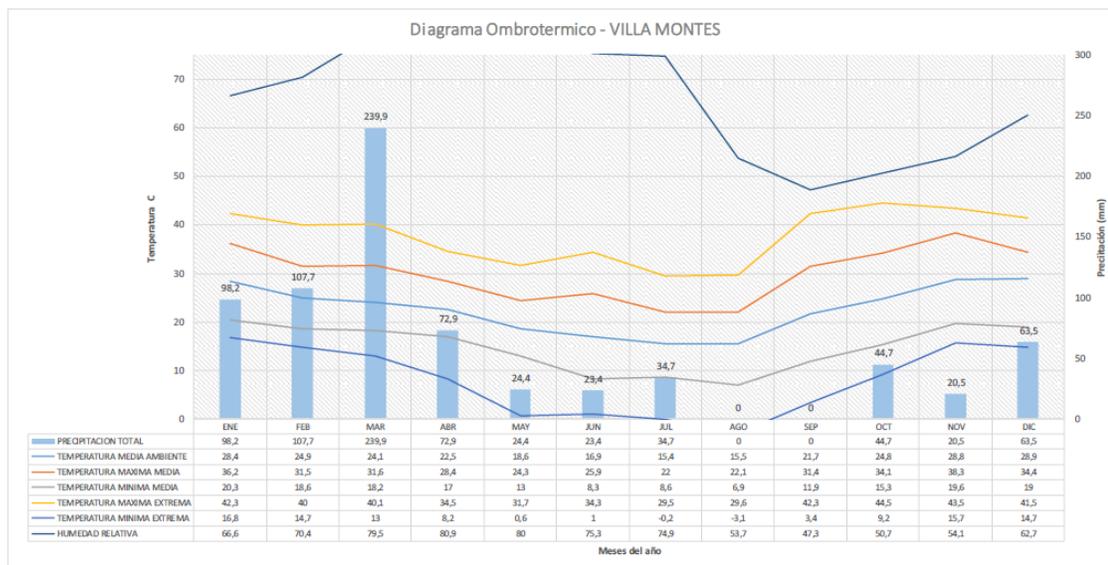
Tabla 4 Temperatura por Años del Centro Poblado de Villa Montes



FUENTE: Informe Técnico Urbano de Delimitación del Área Urbana del Municipio de Villamontes

De la misma manera, según los datos del SENAMHI, la temperatura media anual es de 28,9 °C según dato del año 2020.

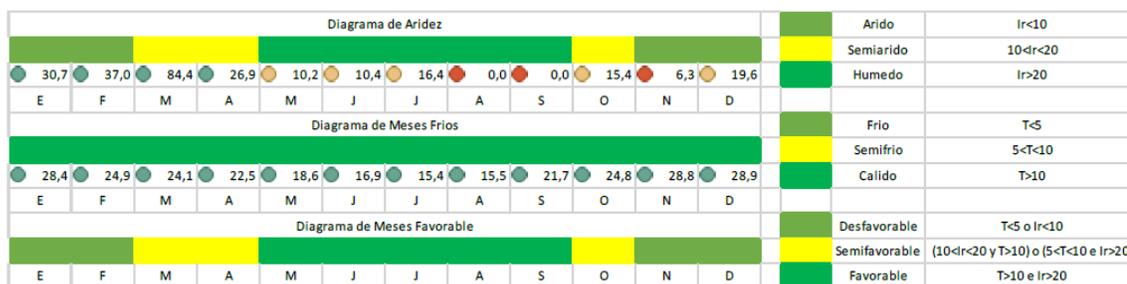
Tabla 5 Diagrama Ombrotermico del Centro Poblado de Villa Montes



FUENTE: Informe Técnico Urbano de Delimitación del Área Urbana del Municipio de Villa Montes

El centro Poblado de Villa Montes llega a temperatura máxima extrema (absoluta) de 44,5° C según reporte de la gestión 2017. y a temperatura mínima extrema de -3,1 °C. las precipitaciones más altas se registran en los meses de enero a marzo según los datos del SENAMHI.

Tabla 6 Diagrama de Aridez, Meses Fríos y Meses Favorables del Centro Poblado de Villa Montes



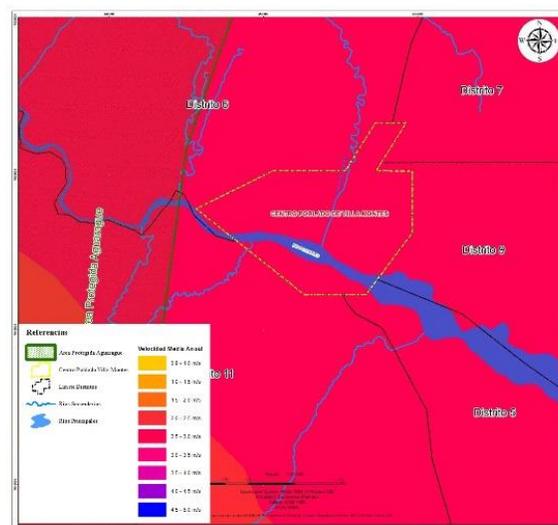
FUENTE: Informe Técnico Urbano de Delimitación del Área Urbana del Municipio de Villa Montes

Los meses áridos del lugar son de noviembre a febrero donde la temperatura llega a puntos extremos juntamente con la precipitación que es poca, el clima del lugar es completamente cálido todo el año, los meses favorables son de mayo a septiembre.

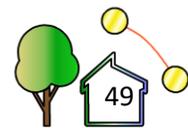
Velocidad de los Vientos del Centro Poblado de Villa Montes: El presente mapa muestra información referente al comportamiento de la velocidad media anual del viento (m/s) en Bolivia, componente principal en la elaboración del mapa eólico. Elaborado para el Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas por la entidad Transportadora de Electricidad (TDE) conforme a datos del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) y el método Kriging empleado para la interpolación de datos dispersos.

La intensidad expresa la velocidad del viento, por lo que en la ciudad de Villa Montes la intensidad del viento es mucho mayor en los meses de mayo hasta octubre, la presencia del Área Protegida Aguaraque hace que la intensidad de los vientos sea mayor en sus laderas y descendiendo a vientos hacia el centro de la ciudad.

Figura 39 *Velocidad de los Vientos en Villa Montes*



FUENTE: Informe Técnico Urbano de Delimitación del Área Urbana del Municipio de Villa Montes



Agrupación Climática de la Ciudad

Una vez presentadas y analizadas las características climatológicas de la ciudad de Villa Montes, es conveniente determinar qué tipo de agrupación bioclimática tiene la localidad en complemento con la clasificación climática de Köppen. “El sistema de agrupación bioclimática de ciudades tiene por objetivo el agrupar de manera simplificada a las localidades de acuerdo a sus requerimientos arquitectónicos y bioclimáticos. Cabe enfatizar que esta agrupación no sustituye a la clasificación de Köppen, sino que trata de integrarse específicamente desde el punto de vista de las estrategias de diseño arquitectónico. Para establecer la agrupación bioclimática son necesarios los parámetros de temperatura y precipitación pluvial.”²²

Temperatura:

Para determinar la agrupación bioclimática en función de la temperatura se considera la temperatura media del mes más caluroso del año, ya que ésta determinará los requisitos de enfriamiento, confort o calentamiento para la estación más cálida. Los rangos de la agrupación desde el punto de vista térmico son:

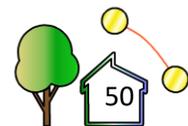
- Temperatura menor de 21 °C para requerimientos de calentamiento.
- Temperaturas entre 21 y 26 °C Para Zona de Confort Térmico.
- Temperatura mayor a 26 °C para requerimientos de enfriamiento.

Precipitación Pluvial:

La precipitación pluvial total anual se utiliza para determinar los requisitos de humidificación o deshumidificación. Los rangos establecidos son:

- Menor a 650 mm de precipitación para requerimientos de humedad

²² Fuentes Freixanet Víctor Armando. (2002). *Metodología del Diseño Bioclimático, El Análisis Climático*. México D.F.

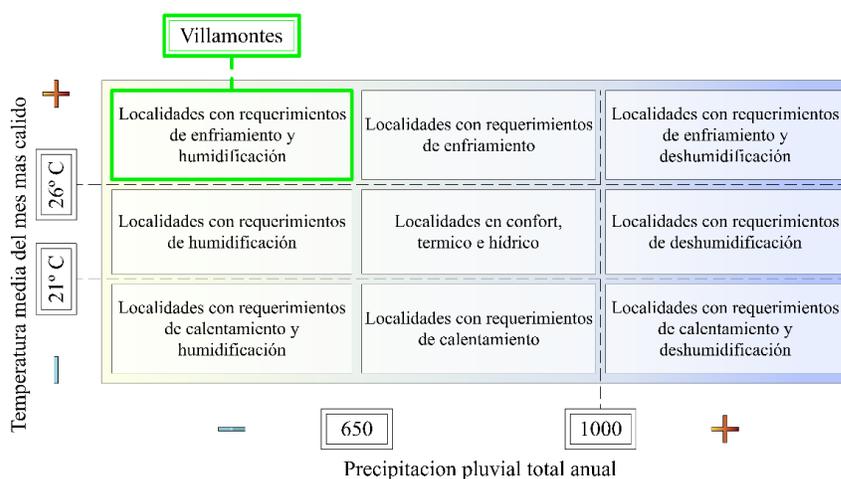


- Entre 650 y 1000 mm para confort hídrico.
- Mayor a 1000 mm para requerimientos de deshumidificación.

De tal forma se definen una matriz con nueve zonas o agrupaciones aplicables a nivel global:

Figura 40

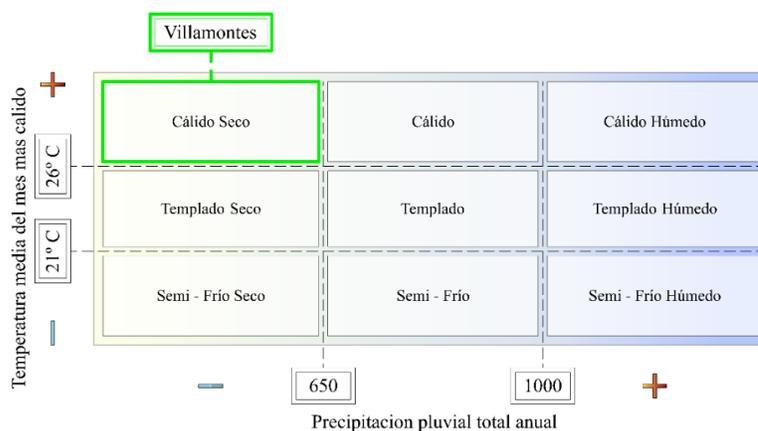
Agrupación Climática Villa Montes



Con el fin de nombrar estas zonas se eligieron los siguientes términos:

Figura 41

Zona Climática Villa Montes



Donde:

Cálido Seco: Ciudades con requerimientos de enfriamiento en el verano y de poca precipitación pluvial. Climas BW y BS.

Radiación Solar

“Gracias a su ubicación geográfica, Bolivia se encuentra dentro de una franja de territorio privilegiada que recibe la mayor radiación solar del mundo; juegan a favor otras variables como la baja nubosidad y un perfil geográfico diverso, permitiendo que este recurso sea aprovechable prácticamente en todo el país y durante todo el año, dadas las pequeñas diferencias en las tasas de radiación entre invierno y verano”²³, lo cual también debería ser motivo de propuestas solares y de desarrollo energético para la arquitectura en el país.

Figura 42 Irradiación *Horizontal Global*

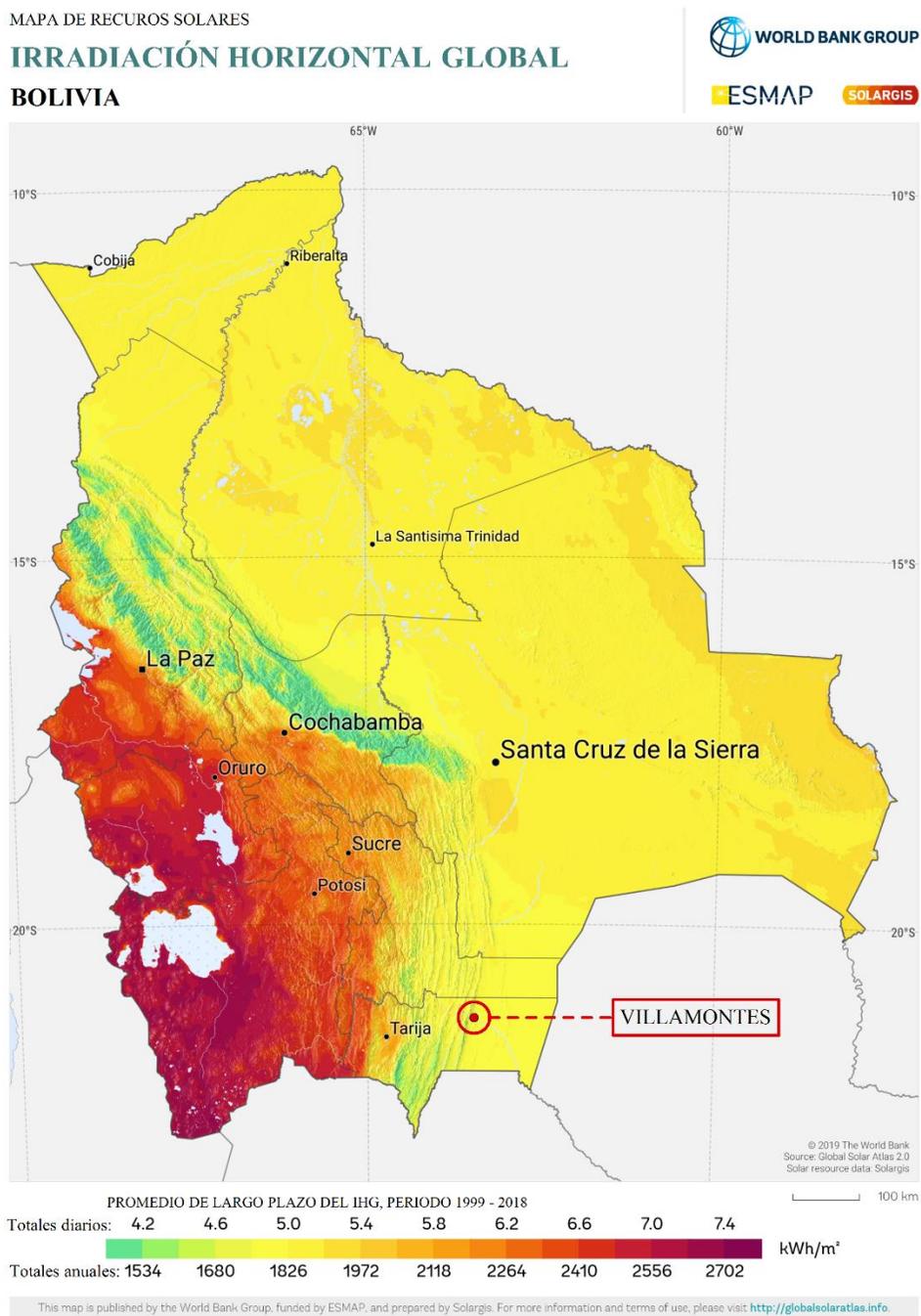


²³ Pozo Leño Carla Tatiana. (2011). *Determinación de estrategias de Diseño Bioclimático Para la Ciudad de Sucre (Bolivia)*. Universidad Internacional de Andalucía.

Así pues, la energía solar se puede considerar en Bolivia como una fuente energéticamente ampliamente disponible, segura y confiable.

Figura 43

Irradiación Horizontal Bolivia



Por su parte la ciudad de Villa Montes presenta las siguientes variaciones de radiación solar durante el año, donde la radiación es más intensa en los meses de verano, descendiendo hacia los meses de invierno.

Tabla 7

Radicación Solar Mensual en Villa Montes

MES	RANGO DE RAD. SOLAR KWh/M ² día
ENERO	5,7 - 6,0
FEBRERO	5,1 - 5,4
MARZO	4,8 - 5,1
ABRIL	4,2 - 4,5
MAYO	3,9 - 4,2
JUNIO	3,9 - 4,2
JULIO	3,9 - 4,2
AGOSTO	4,5 - 4,8
SEPTIEMBRE	5,1 - 5,4
OCTUBRE	5,4 - 5,7
NOVIEMBRE	5,4 - 5,7
DICIEMBRE	5,4 - 5,7
PROM. ANUAL	4,7 - 5,0

Determinación de la Zona de Confort Térmico de la ciudad de Villa Montes

A partir de la temperatura media anual en Villa Montes, se calculó la temperatura neutra, en base a las fórmulas propuestas por Steve Szokolay (1998), un autor y experto en arquitectura que ha contribuido significativamente al campo de la ciencia arquitectónica en base a fundamentos físicos relacionados con la arquitectura; “estas fórmulas determinan los límites máximos y mínimos de la zona de confort térmico anual y mensual, como se describe a continuación”²⁴:

²⁴ Pozo Leño Carla Tatiana. (2011). *Determinación de estrategias de Diseño Bioclimático Para la Ciudad de Sucre (Bolivia)*. Universidad Internacional de Andalucía.



$$T_n : (T_m * 0,31) + 17,60$$

Donde:

Tn: Temperatura Neutra

Tm: Temperatura Media

Por otro lado, la zona de confort (ZC) convencional cubre un rango de 5 grados, por lo que se podría determinar la zona de confort máxima y mínima, anual y mensual, disponiendo la fórmula de la siguiente manera:

$$ZC : T_n \pm 2,5^{\circ}\text{C}$$

Donde:

ZC: Zona de Confort

Tn: Temperatura Neutra

De esta forma el análisis se hace tomando como referencia este rango y definiendo si la temperatura de cada uno de los meses se encuentra por arriba, dentro, o por debajo de la zona de confort, anotando también el número de meses que se presentan en cada caso. De esta forma se podrá decir cuántos, y cuáles meses son fríos, confortables o calurosos.

Cálculo de la Zona de Confort Media Anual de Villa Montes

$$T_n : (T_{ma} * 0,31) + 17,60$$

$$T_n : (22,54 * 0,31) + 17,60 : 23,9^{\circ}\text{C}$$

$$ZC_{min} : T_n - 2,5$$

$$ZC_{min} : 26,5 - 2,5 : 21,4^{\circ}\text{C}$$

$$ZC_{min} : T_n + 2,5$$

$$ZC_{max} : 26,5 + 2,5 : 26,4^{\circ}\text{C}$$

Por tanto, se establece un rango anual de confort térmico para la ciudad de Villa Montes entre los 21,4°C y 26,4°C.

Aplicando el mismo procedimiento para cada mes obtenemos:

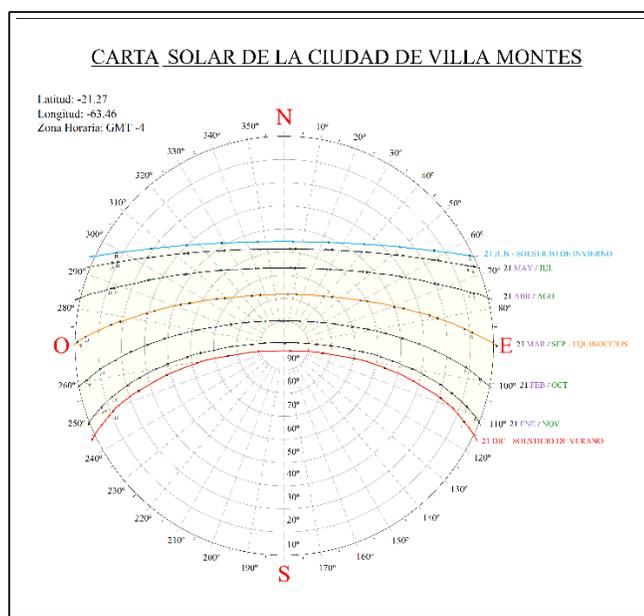
Tabla 8 Zona de Confort Media Mensual

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura Neutra	26,4°C	25,3°C	25,0°C	24,5°C	23,3°C	22,8°C	22,3°C	22,4°C	24,3°C	25,2°C	26,5°C	26,5°C
Zona de Confort Mínimo	23,9°C	22,8°C	22,5°C	22°C	20,8°C	20,3°C	19,8°C	19,9°C	21,8°C	22,7°C	24°C	24°C
Zona de Confort Máximo	28,9°C	27,8°C	27,5°C	27°C	25,8°C	25,3°C	24,8°C	24,9°C	26,8°C	27,7°C	29°C	29°C

Geometría Solar de Villa Montes - Carta Solar Equidistante

La carta solar equidistante es una herramienta gráfica que representa la posición del sol en el cielo durante diferentes momentos del día y del año. Proporciona información sobre la altura y la dirección del sol en un lugar específico, lo que ayuda a determinar la exposición solar en diferentes fachadas y áreas de las edificaciones. Al analizar la carta solar de Villamontes, se podrá tomar decisiones como la ubicación de ventanas, la protección solar y la eficiencia energética del diseño entre otras cosas.

Figura 44 Carta Solar de Villa Montes



FUENTE: Elaboración Propia

“Las líneas con direccionalidad horizontal nos indican los meses del año, y las líneas con direccionalidad vertical las horas del día”²⁵.

Para un día y hora determinados, la carta nos indica 2 datos:

- La elevación solar respecto al plano horizontal, medida en los círculos concéntricos.
- El Acimut o ángulo de orientación del sol respecto del norte, medido en el borde de la carta.

Algunos datos que obtenemos de la carta solar, son los siguientes:

<p><u>SOLSTICIO DE INVIERNO - 21 DE JUN</u> Acimut: 23,51° Elevacion: 41,63° Amanecer: 07:50 am Puesta de sol: 18:40 pm</p>	<p><u>SOLSTICIO DE VERANO - 21 DE DIC</u> Acimut: 100,79° Elevacion: 73,16° Amanecer: 06:29 am Puesta de sol: 19:55 pm</p>
<p><u>EQUINOCCIO - 21 DE MAR</u> Acimut: 44,63° Elevacion: 60,54° Amanecer: 07:18 am Puesta de sol: 19:23 pm</p>	<p><u>EQUINOCCIO - 21 DE SEP</u> Acimut: 39,11° Elevacion: 62,93° Amanecer: 07:03 am Puesta de sol: 19:09 pm</p>

Figura 45 Recorrido Solar Villa Montes



²⁵ Pozo Leño Carla Tatiana. (2011). *Determinación de estrategias de Diseño Bioclimático Para la Ciudad de Sucre (Bolivia)*. Universidad Internacional de Andalucía.

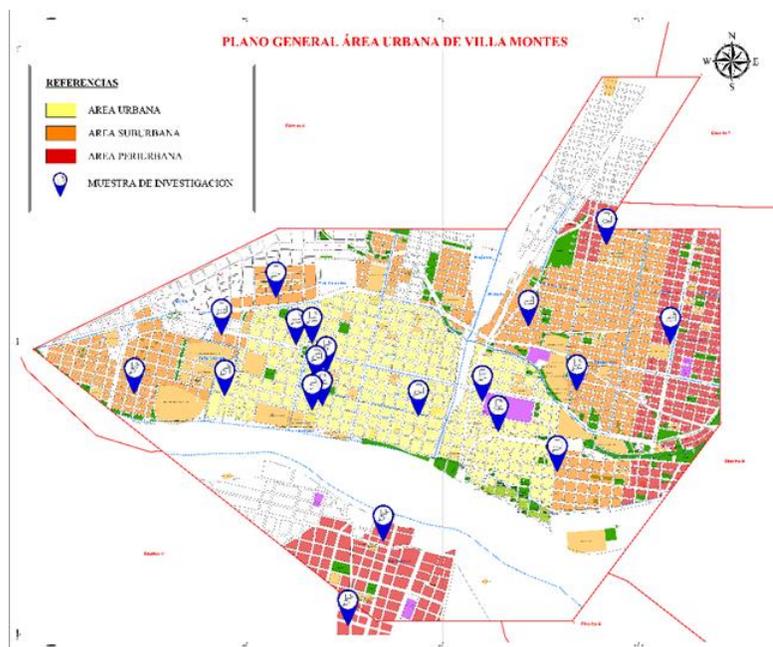
MARCO TÉCNICO INVESTIGATIVO

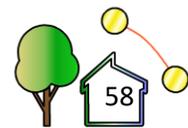
Población y Muestra de Estudio

Para la definición de la población y la muestra primero se deben determinar las unidades de muestreo, es decir “que o quienes” (participantes, objetos, sucesos o colectividades de estudio) según Roberto Hernández Sampieri en su libro “Metodología de la Investigación”. En este caso dichas unidades de muestreo se componen en sí por todas las viviendas y edificaciones en general. Posteriormente se delimita la población que se va a estudiar y sobre la cual se pretende generalizar los resultados obtenidos de las muestras, siendo esta: “el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Lepkowski, 2008b), debiendo establecer con claridad las características de dicha población. En este caso la población se limita a todas las viviendas y edificaciones en general, ubicadas dentro del área urbana del municipio de Villa Montes.

Figura 46

Población y Muestra de Estudio





Finalmente se define la muestra: “un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población”; existen dos tipos: la muestra probabilística y la no probabilística las cuales deben ser representativas, es decir que se pretende que este subconjunto sea un reflejo fiel del conjunto de la población.

Para la recolección de datos de temperatura y humedad en las viviendas y edificaciones, las muestras serán probabilísticas, es decir que todos los elementos de la población tendrán la misma posibilidad de ser escogidos para la muestra por medio de una selección mecánica de la o las unidades de muestreo/análisis. Para el cálculo se aplican fórmulas clásicas con procedimientos manuales comúnmente utilizados en las investigaciones y se expresan de la siguiente manera:

Figura 47 *Cálculo de Tamaño de Muestra*

$$n: \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Tamaño de Muestra
N:4.351
Z:90%(1,645)
p:50%
q:50%
e:18,3%
n:20,11: 20

Donde: **n** es el tamaño de la muestra que se quiere encontrar **N**, el tamaño de la población ya definida, **Z** es el nivel de confianza que se va a poner en afirmar que los resultados de nuestra muestra reflejan la realidad de la población, para

este caso fue del 90%:1,645. El parámetro **p** representa las probabilidades de que ocurra el evento estudiado con éxito y la **q** las probabilidades de fracaso, siendo por lo general de 50% y 50% de probabilidades, y finalmente **e** precisión (error máximo admisible en términos de proporción).

Por otra parte, para la recolección de datos mediante encuestas, las muestras son del tipo no probabilísticas, aquí el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones para la investigación, en este caso las entrevistas y encuestas son un complemento cualitativo que permite un panorama completo de la situación actual del objeto de estudio.

Selección y Validación de Instrumentos de Medición

De acuerdo al libro “Metodología de la Investigación” de Roberto Hernández Sampieri toda medición o instrumento de recolección de datos debe reunir tres requisitos esenciales: confiabilidad (grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales), validez (grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir) y objetividad (grado en que éste es o no permeable a la influencia de los sesgos y tendencias del investigador o investigadores que lo administran, califican e interpretan (Mertens, 2010). Es por esto que ambos instrumentos de medición pasaron por proceso de calibración (donde se realizaron comparaciones de las lecturas de datos con diferentes superficies y espacios para verificar la coherencia de los resultados) y un proceso de pruebas de precisión (realizando dichas mediciones repetidas veces, en diferentes horas y días para verificar la coherencia de los resultados)

Instrumentos de Medición Cuantitativa

Termómetro de Infrarrojos

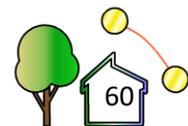
Es un dispositivo que mide la temperatura de una porción de superficie de un objeto a partir de la emisión de luz del tipo cuerpo negro que produce²⁶. Todos los objetos emiten radiación térmica en forma de luz infrarroja invisible al ojo humano, la cantidad de radiación infrarroja que emite un objeto depende de su temperatura; el termómetro de infrarrojos tiene un sensor que detecta dicha radiación infrarroja y mide la intensidad de la radiación para convertirla en una lectura de temperatura sin la necesidad de un contacto.

Figura 48

Termómetro de Infrarrojos

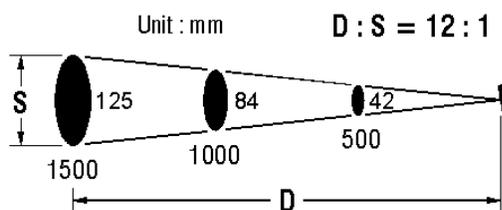


²⁶ Wikipedia, (2024), *Termómetro de Infrarrojos*, Wikipedia la enciclopedia libre.



La precisión del termómetro de infrarrojos dependerá de varios factores, como ser: la distancia al objeto: el modelo de **INGCO HIT015501** tiene una relación D:S de 12:1, lo que significa que puede medir la temperatura de un área más amplia desde cierta distancia.

Figura 49 Precisión de Termómetro



Unit : mm $D : S = 12 : 1$

Algunas otras características de este modelo de termómetro es que puede medir temperaturas desde -30°C a $+550^{\circ}\text{C}$, tiene un tiempo de respuesta inferior a 0.5 segundos y cuenta con un láser de precisión.

Por otra parte, la emisividad (capacidad de un objeto para emitir radiación), también influye en la precisión de la medición. Un cuerpo negro (ideal) tiene una emisividad de 1, lo que significa que emite toda la radiación térmica posible a una temperatura dada; los objetos reales tienen emisividades entre 0 y 1, donde 0 indica que no emiten radiación y 1 indica que emiten como un cuerpo negro. A continuación, se presentan todos los valores de emisividad empleados en la investigación.

Tabla 9

Emisividad de Materiales de Construcción

VALORES DE EMISIVIDAD UTILIZADOS (ϵ)			
PINTURA	0,94	YESO	0,86
PINTURA BLANCA	0,84	TEJA DE ARCILLA	0,93
CEMENTO	0,65	MADERA	0,95
CERAMICA	0,40	LADRILLO	0,90
CALAMINA	0,28	DURALIT	0,90
ADOBE	0,95	TIERRA	0,95

Termohigrómetro

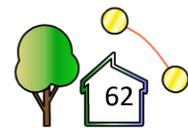
Un termohigrómetro es un dispositivo que mide simultáneamente la temperatura y la humedad relativa del aire en un ambiente determinado. Está compuesto por dos sensores principales: uno para medir la temperatura y otro para medir la humedad. El funcionamiento se basa en la detección de cambios en la resistencia eléctrica de los sensores en respuesta a cambios en la temperatura y la humedad relativa del aire, estos cambios se convierten en lecturas numéricas que se muestran en la pantalla del termohigrómetro.²⁷

El modelo utilizado en la medición es el **KTJ TA318** el cual a través de su sensor interior puede registrar temperaturas en un rango de 0°C a 50°C, con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$. y la humedad relativa, con un rango del 25% al 98% y con una precisión de $\pm 5\%$. Este segundo instrumento servirá como complemento para poder caracterizar el ambiente o temperatura radiante que se genera dentro de los espacios debido al comportamiento térmico de los materiales de construcción.

Figura 50 *Termohigrómetro*



²⁷ Miguel Salazar, (2023), *Termohigrómetros: Una Guía Completa para Elegir y Utilizar el Instrumento Adecuado*, Sodeintec



Instrumentos de Medición Cualitativa

La Encuesta – Entrevista

Se definen como herramientas de investigación cualitativa la encuesta y la entrevista, porque nos permiten obtener datos directos sobre el uso de materiales y la calidad de vida de las personas de manera rápida y precisa y a la vez entablar conversaciones con los propietarios de las edificaciones o la misma población en general, esto para permite tener un perspectiva mucho más amplia de la realidad en la que viven las personas. El modelo de encuesta aplicada se adjunta en la parte final del documento, consulte el Apéndice A.

Recolección y Análisis de Datos

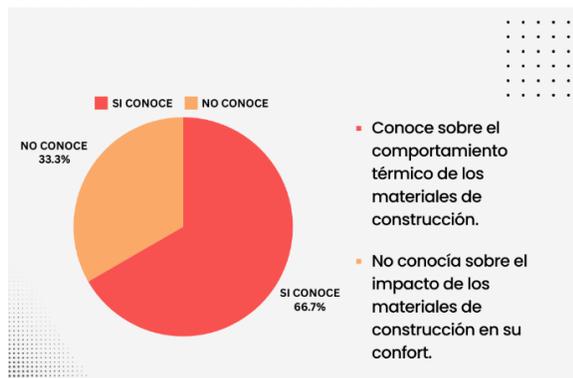
Análisis Cualitativo

A continuación, se presenta una síntesis de los resultados obtenidos en la etapa de encuestas y entrevistas realizadas a 55 personas en total, y se presenta en primer lugar para poder entender en profundidad las experiencias, opiniones y perspectivas de los participantes, esto a manera de contextualización antes del análisis cuantitativo de las mediciones.

Conocimiento de la Población Sobre la Influencia de los Materiales de Construcción en su Confort y Calidad de Vida

Figura 51

Conocimiento de la Población



El 66,7 % de los entrevistados tienen conocimiento acerca de cómo los materiales de construcción influyen en el confort y comodidad de sus viviendas, muchos de ellos aseguran que el conocimiento que tienen es general principalmente sobre el adobe, mientras que el 33,3% tuvo una respuesta negativa y de sorpresa.

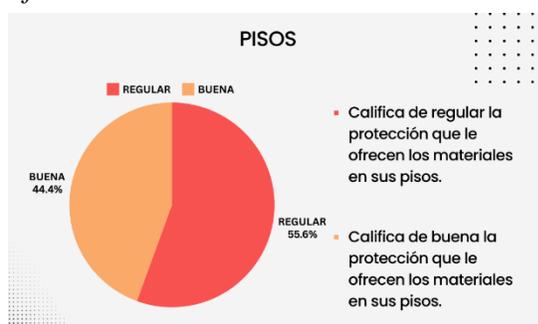
Protección de los Materiales de Construcción Contra las Condiciones Climáticas

En una escala del 1 al 4 donde: 1(mala), 2 (regular), 3 (buena) y 4 (muy buena) se determinó

que:

Figura 52

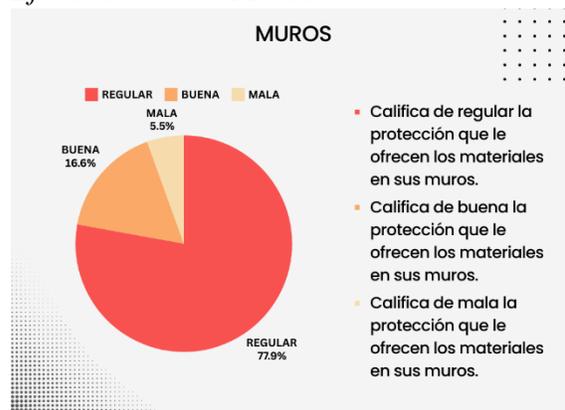
Eficiencia de los Pisos



En Pisos, el 55,6% de los entrevistados califican de regular la protección que le ofrecen los materiales de sus viviendas, mientras que el 44,4 % la calificó de buena.

Figura 53

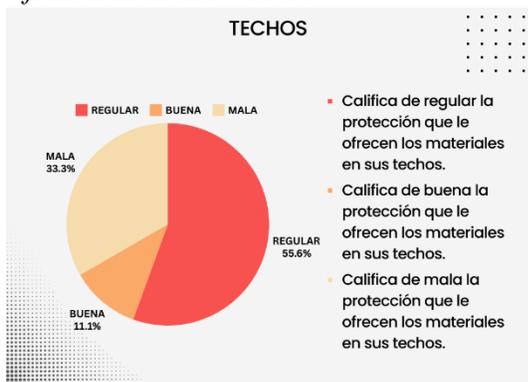
Eficiencia de los Muros



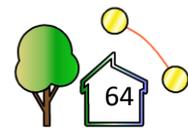
En Muros, un 77,9% de los entrevistados califican de regular la protección que le ofrecen los materiales de sus viviendas, mientras que un 16,6% las calificó de buena y un 5,5% de mala.

Figura 54

Eficiencia de los Techos



En Techos, un 55,6% de los entrevistados califican de regular la protección que le ofrecen los materiales de sus viviendas, mientras que un 33,3% las calificó de malas y un 11,1% de buenas.



Viviendas con Vegetación, Arbolada o Cerca de Áreas Verdes

Figura 55

Disponibilidad de Vegetación



El 88,9% de los entrevistados cuenta con vegetación en su vivienda y está cerca de una arbolada o de áreas verdes exteriores ya que, por conocimiento general de la población, se sabe de la importancia de la vegetación para la purificación del aire, por otra parte, un 11,1% de los entrevistados no cuentan con vegetación en sus viviendas, pero si

están cerca de áreas verdes exteriores.

Grado de Confort Según la Época del Año

Del 100% de los entrevistados un 83,3% están de acuerdo en que la estación del año en que se percibe mayor incomodidad por las inclemencias del tiempo es en verano, mientras que el otro 16,7% no coincide.

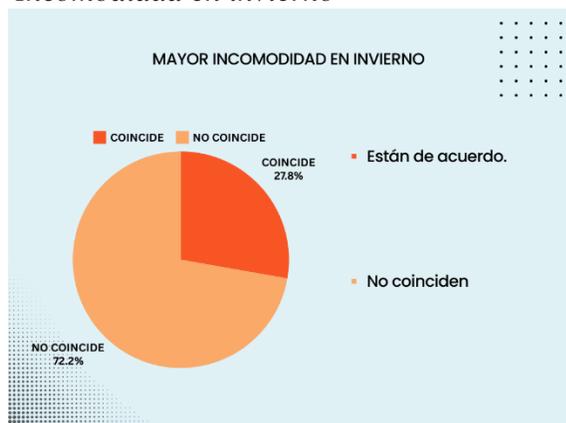
Figura 56

Incomodidad en Verano

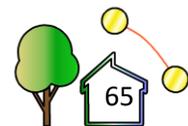


Figura 57

Incomodidad en invierno



Del 100% de los entrevistados un 27,8% están de acuerdo en que la estación del año en que se percibe mayor incomodidad por las inclemencias del tiempo es en invierno, mientras que el otro 72,2% no coincide.



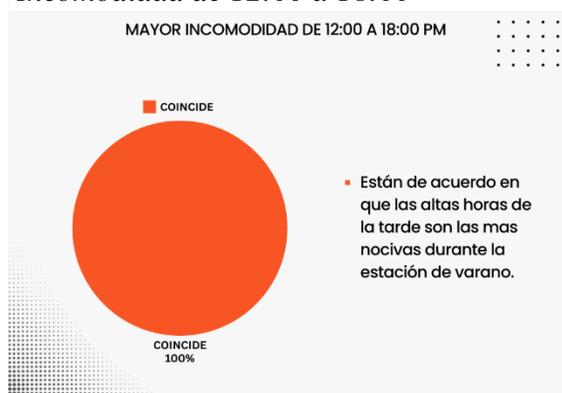
Del 100% de los entrevistados un 11,1% están de acuerdo en que la estación del año en que se percibe mayor incomodidad por las inclemencias del tiempo es en primavera.

Figura 58 Incomodidad en primavera



Grado de Confort Según la Hora del Día
Figura 59

Incomodidad de 12:00 a 18:00



Del 100% de los entrevistados el 100% están de acuerdo en que la hora del día en donde se percibe con mayor intensidad dicha incomodidad es en la tarde desde las 12:00 hasta las 18:00hrs en verano.

Figura 60

Del 100% de los entrevistados el 16,6% están de acuerdo en que la hora del día en donde se percibe con mayor intensidad dicha incomodidad es en la madrugada desde las 00:00 hasta las 06:00hrs en invierno.

Incomodidad de 00:00 a 06:00

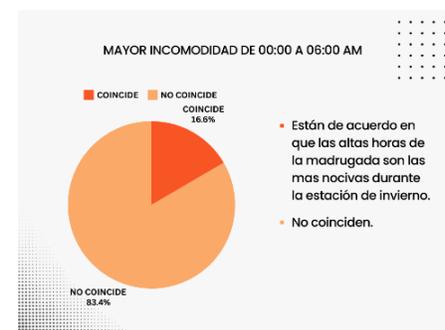
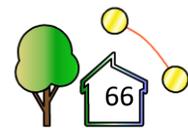


Figura 61

Incomodidad de 18:00 a 00:00



Del 100% de los entrevistados el 5,55% están de acuerdo en que la hora del día en donde se percibe con mayor intensidad dicha incomodidad es en la noche desde las 18:00 hasta las 00:00hrs en verano.



Problemas de Salud a Causa de las Condiciones Climáticas

Figura 62

Sin Problemas de Salud en V.1

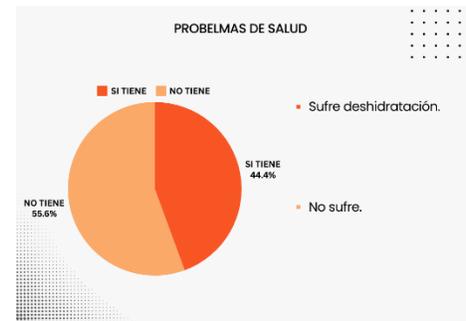


En Verano:

Del 100% de los entrevistados, el 50% asegura que no llega al punto de sufrir problemas de salud.

Figura 63

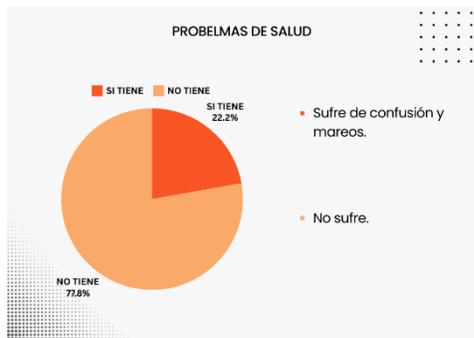
Problemas de Salud EN V.2



Del 100% de los entrevistados, el 44,4% manifiesta sufrir una deshidratación.

Figura 64

Problemas de Salud en V.3



Del 100% de los entrevistados, el 22,2% manifiesta sufrir confusión y mareos.

Del 100% de los entrevistados, el 16,6% manifiesta sufrir de calambres y malestar por el agravamiento de enfermedades.

Figura 65

Problemas de Salud en V.4

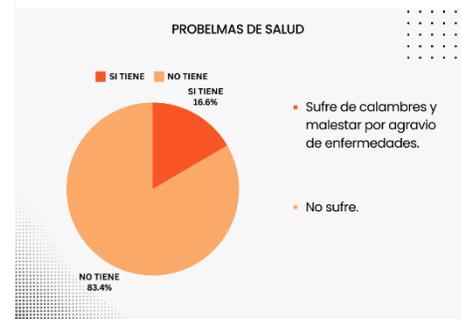
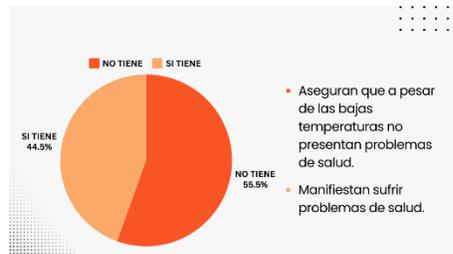




Figura 66

Problemas de Salud en I.1



En Invierno:

Del 100% de los entrevistados, el 55,5% asegura que no llega al punto de sufrir problemas de salud.

Del 100% de los entrevistados, el 22,2% manifiesta sufrir de problemas en la presión arterial y obstrucción pulmonar.

Figura 67

Problemas de Salud en I.2

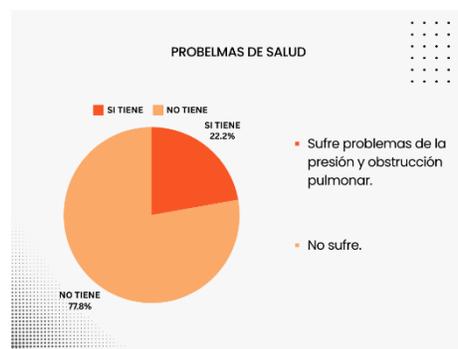
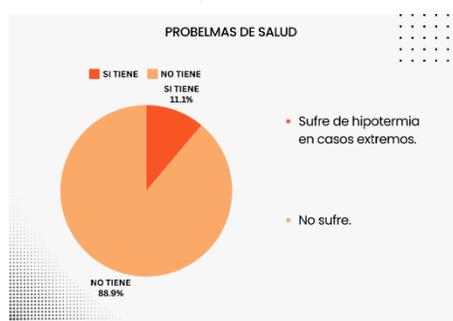


Figura 68

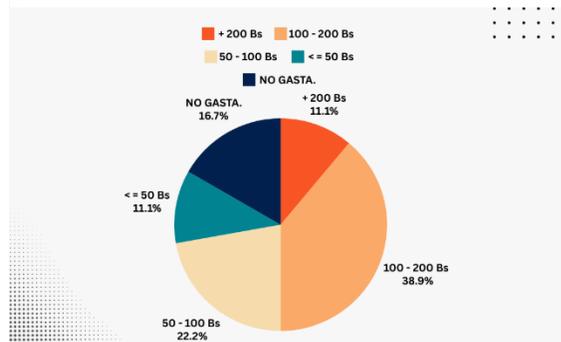
Problemas de Salud en I.3



Del 100% de los entrevistados, el 11,1% manifiesta sufrir de hipotermia en las semanas que presentan temperaturas bajas extremas.

Figura 69

Gastos Mensuales de Acondicionamiento



Costos de Acondicionamiento Mensual del Aire en las Edificaciones

El 11,1% de los entrevistados aseguran gastar más de 200 bs cada mes solo en el acondicionamiento del aire, el 38,9% gasta entre 100 y 200 bs, el 22,2% gasta entre 50 y 100 bs, el 11,1% no gasta más de 50 bs y el 16,7% afirma no acudir a medios mecánicos para el acondicionamiento de sus viviendas.

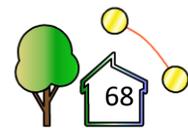


Figura 70

Influencia en la Economía



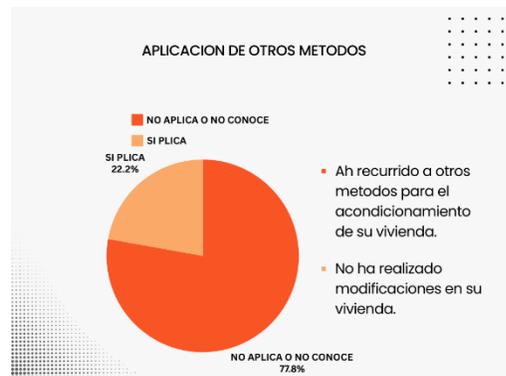
Influencia en la Economía de las Personas

En complemento a lo anterior, el 61,2% de los entrevistados afirma que los gastos para el acondicionamiento del aire influyen significativamente en su economía, el 16,6 afirma lo contrario y un 22,2 no tiene conocimiento o simplemente no le importa.

Necesidad de Recurrir a Otros Métodos Para Mejorar la Comodidad Interior

Figura 71

Otros Métodos de Climatización

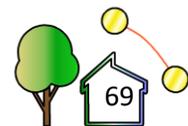


El 77,7 de los entrevistados no ha hecho modificaciones constructivas o no conoce otros métodos para mejorar la comodidad interior de sus viviendas, mientras que un 22,2 aplico modificaciones de incorporación de aleros, persianas, contraventanas como una solución a la falta de sombra en algunas fachadas y ventanas.

Interpretación de los Datos Obtenidos

Por los resultados obtenidos a través de la aplicación de la encuesta y entrevista se puede deducir lo siguiente:

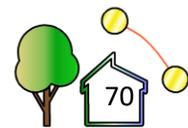
- El desconocimiento de la población sobre cuán importante es elegir bien los materiales de construcción es mayor, lo que indica que a pesar de las condiciones de clima extremo la sociedad sigue anclada a paradigmas de construcción más comerciales y menos eficientes.



- De acuerdo a la valoración de los materiales de construcción por parte de los propietarios, la protección que estos ofrecen contra las condiciones de clima extremo es regular, pero los pisos tienen una mejor respuesta a las altas temperaturas, en cambio los techos son los que peor comportamiento presentan.
- Por las características urbanas y geográficas de la ciudad casi siempre se está próximo a arboladas y áreas verdes, ya sea en espacios públicos o privados, lo que indica que el inconsciente colectivo está de acuerdo en que la vegetación es indispensable para el diario vivir.
- Dos de cuatro estaciones del año fueron calificadas como las más insoportables por las altas temperaturas, tomando en cuenta que la mayor parte del año hace calor y que casi tres cuartos del total de horas del día el malestar es constante, se puede concluir que la calidad de vida en este sentido es de las peores a nivel nacional.
- Los problemas de salud a causa de las altas o bajas temperaturas se presentan principalmente en verano y a pesar de que más del 50% de los entrevistados aseguran no presentar síntomas de ningún tipo, siempre se está al límite del malestar físico, y en casos extremos, rozando los bordes de la resistencia humana.
- El consumo energético es tan alto y afecta tanto a la economía de las personas que no es sostenible, aun así, la mayoría de los habitantes en Villa Montes optan por estos medios mecánicos poco saludables en detrimento de ellos mismos.

Conclusiones

Desde un punto de vista arquitectónico, la ciudad de Villa Montes presenta grandes deficiencias en lo que a confort y calidad de vida se refiere, muchas veces la arquitectura se entiende erróneamente como el “simple” acto de diseñar y construir, pero el concebir un edificio



tiene mucho que ver con el confort, la comodidad y el bienestar que éste vaya a generar para sus habitantes sin tener que pasar por encima del bienestar social o medioambiental, y para Villa Montes un edificio con características bioclimáticas es la respuesta más adecuada a los problemas por los que actualmente tiene que atravesar a causa de las condiciones extremas del clima; la correcta aplicación de criterios bioclimáticos en el diseño arquitectónico y una adecuada elección de materiales de construcción puede beneficiar significativamente a la población y contrarrestar en gran medida los problemas identificados en esta etapa de análisis cualitativo.

A continuación, se desarrolla la pregunta número dos de la encuesta, a manera de introducción al análisis cuantitativo posterior, profundizando más allá de las respuestas politómicas planteadas para conocer mejor la situación de los materiales de construcción en el área de estudio y como es que estos se presentan de manera cuantitativa.

Materiales de construcción más comunes en Villa Montes

Tal como ya se mencionó en la definición de la muestra de estudio, la ciudad de Villamontes podría dividirse en 3 áreas representativas en función al crecimiento de la mancha urbana a lo largo de su historia, esto permite identificar y caracterizar con mayor puntualidad los tipos de materiales de construcción más comunes empleados en las edificaciones en general.

Primeramente, el área urbana o centro histórico de la ciudad, al caracterizarse por tener edificios, infraestructuras y actividades comerciales, industriales y residenciales, se puede identificar que se trata de una zona que tiene construcciones bien definidas sobre lineamientos urbanos ya consolidados, es por ello que la mayoría de las edificaciones están hechas de ladrillo hueco o gambote en muros, una mezcla de teja y calamina en techos, y la utilización de cemento y cerámica en pisos; aun así al tratarse del centro histórico de la ciudad, es bastante común



encontrar viviendas antiguas y edificios históricos con materiales como el adobe o la madera, algunos de estos bien conservados, mientras que la mayoría se encuentran en mal estado.

Ya en el área suburbana que mantiene una estructura edificada, funciones urbanas en menor medida, y lineamientos que empiezan a dispersarse, se pueden empezar a notar variantes en las tipologías de las viviendas, muchas de ellas construidas con materiales reciclados como viejos tablonces de madera y troncos finos usados principalmente en los cierres perimetrales, la cantidad de construcciones hechas de ladrillo gambote empiezan a equipararse con las de ladrillo hueco e incluso podría decirse que son más, de igual manera, la cantidad de cubiertas de calamina empieza a sobrepasar la cantidad de cubiertas de teja y en los pisos ya se pueden observar más variaciones como el ladrillo gambote, el mosaico y hasta pisos de tierra en patios de ingreso.

Finalmente, en las áreas periurbanas se encuentran construcciones de todo tipo, al tratarse de una zona de transición entre lo urbano y lo rural combina características de ambos entornos en donde se incluyen áreas residenciales, industriales, de servicios, e incluso agrícolas en las afueras; además de los materiales y las características ya mencionadas, en estas áreas se tienen lineamientos urbanos definidos pero no consolidados, una mezcla de construcciones que incluye viviendas terminadas hechas de ladrillo, calamina, cerámica y sus variaciones tal como en el área urbana y suburbana, pero es más numerosa la presencia de construcciones de adobe en malas condiciones y ambientes aislados e improvisados hechos con madera, calamina e incluso telas; estas son construcciones que se reparten sin ningún tipo de criterio sobre un terreno de tierra y maleza cercada con tablonces y ramas sujetas con alambres.

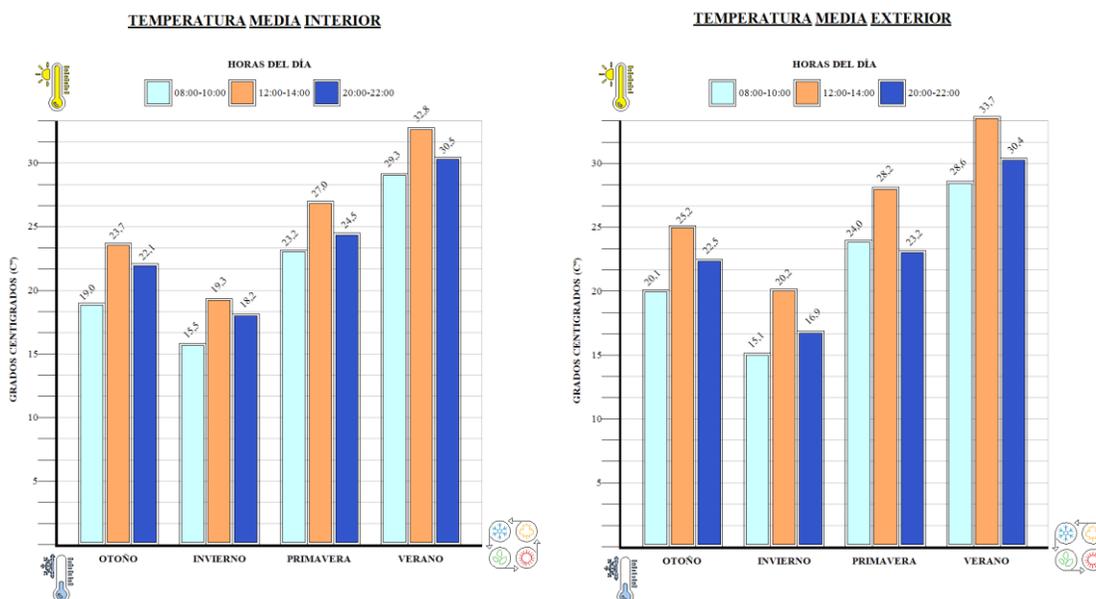
El modelo de hoja de registro y los datos recolectados para el análisis de los materiales que se muestra en las siguientes paginas se adjuntan en el Apéndice B y C.

Análisis Cuantitativo

El siguiente análisis cuantitativo está relacionado al comportamiento térmico de los materiales de construcción mencionados y ya presentados en definición de las variables de estudio, estos han sido analizados desde diferentes escenarios y según el tipo de material con el fin de poder determinar cuales tienen una mejor respuesta térmica a las condiciones climáticas en Villa Montes.

Temperatura Media en Muros por Estación y Hora de Medición

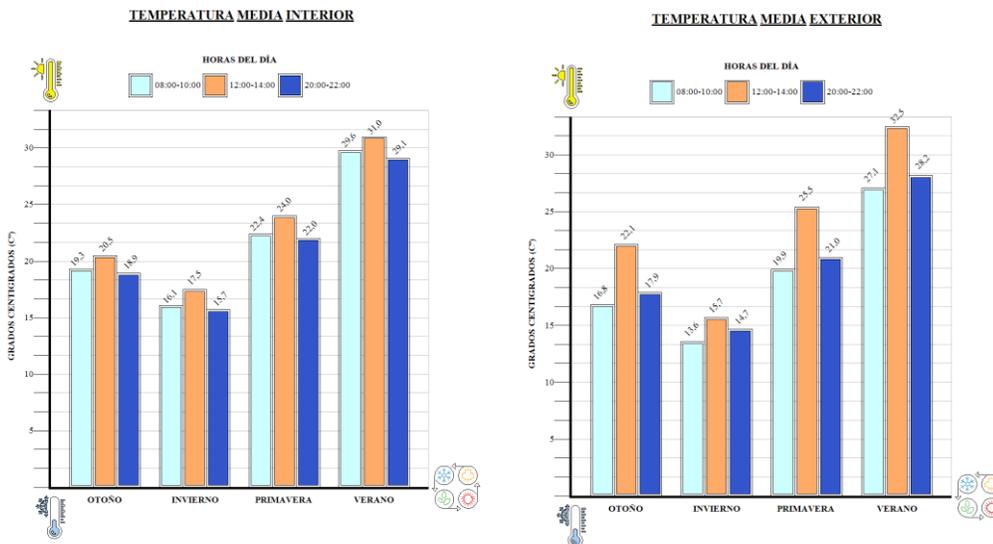
Figura 72 Temperatura Media en Muros



La temperatura media interior de los muros es mayor en las horas pico del mediodía cuando el sol está en su punto más alto y tiene variaciones poco significativas en relación con las temperaturas medias de la mañana y la noche. En cambio, las temperaturas medias exteriores del medio día presentan variaciones significativas con las de las mañana y la noche. En ambos casos la temperatura en la estación de verano es evidentemente la mayor con variaciones de hasta 14 grados en relación a la estación de invierno.

Temperatura Media en Pisos por Estación y Hora de Medición

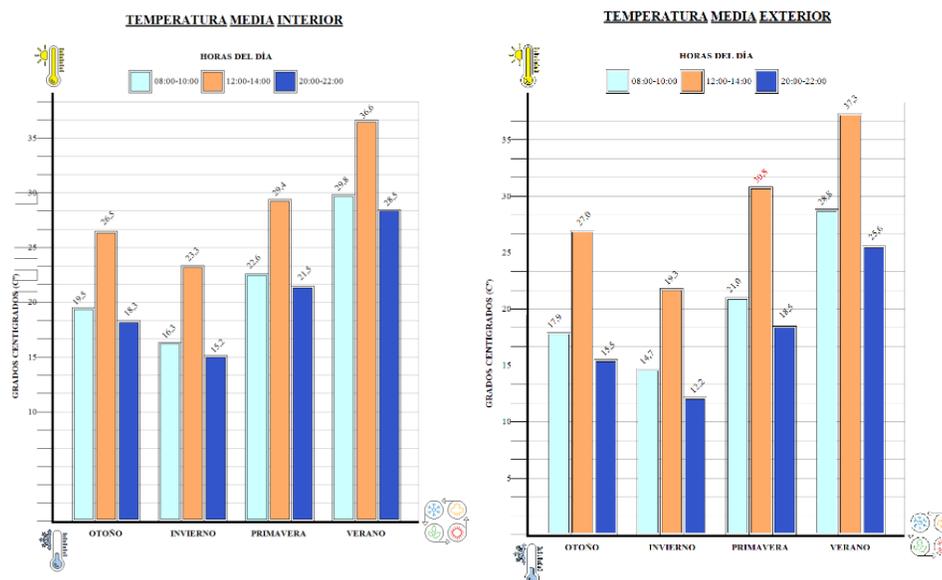
Figura 73 Temperatura Media en Pisos



La temperatura media interior de los pisos se muestra mas estable en las horas de la mañana y el medio dia y disminuyen levemente por la noche. Minentras que en exteriores, las temperaturas medias del medio dia sobrepasan las de la mañana y la noche con cambios perceptibles.

Temperatura Media en Techos por Estación y Hora de Medición

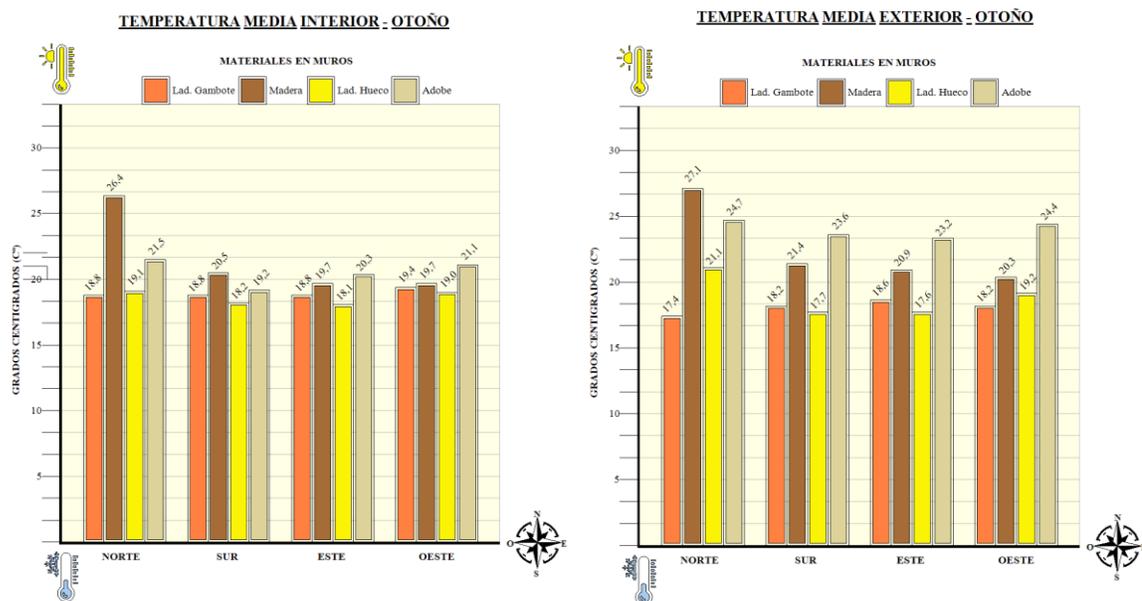
Figura 74 Temperatura Media en Techos



En techos, las variaciones de la temperatura media varían considerablemente dependiendo de la hora en que se realice la medición, al medio día las temperaturas sobrepasan por mucho las de la mañana y la noche, mismas que en cambio son más estables y parecidas, siendo verano la estación del años donde las temperaturas llegas a los 37,3 grados centígrados.

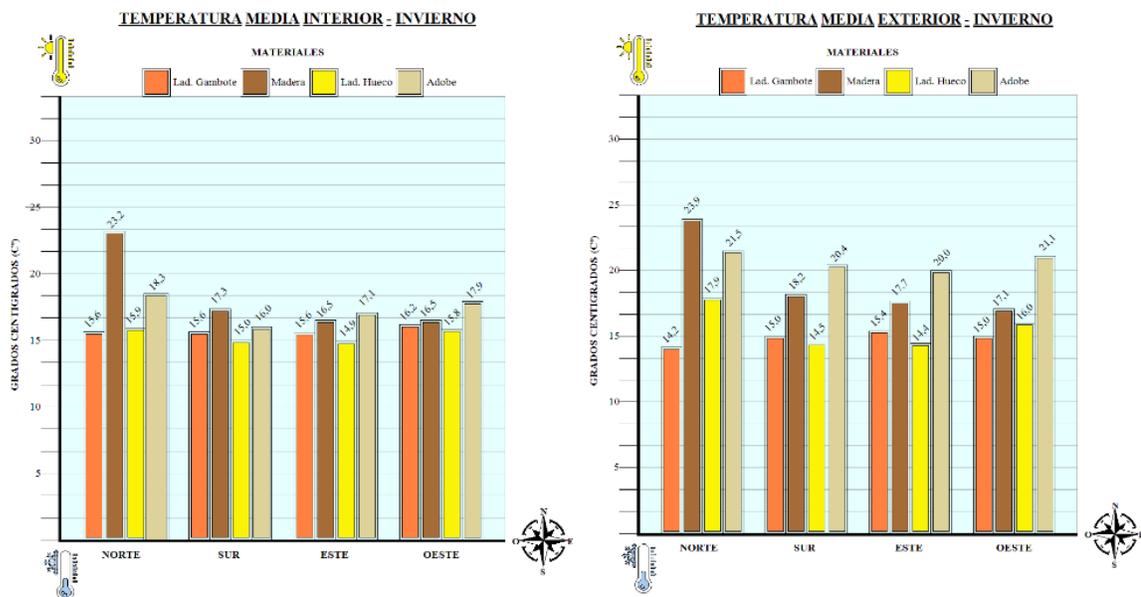
Temperatura Media en Muros por Estación, Orientación y Tipo de Material

Figura 75 Temperatura Media en Muros en otoño



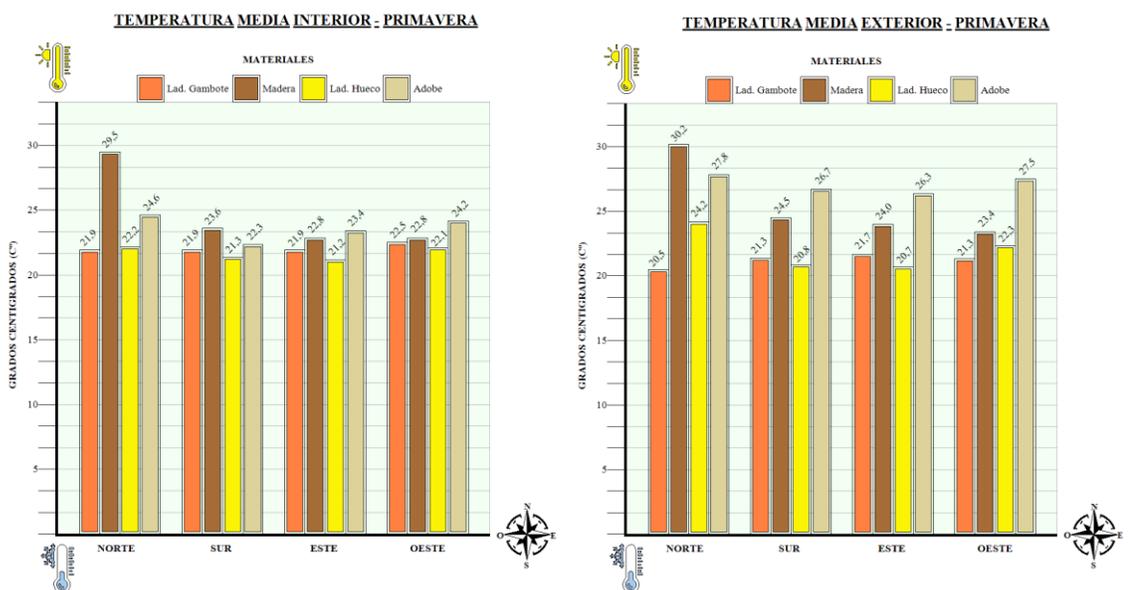
En otoño, las variaciones más notables en interiores corresponden a las de la madera, seguido del adobe y finalmente el ladrillo hueco y gambote que se muestran ligeramente más estables entre sí; la cara norte recibe mayor incidencia de rayos solares por tanto tiene una mayor temperatura que las demás, las caras este y oeste son más estables, pero ligeramente más calientes en el oeste, finalmente el lado sur es el que presenta temperaturas levemente más bajas que las del este y oeste. Por otro lado, en exteriores las variaciones entre materiales son mucho más notables variando principalmente en las caras sur, este y oeste manteniéndose la madera y el adobe como las más calientes.

Figura 76 Temperatura Media en Muros en invierno



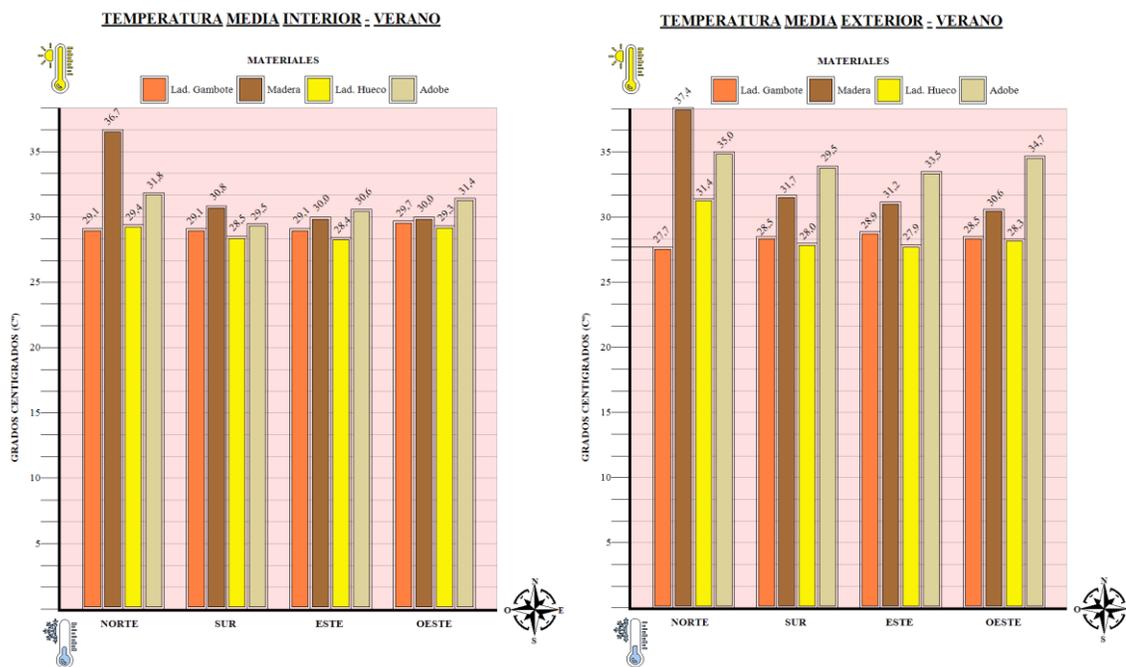
En invierno el comportamiento de los materiales dependiendo de su orientación y en relación a los demás es prácticamente el mismo, pero evidentemente resaltan las disminuciones de temperaturas que varían hasta en 8,7 grados centígrados en comparación con las temperaturas del mes más cálido de otoño.

Figura 77 Temperatura Media en Muros en primavera



En primavera la situación es la misma, con la diferencia de que es una estación de transición entre el invierno y el verano, por lo que las temperaturas en los materiales ya mencionados dependiendo de su orientación varían significativamente hasta en más de 13,4 grados centígrados en comparación con el invierno y 4,7 grados con el otoño.

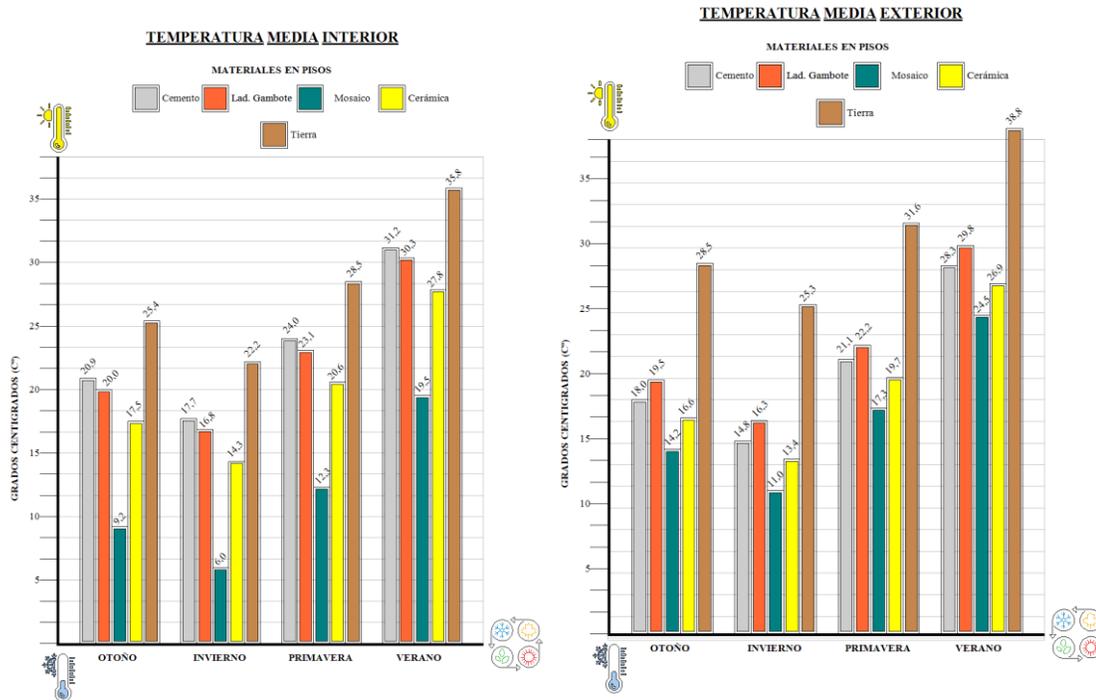
Figura 78 Temperatura Media en Muros en verano



En el mes más caluroso de verano las temperaturas en las envolventes son significativamente altas donde una vez más por su densidad, aunque diferente, son la madera y el adobe las que llegan a tener temperaturas de más de 30 grados, llegando casi hasta los 38 grados en la madera, seguido del ladrillo hueco y gambote que son similares entre sí. En exteriores es el adobe el que se eleva por encima de los demás casi llegando a alcanzar a la madera.

Temperatura Media en Pisos por Estación y Tipo de Material

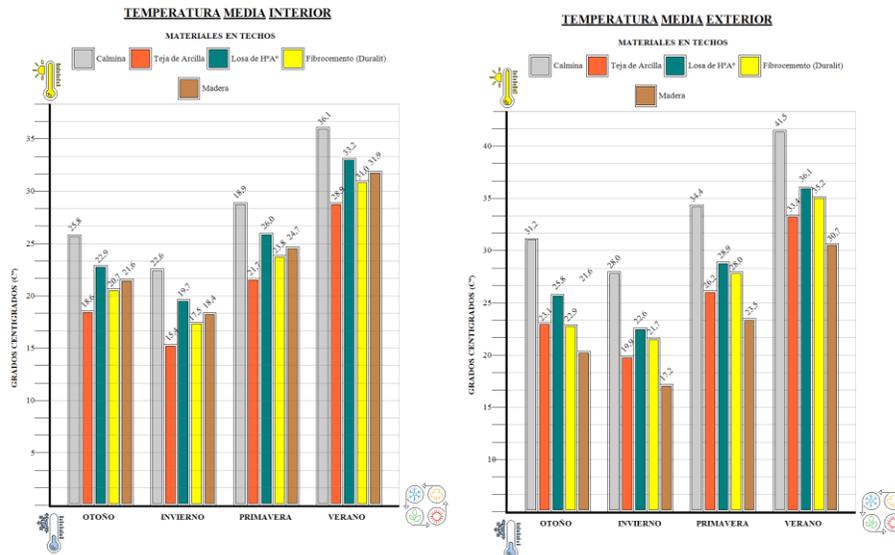
Figura 79 Temperatura Media en Pisos por Estación y Tipo de Material



Al igual que en los muros el comportamiento térmico de los materiales es parecido en las diferentes estaciones, sin embargo, dependiendo del tipo de material las variaciones se muestran significativas en relación a los demás materiales, primeramente, la tierra es la que tiene las temperaturas más altas tanto en interiores como exteriores, los pisos de cemento le siguen con temperaturas más bajas y con variaciones notables dependiendo de si la medición, siendo evidentemente inferiores al aire libre, los pisos de ladrillo gambote presenta unas temperaturas parecidas al del cemento pero levemente inferiores, el piso de cerámica se posiciona entre los más frescos con una variación considerable, finalmente el piso de mosaico presenta las temperaturas más bajas registradas con valores constantes entre estaciones pero significativamente inferiores en invierno, siendo verano en donde las temperaturas de los pisos se elevan significativamente con variaciones de hasta 16 grados en comparación a las mediciones de las demás estaciones.

Temperatura Media en Techos por Estación y Tipo de Material

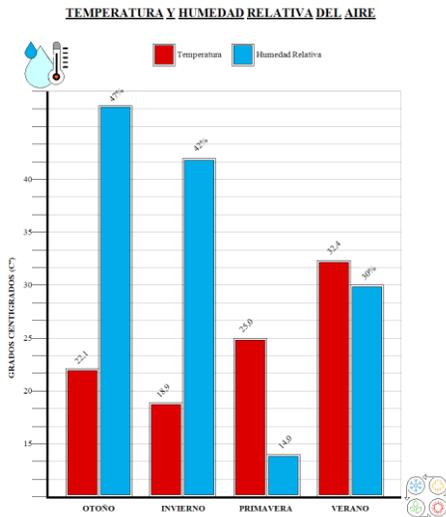
Figura 80 Temperatura Media en Techos por Estación y Tipo de Material



En techos, la calamina es claramente el material de construcción con mayor variación de temperatura en cualquiera de las estaciones, entre la noche y el día, entre el interior y el exterior; es importante aclarar que estas mediciones son temperaturas medias de todas las muestras por lo que no refleja con total puntualidad el comportamiento que tiene este material de manera individual. Seguidamente le sigue la losa de hormigón armado que en interiores a pesar de que la diferencia de temperaturas con la calamina no sean considerables, si se llega a calentar bastante, y en exteriores su temperatura es notablemente inferior a la de la calamina, por otra parte la madera y el fibrocemento tienen temperaturas interiores estables en primavera y otoño, pero inferiores en invierno, en cambio en exteriores las temperaturas del fibrocemento son superiores a las de la madera, finalmente la teja de arcilla se muestra como uno de los materiales más estables y con un mejor comportamiento térmico, ya que las variaciones interiores y exteriores no son tan significativas y se mantienen más frescas en su cara interior cuando es verano y más estables en su cara exterior cuando es invierno.

Temperatura y Humedad Relativa del Aire por Estación

Figura 81 Temperatura y Humedad Relativa por estación

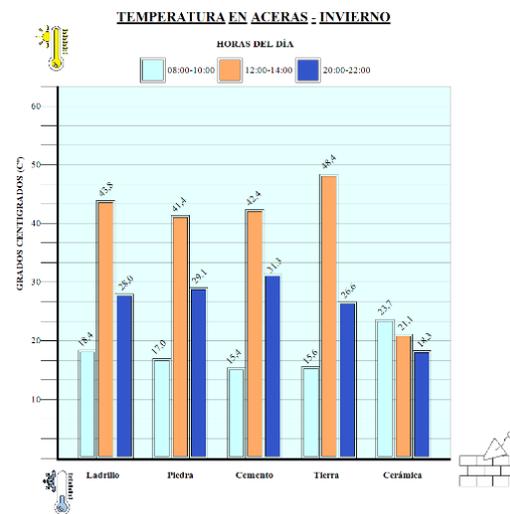
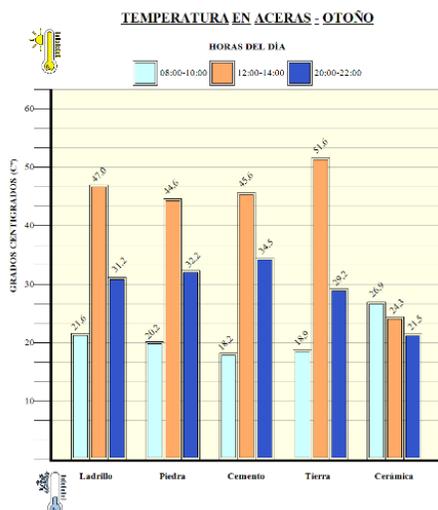


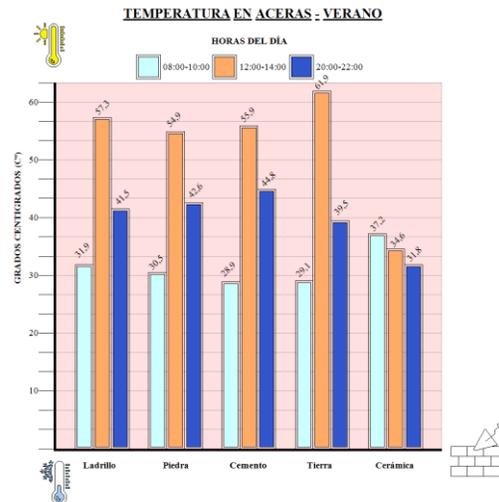
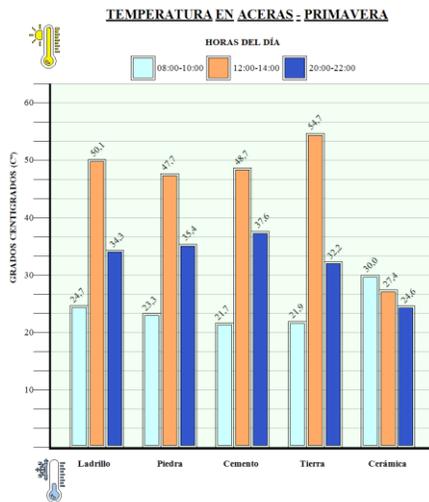
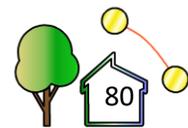
En otoño la alta humedad en relación a la temperatura puede distorsionar la sensación térmica y parecer que la temperatura se perciba más caliente de lo que realmente es, en invierno pasa exactamente lo contrario ya que por las bajas temperaturas en relación a la humedad, el aire se puede percibir más frío de que es real, en primavera las temperaturas sobrepasan el límite del confort térmico y la humedad es demasiado baja por lo que el aire seco puede

causar deshidratación, sequedad en la piel y las mucosas. Finalmente, en verano las altas temperaturas y alto porcentaje de humedad hacen que exista la sensación de bochorno, aumentando la dificultad de regulación de temperatura del cuerpo, generando estrés por calor, y provocando deshidratación.

Temperatura en Aceras por Estación, Hora de Medición y Tipo de Material

Figura 82 Temperatura en Aceras por Estación y Tipo de Material

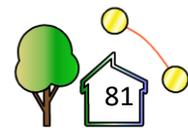




Independientemente de la estación, la hora del día en que los materiales de las aceras se sobrecalientan son las del medio día de 12:00 a 14:00pm, empezando por la tierra y pasando por el ladrillo gambote, el cemento y la piedra, en todos los casos el patrón se repite, temperaturas bajas en la mañana, altas en la tarde e intermedias en la noche, finalmente las aceras de cerámica son las que presentan temperaturas más bajas en comparación a los demás materiales y más estables en comparación de las mediciones del día, aunque durante la mañana su temperatura es superior en comparación a la de todos los demás materiales también medidos en la mañana.

Interpretación de los Datos Obtenidos

Para la interpretación de los resultados se hace énfasis principalmente en la conductividad térmica (mide la capacidad de un material para conducir calor) y la inercia térmica (cantidad de calor que puede almacenar un material) de los materiales medidos, esto porque ayuda a entender el comportamiento que tuvieron los materiales en el trabajo de campo; muchas de las mediciones realizadas variaron debido a los factores externos del contexto de cada edificación, como ser la sombra, ventilación, radiación solar, orientación etc.; y aunque las propiedades térmicas de los



materiales, como la conductividad térmica, proporcionan una guía general sobre su comportamiento, las condiciones reales influyeron significativamente en los resultados.

En Muros:

- El ladrillo hueco y gambote tienen un valor de conductividad térmica relativamente alto ($1,31 \text{ W/m.K}$) por lo que no son los mejores aislantes térmicos. El adobe tiene una conductividad térmica más baja ($0,22 - 0,81 \text{ W/m.K}$), lo que lo hace un mejor aislante térmico en comparación con los ladrillos. La madera tiene la conductividad térmica más baja de los cuatro materiales ($0,13 \text{ W/m.K}$), lo que la convierte en el material medido con mejor aislamiento térmico.
- Por otro lado, el adobe es el material con mayor grado de inercia térmica, es decir, tiene la capacidad para mantener una temperatura constante a pesar de las fluctuaciones térmicas externas, en orden, le siguen el ladrillo gambote y hueco respectivamente con un grado de inercia moderado, y finalmente la madera con el grado de inercia más bajo de los cuatro materiales.

En Pisos:

- La cerámica tiene un valor de conductividad térmica elevado ($1,0 - 2,5 \text{ W/m.K}$) por lo que tiene un alto grado de transferencia de calor desde el piso, le siguen el ladrillo gambote ($1,3 \text{ W/m.K}$) y el mosaico ($1,0 - 1,5 \text{ W/m.K}$), finalmente el cemento ($0,29 - 0,7 \text{ W/m.K}$) y la tierra ($0,8 \text{ W/m.K}$ aproximadamente) convirtiéndolos en los materiales con menor grado de transferencia de calor.
- En cuanto a la capacidad de almacenar y expulsar calor el cemento es el más adecuado por su densidad y capacidad calorífica, le siguen los pisos de tierra ya que tiene un comportamiento similar a los muros de adobe o incluso los de tapial con



una alta inercia térmica, por otro lado los pisos de ladrillo gambote y de cerámica presentan un grado más moderado de inercia térmica, finalmente los pisos de mosaico tienen un bajo grado de inercia térmica, lo que explica por qué son el tipo de pisos con mayor variación de temperaturas en relación a los demás pisos medidos.

En Techos:

- La losa de hormigón armado es la que tiene mayor conductividad térmica (1,7 W/m.K) le siguen con una conductividad moderada la teja de arcilla (0,85 W/m.K) la calamina y el Fibrocemento (0,41 – 0,7 W/m.K) y finalmente es la madera la que tiene una menor capacidad para transferir calor (0,13 W/m.K).
- Se puede evidenciar tras la medición que la calamina es la que tiene una menor inercia térmica debido a su baja capacidad calorífica, lo que explica por qué se calienta y enfría con tanta facilidad, esta vez en ascendencia, le sigue la madera con una baja a moderada inercia térmica, la teja de arcilla que tiene una moderada o alta inercia térmica, finalmente la losa de hormigón armado que tiene la inercia térmica más alta de acuerdo a los datos registrados.

En Aceras:

En cuanto al comportamiento térmico de las aceras, aquellas que se encontraban sin ningún tipo de recubrimiento hechas de tierra simplemente, presentaban las temperaturas más altas, seguido del ladrillo gambote y el cemento con temperaturas intermedias y finalmente la piedra y la cerámica como los materiales más frescos ante las altas temperaturas, aunque a primeras horas de la mañana, la cerámica se mantiene ligeramente más caliente que los demás materiales. Materiales con alta conductividad térmica, como el cemento y la piedra, pueden absorber y retener



más calor durante el día, liberándolo lentamente durante la noche y los materiales con alta inercia térmica, como el ladrillo y la piedra, pueden retrasar la transferencia de calor, estos aspectos junto con el nivel de vegetación con que se cuente en el exterior, influirá directamente en la temperatura tanto de las mismas aceras, como de las edificaciones colindantes.

Conclusiones

En muros, las mejores alternativas para la construcción de acuerdo a sus propiedad térmicas son: el adobe por su alta masa térmica y buen aislamiento, ideal para mantener temperaturas interiores confortables, la madera por su capacidad de aislamiento térmico y estabilidad entre el interior y el exterior a pesar de ser un material que puede mantenerse caliente bastante tiempo. El ladrillo gambote puede ser una buena alternativa en épocas frías ya que puede acumular y liberar calor, aumentando la temperatura interior en las noches, pero en climas donde el calor es constante la mayor parte del año puede que no se la mejor opción de aislamiento térmico, finalmente el ladrillo hueco que en climas como el de Villa Montes, no está a la altura de las necesidades de aislamiento en comparación con la madera o el adobe.

En pisos, los materiales con una mejor respuesta y estabilidad ante las altas temperaturas son: el mosaico en primer lugar ya que a pesar de recibir radiación solar directa se mantiene bastante estable, la cerámica, por que contribuye bastante bien a mantener las temperaturas interiores confortables, el cemento y el ladrillo gambote que tienen un comportamiento parecido y aunque se mantengan frescos principalmente cuando están expuestos exteriores, el cemento en interiores presenta una alta conductividad térmica y el ladrillo gambote acumula bien el calor del día y lo expulsa por la noche, finalmente la tierra que utilizada como piso de manera directa, se calienta bastante y se mantiene así durante las noches.



En techos, los materiales que tienen una mejor respuesta ante el calor son: la teja de arcilla por su buena inercia térmica y capacidad de dejar pasar el aire fresco, la madera una vez más por capacidad de aislamiento térmico y estabilidad en interiores y exteriores, el duralit por su buen aislamiento térmico y además de ser un material que tiene resistencia a la humedad, la losa de hormigón armado que llega calentarse y por su forma no se tiene muchas opciones para un aprovechamiento de los rayos solares más eficiente, aunque si se puede adecuar con técnicas de aislamiento, finalmente la calamina que necesita aislamiento adicional combinado con un cielo falso interior, debido a su alta conductividad térmica capacidad de elevar y reducir sus temperaturas drásticamente.

Este análisis nos muestra cuales son los materiales existentes en Villa Montes que tienen una mejor y peor respuesta térmica a las condiciones de clima extremo del lugar, esto no significa que las propuestas bioclimáticas deban limitarse a esa lista de materiales, sino que, de acuerdo a los resultados hay ciertos materiales que pueden aprovecharse mejor y otros que deberían limitarse o evitarse cuando se esté realizando el diseño arquitectónico.

Resumen de Resultados Obtenidos

El análisis y la interpretación de los datos nos dicen que los materiales de construcción estudiados tienen un determinado comportamiento que permitió ordenarlos de mayor a menor estabilidad térmica, por lo que el siguiente resumen no pretende afirmar cuales son las más adecuados sino, que es un indicador de cuáles son las mejores alternativas en función a sus demás propiedades térmicas analizadas en la interpretación de datos obtenidos.

El orden de alternativas de mayor a menos estabilidad queda de la siguiente manera:

En Muros:

Adobe, Madera, Ladrillo Gambote y Ladrillo Hueco



En Pisos

Mosaico, Cerámica, Ladrillo Gambote, Cemento y Tierra.

En Techos

Teja de Arcilla, Madera, Fibrocemento, Losa de Hormigón Armado y Calamina.

En Aceras

Cerámica, Piedra, Cemento, Ladrillo Gambote y Tierra.

Pautas Bioclimáticas de Diseño Arquitectónico

A continuación, se presenta una serie de pautas bioclimáticas para el diseño arquitectónico adecuados para la ciudad de Villa Montes, recopilados con el objetivo de conjugarse con los resultados obtenidos en la etapa de análisis cuali - cuantitativo y poder llegar a tener un producto final más completo.

Pautas Generales del Proyecto

Ubicación

Dependiendo si el proyecto se encuentra a los pies de la serranía podrá aprovechar mejor las corrientes de aire que bajan de las partes más altas para una ventilación natural, o si se encuentra próximo a masas de agua podrá disfrutar de la regulación natural de la temperatura que se genera, teniendo estos puntos como referencia se puede configurar de mejor manera los espacios y elementos de la edificación.

Orientación y Forma

Considerando que en climas calurosos donde los requerimientos de protección contra las altas temperaturas son mayores a los de los periodos fríos, la orientación más adecuada para un aprovechamiento del sol es de E, NE Y N, de este modo se juega con el recorrido del sol entendiendo que en invierno la fachada norte recibe mayor radiación solar, mientras que en verano



son la cubierta y las cras este - oeste las que tienen mayor incidencia de rayos solares, siendo el lado oeste el más castigado.

Forma y Tipología ideal

La forma óptima de un edificio en lugares con un clima caluroso será aquella que pierde un mínimo de calor durante el invierno y que gana un mínimo de calor en verano, en este sentido la forma alargada en su eje este – oeste será la más adecuada por su mayor exposición de superficie hacia el norte (radiación solar) y el sur (vientos).

En cuanto a la tipología, aquella que cuenta con un patio interior será la más adecuada ya que permite un almacenamiento de aire en las inmediaciones y su enfriamiento nocturno al cesar la radiación solar, debiendo considerarse una relación de 1;1,3 y un criterio de elasticidad de 1:1,6 en su planta partiendo de la clásica forma cuadrada 1;1 como base..²⁸

Distribución Espacial Interior

Se recomienda ubicar los locales de mayor uso al norte (dormitorios, salas de estar, comedores y otros); por otra parte, los pasillos, lavanderías, baños, garajes, y otros espacios que tienen mínimas necesidades de calefacción y alumbrado deben situarse a lo largo de la fachada sur del edificio, de este modo se priorizan ciertos ambientes en invierno y verano.

Alturas

Debido al tipo de clima las alturas de los ambientes deben tener dimensiones suficientes como para permitir que el aire caliente y viciado suba a la parte alta y se mantenga estable en la parte baja mediante el principio de convección o efecto chimenea, por lo que se recomienda un mínimo de 3,50 metros desde el piso terminado hasta el cielo raso o falso.

²⁸ Olgyay Víctor. (1998-2006). *Arquitectura y Clima, Manual de Diseño Bioclimático Para Arquitectos Y Urbanistas*. España.



Protección Exterior y Ganancia Solar

Aleros

Deben emplearse en todas las fachadas, considerarse mayores dimensiones en la cara norte y complementarse con los otros elementos de protección exterior.

Parasoles

Son dispositivos arquitectónicos que brindan protección a las aberturas o fachadas orientadas principalmente al norte, pueden ser verticales, horizontales o mixtas, además pueden ser fijas, móviles, de una sola pieza o de láminas múltiples con posiciones e inclinaciones diversas.

Parteluces

Son elementos arquitectónicos verticales que dividen una ventana en dos o más partes, su función principal es estructural, pero evitan la radiación solar directa actuando como elementos de sombreado al dividir la ventana, creando sombras que reducen la cantidad de luz solar directa que entra en el edificio.

Elementos Móviles

Son elementos que pueden ajustarse a las condiciones climáticas y de posición solar a lo largo del día y para permitir o excluir la entrada del sol, requiriendo un control manual de los ocupantes, siendo el caso de los parasoles móviles, celosías, cortinas de enrollar, postigos, toldos, etc. Estos deberán ubicados en las fachadas con mayor exposición solar.

Protección Adicional

Debido a la alta cantidad de mosquitos en Villa Montes, principalmente en épocas de calor, se recomiendan mosquiteros o mallas en las ventanas, y postigos exteriores.



Patios Interiores

Los patios interiores deberán ser sombreados, con fuentes, espejos de agua y vegetación de hoja caduca para enfriamiento y humidificación debido a su alto nivel de transpiración en sus hojas.

Espacios de Sombra Adosados

Son espacios adosados a la edificación con elementos de protección de la radiación solar directa, pueden ser estructuras con vegetación incorporada (pérgolas) con vegetación caduca para permitir el soleamiento en invierno o bien utilizarse galerías, pórticos, vestíbulos que permitan generar un espacio sombreado intermedio entre el exterior y el interior.

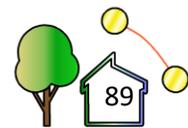
Tragaluces

Por otro lado, cuando lo que se busca es el ingreso de los rayos solares en invierno, se pueden incorporar tragaluces en las cubiertas, estos elementos arquitectónicos tendrán a su vez, elementos adicionales que permitan el control solar en verano, estas deberán estar ubicadas en la fachadas E – NE - N -NO y O.

Vegetación

El tipo de vegetación a emplearse como elementos de protección solar y enfriamiento, tales como árboles, arbustos y cubre suelos o enredaderas variará dependiendo de la ubicación respecto del edificio y su orientación, ubicando especies de hojas caducas para producir sombra en verano y permitir el ingreso de sol en invierno.

Se deberán emplear principalmente en fachadas este y oeste, siendo esta última la que debe tener mayor densidad y al sur se deberán ubicar estratégicamente para controlar los vientos más fuertes, pero a la vez permitir la ventilación natural.



Enfriamiento Por Ventilación Natural

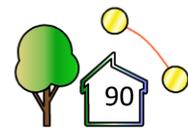
Se debe aprovechar la incidencia del viento en el confort térmico del cuerpo humano y entender que la ventilación natural posibilita el refrescamiento de superficies internas.

El movimiento del aire interior se puede producir mediante los siguientes métodos:

Por ventilación cruzada, con la ubicación de aberturas en paredes opuestas en dirección del viento, en este caso en las fachadas norte y sur; Ventilación por efecto chimenea, que se produce por convección debido a la diferencia de presiones por la temperatura del aire exterior e interior, el cual, al ser más caliente y menos denso, asciende; Por chimenea o cámara solar, la cual puede ser un refuerzo a la ventilación mediante un dispositivo en forma de chimenea que al calentarse succiona el aire interior, Por torre de viento, un dispositivo que capta los vientos y los introduce al interior mediante aberturas hacia el interior; Y enfriamiento por suelo, el cual consiste en la conducción de aire a través de cañerías enterradas hacia los locales que se deseen acondicionar, en este caso la temperatura de la tierra misma va a condicionar la temperatura del aire que pasa por los conductos enterrados, por ello se recomienda regar dicha tierra en la superficie.

Enfriamiento Evaporativo Indirecto

En este sistema el aire es humidificado con lo que se logra una disminución de su temperatura debido al calor absorbido al producirse la evaporación del agua, siendo introducido dentro del edificio, para ello el aire debe pasar por elementos que contengan agua como fuentes, estanques, aspersores, etc., también puede aprovecharse el proceso de evapotranspiración de la vegetación como sistema de humidificación del aire.



Enfriamiento Evaporativo Directo

Este es un sistema un poco más avanzado que consiste en la captación de los vientos mediante una torre que tiene las superficies interiores humedecidas con agua, de tal manera que el aire que ingresa al interior esta enfriado y debido a su densidad desciende.

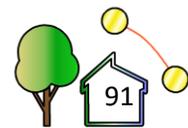
Enfriamiento Por Edificio Enterrado

Consiste en el la utilización de la tierra en grandes espesores ya que actúa como elemento de inercia, permitiendo reducir las fluctuaciones y manteniendo las temperaturas constantes en el interior del edificio. Para ello se pueden cubrir superficies exteriores con tierra, enterrar el edificio, utilizando taludes o cubrir el techo con losa cuando no se pueda optar por una cubierta inclinada.

Ventanas y Aberturas

Deben ser elementos cuidadosamente seleccionados y empleados ya que es a través de las ventanas que los rayos solares ingresan con mayor facilidad en el interior y pueden ser condicionantes en el grado de confort térmico, por lo que se recomienda:

- Situar las ventanas principales hacia el norte, las secundarias hacia el este y oeste, y en la fachada sur reducir la superficie de ventanas, pero con la debida protección exterior.
- En lo posible evitar las aberturas en las fachadas este y oeste para maximizar la ventilación cruzada norte – sur.
- Emplear vidrios reflectantes ya que funcionan al tener una capa especial que refleja una parte significativa de la radiación solar.
- Las ventanas remetidas pueden ser útiles para la generación de sombra en fachadas.
- Tomar en cuenta la relación de la profundidad de los ambientes orientados hacia el norte y su relación con las ventanas, ya que la profundidad de los espacios que dan



a esta fachada no debe exceder en 2 ½ veces la altura de las ventanas desde el suelo, esta proporción asegura que la radiación cubra todo el espacio en invierno.”²⁹

- Se recomiendan ventanas operables y abatibles en espacios que den a patios interiores y jardines pero que sean de buen sellado.
- También se pueden emplear estantes de luz en el interior y que, obstruye el ingreso de la radiación solar directa, pero aumenta el ingreso de la luz exterior reflejándola en el cielo falso e iluminando el interior de manera indirecta.

El Color y Textura del Edificio

Los colores claros como el blanco, crema y tonos pastel reflejan hasta en un 80% la cantidad de luz solar y calor, lo que podría ser un plus a mantener el edificio más fresco durante el día. Por otro lado, las tonalidades oscuras, como el negro, gris oscuro y azul marino, tienden a absorber más luz solar y calor, llegando a reflejar solo un 20%, esto puede ser beneficioso en climas fríos, ya que ayuda a calentar el interior del edificio de manera natural.³⁰. En interiores se recomiendan los siguientes porcentajes de reflexión:

Cielo falso: menor a 80%, paredes entre 50 y 70% (utilizar el mayor para la pared que contenga la ventana), pisos entre 20 y 40%. Se recomiendan superficies con acabados mate para una mejor distribución de luz y evitar deslumbramientos.

²⁹ Pozo Leaña Carla Tatiana. (2011). Determinación de estrategias de Diseño Bioclimático Para la Ciudad de Sucre (Bolivia). Universidad Internacional de Andalucía.

³⁰ Delaqua Victor, *¿Cómo influyen los colores en el confort térmico y el gasto energético de los edificios?*, Arch daily



Aplicación de Herramientas de Diseño Bioclimático

En este último punto de la investigación se hace una aplicación de diferentes herramientas y diagramas bioclimáticos empleados comúnmente para poder determinar estrategias pasivas de climatización en el diseño bioclimático, para ello se emplean los datos climatológicos recopilados propios de la ciudad de Villa Montes y se aplican en los diagramas para obtener recomendaciones adecuadas para el contexto.

A continuación, se muestra la aplicación de las herramientas:

Tablas de Mahoney

Es un herramienta que permite solucionar las necesidades técnicas de un proyecto arquitectónico basado en las variables climáticas y el proporcionamiento de confort. En sí, son un conjunto de tablas de referencia que permiten solucionar los cuadros que ofrecen propuestas o premisas a utilizar. Es una herramienta de pre-configuración y diseño arquitectónico y para ello se aplicaron las variables climáticas de la ciudad de Villa Montes. Su aplicación es extensa y se comienza con una tabla que contiene los datos climáticos, mes a mes, del lugar considerado y, a partir de ella, y siguiendo un conjunto de reglas, se generan otras tablas que proveen información para ayudar al diseño de la vivienda. La aplicación de las tablas se presenta en la parte de anexos, y los resultados se presentan en la última parte de este documento. Para más detalles sobre el proceso de aplicación de las tablas, consulte el Anexo A.

Diagrama Psicométrico de Givoni

Se trata de un diagrama que relaciona todos los elementos climáticos que caracterizan a una masa de aire y se basa principalmente en la utilización de las temperaturas de bulbo seco y la humedad relativa para poder caracterizar dicha masa de aire. Sobre el mismo diagrama se presenta una zonificación bioclimática con diferentes áreas que van a determinar cuáles son las estrategias

de diseño pasivas más adecuadas para cada región. Para su aplicación se debe contar como mínimo los datos promedio de temperaturas máximas mínimas y medias mensuales y su humedad relativa respectiva. Además, se debe tomar en cuenta la altura sobre el nivel del mar del lugar al que se va a realizar a aplicación ya que tanto la zona de confort como las demás poligonales pueden variar significativamente. En el caso de Villa Montes, dicha altura es de 350 a 550 m.s.n.m.

A continuación, la zonificación de estrategias bioclimáticas para localidades a una altura aproximada de 500 m.s.n.m.

Figura 83 Diagrama de Givoni Aplicado en Villa Montes

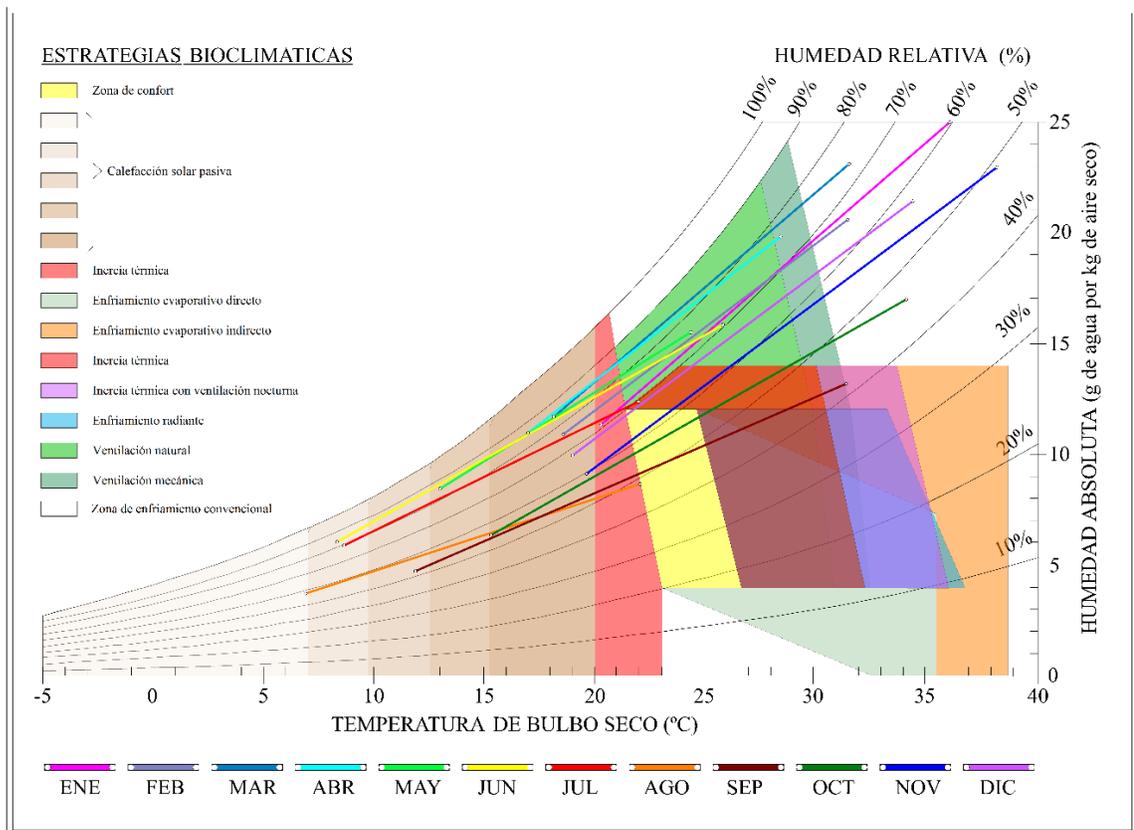
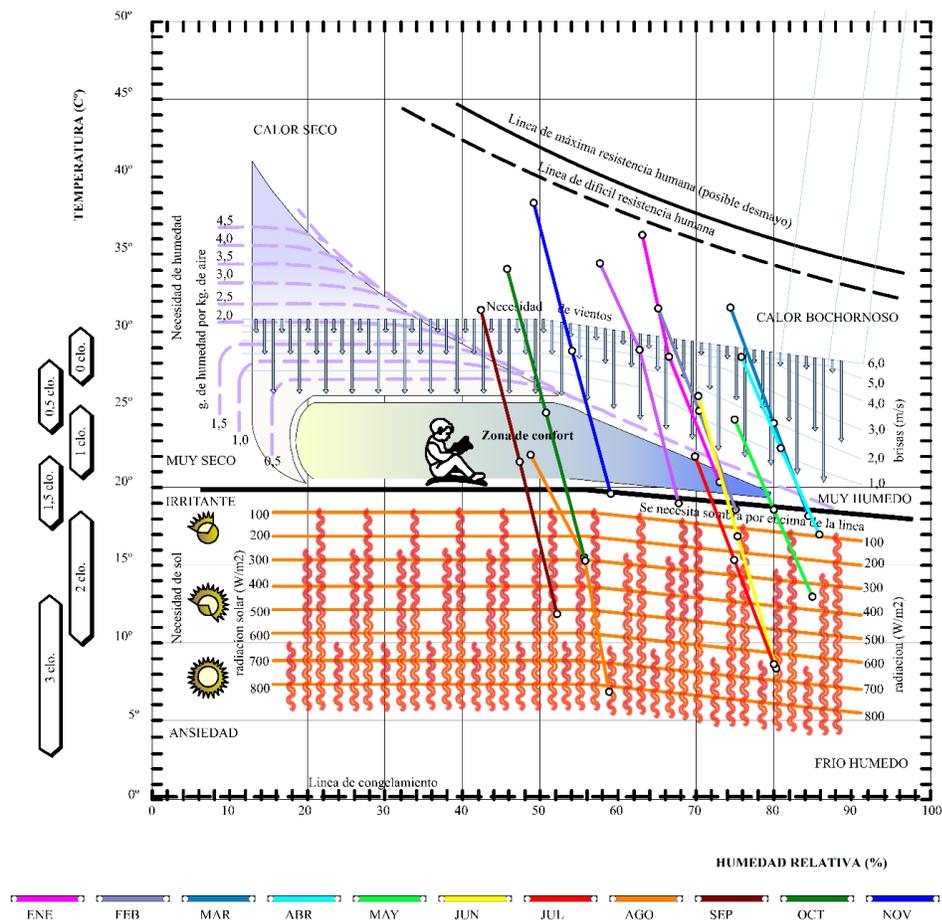


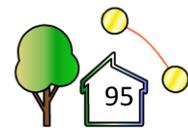
Diagrama de Confort de Olgay

A diferencia de las dos herramientas anteriores, el diagrama de Olgay es un elemento estandarizado para su aplicación, donde se puede ver gráficamente las distintas situaciones de confort, según las condiciones de temperatura y humedad que tenga determinado ambiente, en él se enmarcan los límites de la zona de confort que se extiende aproximadamente entre los 20 y 25°C de temperatura y los 20 y 60% de humedad relativa, y de acuerdo al gráfico se puede llegar a extender esa zona de confort a través de acondicionamientos selectivos, mediante controles bioclimáticos externos que hayamos diseñado para influir en la envolvente.

A continuación, el diagrama con los datos de la ciudad de Villa Montes ya aplicados.

Figura 84 Diagrama de Olgay Aplicado en Villa Montes





Planteamiento de Parámetros Bioclimáticos Para el Diseño Arquitectónico en la Ciudad de Villa Montes

Las siguientes estrategias para el diseño arquitectónico son el resultado del análisis de los datos recolectados de la ciudad de Villa Montes y su aplicación en los diferentes diagramas y herramientas de diseño en conjunto con las pautas desarrolladas en las páginas anteriores, ya que, la adecuada aplicación de estos parámetros y la correcta elección de los materiales de construcción permitirán generar diseños eficientes y lo más adecuados ambientalmente.

Resultados de Mediciones in Situ

De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda emplear los materiales construcción en muros, pisos, techos y aceras tomando en cuenta cuales tienen un mejor comportamiento térmico contra las condiciones climáticas de Villa Montes, es decir cuales son más eficientes, a continuación, se muestran ordenados de mayor a menor eficiencia:

Muros: Adobe, Madera, Ladrillo Gambote y Ladrillo hueco.

Pisos: Mosaico, Cerámica, Ladrillo Gambote, Cemento y Tierra.

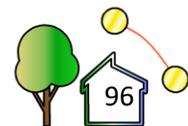
Techos: Teja de Arcilla, Madera, Duralit, Losa de Hormigón Armado y Calamina.

Aceras: Cerámica, Piedra, Cemento, Ladrillo Gambote y Tierra.

A manera de complementar estos resultados se sugieren realizar las siguientes modificaciones constructivas para maximizar la implementación de estos materiales:

En Muros:

Que sean masivos, porosos o también se recomiendan cámaras de aire internas, por ejemplo, las de un ladrillo de 6 huecos, además las caras exteriores deben presentar materiales aislantes en lo posible naturales.



Por otra parte, se recomiendan también taludes o los espacios semienterrados en caso de desniveles pronunciados en el terreno, la tierra puede mantener una temperatura más constante y agradable durante todo el año. La tierra actúa como un aislante natural, protegiendo el interior del calor excesivo en verano y del frío en invierno.

En Pisos:

Igual deben ser masivos, pero en interiores también se recomiendan capas de material aislante por debajo del piso, suelos elevados para generar cámaras de aire que actúen como aislante térmico; por otro lado, en exteriores se recomiendan pavimentos reflectantes o pisos permeables que permitan infiltración del agua al subsuelo.

En Techos:

Además de tener que ser masivos, que tengan el mayor espesor posible, pueden emplearse cielos falsos de plastroformo de unos 5 cm para poder generar espacios de aire de aproximadamente unos 25 a 30cm como mínimo y complementarlos con otros materiales aislantes, esto como un medida contra las temperaturas que descienden desde el techo

También se pueden emplear diferentes tipos de techos, entendiendo que los que son con caídas o “aguas” son los más eficientes por que permiten un mejor flujo del aire, se pueden complementar con chimeneas eólicas, turbinas eólicas o captadore eólicos. Se recomiendan aleros en todas las fachadas, siendo de mayor dimensiones en el norte, y en la fachada oeste se puede complementar con vegetación; en este mismo marco también se recomiendan cubiertas verdes como un elemento aislante adicional.



En Aceras:

Se recomiendan pavimentos reflectantes o pisos permeables que permitan infiltración del agua al subsuelo ya que además de las aguas pluviales que se pueden infiltrar, una práctica bastante común es la de regar las aceras para poder generar humedad y frescura.

Tablas de Mahoney

Distribución: Disposición del edificio de manera que su eje más largo esté alineado de este a oeste. Esto significa que las fachadas principales del edificio estarán orientadas hacia el norte y el sur.

Espaciamiento: Disposición y diseño de los espacios de manera que se maximice la ventilación natural y a la vez se requiere protección para minimizar el impacto negativo de los vientos fuertes.

Ventilación: Necesidad de asegurar un flujo continuo de aire mediante habitaciones de una galería.

Tamaño de Aberturas: Las ventanas deben ocupar entre el 20% y el 30% de la superficie de la pared en la que están instaladas

Posición de Aberturas: Las ventanas deben ubicarse en los muros norte y sur, a la altura de los ocupantes en la parte media y baja.

Muros, Pisos y Techumbre: Los materiales empleados en muros, pisos y techo deben ser masivos, que tengan un retardo térmico de 8h, es decir con una alta inercia térmica. Estos materiales tienen la capacidad de almacenar calor y liberarlo lentamente, lo que ayuda a mantener una temperatura interior más estable.

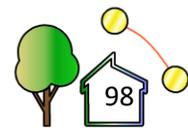


Diagrama Psicométrico de Givoni

- **Necesidad de Inercia térmica en la edificación:** Se requieren materiales o un sistema constructivo que pueda almacenar y liberar calor de manera gradual para mantener temperaturas interiores confortables y estables, reduciendo la demanda energética y mejorando el rendimiento global del edificio.
- **Necesidad de ventilación natural para los meses de verano:** Esto se puede lograr con la correcta ubicación de las ventanas y aberturas para el manejo de ventilación cruzada, además de una buena morfología y orientación,
- **Necesidad de calefacción solar pasiva en los meses más fríos:** Mediante la correcta orientación y distribución de vegetación que permita la incidencia los rayos solares en las caras que se requieran de manera estratégica.

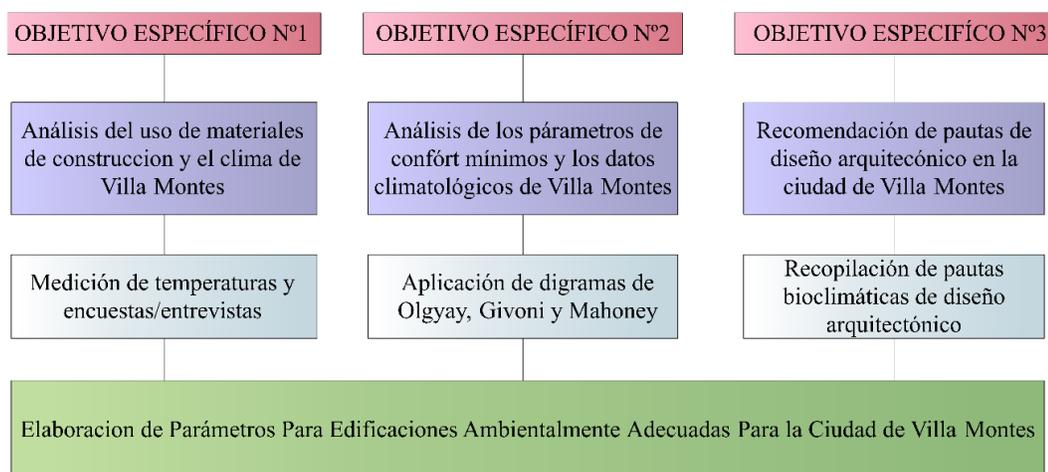
Diagrama de Confort de Olgyay

- **Para los meses calurosos:** Necesidad de ventilación natural y sombra constante mediante la correcta orientación del edificio y adecuada ubicación de la vegetación, la cual deberá ser seleccionada dependiendo de su tipo de hoja y comportamiento estacional, estas pueden ser de hoja caduca o perenne.
- **Para los meses fríos:** Necesidad de radiación solar desde 100 hasta 800 W/m². Se puede lograr mediante una buena orientación, utilización de materiales con una alta inercia térmica, correcta ubicación de ventanas y vegetación exterior.

Verificación y Comprobación de Objetivos Planteados

La elaboración de parámetros para edificaciones ambientalmente adecuadas para la ciudad de Villa Montes comprende los 3 objetivos específicos planteados y desarrollados en las páginas anteriores, pasando por el análisis de datos, la recopilación de pautas de diseño y la aplicación de herramientas de diseño bioclimático, demostrándose en la siguiente figura:

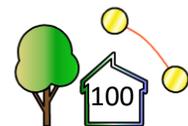
Figura 85 Verificación y Comprobación de Objetivos Planteados



Aplicación de Parámetros Para Demostrar la Factibilidad de la Investigación

El desarrollo de los parámetros para edificaciones ambientalmente adecuadas para la ciudad de Villa Montes se muestra con más detalle en el texto adicional de esta investigación, además de un apartado final denominado “Atlas Bioclimático de la Ciudad de Villa Montes” en donde se adjuntan diferentes mapas útiles para el diseño y estudio bioclimático de la ciudad, con el fin de proporcionar herramientas de utilidad para futuras investigaciones.

Finalmente, con la finalidad de verificar y demostrar la eficiencia en los resultados de la investigación, se realizó la aplicación de los parámetros en el diseño arquitectónico de una vivienda que responde factiblemente al haberse configurado bajo los parámetros planteados; los planos de dicha vivienda se adjuntan en el **Apéndice A** de la parte final.



Conclusiones y Recomendaciones Finales

El desarrollo de esta investigación ha permitido generar nuevo conocimiento para plantear los parámetros adecuados para aplicarse en Villa Montes, una localidad con unas condiciones climáticas particulares a nivel departamental y nacional, en donde se pudo evidenciar que el problema de la falta de confort por las altas temperaturas, se debe en parte a la falta de conocimiento de la población acerca del tema y de cómo los paradigmas tradicionales de la edificación y las construcciones genéricas concebidas sin ningún tipo de criterio bioclimático están más presentes que nunca, al igual que en la mayoría de los países de América Latina.

El problema del cambio climático ha puesto en vigencia todos los enfoques de la arquitectura que buscan una mayor eficiencia energética y sostenibilidad en las edificaciones, el problema es que en países y ciudades poco desarrolladas no se toman en cuenta, y Villa Montes, como localidad en pleno crecimiento todavía tiene grandes oportunidades de cambiar y adaptarse a estos cambios, y con la aplicación de los parámetros resultantes de esta investigación se pretende enmarcar nuevas directrices enfocadas en el diseño y la construcción de edificaciones ambientalmente más eficientes para la ciudad, en donde las personas y el medio ambiente encuentren ese beneficio mutuo y armonía para el desarrollo de la vida.

Los resultados obtenidos en la etapa de medición de temperaturas, permiten tener un panorama de la situación actual, pero no pretenden enmarcar límites entre los materiales más y menos eficientes que deberían utilizarse, sino que en conjunto con las recomendaciones y pautas de diseño ofrecen las herramientas necesarias para poder combinarlas y poder generar edificaciones con características bioclimáticas que puedan adecuarse en cualquier ubicación de la ciudad, con la única y verdadera esperanza de poder contribuir a la calidad de vida de las personas a través de la arquitectura.