



TÍTULO

**DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO
BIOCLIMÁTICO PARA LA CIUDAD DE SUCRE (BOLIVIA)**

AUTORA

Carla Tatiana Pozo Leño

Directora
Curso

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2011

María López de Asiaín Alberich

X Máster en Energías Renovables. Arquitectura y Urbanismo. La Ciudad Sostenible.

ISBN

978-84-694-5067-3

©

Carla Tatiana Pozo Leño

©

Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadore (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
 - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
 - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
-
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
 - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
 - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

**X MASTER EN ENERGÍAS RENOVABLES.
ARQUITECTURAY URBANISMO. LACIUDAD SOSTENIBLE**

T R A B A J O D E T E S I S

**DETERMINACIÓN DE
ESTRATEGIAS DE DISEÑO
BIOCLIMÁTICO PARA
LA CIUDAD DE SUCRE**

**ALUMNA:
CARLA TATIANA POZO LEAÑO**

**DIRECTORA:
PHD. ARQ. MARÍA LÓPEZ DE ASIAÍN**

D I C I E M B R E • 2 0 1 0

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Jaime y María López de Asiaín, por haber aumentado mi espíritu de superación y haberme dado las herramientas para actuar profesionalmente ante la problemática medioambiental.

A mis compañeros del máster, quienes hicieron de esta experiencia, una de las mejores de mi vida.

Agradezco además a Rogelio y Valeria, por la paciencia que me tuvieron y el cariño que me demostraron durante la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

Con todo cariño, dedico este trabajo a los arquitectos y futuros arquitectos sucrenses.

CONTENIDO

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA.....	5
1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	5
1.4. MARCO HIPOTÉTICO	5
1.4.1. Hipótesis	5
1.4.2. Universo de Estudio.....	6
1.4.3. Objeto de Estudio	6
1.4.4. Constantes y Variables del Estudio.....	6
1.5. OBJETIVOS	6
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2. ESTADO DEL ARTE	9
3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL. FUNDAMENTOS SOBRE LA ENERGÍA Y LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA.....	12
3.1. LA ENERGÍA	12
3.2. LA ENERGÍA SOLAR	14
3.3. CONCEPTUALIZACIÓN Y PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA	18
3.4. SISTEMAS SOLARES PASIVOS	20
3.4.1. Ganancia Directa De Calor	20
3.4.2. Ganancia Indirecta De Calor	21
3.4.3. Ganancia Aislada de Calor.....	22
3.4.4. El Vidrio.....	22
3.5. ENFRIAMIENTO PASIVO: REDUCCIÓN DE LAS FUENTES DE CALOR	24
3.6. VENTILACIÓN NATURAL	26

3.7. CONCEPTOS GENERALES SOBRE CONFORT TÉRMICO	29
3.8. HERRAMIENTAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO	30
3.8.1. Tablas de Mahoney.....	30
3.8.2. Diagrama Bioclimático de Víctor Olgyay	31
3.8.3. Diagrama Psicométrico de Baruk Givoni	32
3.9. LA CRISIS AMBIENTAL	33
4. LA CIUDAD DE SUCRE.....	36
4.1. RESEÑA HISTÓRICA.....	36
4.2. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS	44
4.3. LA ARQUITECTURA EN LA CIUDAD DE SUCRE	46
4.4. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ARQUITECTURA EN SUCRE, FRENTE AL BIOCLIMATISMO	49
5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA CIUDAD DE SUCRE	50
5.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA	50
5.1.1. Según Koppen	50
5.1.2. Escenarios Climáticos de Bolivia	51
5.1.3. Senamhi	52
5.2. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS	53
5.2.1. Temperatura del Aire	53
5.2.2. Humedad Relativa.....	53
5.2.3. Vientos.....	54
5.2.4. Precipitaciones	57
5.2.5. Radiación Solar.....	58
5.3. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE CONFORT TÉRMICO EN LA CIUDAD DE SUCRE	61
5.4. CARTA SOLAR.....	62
6. ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS GENERALES	64
6.1. TABLAS DE MAHONEY	64
6.2. DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DE BARUK GIVONI.....	64
6.2.1. Comportamiento Horario De La Temperatura	65
6.2.2. Comportamiento Horario De La Humedad Relativa	65
6.3. GRÁFICA BIOCLIMÁTICA DE VÍCTOR OLGAY.....	69
6.4. RESUMEN DE ESTRATEGIAS RECOMENDADAS	70
7. ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO	72
7.1. UBICACIÓN DEL EDIFICIO.....	73
7.2. ORIENTACIÓN DEL EDIFICIO	75
7.3. FORMA DE LA EDIFICACIÓN	76
7.4. DISTRIBUCIÓN INTERIOR	80

7.5. LAS VENTANAS	82
7.6. EL COLOR DEL EDIFICIO	85
7.7. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	86
7.8. RELACIÓN DEL EDIFICIO CON LA VEGETACIÓN	87
8. SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO PASIVO	89
8.1. SISTEMAS DE CALENTAMIENTO PASIVO	90
8.1.1. Sistema De Captación Directa	90
8.1.2. Almacenamiento Térmico en Obra	94
8.1.3. Invernadero Adosado	97
8.1.4. Sistema De Muro Captador.....	100
8.2. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PASIVO.....	102
8.3. SISTEMA DE VENTILACIÓN	104
8.4. SISTEMAS DE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN.....	107
8.5. SISTEMAS DE HUMIDIFICACIÓN DEL AIRE	110
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA	114
ANEXO 1. TABLAS DE MAHONEY.....	116
ANEXO 2. PLANOS DE LA CIUDAD DE SUCRE.....	124

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración Nº 1.....	13
Ilustración Nº 2.....	13
Ilustración Nº 3. Cambio del sistema energético mundial hasta el año 2100	14
Ilustración Nº 4. Reducción de la intensidad de la Energía solar	15
Ilustración Nº 5. Paneles fotovoltaicos.....	16
Ilustración Nº 6. Esquema de un sistema de energía solar térmica para generación de agua caliente sanitaria.....	17
Ilustración Nº 7. Esquemas de diseño arquitectónico solar pasivo	17
Ilustración Nº 8. Aplicaciones de diseño bioclimático en diferentes contextos geográficos.....	19
Ilustración Nº 9.....	21
Ilustración Nº 10. Muro Trombe.....	21
Ilustración Nº 11. Invernadero adosado.....	22
Ilustración Nº 12. Torres de enfriamiento evaporativo. Av. Europa Expo 92 - Sevilla	24
Ilustración Nº 13. Ventilación natural	26
Ilustración Nº 14. La temperatura de confort térmico depende de la temperatura del aire y temperaturas de la pared.....	30
Ilustración Nº 15. Diagrama Bioclimático de Victor Olgyay	32
Ilustración Nº 16. Diagrama Psicométrico de Baruk Givoni	33
Ilustración Nº 17, Casa de La Libertad.....	37
Ilustración Nº 18. Universidad San Francisco Xavier	38
Ilustración Nº 19. Plano de la Ciudad de La Plata, según Ildefonso Luján. 1777.....	39
Ilustración Nº 20. Arcos de San Francisco, Catedral Metropolitana, Plaza Central	42
Ilustración Nº 21. Entrada de la Virgen de Guadalupe.....	43
Ilustración Nº 22. Ubicación de Bolivia en Sudamérica	44
Ilustración Nº 23. Cerros Sica Sica y Churuquilla	44
Ilustración Nº 24. Arquitectura y calle colonial	46
Ilustración Nº 25. Arquitectura Republicana	47
Ilustración Nº 26. Arquitectura Moderna. Ex - estación Aniceto Arce.....	48
Ilustración Nº 27. Arquitectura Contemporánea.....	48
Ilustración Nº 28. Frecuencia mensual de los vientos en Sucre	56
Ilustración Nº 29. Radiación Solar en el continente americano	59
Ilustración Nº 30. Carta Solar Estereográfica. Latitud 19°3´ Sur	62
Ilustración Nº 31. Recorrido solar. Vista desde la zona Libertadores.....	63
Ilustración Nº 32. Ubicación en función del recorrido solar.....	73
Ilustración Nº 33. Vivienda separada de colindancias	74

Ilustración N° 34. Viviendas muy adosadas	74
Ilustración N° 36. Repercusión de las vertientes al Sur y al Norte	75
Ilustración N° 35. Orientaciones favorables.....	75
Ilustración N° 37. Zona de emplazamiento favorable para clima templado.....	75
Ilustración N° 38. Viviendas en pendiente al norte. Barrio Japón	76
Ilustración N° 39. Edificio alargado en el eje Este – Oeste. Facultad de Derecho USFX.....	77
Ilustración N° 40. Esquema Formal sugerido para clima templado	77
Ilustración N° 41. Profundidad máxima del espacio	77
Ilustración N° 42. Vivienda compacta. Villa de Yotala	78
Ilustración N° 43. Edificio poroso. Patios del Archivo y Biblioteca Nacional.....	79
Ilustración N° 44. Edificio esbelto. Edificio Careaga	79
Ilustración N° 45. Distribución del espacio interior	80
Ilustración N° 46. Ingreso protegido	81
Ilustración N° 47. Planta muy compartimentada. Convento de Santa Teresa.....	82
Ilustración N° 48. Distribución de las superficies vidriadas	83
Ilustración N° 49. Ejemplo de ubicación deficiente de ventanas	84
Ilustración N° 50. Ejemplos del uso de grandes superficies vidriadas	85
Ilustración N° 51. Sucre, Ciudad Blanca de América	86
Ilustración N° 52. Sistema constructivo tradicional.....	87
Ilustración N° 53. Diagrama de distribución de vegetación alrededor del edificio	88
Ilustración N° 54. Sistema de captación directa	90
Ilustración N° 55. Superficie vidriada.....	91
Ilustración N° 56. Diseño del lucernario	92
Ilustración N° 57. Lucernarios orientados al norte.....	93
Ilustración N° 58. Dientes de sierra.....	93
Ilustración N° 59. Claraboya	94
Ilustración N° 60. Reflexión y difusión de la radiación solar	97
Ilustración N° 61. Superficie vidriada del invernadero.....	98
Ilustración N° 62. Invernadero adosado	99
Ilustración N° 63. Muro captor.....	101
Ilustración N° 64. Árbol para sombrear en verano	103
Ilustración N° 65. Ventilación cruzada.....	104
Ilustración N° 66. Efecto chimenea	105
Ilustración N° 67. Efecto Venturi. Sistema de aspiración de aire	106
Ilustración N° 68. Cámara solar.....	106
Ilustración N° 69. Ángulos solares de Sucre.....	107
Ilustración N° 70. Alero como protector de radiación	108
Ilustración N° 71. Persianas.....	108
Ilustración N° 72. Toldo desplegable.....	109
Ilustración N° 73. Emparrado	109
Ilustración N° 74. Efecto humidificante y evaporativo del agua.....	110
Ilustración N° 75. Patio del Museo Charcas.....	111

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Temperaturas medias	53
Tabla N° 2. Humedad relativa media	54
Tabla N° 3. Frecuencia mensual de vientos en Sucre, expresada en %	55
Tabla N° 4. Precipitaciones mensuales	58
Tabla N° 5. Radiación solar diaria media mensual	60
Tabla N° 6. Temperatura y Humedad Horarias Medias Mensuales.....	66
Tabla N° 7. Resumen de necesidades horarias para alcanzar el confort térmico	68
Tabla N° 8. Variación de temperaturas interiores en el día.....	95
Tabla N° 9. Tipos de muros y anchos recomendados	99
Tabla N° 10. Tipos de muros y anchos recomendados	101
Tabla N° 11. Variación de temperatura interior en función del espesor de muro	102

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Frecuencia anual de los vientos en Sucre	55
Gráfico N° 2. Vientos frecuentes	57
Gráfico N° 3. Radiación solar diaria media mensual.....	60
Gráfico N° 4. Diagrama Psicométrico de Givoni para Sucre.....	67
Gráfico N° 5. Gráfica Bioclimática de Olgyay para Sucre.....	69

RESUMEN

El presente trabajo, determina las estrategias de diseño bioclimático pasivo, que puedan ser aplicables a viviendas de la ciudad de Sucre, para mejorar el comportamiento térmico de las mismas.

La ciudad de Sucre es la capital constitucional del Estado Plurinacional de Bolivia, tiene un magnífico centro histórico colonial y republicano, y es conocida mundialmente como la Cuna de La Libertad Americana, habiéndose celebrado recientemente el Bicentenario del Primer Grito Libertario en América, acontecido en Sucre en el año 1809.

Por diversos motivos, la arquitectura bioclimática es poco conocida y aplicada en la ciudad, sin embargo la expectación por el tema está despertando, gracias a la inquietud de profesionales y estudiantes, preocupados por la crisis medioambiental del planeta, y por la boga de los temas sostenibles, medioambientales y ecológicos en diferentes áreas.

En la primera parte del documento se presenta el marco metodológico del trabajo, donde se halla la problemática existente, la situación hipotética y el objetivo que debe cumplir el trabajo.

Posteriormente, se expone el estado del arte, donde se indica la poca transcendencia de la arquitectura bioclimática en Bolivia, y en especial en Sucre.

El marco teórico presenta una serie de conceptos básicos que permitirán comprender las estrategias planteadas.

A continuación se determinan estrategias generales basadas en herramientas de diseño bioclimático, como los diagramas psicométricos, la carta solar, y otros que nos brindan las pautas necesarias para identificar estrategias más específicas.

Finalmente, se plantean las estrategias de diseño bioclimático pasivo para la ciudad de Sucre, considerando su clima templado seco y sus características geográficas.

Las estrategias se dividen en dos partes: la primera referida al diseño arquitectónico, y la segunda referida a los sistemas de acondicionamiento térmico en las viviendas, ya sea para calefacción, refrigeración, humidificación, y algunos otros.

De esta manera, se presenta un trabajo que goza de mucha pertinencia, basado fundamentalmente en el contexto humano, social y arquitectónico al que se aplica, considerando las prácticas constructivas y las necesidades climáticas de la sociedad sucrense.

1. INTRODUCCIÓN

En Bolivia, los escasos proyectos referidos a la utilización de energías renovables, sostenibilidad y arquitectura y urbanismo bioclimáticos, se han aplicado en las ciudades principales del país o en comunidades del área rural. Sin embargo, ciudades como Sucre no cuentan con políticas medioambientales de aplicación en el campo de la arquitectura, debido a un amplio rango de razones incluidas aquellas de orden económico, social, político, cultural, incluso algunas de orden geográfico.

Sucre, capital constitucional de Bolivia, cuna de la libertad latinoamericana, declarada "Patrimonio Cultural de la Humanidad" por la UNESCO en 1991, es una ciudad que posee una gran riqueza arquitectónica, concentrada en su centro histórico colonial y republicano. Con más de trescientos mil habitantes, Sucre es una ciudad de clima agradable y acogedor, que avanza y crece con una sociedad inmersa en una crisis económica y social.

En Sucre el tema de la arquitectura bioclimática está escasamente desarrollado, no solamente por el poco aliento de las universidades públicas y privadas, sino también de las instancias gubernamentales e institucionales, por lo tanto, la realización del presente trabajo constituye un valioso aporte, para el mejoramiento del proceso de diseño y por ende del funcionamiento térmico de los edificios de la ciudad, considerándose en una herramienta práctica para los profesionales arquitectos.

El presente trabajo de tesis, puntualiza criterios de diseño solar pasivo que son aplicables a viviendas de Sucre, referidos a la ubicación, la forma, la piel, la distribución interior, los materiales del edificio, y otros aspectos que definen el funcionamiento energético del mismo. Además se indican cuales son los sistemas de acondicionamiento térmico que pueden aplicarse, considerando las variables climáticas de la ciudad y en concordancia con los materiales y sistemas constructivos empleados regularmente, de manera que sean correspondientes con el contexto en el que se las realiza.

1.1. JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Sucre cuenta con un incremento importante respecto a las nuevas construcciones, alcanzando un 12% anual¹, plasmado claramente en un marcado crecimiento de la mancha urbana hacia las áreas de expansión.

Sin embargo, ante esta demanda y en el ánimo de crear diseños arquitectónicos modernos, diferentes y estéticamente agradables, muchas veces los arquitectos olvidamos incluir en nuestros proyectos elementos que permitirán un adecuado funcionamiento energético y con esto alcancen un confort térmico para el usuario.

Por otro lado, en las currículas de la carrera de arquitectura de las universidades de la ciudad, el tema medioambiental y bioclimático es un tema poco tratado, por lo que los estudiantes y los profesionales, tienen muchas veces un concepto equivocado, presumiendo que el diseño bioclimático se ejerce solamente en ciudades desarrolladas, con un grado tecnológico avanzado, y que difícilmente se incluirían en nuestras prácticas. Sin embargo este es un pensamiento muy equivocado, pues la arquitectura en sus inicios y en todos los lugares donde ha surgido, ha seguido patrones climáticos para en base a ellos, realizar sus edificaciones.

Debido al carácter patrimonial de la ciudad de Sucre, se ha hecho mucho énfasis en la conservación y rehabilitación de edificios de valor patrimonial, descuidando otras áreas de la arquitectura, como la bioclimática, aplicable no solo a edificios de construcción nueva, sino también a los antiguos.

Ante esta situación, es destacable el ánimo y la inquietud que se siente en la ciudad acerca de la arquitectura bioclimática, interés por demás demostrado por profesionales y estudiantes, que no encuentran todavía un recurso educativo formal sobre el tema.

Un aspecto por demás importante, es la actual crisis medioambiental a la que toda la humanidad se enfrenta, debido principalmente al desmedido consumo de las fuentes de energía renovable y no renovables que causa entre muchos efectos el calentamiento global, del cual día a día vemos múltiples repercusiones y del cual sabemos, que los países con menos desarrollo seremos los más afectados.

Como arquitectos, nuestro aporte fundamental ante este conflicto mundial es precisamente, optar por realizar diseños bioclimáticos, acordes al clima y al lugar donde se emplacen, que disminuyan el uso de energías convencionales, que se realicen con materiales locales y de bajo impacto ecológico.

¹ Periódico "El Potosí" 29/septiembre/2010. Artículo: Sector de la construcción crecerá el 2010 en 12%

1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA

La falta de conocimiento y escasa aplicación de la arquitectura bioclimática en Bolivia, y especialmente en la ciudad de Sucre, genera una serie de aspectos problemáticos referidos al comportamiento térmico inadecuado en las viviendas, que ocasiona:

- Ambientes sobrecalentados en verano o muy fríos en invierno.
- Ambientes sin ventilación adecuada, con estanqueidad, o con presencia de fuertes vientos.
- Ambientes muy sombreados.
- Espacios de uso frecuente (dormitorios, estares, comedores) en áreas frías y húmedas.
- Áreas exteriores sombreadas todo el año, por lo tanto no utilizadas.
- Espacios muy húmedos o muy secos.
- Ambientes subutilizados, debido a las malas condiciones ambientales.

Todos estos aspectos repercuten sin duda en el desarrollo de las actividades cotidianas de los usuarios al interior de las viviendas, ocasionando molestias, incomodidades, perjuicios, muchas veces incluso deteriorando la salud de los usuarios.

1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué estrategias de diseño bioclimático pasivo deben aplicarse a viviendas de la ciudad de Sucre, de manera que se logre un comportamiento térmico adecuado?

1.4. MARCO HIPOTÉTICO

1.4.1. Hipótesis

Existen estrategias de diseño bioclimático pasivo que pueden aplicarse en las viviendas de la ciudad de Sucre, las cuales se refieren a aspectos generales del edificio, como la forma, la piel, la ubicación, la orientación, etc. que mejorarían las condiciones de habitabilidad de las mismas.

Asimismo, existen sistemas de acondicionamiento térmico aplicables a las viviendas de Sucre, que permiten controlar el calentamiento, la ventilación, y la protección solar en las viviendas, que pueden mejorar el comportamiento térmico de las mismas.

1.4.2. Universo de Estudio

El universo de estudio está constituido por el conjunto de estrategias de diseño solar pasivo. Espacialmente, el universo de estudio corresponde a la ciudad de Sucre. Temporalmente, el universo de estudio se refiere al tiempo presente.

1.4.3. Objeto de Estudio

Proceso de determinación de estrategias de diseño solar pasivo para climas templados secos aplicables a viviendas de la ciudad de Sucre.

1.4.4. Constantes y Variables del Estudio

En relación con los objetivos propuestos, se ha determinado las constantes y variables referidas al estudio.

Constantes

- La ciudad de Sucre, lugar de intervención del estudio, capital constitucional de Bolivia.
- El clima: Temperatura, humedad relativa, vientos, radiación solar, precipitaciones.
- Características socioeconómicas y culturales de la población de Sucre.
- El rango de confort térmico.

Variables Independientes

- La forma, la piel, la ubicación, la orientación, la distribución interior, el color y los materiales del edificio.
- Los sistemas de acondicionamiento térmico para las viviendas.

Variables Dependientes

- El comportamiento térmico de las viviendas.

1.5. OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar estrategias de diseño bioclimático, esencialmente pasivas, aplicables a las viviendas de la ciudad de Sucre, mediante las cuales se posibilite un mejoramiento de las condiciones térmicas de las viviendas.

Objetivos Específicos

Se consideran los siguientes:

- Describir pautas generales acerca de conceptos relacionados con la energía y el bioclimatismo.
- Caracterizar a la ciudad de Sucre, su arquitectura y la relación de esta con el bioclimatismo.
- Caracterizar y analizar los factores climatológicos en la ciudad de Sucre.
- Determinar parámetros de confort térmico, válidos para la ciudad de Sucre.
- Identificar recomendaciones de diseño, basadas en diagramas psicométricos y otras herramientas conocidas desarrolladas para el efecto.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

Se realizará la determinación de estrategias de diseño bioclimático con sistemas pasivos, para mejorar el funcionamiento térmico del edificio. No se incluirán factores lumínicos ni acústicos.

1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación tiene las siguientes características:

Tipo de Investigación

Aplicada. Desarrolla conocimientos generados previamente para aplicarlos de manera particular, considerando que sea de utilidad para su uso posterior para el diseño arquitectónico de viviendas en la ciudad de Sucre.

El enfoque de la investigación es mixto: cualitativo y cuantitativo.

Métodos de Investigación

Se emplearán los siguientes métodos:

- Método teórico. Se utilizará el método de sistematización, realizando un análisis documental y bibliográfico con un enfoque sistémico.
- Método empírico. A través de la observación científica se conocerá el

problema y el objeto de investigación, estudiando su curso natural, sin alterar las condiciones originales, es decir que la observación tiene un aspecto contemplativo, a través del registro de datos.

Técnicas de Investigación e Instrumentos

Se emplearán los siguientes:

- Sistematización bibliográfica. Se realizará la revisión bibliográfica que permita tener una vasta información acerca de sistemas de acondicionamiento térmico existentes.
- Acopio de datos. A través de esta técnica se definirán datos socioculturales, climatológicos y arquitectónicos de la ciudad de Sucre.
- Observación de edificios, sistemas constructivos, formas, funciones, materiales, y otros.
- Conversatorio Informal. Realizada con profesionales arquitectos, para conocer acerca de sus prácticas arquitectónicas bioclimáticas en sus proyectos y diseños.

2. ESTADO DEL ARTE

En Bolivia, al igual que en el resto del mundo, el diseño de construcciones basadas en la arquitectura solar pasiva proviene de la antigüedad y ha permanecido ligado a la arquitectura tradicional de muchas culturas. Sin embargo, es en los últimos siglos donde se han descuidado las buenas prácticas y hemos quebrantado la relación de la arquitectura y la naturaleza.

Actualmente los temas relacionados al medioambiente, el bioclimatismo y sostenibilidad han ocupado importantes espacios de discusión e investigación, están en constante crecimiento y en todas las áreas del conocimiento. El auge de este tema, se debe principalmente a la preocupación generalizada por la crisis ambiental en la que estamos inmersos, fruto -principalmente- de un mal manejo de los recursos naturales renovables y no renovables, al aumento de la contaminación, al crecimiento del gasto energético y debido al estilo de vida de una población cada vez más consumista.

Desde hace algunos años, diversas instituciones gubernamentales y no gubernamentales, instituciones educativas formales y no formales, asociaciones civiles, centros de investigación y otras instancias, se dedican a estudiar la manera de paliar esta problemática mundial desde diferentes áreas, sumando esfuerzos para definir estrategias que permitan mejorar la situación actual.

Algunas de las instancias que están comprometidas con la investigación y la protección del medioambiente en Bolivia y Sucre son:

- Ministerio de Medioambiente y Agua
- Gobiernos Autónomos
- Gobiernos Municipales
- Red de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente - REDESMA

- Fondo Nacional para el Medio Ambiente - FONAMA
- Liga de Defensa del Medio Ambiente - LIDEMA
- Asociación Sucrense de Ecología – ASE
- Universidades estatales y privadas

Desde el punto de vista específico de la arquitectura bioclimática, se ha avanzado positivamente en las principales ciudades del país: La Paz, Santa Cruz y Cochabamba, fundamentalmente a través de las universidades públicas y privadas y sus institutos de investigación, mediante líneas de acción referidas al hábitat, energía y medioambiente.

En la ciudad de Sucre, lastimosamente la práctica e investigación de la arquitectura bioclimática es prácticamente nula, habiéndose realizado hasta la fecha, dos seminarios taller de arquitectura bioclimática, organizados por el Colegio de Arquitectos de Chuquisaca, en los cuales se ha demostrado una participación e interés destacable, pero sin embargo estos han sido esfuerzos puntuales, que no han conllevado mayores compromisos.

En Sucre existen 3 universidades en las que se imparte la carrera de arquitectura:

- Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca
- Universidad Privada del Valle - Univalle
- Universidad Boliviana de Informática

Desafortunadamente, en ninguna de estas universidades existen institutos de investigación de arquitectura bioclimática, así como tampoco se imparten asignaturas específicas del tema, y al respecto los planes de estudio solamente incluyen asignaturas de ecología y medioambiente.

Hasta la fecha, en Sucre no se han realizado programas de posgrado referidos a arquitectura bioclimática, aunque en algunos otros programas de posgrado en arquitectura, han existido algunas tesis referidas en cierta manera a la aplicación de arquitectura bioclimática. También se debe mencionar que en la ciudad existe una escasa bibliografía sobre el tema.

Afortunadamente, se ha podido constatar que existe un importante interés por parte de los profesionales y estudiantes de arquitectura, quienes en un futuro no muy lejano deben tomar conciencia de la urgencia de la aplicación de estas técnicas, no solamente para el mejoramiento de la situación medioambiental, sino también por el afán de dotar a los usuarios (muchas veces niños, ancianos, enfermos, etc.), de condiciones medioambientales adecuadas, que les permitan realizar sus actividades cotidianas adecuadamente.

Al ser Sucre una ciudad catalogada como patrimonial, la tendencia de la arquitectura ha avanzado hacia la rehabilitación de las viviendas y áreas históricas, lo que de alguna manera ha frenado el desarrollo de otros campos de la arquitectura, razón por la cual se aglutina a profesionales arquitectos con posgrados en restauración, y no así en otras especialidades de la arquitectura.

Por otro lado, en un ámbito internacional, se ha podido verificar a través de una revisión bibliográfica que existen muchos documentos que se han desarrollado, los cuales se constituyen en pautas, buenas prácticas, recomendaciones, manuales, estrategias de diseño, y otros, que se consideran como herramientas para el diseño arquitectónico, muchas veces realizadas a nivel general, y muchas a nivel específico, o sea desarrolladas para un determinado lugar y clima.

Sin embargo, se considera que las estrategias planteadas en el presente documento, han sido definidas no solamente en función al comportamiento climático y ubicación geográfica de la ciudad, sino también a las características socioeconómicas y culturales, de la población, de manera que estas estrategias sean realmente aplicables y no sean contradictorias con el contexto al que se inserten.

3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

FUNDAMENTOS SOBRE LA ENERGÍA Y LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

3.1. 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 es, por lo tanto, una magnitud física que puede manifestarse de distintas formas: potencial, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc., existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí pero respetando siempre el principio de la conservación de la energía.

En tecnología y economía, una fuente de energía es un recurso natural, así como la tecnología asociada para explotarla y hacer un uso industrial y económico del mismo. La energía en sí misma nunca es un bien para el consumo final sino un bien intermedio para satisfacer otras necesidades en la producción de bienes y servicios. Al ser un bien escaso, la energía es fuente de conflictos para el control de los recursos energéticos.

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.

Para clasificar las distintas fuentes de energía se pueden utilizar varios criterios:

a) Según sean o no renovables

Llamaremos fuentes de energía renovables a 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.



Ilustración N° 1.
Generación de energía eólica

Las fuentes de energía 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 carbón, petróleo, gas natural, uranio e hidrógeno (éstas utilizadas en fisión y fusión nuclear respectivamente).



Ilustración N° 2.
Extracción de Petróleo

b) Según sea 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.

Un aspecto importante es la gran diferencia entre la energía consumida en los países desarrollados y en los que están menos desarrollados. Aproximadamente el 25% de la población del planeta consume el 75% de la energía comercial usada en

todo el mundo. Esto se traduce en que, cada uno de los habitantes de los países desarrollados usa unas diez veces más energía que una persona de un país menos desarrollado. Existe un importante sector de la población mundial que todavía obtiene la energía principalmente de la madera, el carbón vegetal o el estiércol, como es el caso de los habitantes de áreas rurales de Bolivia.

Dos vías de solución parecen especialmente prometedoras para hacer frente a la importante problemática ambiental. Por una parte aprovechar más eficientemente la energía. Por otra acudir a fuentes de energía renovables: solar, eólica, hidráulica, etc. La siguiente imagen muestra el posible cambio del sistema energético actual, hacia fuentes de energía renovable, hacia el año 2100.

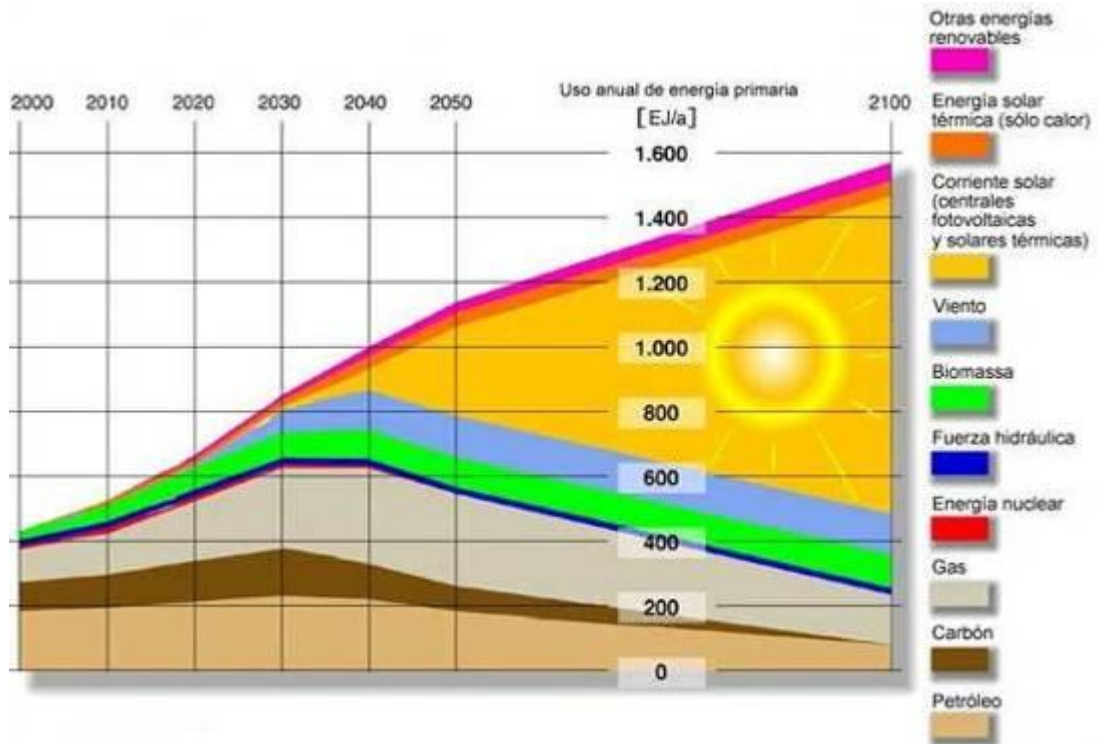


Ilustración N° 3. Cambio del sistema energético mundial hasta el año 2100²

3.2. LA 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.

² Disponible en: www.solarwirtschaft.de "Previsión del Consejo Consultivo del Gobierno Alemán sobre el cambio global"

La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es $1,37 \times 10^6 \text{ erg/s/cm}^2$, o unas 2 cal/min/cm^2 .

Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que parece ser que varía un 0,2% en un periodo de 30 años. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.

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.

La intensidad de la radiación solar -para llegar a la Tierra- se reduce por varios factores, entre ellos la absorción de la radiación en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono, ozono, etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por las partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y otros.

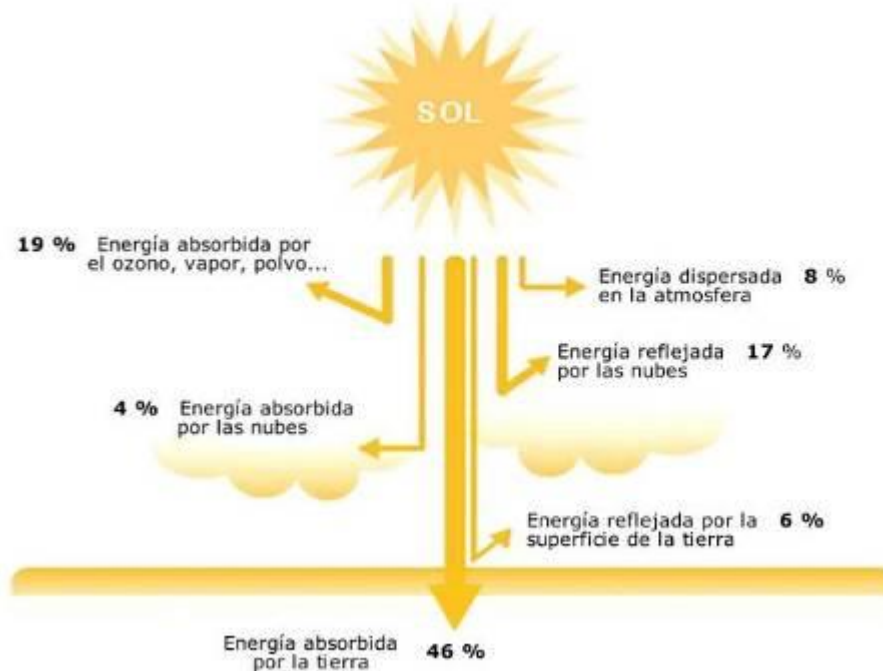


Ilustración N° 4. Reducción de la intensidad de la Energía solar

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.

Se pueden distinguir 3 tipos de energías:

- **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.



Ilustración N° 5. Paneles fotovoltaicos

- **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.

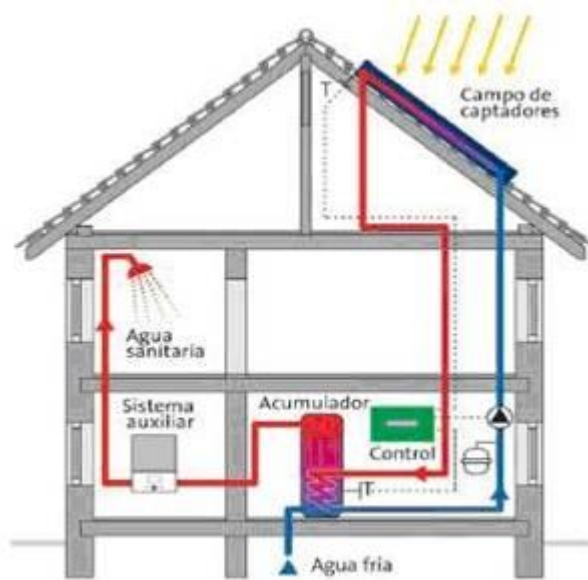


Ilustración N° 6. Esquema de un sistema de energía solar térmica para generación de agua caliente sanitaria

- 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.

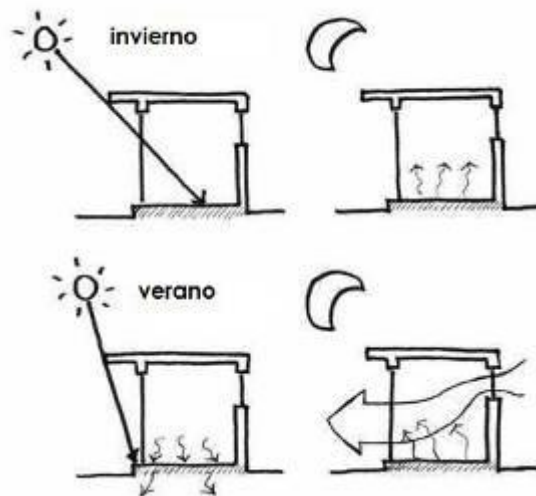


Ilustración N° 7. Esquemas de diseño arquitectónico solar pasivo

3.3. CONCEPTUALIZACIÓN Y PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

El diseño bioclimático o arquitectura bioclimática ha existido siempre, razón por la que algunos autores consideran que es un término redundante, pues toda arquitectura debe ser por naturaleza, esencialmente bioclimática. Sin embargo, lamentablemente eso no pasa de ser una declaración de principios o intenciones que, por diversas razones, no siempre se ha cumplido en la práctica, más aún en los últimos tiempos.

El término diseño bioclimático o arquitectura bioclimática sí es relativamente reciente. Según la definición de Serra (1989): “la palabra bioclimática intenta recoger el interés que tiene la respuesta del hombre, -el bios- como usuario de la arquitectura, frente al ambiente exterior -el clima- afectando ambos al mismo tiempo a la forma arquitectónica”.

Por tanto, la arquitectura bioclimática trata de optimizar la relación hombre-clima mediante la forma arquitectónica.

Los primeros usos del Sol en la arquitectura tuvieron un origen simbólico y religioso; sin embargo, ya desde la antigüedad, en correspondencia con el escaso dominio de la ciencia y la tecnología, el hombre se vio precisado a adecuar las soluciones arquitectónicas a las condiciones del medio para procurar espacios apropiados para la vida sólo a partir de los recursos naturales disponibles, tal y como sucede aún hoy en algunas regiones del planeta.

De acuerdo a Vitrubio... *“Si nuestras casas han de ser correctas, debemos desde el comienzo considerar las circunstancias y climas donde se construyen. Un estilo de casa puede ser apropiado para construirla en Egipto, otra en España, otra diferente en el Ponto, otra también diferente en Roma y así sucesivamente en terrenos y países de distintas características.”*³

La expresión arquitectura bioclimática abarca distintos conceptos. Sintéticamente se podría definir como el conjunto de soluciones a nivel de proyecto capaz de crear un nivel de confort satisfactorio en un edificio determinado. Esto supone la utilización de un mínimo equipamiento alimentado por energías no renovables.

El edificio en cuestión debe ser diseñado de forma que sea capaz, en su interior, y gracias a sus características (morfológicas, dimensionales, termofísicas, etc.), de modificar las condiciones medioambientales.

³ Tratados de Vitrubio. Libro VI, capítulo 1

Obviamente, las condiciones exteriores varían de un lugar a otro y en el tiempo. En consecuencia, un "edificio bioclimático ideal" debe poder reaccionar a esas condiciones absorbiendo la máxima cantidad de energía solar durante el día en invierno, a la vez que dejando escapar la menor cantidad de calor posible. Por otro lado, en verano, el mismo edificio debe rechazar la radiación solar y a su vez dispersar la máxima cantidad posible de calor. He ahí el desafío de la arquitectura bioclimática.



Ilustración N° 8. Aplicaciones de diseño bioclimático en diferentes contextos geográficos

Este comportamiento ideal se puede intentar alcanzar utilizando una serie de medidas y mecanismos.

Primero ha de considerarse la forma y la orientación del edificio. Por ejemplo, una forma muy compacta minimizará la dispersión del calor y las ganancias de radiación solar y calor cuando la temperatura exterior sea superior a la interior.

Una forma abierta permitiría una mayor ventilación e intercambio de calor entre el interior y el exterior. La orientación de un edificio afectará a las dimensiones de las superficies correspondientes a las distintas exposiciones y, consecuentemente a la interacción con el viento y su capacidad de captar la energía solar.

Para minimizar las pérdidas de calor, es necesario un buen aislamiento térmico. Ello requiere la instalación de materiales aislantes en los muros, cubiertas y suelos (áticos), un mínimo de superficie de cristal en los muros expuestos al sol directo, y

acristalamiento doble y pantallas protectoras móviles que limiten la dispersión de calor por la noche.

Las superficies expuestas al norte deben tener grandes aberturas acristaladas que permitan una máxima recepción de la radiación del sol (las dimensiones variarán de acuerdo con la latitud y las condiciones climáticas). Por la noche, se colocarán las protecciones adecuadas para minimizar la dispersión del calor acumulado durante el día. Se utilizará un colector térmico para almacenar la energía que pueda ser distribuida cuando sea necesario.

Las características del contenedor afectarán a la distribución interior; por ejemplo, en climas fríos, debemos concentrar las superficies acristaladas en los muros situados al norte, limitando las aberturas en las otras orientaciones. Por ello, debemos ubicar las estancias de estar en la zona norte del edificio y situar la zona de servicios y escaleras en la zona sur. En verano se debe mantener la radiación solar alejada del interior del edificio mediante la apertura de las superficies acristaladas y/o utilizando los mecanismos de protección adecuados (fijos o móviles que puedan proporcionar sombra durante las horas más calurosas del día.

La forma y la ubicación de las aberturas deben asegurar una ventilación y enfriamiento nocturno adecuados durante la noche. Allí donde sea posible, se debe cubrir en parte con el terreno la cara sur para mejorar las condiciones invernales y estivales gracias a la temperatura constante del mismo, a la vez que protege de los vientos fríos del invierno.

3.4. 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.

Hay varios tipos de sistemas:

3.4.1. 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.

Actualmente para que una ventana merezca ser calificada como tal, debe garantizar que la ganancia de calor en invierno a través de la superficie acristalada sea mayor que las dispersiones de calor, que no se produzca sobrecalentamiento (esto significaría una deficiente utilización de la energía disponible durante el invierno y unas condiciones de inhabitabilidad durante el verano) y, por último que la contribución neta a las necesidades térmicas del edificio sean importantes.



Ilustración N° 9. Captación directa de calor

Todo esto implica grandes superficies acristaladas de los muros con exposición norte, acristalamiento doble y/o protección nocturna, adecuada capacidad térmica expuesta a la radiación, y regulación de la ganancia de calor en verano.

3.4.2. Ganancia Indirecta De Calor

Para evitar una temperatura excesiva en los colectores de calor (inhabitables desde un punto de vista del confort), la masa que se comporta como colector se sitúa entre la superficie acristalada y la zona habitada.

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) cuya superficie exterior está pintada de color oscuro y está separada por una cámara de aire de cristal.

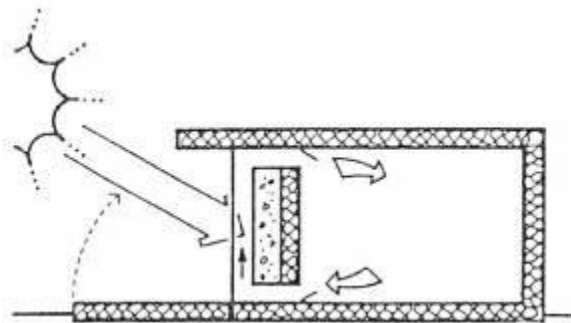


Ilustración N° 10. Muro Trombe

El calor producido por la conversión de la radiación solar se transmite parcialmente al interior a través del muro que trabaja como colector. Otra parte del calor es la aportada al aire de la cámara; este aire, al calentarse, asciende y penetra en la habitación a través de pequeñas aberturas situadas en la parte superior del muro, a la vez que el aire más frío es succionado a la cámara a través de las aberturas situadas en la base del muro. Este movimiento

del aire sucede durante el día (por convección): el calor pasa a través del muro, llegando a la cara interior tras unas horas, o sea por la noche.

Existen algunas variantes de la idea anterior, utilizando superficies con contenedores de agua, como el muro de agua (water-wall), el muro de bidones (drum-wall) o el estanque de agua en la cubierta (sky-therm).

3.4.3. Ganancia Aislada de Calor

Un ejemplo típico que sigue este esquema es la adición de un invernadero en un lateral del edificio.

La radiación es 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.



Ilustración N° 11. Invernadero adosado

Esta clase de espacios va de los pequeños espacios de tipo galería agregados a un lateral del edificio hasta los grandes espacios acristalados que cubren toda la fachada norte del edificio. La acumulación del calor tiene lugar en el suelo, las paredes captadoras y otros elementos de almacenamiento de calor.

3.4.4. 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.

Todos los cuerpos con temperaturas diferentes al cero absoluto irradian energía. La distribución en el espectro, o sea, la cantidad de energía emitida en función de la longitud de onda, depende de la temperatura del cuerpo. Los cuerpos que tienen un nivel de temperatura alto emiten radiaciones con longitudes de onda relativamente corta, mientras que los cuerpos con baja temperatura irradian longitudes de onda larga.

Una radiación de longitud de onda corta, o sea menor que 0,8 micras (micra = unidad de longitud de onda de radiación solar igual a una millonésima parte de un metro) significa luz, es decir, la radiación que podemos percibir; mientras que

una radiación con longitudes de onda mayores se conoce como "radiación infrarroja", también asociada a la sensación de calor.

La radiación emitida por el sol es equivalente a la emitida por una "masa negra", a una temperatura aproximada de 5.500 °C, lo que significa que más del 90% de la energía irradiada por el sol tiene una longitud de onda inferior a 2 micras, por lo que está comprendida entre el rango visible y el "casi" infrarrojo.

Los cuerpos situados en el interior de los edificios tienen una temperatura entre los 10 y 50 °C y por lo tanto, un espectro correspondiente situado principalmente en "rango lejano".

El vidrio se caracteriza por una gran transparencia a la energía radiante de longitudes de onda hasta 2-3 micras, y muy escasa para longitudes de onda superiores.

El efecto combinado de los 2 fenómenos (la diferente distribución en el espectro para cuerpos con diferentes temperaturas y la diferente transparencia del vidrio a las distintas longitudes de onda) se denomina "efecto invernadero". Por ejemplo, aproximadamente un 85% de la radiación solar incidente atravesará una hoja de vidrio expuesta a los rayos perpendiculares del sol. Esta radiación, cuando alcanza las diversas superficies (suelos, paredes, mobiliario, etc.) en parte se absorbe y en parte se refleja.

La parte de energía reflejada, normalmente con una distribución espectral diferente a la de la radiación incidente (esto es lo que hace que los objetos tengan distinto color), alcanza bien a otros cuerpos, con resultados análogos, o bien sale al exterior a través de las superficies acristaladas (si bien tan solo lo hacen en una pequeña cantidad).

Las superficies más absorbentes se muestran con un color más oscuro. Por ejemplo una superficie que absorba hasta un 90% de la radiación incidente se muestra de color negro.

La energía absorbida se convierte en calor, por lo que eleva la temperatura de dicha superficie. Sin embargo, las radiaciones reflejadas por las superficies interiores tienen una longitud de onda más larga, y no pueden penetrar el vidrio de nuevo.

Por consiguiente, 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.

3.5. ENFRIAMIENTO PASIVO: REDUCCIÓN DE LAS FUENTES DE CALOR

En el proceso de diseño de un edificio existen diversas razones por las que se considera apropiada la utilización de métodos de enfriamiento pasivo.

En primer lugar, están los razonamientos económicos: los gastos anuales ocasionados por los sistemas de aire acondicionado fueron superiores a 20 millones de dólares a finales de los años 80. En términos reales, las ventas en el campo de los sistemas de aire acondicionado se han más que triplicado en la década que va del año 1976 al 1985.

Tras estos razonamientos económicos, también deben indicarse otros climáticos y medioambientales, pues la mayoría de los equipos de aire acondicionado utilizan elementos que son responsables de la reducción de la capa de ozono, y contribuyen a la aparición del efecto invernadero. Además está demostrado que los índices de enfermedades son más altos en edificios con aire acondicionado.



Ilustración N° 12. Torres de enfriamiento evaporativo. Av. Europa Expo 92 - Sevilla

Es posible reducir la carga de fuentes internas de calor como pueden ser neveras y, generalizando, aparatos domésticos, elementos de iluminación y computadoras.

Esto puede conseguirse utilizando aparatos que produzcan menor cantidad de calor, creando puntos de ventilación conectados con el exterior, colocando los serpentines de enfriamiento de las neveras fuera de los edificios, conectando las cajas de las lámparas de techo al exterior, etc.

Para reducir el calor proveniente del exterior es necesario limitar los efectos de conducción así como de radiación y los puntos de infiltración de aire caliente.

Un aislamiento térmico adecuado de los cerramientos es una prioridad si se desea reducir el calor por conducción proveniente del exterior, siendo también muy útil en cuanto a mantener el calor en el interior en invierno. El calor por radiación también puede reducirse mediante el uso correcto de barreras contra la radiación, por ejemplo una lámina de aluminio colocada debajo del tejado.

Aparte del aislamiento, la capacidad calorífica de la parte exterior de un edificio o como se la conoce, la masa térmica, juega también un papel importante en la reducción de la carga de calor. Por ejemplo, los muros gruesos construidos con materiales con gran capacidad calorífica suponen una masa térmica que reduce las oscilaciones de temperatura entre el día y la noche al acumular calor durante el día y redistribuirlo dentro del edificio durante el atardecer y la noche.

La capacidad calorífica también puede ser un elemento de retardo en la transmisión del calor. En los casos más favorables, el calor absorbido por la cara exterior de los muros durante las horas del día más calurosas penetra en el interior a las últimas horas de la noche o primeras horas de la mañana, pero de una manera mucho más suave, o sea, cuando es más necesario que inoportuno. La masa térmica también puede utilizarse ventajosamente como medio de acumulación de frío, como por ejemplo transfiriendo aire fresco disponible sobre la cara interna del muro.

La vegetación alrededor de un edificio es importante: esto significa el buscar un lugar rico en vegetación o sino crearla allí donde no existiera. El papel del microclima, y de sus posibles brisas y corrientes de aire es fundamental a la hora de determinar las condiciones de bienestar de un entorno edificado.

Cuando se empleen diversos métodos para disminuir el calor, también es necesario enfriar el aire caliente que aparece en entornos cerrados, o sea transferir el calor a un elemento de temperatura más baja, ya sea aire, agua o el terreno.

Por ello el calor debe ser transferido al aire exterior cuando este esté más frío, el aire nocturno, o el aire fresco proveniente de canalizaciones subterráneas.

3.6. VENTILACIÓN NATURAL⁴

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 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 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.

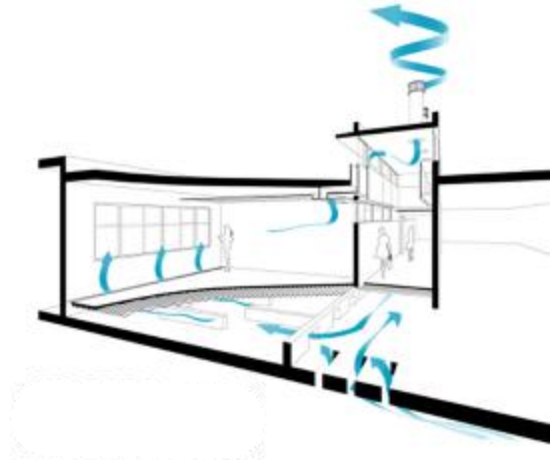


Ilustración N° 13. Ventilación natural

Para reducir estas dispersiones es necesario proteger el edificio de los vientos invernales y utilizar puertas y ventanas herméticas. Los obstáculos desviarán el viento hacia arriba y proporcionarán un área relativamente protegida a nivel del suelo.

Para beneficiarse de una barrera de árboles en invierno, estos deben ser de hoja perenne. Por otro lado, cuando queramos utilizar el movimiento del aire para enfriar un edificio, debemos eliminar todos los elementos que obstaculicen los vientos dominantes estivales.

También, debido a que el aire caliente de un edificio está más cercano al techo, la toma y las salidas de aire que se sitúen a baja altura tendrán un efecto de enfriamiento limitado; mientras que las tomas de aire situadas a baja altura y las salidas de aire situadas a gran altura en los muros serán especialmente eficientes.

Los siguientes efectos del viento pueden ser muy útiles en el enfriamiento pasivo:

⁴ Extraído de "Arquitectura y Energía". Seminario de Arquitectura Bioclimática, European Commission, Universidad de Sevilla, Ente Nouvelle Technologie Énergie Ambiente, ISES Italia.

- **Efecto Vórtice Descendente**

Se produce cuando un edificio de gran altura sobresale por encima del entorno urbano. Debido a que la velocidad del viento aumenta con la altura, las presiones que aparecen en la fachada del edificio situada a barlovento son mayores en la parte superior del edificio que en su base. La diferencia de presiones crea un fuerte flujo descendente. La intensidad es todavía mayor si un edificio de baja altura está situado frente al de gran altura, produciendo una mayor succión en la base del edificio. Una vez que alcanza la zona de baja presión, a nivel del suelo, el flujo de viento tiende a dar vueltas sobre sí mismo de manera turbulenta, añadiendo aún más discomfort del que producía.

- **Efecto Esquina**

Otro efecto muy frecuente es el de los vientos muy intensos que aparecen en las esquinas de los edificios. El efecto esquina se produce por el flujo del viento de una zona de alta presión en la cara situada a barlovento el edificio hacia la zona de baja presión situada a sotavento.

Generalmente, las turbulencias creadas por el efecto esquina se restringen a un área cuyo radio no es mayor que el ancho del edificio. Mientras más alto y más ancho sea el edificio, más intenso es el efecto. Si dos edificios de 30 o más plantas se colocan a menor distancia que el doble del ancho del edificio, se producirá un efecto esquina muy intenso en el espacio situado entre ellos.

- **Efecto Estela**

El efecto estela está relacionado con el fenómeno producido por el efecto esquina. El viento succionado por el vacío situado en la cara del edificio situada a sotavento continúa fluyendo y girando, creando una zona de turbulencias.

Generalmente, las estelas de viento siguen el modelo indicado en la ilustración, aunque tienden a ser irregulares. A veces, las estelas que aparecen a lo largo de los lados del edificio se unen a las estelas de los flujos que van de arriba abajo, dependiendo de la longitud del lado paralelo a la dirección del viento del edificio.

- **Efecto Torre**

En general, los efectos vórtice, esquina y estela son más intensos cuando un edificio de gran altura está situado junto a otros de considerable menor altura. Los edificios más bajos reducen las velocidades de los vientos a ras de suelo, produciendo mayores diferencias entre las presiones de niveles altos y las del nivel de la calle y aumentando la succión en sentido descendente.

- **Efecto Vacío**

Cuando un edificio de 5 o más plantas está colocado sobre pilares o tiene un pasaje que lo atraviesa, el aire forzado por las aberturas crea una corriente de viento muy intensa, aumentando la succión en sentido descendente.

- **Efecto de Enlace de Presiones**

Se desarrolla cuando el viento fluye sobre filas paralelas de edificios, produciendo succiones entre ellos que aspiran los flujos descendentes y los vientos, generando corrientes transversales, especialmente a ras de suelo.

La intensidad de este efecto varía según la altura del edificio, siendo los edificios más altos los que generan efectos más intensos. Los efectos se intensifican aún más si el canal por donde discurren las corrientes transversales se trata de una zona estrecha e irregular. Cuando existe un modelo donde las alturas aumentan de forma continuada, se generan distintas zonas de presión en las zonas situadas a sotavento de cada edificio, y las corrientes transversales tienden a fluir hacia las zonas con las presiones más bajas.

- **Efecto Canal**

Cuando una calle u otro espacio abierto poseen alineaciones de conjuntos de edificios muy agrupados pueden tender a encauzar el viento si dicho espacio es alargado y estrecho en relación con las alturas de los edificios que lo definen.

- **Efecto Venturi**

Puede aparecer cuando 2 grandes edificios situados en ángulo uno respecto a otro generan un embudo con una estrecha boca que no es mayor que 2 o 3 veces la altura del edificio.

Los vientos son canalizados a través de la abertura, generando velocidades de vientos muy intensificadas. Este efecto solo sucede cuando los edificios son de al menos 5 pisos de altura y tienen, conjuntamente, una longitud de 100 m, y cuando las zonas delantera y trasera del embudo son relativamente abiertas.

- **Efecto Pirámide**

Las estructuras piramidales ofrecen poca resistencia al viento, y generalmente suelen dispersar la energía del viento en todas direcciones. Una aplicación del principio de la pirámide es la utilización de configuraciones "en gradas" en el diseño de edificios de gran altura como medio de reducir los efectos vórtice, estela y esquina.

- **Efecto Refugio**

Aparece cuando los edificios están dispuestos de tal manera que se protegen unos a otros del viento. Cuando una corriente se encuentra con una zona construida, tiende a crear el mayor efecto en una franja de aproximadamente 200 m de ancho. Más allá, la velocidad del viento y las turbulencias se mantienen a niveles reducidos hasta que el viento se encuentra con edificios de una altura superior al doble de la media de las edificaciones de su entorno.

3.7. CONCEPTOS GENERALES SOBRE 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 del aire y de su humedad, además de depender del vestido y de la actividad que desarrollan.

El hombre siempre se ha esforzado por crear un ambiente térmicamente cómodo. Esto se refleja en las construcciones tradicionales alrededor del mundo desde la historia antigua hasta el presente. Hoy, crear un ambiente térmicamente cómodo todavía es uno de los parámetros más importantes a ser considerado cuando se diseñan edificios.

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.

La complejidad de evaluar el confort térmico, es evidente.

Es probable que en ambientes térmicamente diferentes, existan personas que se hallan a gusto. Esto nos recuerda que el confort térmico es una cuestión de muchos parámetros físicos y no solo uno, como por ejemplo la temperatura del aire.

El confort térmico se considera junto con otros factores como la calidad del aire, luz y nivel del ruido, cuando evaluamos nuestro ambiente de trabajo. Si no sentimos que el ambiente de trabajo cotidiano es satisfactorio, nuestra eficiencia sufrirá inevitablemente. Así el confort térmico tiene un importante impacto sobre nosotros.

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.

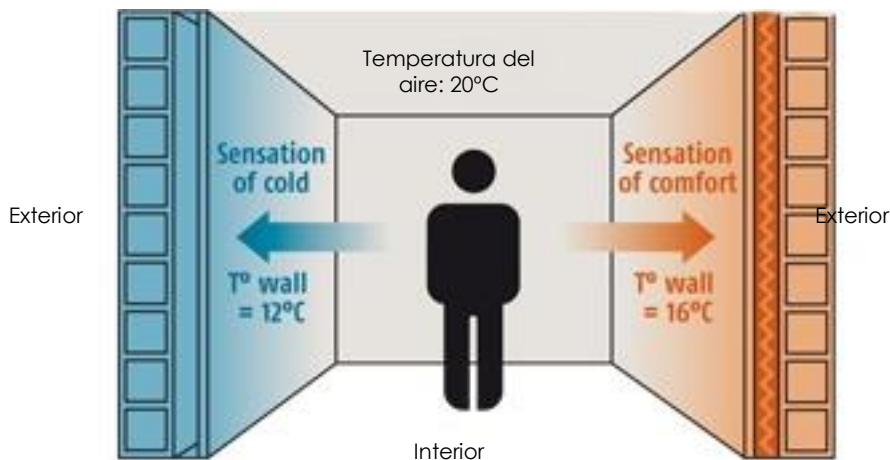


Ilustración N° 14. La temperatura de confort térmico depende de la temperatura del aire y temperaturas de la pared

3.8. HERRAMIENTAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO

Entre las múltiples herramientas de diseño bioclimático existentes y disponibles hoy en día citaremos 3, que corresponden a las más empleadas.

3.8.1. Tablas de Mahoney

Método diseñado por Carl Mahoney para ayudar en el diseño de viviendas en países tropicales. 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 recomendaciones arquitecturales, clasificadas en 9 temas:

- Plan masa. Disposición de la casa, orientación recomendada.
- Espacio entre edificios. Básicamente se trata de decidir si se va a dejar espacios para la circulación del aire o no.

- Circulación del aire. Se trata básicamente de decidir si se requiere una circulación de aire permanente, intermitente o nula.
- Dimensiones de las aberturas. Tamaño de las aberturas del edificio para la circulación interior del aire.
- Posición de las aberturas. Se insiste sobre las aberturas y la necesidad de ventilación y de inercia térmica.
- Protección de las aberturas. Se indica si es necesaria la protección contra la radiación solar directa y contra la lluvia.
- Muros. Se decide si es necesario construcciones ligeras o construcciones masivas, de fuerte inercia térmica.
- Techo. Tres posibilidades: construcción ligera y reflectante con cámara de aire, construcción ligera y aislada, y construcción masiva de fuerte inercia térmica.
- Espacios exteriores. Se indica si es necesario disponer de un emplazamiento exterior para dormir, si es necesario drenar apropiadamente el agua de lluvia, y si es necesario la protección contra las lluvias violentas.

3.8.2. Diagrama Bioclimático de Víctor Olgyay

Los diagramas bioclimáticos también denominados cartas bioclimáticas son sistemas de representación gráfica de las relaciones entre las diferentes variables térmicas que influyen en la sensación del confort térmico. Básicamente se trata de diagramas psicométricos, es decir relacionan temperatura y humedad, sobre los que se establecen las condiciones de confort en función de los índices térmicos.

Realizado en los años 50 y desarrollado en la Universidad de Berkeley, este diagrama permite realizar un estudio del potencial que tiene el diseño del exterior de los edificios, para suministrar confort.

En la zona superior, en función de las condiciones exteriores (humedad relativa, temperatura), nos da los valores de la velocidad del aire necesarios para que las condiciones sean similares a las del confort humano. En la zona inferior de la zona de confort, refleja las temperaturas exteriores con las cuales podemos estar dentro de los niveles de confort si los niveles de radiación solar son los adecuados.

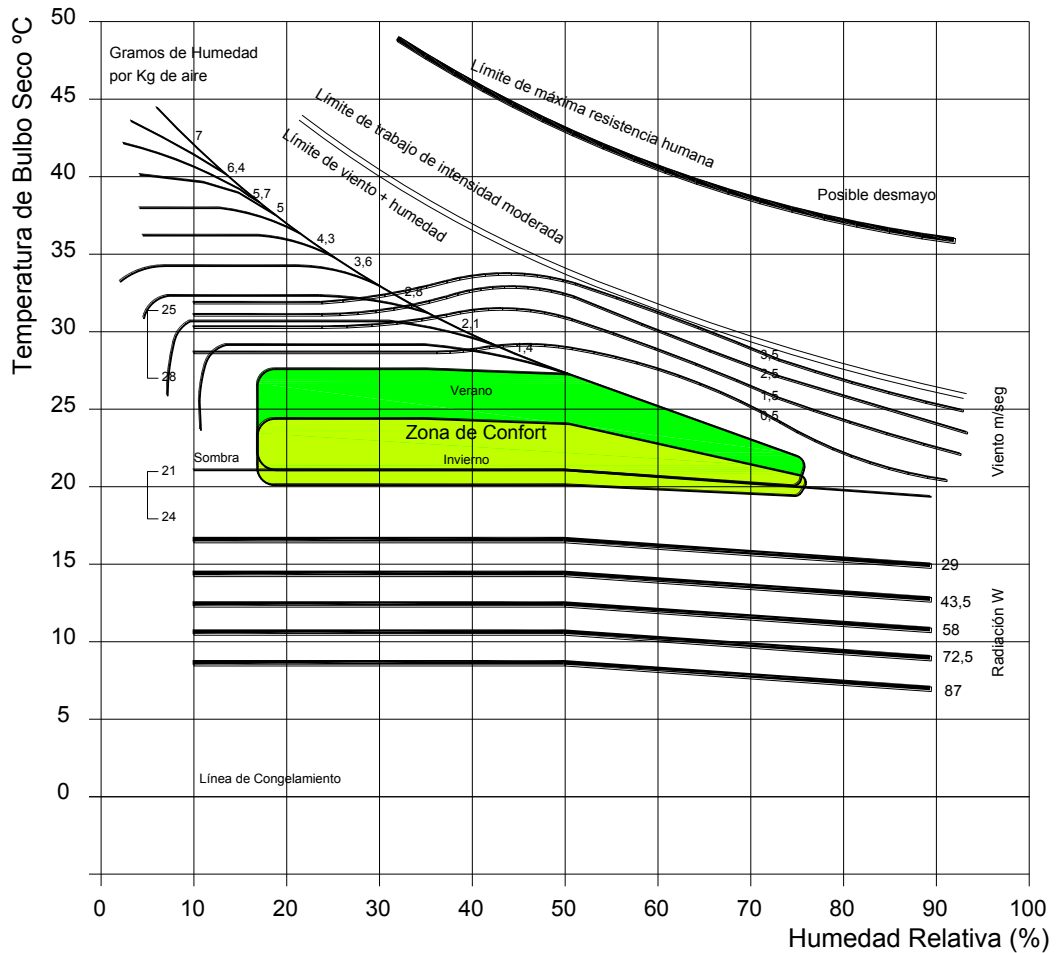


Ilustración N° 15. Diagrama Bioclimático de Victor Olgyay

Cada lugar dispone de una carta bioclimática específica, dependiendo de las condiciones particulares de temperatura y humedad.

3.8.3. Diagrama Psicométrico de Baruk Givoni

Se trata de un diagrama que relaciona múltiples parámetros: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire.

En el diagrama se traza una zona de confort térmico y se propone otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación y/o aplicación de estrategias de diseño pasivo.

Fuera de estas zonas, se vuelve necesario el uso de sistemas termo-mecánicos de acondicionamiento ambiental sea para calefacción como para refrigeración.

El diagrama no es constante, en función a la altura sobre el nivel del mar deben realizarse correcciones de manera que pueda aplicarse en un lugar específico.

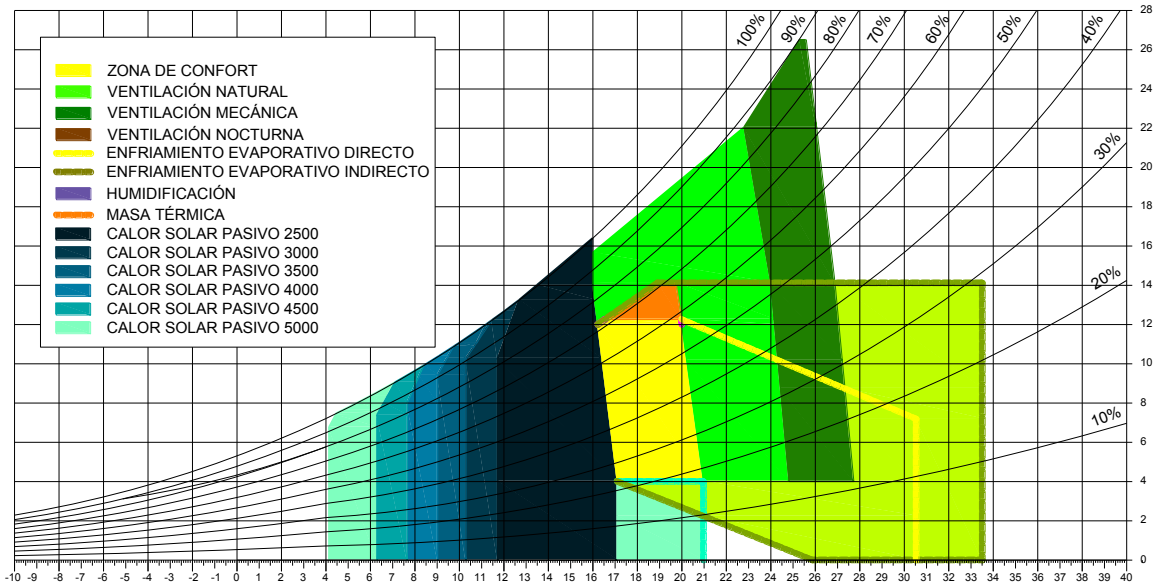


Ilustración Nº 16. Diagrama Psicrométrico de Baruk Givoni

3.9. LA CRISIS AMBIENTAL

Desde siempre la especie humana ha interactuado con el medio natural y lo ha ido modificando, por lo que los problemas ambientales no son nuevos. Sin embargo, lo que hace especialmente preocupante la situación actual, es la aceleración de esas modificaciones del medio natural, su carácter masivo y la universalidad de sus consecuencias.

Los problemas ambientales ya no aparecen como independientes unos de otros sino que constituyen elementos que se relacionan entre sí configurando una realidad diferente a la simple acumulación de todos ellos. Por ello, hoy en día podemos hablar de algo más que de simples problemas ambientales, nos enfrentamos a una auténtica crisis ambiental y la gravedad de la crisis se manifiesta en su carácter global.

Sin embargo, no podemos limitarnos a percibir esta crisis como conflicto en el que determinados planteamientos sobre el mundo y sobre la vida resultan inadecuados.

Si somos conscientes de que sólo en un ambiente de crisis se consideran y se desarrollan soluciones innovadoras, parece claro que tenemos ante nosotros el desafío de encontrar en la crisis una ocasión para "reinventar" de forma creativa nuestra manera de entender y relacionarnos con el mundo.

Pero estas soluciones no pueden ser solamente tecnológicas, el desafío ambiental supone un reto a los valores de la sociedad contemporánea ya que esos valores, que sustentan las decisiones humanas, están en la raíz de la crisis ambiental.

Unas de las principales consecuencias del abuso desmedido de los recursos naturales renovables y no renovables, de la contaminación y abuso de pesticidas y otras sustancias tóxicas, del alto grado de consumo de la energía per cápita y consiguiente aumento de las emanaciones de dióxido de carbono, es sin duda el cambio climático.

El debate sobre el cambio climático se inició hace dos décadas, cuando las consecuencias

indeseadas del desarrollo industrial comenzaron a plantear problemas de todo tipo: contaminación del aire y de las aguas, extensión del agujero de ozono, fenómenos meteorológicos inusuales, alteración de las cosechas, enfermedades inéditas, etc. La relación entre el cambio climático y la acción

humana es algo que, desde entonces, está presente en la agenda política, aunque existen diferentes opiniones sobre el grado de impacto que la industrialización ha tenido y tiene sobre el medio ambiente. Las grandes corporaciones industriales tratan de ganar tiempo antes de



abordar el proceso de descontaminación y racionalización de las fuentes de energía. Los acuerdos internacionales en materia de medio ambiente, de los cuales el Protocolo de Kyoto de 1997 se erige en referencia fundamental, casi no se están cumpliendo. Estados Unidos, la principal potencia contaminante a nivel global, no lo suscribió, de manera que el problema, lejos de encontrar soluciones, se agrava de manera irreversible, según la opinión de algunos científicos que estudian la evolución del clima.

Los países con menos desarrollo somos más vulnerables a los cambios climáticos que los países ricos, y los pobres que vivimos en países pobres estamos más expuestos a sufrir las consecuencias cada vez más devastadoras de los fenómenos climáticos extremos, como inundaciones y sequías. Se estima que el cambio climático generado por las actividades humanas disminuirá la productividad agrícola en las regiones tropicales y subtropicales, reducirá la cantidad y la calidad del agua en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas, aumentará la incidencia del paludismo, el dengue y otras enfermedades transmitidas por vectores en las regiones tropicales y subtropicales y dañará los sistemas ecológicos y su biodiversidad. Además, la subida del nivel del mar a causa del aumento de temperatura proyectado podría provocar el desplazamiento de decenas de millones de personas que viven en zonas bajas, como los deltas de los ríos, y poner en peligro la existencia misma de muchas regiones.

Sin duda el panorama es escalofriante, y en Bolivia –al igual que en el mundo entero- ya se sienten las terribles consecuencias de esta crisis, que sin duda es el mayor reto al que la humanidad se ha enfrentado.

4. LA CIUDAD DE SUCRE

4.1. RESEÑA HISTÓRICA

Sucre es la capital constitucional e histórica de Bolivia. Inicialmente fue conocida como Charcas (Capital de los Charcas hasta 1538), después se la conoció como La Plata (durante el virreinato del Perú, entre 1538 y 1776), posteriormente fue Chuquisaca (durante el virreinato de La Plata, entre 1776 y 1825) y actualmente Sucre (durante el periodo Republicano, a partir de 1825 a la fecha).

Es una ciudad arqueológica, donde se encuentran los hallazgos de Cal Orko del periodo Cretácico Superior, ciudad histórica, cuna del primer grito libertario del 25 de mayo de 1809, ciudad administrativa, sede del poder judicial de la Nación compuesto por la Corte Suprema de Justicia, el Tribunal Constitucional, el Consejo de la Judicatura y la Fiscalía General de la República. Es también sede del Tribunal Agrario Nacional y de la Asamblea Constituyente, además de ser capital del departamento de Chuquisaca.

Se la conoce también como "Ciudad de los cuatro nombres" en referencia a su pasado histórico, "La culta Charcas" por el renombre de su Universidad (4ta. Universidad más antigua de América), "Chuquisaca la vieja" por ser la primera ciudad de Bolivia y "La ciudad blanca" por su arquitectura señorial y de casas blancas.

Sucre como ninguna ciudad de Bolivia resume la historia misma de un pueblo en su lucha incesante por la libertad. Tierra de frontera entre el imperio incaico y los pueblos insumisos de las tierras bajas, optó por acoger a los conquistadores castellanos al mando de Pedro de Anzures Marqués de Campo Redondo, el 29 de septiembre de 1538, en lo que hasta entonces se llamó "Charcas" transformándose a partir de ese momento en la nueva Villa de La Plata de la Nueva Toledo. En los primeros años de dominación española, la ciudad sobrevivió a las luchas fratricidas entre pizarros y almagros que prácticamente diezmaron su población y en 1555, fue

ascendida al rango de Ciudad, por el Emperador Carlos V, concediéndole la Cruz de San Andrés como estandarte, reconociendo la legitimidad de su gobierno local y otorgando la administración sobre la explotación de la plata de las minas de Porco descubiertas en 1545, en Potosí.

En 1559 la ciudad se transforma en sede de la Audiencia de Charcas por orden de Felipe II, con autoridad sobre la Chiquitanía y el área que actualmente es Paraguay, el sudeste peruano, el norte de Chile y lo que hoy es Argentina. En 1609, se convierte en sede del arzobispado de La Plata, y en 1624 acoge a la cuarta universidad jesuita en el Nuevo Mundo, la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco de Xavier de Chuquisaca.

En el siglo XVIII, los desembarcos portugueses en el delta del río de La Plata por el atlántico y las incursiones de bandoleros a la Chiquitanía por el interior de la Amazonía, ponen en evidencia el intento portugués de tomar el control de la Audiencia de Charcas y sus ricas minas de plata. Para responder a la amenaza portuguesa y vista la incapacidad del virreinato del Perú para proteger la Audiencia de Charcas desde el Atlántico, en 1776, se crea el Virreinato de La Plata con sede en Buenos Aires, y la ciudad de La Plata, conocida ahora como Chuquisaca, forma parte esencial del nuevo virreinato. Dado que Chuquisaca es una ciudad plenamente consolidada por sus instituciones y su gobierno local, mientras que Buenos Aires es apenas un pueblo de pescadores, la vieja Audiencia de Charcas tiene competencias excepcionales sobre sus territorios dentro de la nueva administración virreinal.

El 25 de mayo de 1809 los estudiantes chuquisaqueños, inspirados en la corriente Ilustrada que impregna su universidad se rebelaron, seguidos por el pueblo, pidiendo la liberación de Jaime de Zudáñez -acusado y tomado prisionero por "conspiración" el mismo día- y la renuncia del presidente de la Audiencia de Charcas, Pizarro. Ese mismo día Jaime de Zudáñez fue liberado. La Revolución de Chuquisaca, es conocida como el Primer Grito Libertario de América y la chispa que encendió la lucha libertaria de América.

En 1825 fue testigo de la firma del Acta de Fundación de la República de Bolivia en la histórica Casa de la Libertad. En 1839, después de que la ciudad se convirtió en la capital de



Ilustración N° 17, Casa de La Libertad

Bolivia, fue rebautizada en honor del héroe revolucionario Gran Mariscal de Ayacucho Antonio José de Sucre. Problemas internos hicieron que la administración pública se trasladara de hecho a La Paz en 1899 convirtiéndose esta última desde entonces en sede política y de facto de los poderes Ejecutivo y Legislativo después de una guerra civil entablada entre los poderes económicos de la plata y el estaño.

En 1991, Sucre fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la Unesco.

La primera ciudad de Bolivia

Históricamente, se funda en 1538 con el nombre de "Villa de La Plata" por una expedición española proveniente del Cuzco (Perú), sobre un asentamiento preexistente de indios Charcas, como plaza fuerte, punto de partida de nuevas exploraciones al interior del continente. Durante la Colonia, su estratégica situación geográfica, clima templado y seco, y la proximidad de las minas de plata descubiertas en 1545 en Potosí (4.060 msnm), juegan un papel decisivo en su desarrollo como ciudad administrativa. Tres grandes instituciones la caracterizan:

- La Iglesia, con la creación de la sede Episcopal en 1552 y su posterior transformación en Arzobispado de la Plata en 1609.
- El tribunal administrativo, con la creación de la Real Audiencia de Charcas en 1559, asociada al virreinato del Perú con sede en Lima.
- La Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, creada en 1623 (cuarta universidad de América), seguida de la Real Academia Carolina en 1776.



Ilustración N° 18. Universidad San Francisco Xavier

La Cruz de San Andrés

En 1555, la Villa de La Plata es ascendida al rango de ciudad por decreto real del emperador Carlos I de España y se le otorga la Cruz de San Andrés como estandarte, consistente en una cruz escarlata sobre fondo blanco. En 1639, periodo de máximo esplendor colonial, la ciudad cuenta con 14.000 habitantes sobre una superficie de 90 hectáreas.

En 1776, su importancia se ve disminuida cuando la Audiencia de Charcas es absorbida por el Virreinato del Río de la Plata, cuya capital era Buenos Aires. Este hecho fue acompañado por la decadencia de la explotación de plata en Potosí a principios del siglo XIX.

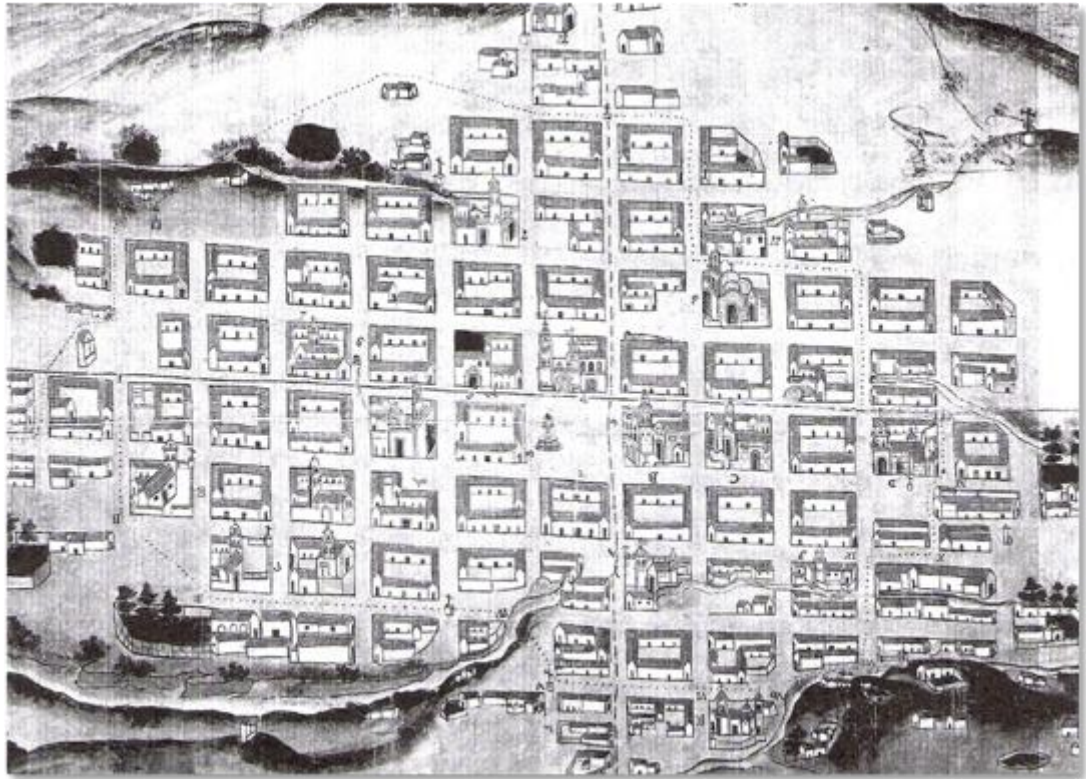


Ilustración N° 19. Plano de la Ciudad de La Plata, según Ildefonso Luján. 1777

La Tradición Republicana

Entre 1808 y 1814, Napoleón Bonaparte ocupa y anexa los reinos desde España hasta Francia. La corona española prefiere retirarse antes que trasladarse al nuevo mundo como sucede con la corona portuguesa y desata una pugna política sobre quién debe beneficiarse de los cuantiosos tributos coloniales.

En Sucre, el movimiento estudiantil chuquisaqueño, fuertemente impregnado de los ideales de la Revolución de 1789 (Libertad, Igualdad y Fraternidad) llega a la conclusión de que ni el imperio es tan fuerte como se creía, ni las colonias tan dependientes como se pretendía y se decide tomar el camino de la emancipación.

Los hermanos Zudáñez son los encargados de iniciar la Revolución con la estrategia de desconocer abiertamente toda otra autoridad más que la del rey depuesto: es el denominado "Primer Grito Libertario", un 25 de mayo de 1809.

La Capital

El 6 de agosto de 1825, Bolivia se declara Estado Independiente y un año más tarde, Sucre es oficialmente designada como capital. La ciudad cuenta entonces con 12.000 habitantes y una superficie de 170 hectáreas. A fines del siglo XIX, se impone la explotación del estaño, centrada en Oruro (1606, 3.708 msnm). En 1892, se moderniza la explotación minera con la introducción del primer ferrocarril entre Oruro y el puerto de Antofagasta (Chile). En Sucre se establecen las casas matrices de las empresas mineras de Potosí y las principales entidades bancarias nacionales. En 1909 se crea la Escuela Normal de Maestros (actual Universidad Pedagógica Mariscal Sucre).

La Guerra Civil de 1898-1899

La Paz (1548, 3.632 msnm), favorecida por su proximidad a Oruro desata una pugna administrativa con Sucre que termina en la guerra civil de 1898–1899, convirtiéndose en sede de facto de Gobierno (poderes Ejecutivo y Legislativo), Sucre conserva el poder Judicial. La vinculación férrea que une La Paz-Oruro-Potosí con las costas del pacífico consolida la hegemonía paceña en la primera mitad del siglo XX. Cochabamba (2.553 msnm) se convierte en el principal centro de abastecimiento del país, desplazando a Santa Cruz (1561, 437 msnm) que hasta entonces había cumplido un rol similar con Sucre.

La llegada del ferrocarril a Sucre no se hace efectiva hasta 1936, acompañada de la construcción del barrio ferroviario, primer asentamiento urbano fuera del casco antiguo. En el censo de 1900, Sucre tiene 20.907 habitantes y una superficie de 215, 12 hectáreas.

La Planificación Urbana y Regional

El 27 de marzo de 1948, un violento temblor sacude la ciudad de Sucre a raíz del cual se forma el Comité de Reconstrucción y Auxilio que formula el Plan Regulador de 1950, sobre dos lineamientos: la reconstrucción de la ciudad, introduciendo criterios del urbanismo moderno como la interrelación entre el casco antiguo y zona de expansión; la necesidad de dotar a Sucre de otras funciones que las administrativas, potenciando la industria y el agro. Si bien este plan no se lleva a la práctica, constituye el primer intento de planificación urbana y propicia la creación de 2 grandes industrias regionales: la Refinería de Petróleo Carlos Montenegro y la Fabrica Nacional de Cemento.

La política nacional de diversificación económica y de creación de un nuevo polo de desarrollo iniciada en 1940, con la construcción de infraestructura básica de transporte, propicia la conformación de un nuevo eje económico denominado eje central La Paz-Cochabamba-Santa Cruz y marca el comienzo de la decadencia del eje minero La Paz-Oruro-Potosí-Sucre.

Los créditos agrícolas otorgados a Chuquisaca entre 1955 y 1964 alcanzan al 5,7% frente al 42,6% para Santa Cruz; entre 1964 y 1970, estos mismos créditos descienden al 3,9% para Chuquisaca mientras Santa Cruz recibe 43,1% y entre 1970 y 1975, Chuquisaca solo recibe un 1,2% mientras Santa Cruz alcanza el 69,9%.

La Revolución de 1952

Como consecuencia de la Revolución nacional de 1952, se producen en Bolivia cuatro reformas estructurales que marcan el paso de un Estado oligárquico a un Estado liberal y consolidan el centralismo de La Paz:

El voto universal de 1952, ampliando el derecho de voto a la mujer, analfabetos y campesinos; la nacionalización de las minas de 1952, recuperando el 80% de los ingresos de las exportaciones de estaño a poder del Estado; la reforma agraria de 1953, otorgando la tierra a los campesinos y eliminando las servidumbres y la reforma educativa de 1955, transformando la educación excluyente en universal y obligatoria.

Estas reformas estatales son producto de grandes convulsiones sociales que estremecen al país en su conjunto y a la sociedad chuquisaqueña en particular, conocida como conservadora y fuertemente arraigada a las propiedades rurales y tradiciones.

La reforma agraria provoca el repliegue de los estratos sociales altos a la ciudad y la caída de la producción agrícola. Los campesinos, sin asesoramiento técnico, ni recursos económicos no tienen posibilidad alguna de dar continuidad a la producción agrícola encontrándose rápidamente en una economía de subsistencia. Sucre cuenta entonces con 40.128 habitantes y una superficie de 253,56 hectáreas.

La Cordura Chuquisaqueña

La llegada de nuevos cuadros técnicos chuquisaqueños, formados en universidades del interior de la República como la Politécnica de Oruro, donde imparten cátedra Profesores judío-alemanes emigrados durante la segunda guerra mundial dan el soporte técnico necesario para poner en funcionamiento la refinería de petróleo y la fábrica de cemento (FANCESA), empresas que no tardan en convertirse en el motor de desarrollo regional. En la década de los 80, FANCESA se convierte en la primera cementera nacional, desplazando a SOBOCE de La Paz y COBOCE de Cochabamba.

La Universidad, antiguamente especializada en ciencias políticas y medicina, diversifica sus programas académicos con ramas técnicas. Sucre comienza a destacar nuevamente como centro de excelencia académica.

En 1974 se formula el Plan Regulador de Sucre, primer intento de coordinación interinstitucional local para cubrir el vacío existente en planificación urbana, respondiendo a las necesidades de integración de los nuevos barrios periféricos al núcleo central. En 1976, Sucre cuenta con 63.259 habitantes, sobre una superficie de 605,20 hectáreas.

La Estrategia Boliviana de Desarrollo

En la década de los 70 se suceden en Bolivia los golpes militares (1969 – 1980), en este periodo se desarrolla la denominada "Estrategia Boliviana de Desarrollo" con lineamientos no muy distantes del Plan Bohan de 1940, dividiendo al país en 3 tipos de regiones (homogéneas, polarizadas, plan) y creando las denominadas Corporaciones Regionales de Desarrollo, organismos técnicos encargados de elaborar proyectos de impacto.

En Chuquisaca se crea la Corporación Regional de Desarrollo de Chuquisaca (CORDECH), dirigida por militares, la cual elabora cantidad de proyectos, la mayoría de los cuales no se ejecutan por falta de presupuesto. Tres grandes proyectos se concretan en Sucre: el aeropuerto, la terminal de buses y el mercado central.

A fines de los 70 y principios de los 80, la población rural, fuertemente empobrecida, comienza a emigrar a la ciudad y al oriente boliviano, los estratos altos de la ciudad también emigran al eje central, en su mayoría, de manera definitiva.

Entre 1971 y 1976 Chuquisaca soporta una tasa de migración de -4,7% mientras que Santa Cruz gana un 18,9%; entre 1987 y 1992 Chuquisaca sigue perdiendo un -3,8% mientras que Santa Cruz gana un 7,4% y entre 1996 y 2001 Chuquisaca literalmente se "vacía" con una tasa negativa de -6,4% mientras que Santa Cruz gana un 10,6%.



Ilustración N° 20. Arcos de San Francisco, Catedral Metropolitana, Plaza Central

La Periferia de la Periferia

En la década de los 80 se produce la crisis del estaño, ocasionando a Bolivia una inflación sin precedente. El Gobierno, con la dramática frase "Bolivia se nos muere", aplica el famoso decreto 21060, cerrando la mayoría de las minas y poniendo en la calle a más de 23.000 mineros. Es la decadencia del eje minero La Paz–Oruro–Potosí–Sucre y la consolidación del eje central La Paz–Cochabamba–Santa Cruz. Sucre y su departamento son completamente periféricos en la economía nacional aportando actualmente menos del 5% del PIB nacional mientras que Santa Cruz supera el 30%. En el censo de 1992, la ciudad cuenta con 131.769 habitantes y una superficie de 3.173 hectáreas. En 2001, Chuquisaca es la región más pobre de Bolivia con 79,8% de su población por debajo del umbral de la pobreza, de la cual 57,2% se encuentra en condiciones de indigencia y marginalidad total.

Patrimonio y Desarrollo

El urbanismo colonial y la arquitectura Republicana que caracterizan a Sucre le valen el título de "Patrimonio Cultural de la Humanidad", otorgado en 1991 por la UNESCO. Es la segunda ciudad en Bolivia que recibe esta distinción después de Potosí (1987). Este hecho propicia la creación del Plan de Rehabilitación de las Áreas Históricas de Sucre (PRAHS, 1995), institución local encargada de la gestión del centro histórico, en colaboración con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). Se potencia el segmento productivo del turismo cultural y se perfila la idea de un nuevo eje turístico entre Sucre y Potosí como iniciativa mancomunada de desarrollo regional.

Capital Cultural

Sucre es sede de una serie de eventos culturales, que congrega cada año a centenares de artistas nacionales y extranjeros. La ciudad se transforma en escenarios inéditos donde la pintura, la música, literatura, teatro, cine, manifestaciones comunitarias y la participación de grupos étnicos así como las actividades relacionadas con el arte contemporáneo y la cultura popular permiten encontrar una verdadera hermandad en la diversidad natural existente entre los participantes.

Una Identidad en Construcción

Sucre resume la historia misma de Bolivia desde su fundación hasta la primera mitad del siglo XX (fundación, auge y decadencia). Sucre se plantea el desafío de escribir las nuevas páginas



Ilustración N° 21. Entrada de la Virgen de Guadalupe

del siglo XXI reivindicando la capitalidad plena en el actual debate autonómico y constitucional.

4.2. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

El departamento de Chuquisaca se encuentra en el Sur de Bolivia, su superficie alcanza los 51.524 Km².

Limita al norte con los departamentos de Potosí, Cochabamba y Santa Cruz; al sur con el departamento de Tarija; al oeste con el departamento de Santa Cruz y la República de Paraguay y al oeste en el departamento de Potosí.



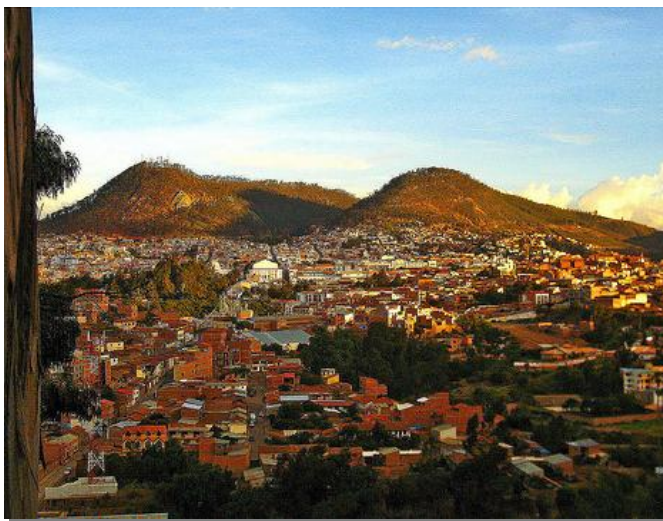
Chuquisaca cuenta con 10 provincias y 118 cantones.

Ilustración N° 22. Ubicación de Bolivia en Sudamérica

La ciudad de Sucre se encuentra en la unidad fisiográfica Subpuna o zona de los valles, al sur se encuentran los valles de Cinti, afamados por su producción de vinos y singanis.

Sucre, capital de Bolivia, se sitúa en la Provincia Oropeza del Departamento de Chuquisaca, al pie de los cerros Sica Sica y Churuquilla, cordillera oriental de los

Andes donde las cadenas montañosas pierden altura y propician un clima templado y seco de cabecera de valle.



Su localización coincide con la divisoria hidrográfica de los sistemas Amazonas y Cuenca del Plata, desembocando en 4 ríos importantes: los ríos Chico y Grande para el Amazonas, y los ríos Cachimayu y Pilcomayo para la Cuenca del Plata.

Ilustración N° 23. Cerros Sica Sica y Churuquilla

Ficha Geográfica de la Ciudad de Sucre

DATOS GENERALES

Ciudad:	Sucre
Provincia:	Oropeza
Departamento:	Chuquisaca
Altitud:	2750 m.s.n.m.
Latitud sur:	19° 3' 2"
Longitud oeste:	65° 47' 25"
Zona Geográfica:	Subandina



División política de Bolivia

EXTENSIÓN

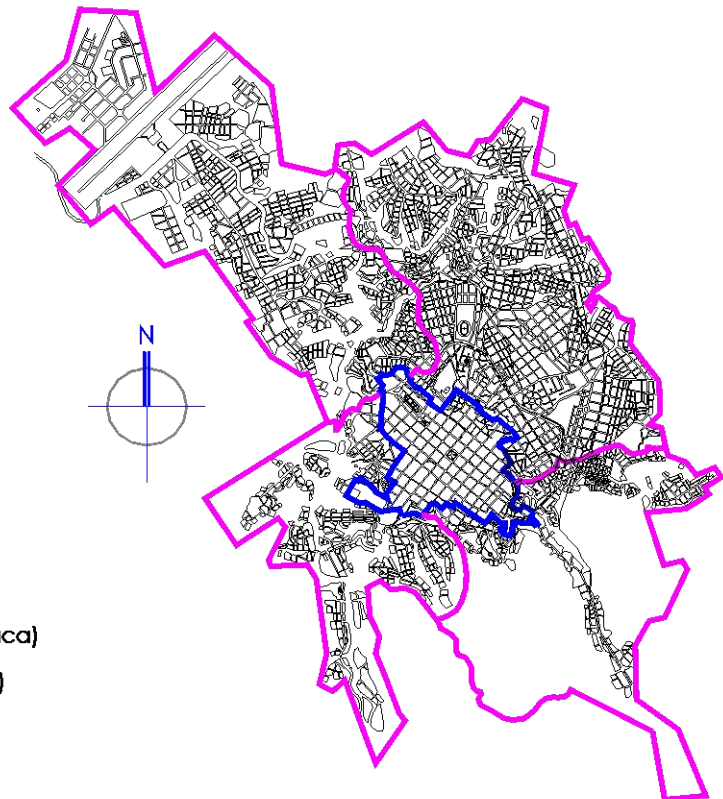
Ciudad de Sucre:	33,96 Km ²
Sección Municipal:	1.876,91 Km ²
Departamento:	51.524,00 Km ²

DATOS POBLACIONALES

Ciudad de Sucre:	243.348 Hab.
Sección Municipal:	270.390 Hab.
Departamento:	531.522 Hab.
Tasa de crecimiento:	3,5% anual

LÍMITES

Norte:	Departamento de Cochabamba Departamento de Potosí
Sur:	Departamento de Potosí
Este:	Provincia de Yamparaéz (Chuquisaca) Provincia de Zudañez (Chuquisaca)
Oeste:	Departamento de Potosí



Mancha Urbana de Sucre

4.3. LA ARQUITECTURA EN LA CIUDAD DE SUCRE⁵

La arquitectura de la ciudad de Sucre, como toda expresión espacial es el resultado de las condicionantes geográficas, socioeconómicas y culturales de la región, es decir que existe una clara interrelación entre la forma de la construcción, los recursos naturales propios del lugar, la topografía y las necesidades de sus pobladores. Esta arquitectura es también el resultado de los procesos de producción asimilados de diversas culturas a través de varios siglos. Existen modelos y tipos históricos que se repiten en diferentes tiempos, siendo recuperaciones conceptuales de la estructuración espacial, tal el caso de los claustros en los conventos, los patios y los corredores de las viviendas y en otros casos imitaciones o copias de los estilos arquitectónicos por encargo expreso, como es el caso del Palacio de la Glorieta y El Guereo, con clara influencia europea mandados a construir por personalidades protagonistas de la historia nacional.

De manera correspondiente al proceso de urbanización, realizado por los españoles en las ciudades de la región, la arquitectura será el resultado del mismo, y por lo tanto será el resultado de las prácticas y experiencias de los conquistadores y el aporte indígena.

No existió un solo modelo o influencia cultural, más bien esta será la sumatoria cultural española, que retoma siglos de experiencia europea e incluso islámica. El dominio de diversas técnicas constructivas, el uso de diversos materiales a través de siglos, principalmente el ladrillo cocido, la teja, la técnica de talla en piedra, madera y otros, permite construir estructuras arquitectónicas de gran envergadura.

La Arquitectura del Periodo Colonial

La ciudad en el periodo colonial es el asiento de hacendados mineros, comerciantes y sede administrativa de la región, proveedora de alimentos y por lo tanto con una población mayoritariamente española y mestiza, por lo que la producción urbana y arquitectónica responde a estos requerimientos.

A partir de la documentación gráfica, se asume que las primeras construcciones coloniales fueron sencillas, de un solo nivel, de adobe y



Ilustración N° 24. Arquitectura y calle colonial

⁵ Extraído de "Tipologías Arquitectónicas del Centro Histórico de Sucre". Plan de Rehabilitación de Áreas Históricas de Sucre. 1997

con cubiertas de paja, a excepción de inmuebles religiosos o administrativos. Se estructuraban mediante una crujía que daba a la calle, los inmuebles de mayor importancia tenían 2 patios y mayor número de niveles. Los principales géneros arquitectónicos los constituyen las viviendas.

Arquitectura Republicana

En las primeras décadas del siglo XX, se inicia un proceso de renovación urbana. Este cambio se produce en lo referente a la imagen formal exterior, eliminándose balcones corridos abiertos, por balconillos sin techos sustentados por ménsulas de piedra y con barandas de hierro fundido. La estructura espacial de las edificaciones continua con el esquema colonial aunque se introduce mayor decoración de estilo ecléctico y modernista, constando generalmente de 2 pisos divididos por molduras que remarcan los niveles y cornisas con elementos decorativos de yeso y cal.



Ilustración N° 25. Arquitectura Republicana

Las edificaciones presentan un predominio del macizo sobre los vanos que son de forma rectangular.

El material predominante como elemento estructural es el ladrillo, que se utiliza en los cerramientos y sobrecimientos, en cubiertas la teja que se asienta sobre cañahueca y un mortero de barro que es soportado por par y nudillo de madera.

Los patios interiores se revisten con losas de piedra y las escaleras de ladrillo pastelero. En fachadas se utilizan elementos decorativos como las platabandas, cornisas y jambas. Muchas edificaciones presentan tumbadillo, tableros de madera policromada o placas de estuco decorado. Los inmuebles religiosos también se "modernizan" con la sustitución de sus retablos barrocos por otros de estilo neoclásico.

Arquitectura Moderna

En los años 1920 a 1960 surge una mayor especialización en la producción arquitectónica, y los modelos vienen de diferentes regiones del mundo. A principios de siglo, la ciudad cambia su imagen urbana, debido a procesos económicos y culturales, las viviendas de 1 o 2 niveles son modernizadas en sus fachadas hacia un estilo moderno o art decó.

Se retiran balcones corridos republicanos o coloniales sustituyéndose por otros más simples. Los aleros se remplazan por parapetos y frontoncillos de estilo clasicista.

Se consolida el art nouveau, que modifica las tradicionales relaciones espaciales. El patio deja de ser el espacio de múltiples funciones, pasando a ser un espacio de circulación y distribución.



Ilustración N° 26. Arquitectura Moderna. Ex - estación Aniceto Arce

Arquitectura Contemporánea

Desde mediados de siglo la arquitectura de la ciudad es cada vez más influenciada por el movimiento moderno racionalista,, y por las últimas tendencias como el posmodernismo. Aparecen los primeros ejemplos de arquitectura de integración que busca armonizar con el contexto histórico urbano. Esta nueva tendencia genera diferentes tipologías con resultados no siempre satisfactorios. Debido a factores de orden cultural, normativo y sobre todo por le crecimiento poblacional, el perfil del centro histórico de la ciudad es alterado parcialmente con nuevos elementos arquitectónicos en inmuebles históricos y la demolición de otros para ser sustituidos por nuevas edificaciones de varios pisos.



Ilustración N° 27. Arquitectura Contemporánea

Se pueden ver algunos inmuebles contemporáneos que en su mayoría se integran al contexto inmediato, otros principalmente son estructuras contrastantes y poco armónicas, ya sea por sus materiales, su forma o su altura. Estas características merecen ser replanteadas buscando soluciones con el objeto de evitar que estas edificaciones tengan el menor impacto posible en la identidad urbana del centro histórico de Sucre.

En las áreas fuera del casco histórico, se cuenta principalmente con edificaciones modernas, que buscan una identidad propia, diferente de la patrimonial, en ese sentido, se construyen principalmente viviendas con el uso de elementos geométricos, de estilo racional, con una notable tendencia creciente hacia el minimalismo, en especial en las zonas más residenciales de la ciudad.

4.4. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ARQUITECTURA EN SUCRE, FRENTE AL BIOCLIMATISMO

Las edificaciones patrimoniales de Sucre, cuentan con una arquitectura acarreada desde España, y ha sido implantada siguiendo parámetros urbanos de damero español.

Los materiales con los que estas edificaciones han sido construidas son principalmente el adobe en muros, cubiertas de estructura de madera con tejas de barro cocido y pisos con revestimiento de ladrillo cerámico. Por tanto, es bien sabido que estos materiales locales cuentan con una inercia térmica importante, gracias a la cual existe un grado de confort aceptable durante las épocas calientes y la frías. Es importante mencionar también la poca existencia de ventanas o aberturas.

Sin embargo, la preocupación se enfatiza principalmente en las edificaciones nuevas, o contemporáneas, donde ya no existe un trazado ortogonal o de damero, sino más bien una estructuración variada.

Estas edificaciones nuevas cuentan en su mayoría con materiales constructivos diferentes:

- Estructura de hormigón armado (zapatas, columnas, vigas, losas y escaleras)
- Muros de ladrillo cerámico
- Cubiertas de teja cerámica o calamina galvanizada
- Pisos de madera o cerámica
- Grandes elementos vidriados

Más allá de la elección de los materiales de construcción, en las edificaciones del área de transición o área de expansión de la ciudad, no se consideran aspectos geográficos y climáticos a la hora de diseñar el proyecto arquitectónico, siendo la prioridad en muchos casos, construir un edificio que se caracterice por el uso de formas nuevas, atractivas, innovadoras, o que siga un determinado estilo.

La causa principal, es la falta de sensibilidad por parte de los arquitectos proyectistas, y la raíz del problema es que en las universidades de Sucre, y por lo general de Bolivia, no se introduce en la currícula educativa temas referidos al bioclimatismo, lo que sin duda genera una gran problemática.

Tampoco se incluye en las normativas o reglamentos de edificación parámetros bioclimáticos que deban ser considerados en los proyectos arquitectónicos.

5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA CIUDAD DE SUCRE

El presente capítulo considera la clasificación climática de Sucre, y la caracterización climatológica de acuerdo a diferentes fuentes o autores, para que en base a ella se determine las estrategias de diseño bioclimático, aplicables a las viviendas de la ciudad de Sucre.

5.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

A continuación se identifica el clima de la ciudad de Sucre, en función a diversas fuentes:

5.1.1. Según Koppen

Vladimir Koppen 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.

Los siguientes tipos de clima, son los que se encuentran en el territorio boliviano:

Climas lluviosos tropicales (A)

- a) Clima tropical siempre húmedo (Af) región del Chapare donde se han registrado precipitaciones hasta de 8.000 mm por año. Otros sitios frontera con Brasil y el Pantanal.
- b) Clima tropical húmedo con corta sequía (Am). Norte de La Paz y todo el departamento de Pando.

- c) Clima tropical de sabana con invierno seco (Aw) que corresponde a gran parte de las llanuras benianas.

Climas secos (B)

- a) Clima de estepa con invierno seco y frío (Bswk) Altiplano occidental y faldas de la Cordillera Oriental.
- b) Clima de estepa con invierno seco y caliente (Bswb) Subandino centro y sur. La ciudad de Sucre corresponde a este tipo de clima.
- c) Clima 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.

Climas mesotérmicos ó templados (C)

- a) Clima templado con invierno seco (Cwa) Yungas de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz y todo el subandino sur.
- b) Clima templado con invierno seco frío (Cwb) corresponde a la zona aledaña al lago Titicaca.

Climas fríos (E)

- a) Clima de tundra (ET) en los flancos más bajos de las cordilleras y parte del altiplano.
- b) Clima de alta montaña (EB) corresponde a las altas cumbres de las cordilleras cubiertas de nieve o hielo la mayor parte del año.

5.1.2. Escenarios Climáticos de Bolivia

De acuerdo a "Escenarios Climáticos de Bolivia"⁶, la ciudad de Sucre forma parte de la Zona de Vida **Seco Templado**, clasificación basada en un análisis de las diversas características ecológicas del país.

La Zona de Vida "Seco Templado" tiene un área de 41.555.8 km² y corresponde a 3,8% del territorio nacional. Se encuentra ubicada al centro del país, una

⁶ Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal de Bolivia, a través del Programa Nacional de Cambios Climáticos PNCC. 2002

sección por la región de Ulla Ulla y otra por el valle de Inquisivi - Tapacari.

La característica climática se puede identificar a partir de la estación meteorológica de Sucre, la única que se ubica en esta zona de vida.

Los suelos difieren por su posición fisiográfica dentro de la formación, prevalecen los suelos livianos en la llanura y en las depresiones los suelos son pesados.

Holdridge (1975) indica que la vegetación varía de acuerdo a los diferentes paisajes fisiográficos, así se tiene:

- Paisaje de terrazas altas, mesetas y serranías con bosque latifoliado, deciduo mixto de dos estratos, con árboles dominantes que pasan los 20 metros.
- Paisaje aluvial sujeto a la inundación, que soporta una cobertura de juncos y pastos.
- Paisaje tipo sabana, compuesta de pastos y matorrales, así como de "islas" de bosque aislado, con árboles donde predominan las palmeras en suelos arenosos y árboles latifoliados, deciduos, de cerca de 20 metros de alto en suelos más pesados, las familias más representativas de este bosques son: Palmae, Mimosaceae, Caesalpinaceae, Capparaceae, Fabaceae, Cactaceae, etc.

La actividad principal en esta zona es la ganadería, donde se práctica el pastoreo extensivo en pastizales naturales y el ramoneo de especies leguminosas, muy abundantes en esta formación. Existen árboles frutales como higo, manzana, duraznos y cultivos de sorgo, maní, maíz, etc.

5.1.3.Senamhi

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia – SENAMHI (Regional Sucre), es el principal órgano gubernamental del país en materia climatológica, y clasifica al clima de la ciudad de Sucre, como **Templado Árido**.

En función de las diversas fuentes consultadas, definidos el clima de Sucre como **TEMPLADO SECO**.

5.2. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

A continuación se presentan datos climatológicos de Sucre, referidas a la temperatura del aire, humedad, precipitación pluvial, vientos y radiación solar.

5.2.1. Temperatura del Aire

La siguiente tabla muestra los datos mensuales de temperatura media máxima, temperatura media mínima y temperatura media de la estación meteorológica de Sucre.

Se observa que el dato de temperatura máxima es de 22°C y la mínima de 4,3°C, con una variabilidad anual de aproximadamente 18°C.

MES	TEMP. MÁX. MEDIA (°C)	TEMP. MÍN. MEDIA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)
ENE	20,1	10,2	15,1
FEB	19,8	10,1	15,0
MAR	20,0	10,0	15,0
ABR	20,2	8,7	14,4
MAY	20,4	5,8	13,1
JUN	20,4	4,5	12,4
JUL	19,8	4,3	12,0
AGO	21,1	5,4	13,2
SEP	21,5	6,6	14,1
OCT	22,0	9,1	15,5
NOV	22,0	9,8	15,9
DIC	21,3	10,5	15,9
ANUAL	20,7	7,9	14,3

Tabla N° 1. Temperaturas medias ⁷

5.2.2. Humedad Relativa

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Sucre, no registra datos de humedad máxima y mínima diarias, por lo que únicamente se cuenta con datos de humedades medias diarias, que han sido resumidas en la siguiente tabla.

⁷ Tabla realizada con datos de los últimos 10 años, proporcionados por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Regional Sucre)

MES	HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%)
ENE	72,3
FEB	73,8
MAR	74,1
ABR	70,2
MAY	55,2
JUN	48,4
JUL	48,9
AGO	50,1
SEP	53,2
OCT	59,3
NOV	61,2
DIC	67,4
ANUAL	61,2

Tabla N° 2. Humedad relativa media ⁸

Los datos de temperatura horaria y humedad relativa horaria son necesarios para aplicar el diagrama psicométrico de Givoni. Dichos datos se obtienen en los acápite 6.2.1 y 6.2.2.

5.2.3. Vientos

La Frecuencia

Los vientos que se presentan en la ciudad de Sucre son a lo largo de todo el año similares, predominando la dirección Nor-Noreste con un 60% de la frecuencia total, después está el viento del norte, con un 20%, en tercer lugar el viento del noreste, con el 9%, como se observa en el Gráfico N° 1.

La Tabla N° 3 resume datos de frecuencia mensual. Se observa que en los meses más fríos (invierno) la frecuencia de los vientos es más fragmentada en varias direcciones, aunque la predominante es siempre la NNE. En el verano, la frecuencia es más estricta, centrándose en las direcciones NNE, N y NE.

En la Ilustración N° 28 se observa las rosas de los vientos, en las que se evidencia que la frecuencia de los vientos es bastante regular a lo largo de todo el año, predominando siempre la dirección Nor-noreste.

⁸ Tabla realizada con datos de los últimos 10 años, proporcionados por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Regional Sucre)

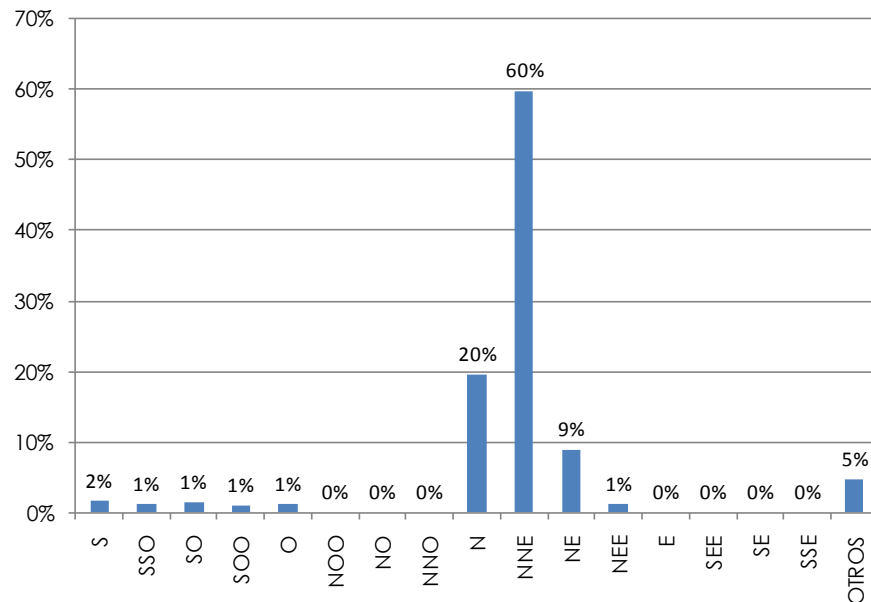


Gráfico N° 1. Frecuencia anual de los vientos en Sucre ⁹

DIREC.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM. ANUAL
S					7	7	5						2
SSO					8		3	3					1
SO					6	4	3		4				1
SOO						4	4	3					1
O					4	5		5					1
NOO													0
NO													0
NNO													0
N	24	22	15	15	20	17	23	27	14	24	15	18	20
NNE	62	58	71	72	49	48	50	54	61	62	61	68	60
NE	9	10	7	9	6	7	9	8	11	12	11	7	9
NEE		4							4		5		1
E													0
SEE													0
SE													0
SSE													0
OTROS	5	6	7	4		8	3		6	2	8	7	5
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla N° 3. Frecuencia mensual de vientos en Sucre, expresada en %¹⁰

⁹ Elaboración propia en base a datos del Atlas Eólico de Bolivia. 2009

¹⁰ Ídem

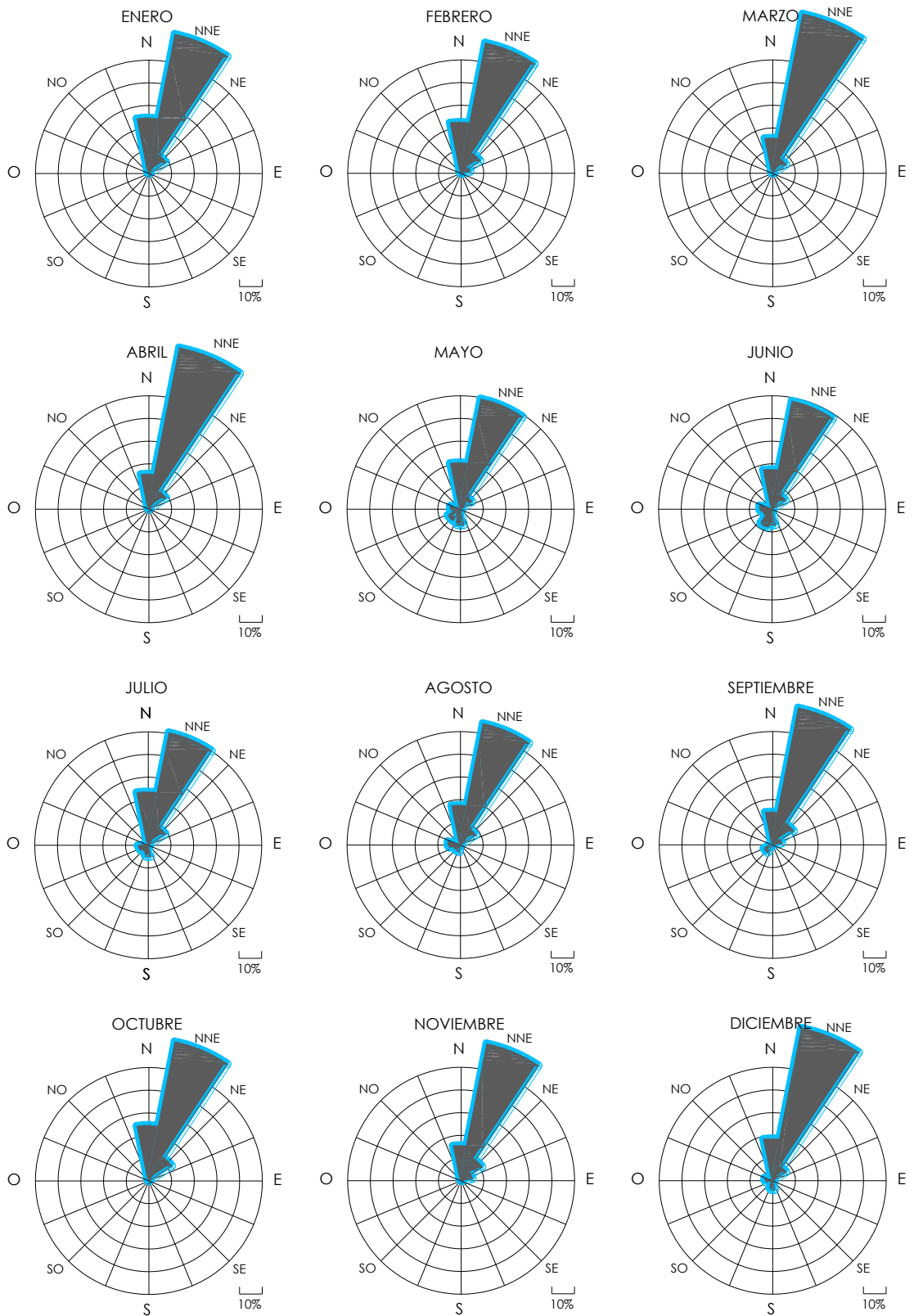


Ilustración N° 28. Frecuencia mensual de los vientos en Sucre

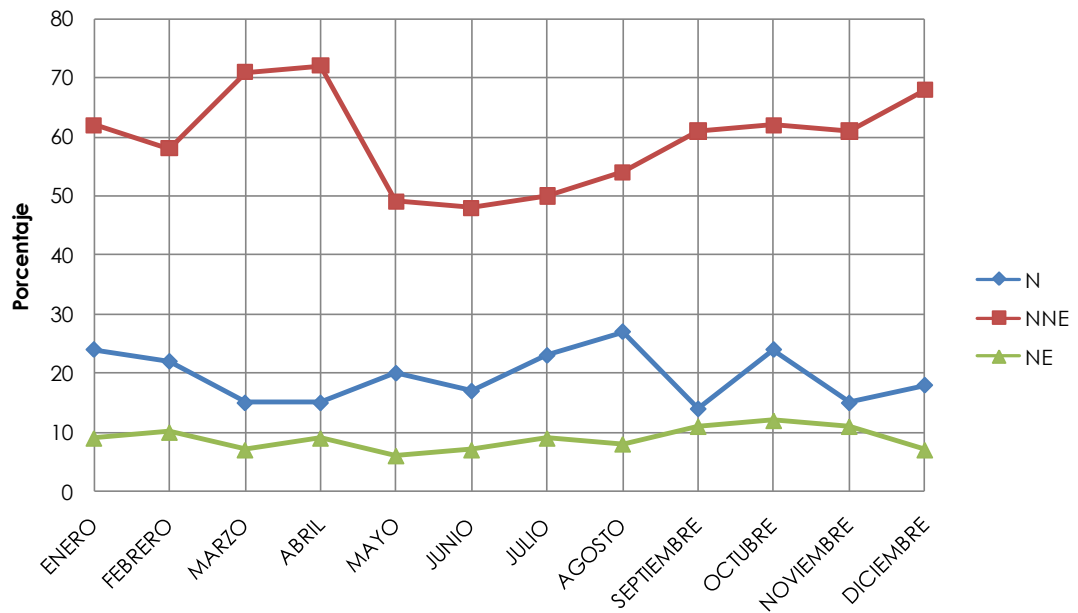


Gráfico N° 2. Vientos frecuentes¹¹

La Velocidad del Viento

La velocidad media registrada en la ciudad de Sucre es de 3,11 m/s¹² (que equivale a 11,2 Km/h), valor obtenido en base a mediciones realizadas en los años 1998 a 2007.

De acuerdo a la clasificación de las velocidades del viento, el registrado en Sucre corresponde a los "vientos débiles", por lo tanto, no suponen una fuerte amenaza o influencia en el diseño arquitectónico, pero si es importante considerarlo para captar las brisas en verano y de esta manera mejorar el clima interior.

5.2.4. Precipitaciones

La siguiente tabla muestra los datos de precipitación pluvial mensual promedio, realizada con datos de los últimos 10 años, hasta el 2009.

Se observa que existe un periodo de lluvias acentuadas en verano (diciembre a febrero), mientras que en invierno las precipitaciones son muy bajas.

¹¹ Elaboración propia en base a datos del Atlas Eólico de Bolivia. 2009

¹² Ídem

MES	PRECIPITACIONES (mm)
ENE	159,9
FEB	108,8
MAR	89,8
ABR	32,8
MAY	5,7
JUN	0,4
JUL	2,5
AGO	6,0
SEP	18,7
OCT	56,0
NOV	51,7
DIC	100,7
ANUAL	633,0

Tabla N° 4. Precipitaciones mensuales ¹³

Sin embargo la situación actual es preocupante. De acuerdo a datos obtenidos del diario Correo del Sur¹⁴, en lo que va del año 2010 (enero a octubre), Sucre ya registra 312 milímetros de lluvia menos.

Las consecuencias de este descenso de las lluvias son principalmente las sequías, que entre otras consecuencias, amenazan con dejar a Sucre sin productos agrícolas para el siguiente año.

5.2.5. Radiación Solar

Gracias a su ubicación geográfica, Bolivia se encuentra dentro de una franja de territorio 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.

¹³ Tabla realizada con datos de los últimos 10 años, proporcionados por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Regional Sucre)

¹⁴ Diario "Correo del Sur" de fecha 24 de noviembre de 2010

La presencia de la Cordillera de los Andes modifica en alguna medida la radiación solar, beneficiando con una mayor tasa a las zonas altas como el altiplano.

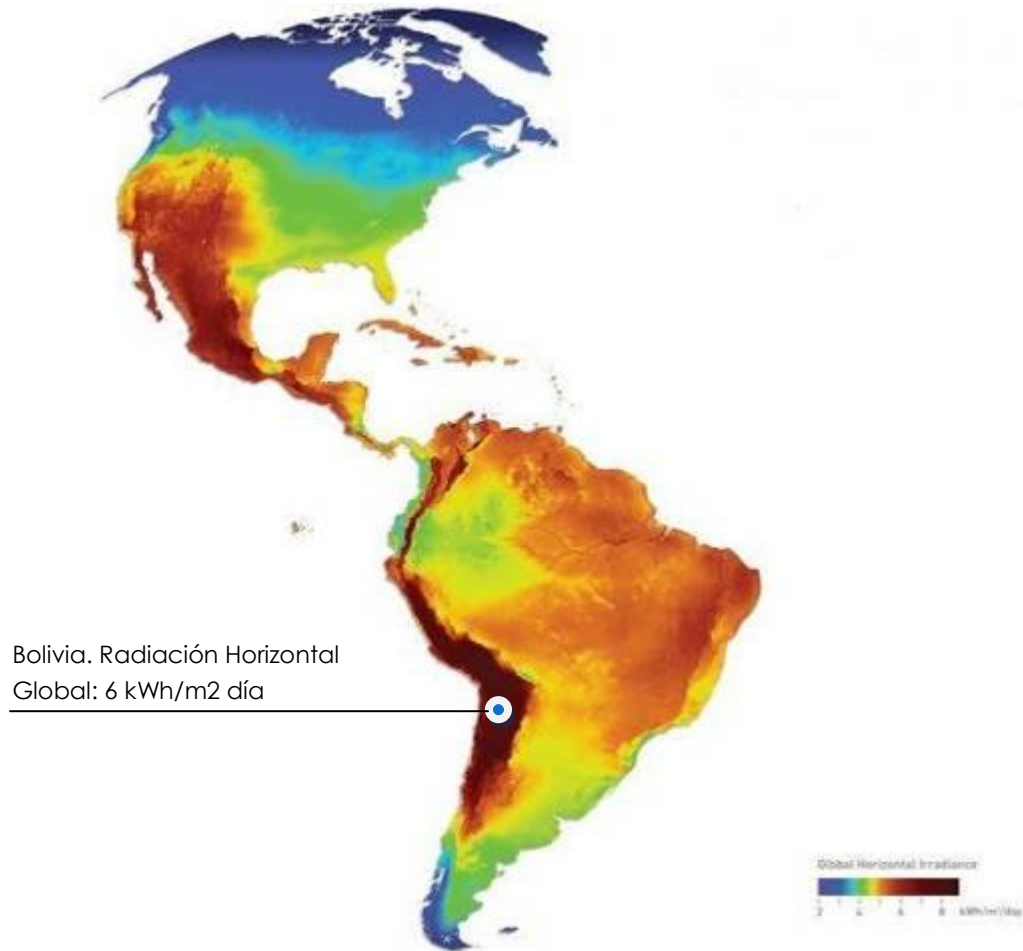


Ilustración N° 29. Radiación Solar en el continente americano¹⁵

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

La ciudad de Sucre cuenta con los siguientes datos de radiación solar:

¹⁵ Mapa de Radiación Solar elaborado por 3TIER. 2008

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

Tabla N° 5. Radiación solar diaria media mensual¹⁶

Como se observa en el siguiente gráfico, la radiación es más intensa en los meses de verano, descendiendo hacia los meses de invierno.

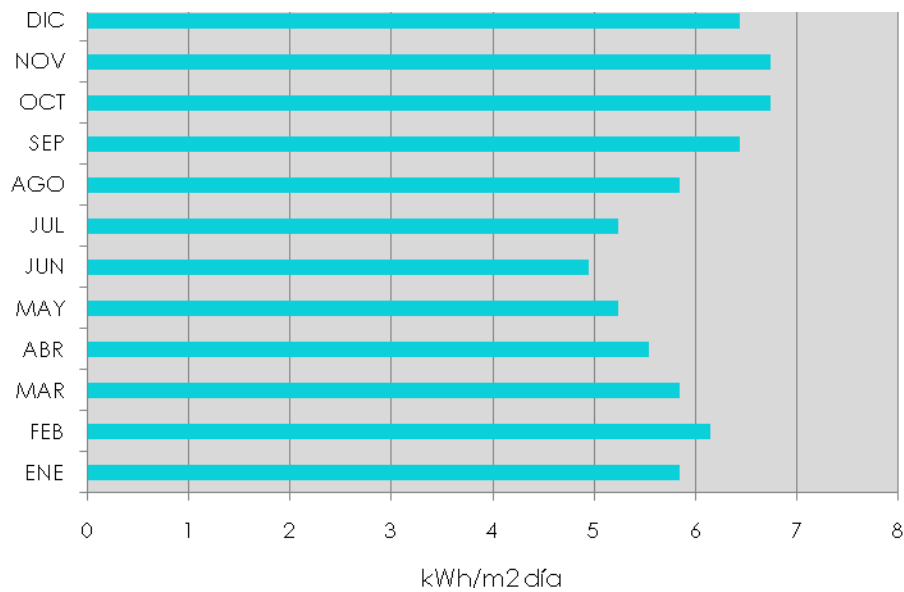


Gráfico N° 3. Radiación solar diaria media mensual¹⁷

¹⁶ Realizado con datos del "Mapa solar de Bolivia". UMSS – PROYECTO ENERGÍA SOLAR – ASDI SAREC. 2010

¹⁷ Ídem

5.3. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE CONFORT TÉRMICO EN LA CIUDAD DE SUCRE

Como se mencionó anteriormente, para la arquitectura bioclimática es fundamental alcanzar el confort para los usuarios; la existencia de un espacio confortable es necesaria para una vida saludable y productiva. El confort es un estado físico y mental en el que el individuo expresa su bienestar y satisfacción con el medio ambiente circundante. El estado de confort depende de diferentes factores que pueden ser cuantificables y no cuantificables.

El confort térmico se refiere a la sensación de temperatura ambiente a través de la piel, está relacionado con diferentes condiciones del medioambiente, como la temperatura del aire, radiación, humedad, movimiento de aire, y depende también del tipo de ropa y de la actividad que el individuo esté realizando en el espacio.

A partir de la temperatura media anual en Sucre, se calculó la temperatura neutra, con base en las fórmulas propuestas por Steve Szokolay (1998), en las cuales se determinan los límites máximos y mínimos de la zona de confort térmico, como se describe a continuación:

$$T_n = (T_{ma} * 0,31) + 17,60$$
$$T_n = (14,3 * 0,31) + 17,60 = 22,0^{\circ}\text{C}$$

$$ZC_{min} = T_n - 2,5$$
$$ZC_{min} = 22,0 - 2,5 = 19,5^{\circ}\text{C}$$

$$ZC_{max} = T_n + 2,5$$
$$ZC_{max} = 22,0 + 2,5 = 24,5^{\circ}\text{C}$$

Donde:

T_n	=	Temperatura neutra ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ma}	=	Temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$)
ZC_{min}	=	Límite de confort térmico mínimo ($^{\circ}\text{C}$)
ZC_{max}	=	Límite de confort térmico máximo ($^{\circ}\text{C}$)

Por tanto, se establece como rango de confort térmico para la ciudad de Sucre, entre los $19,5^{\circ}\text{C}$ y $24,5^{\circ}\text{C}$.

5.4. CARTA SOLAR

La carta solar estereográfica es un gráfico que representa la trayectoria del sol durante todo el año, vista desde un plano horizontal, para un determinado punto del planeta.

Es este caso, se obtiene la carta solar para la latitud de Sucre: 19° 03' Sur.

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

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

- La altura solar A, medida en los círculos concéntricos
- El Acimut Z, medido en el borde de la carta

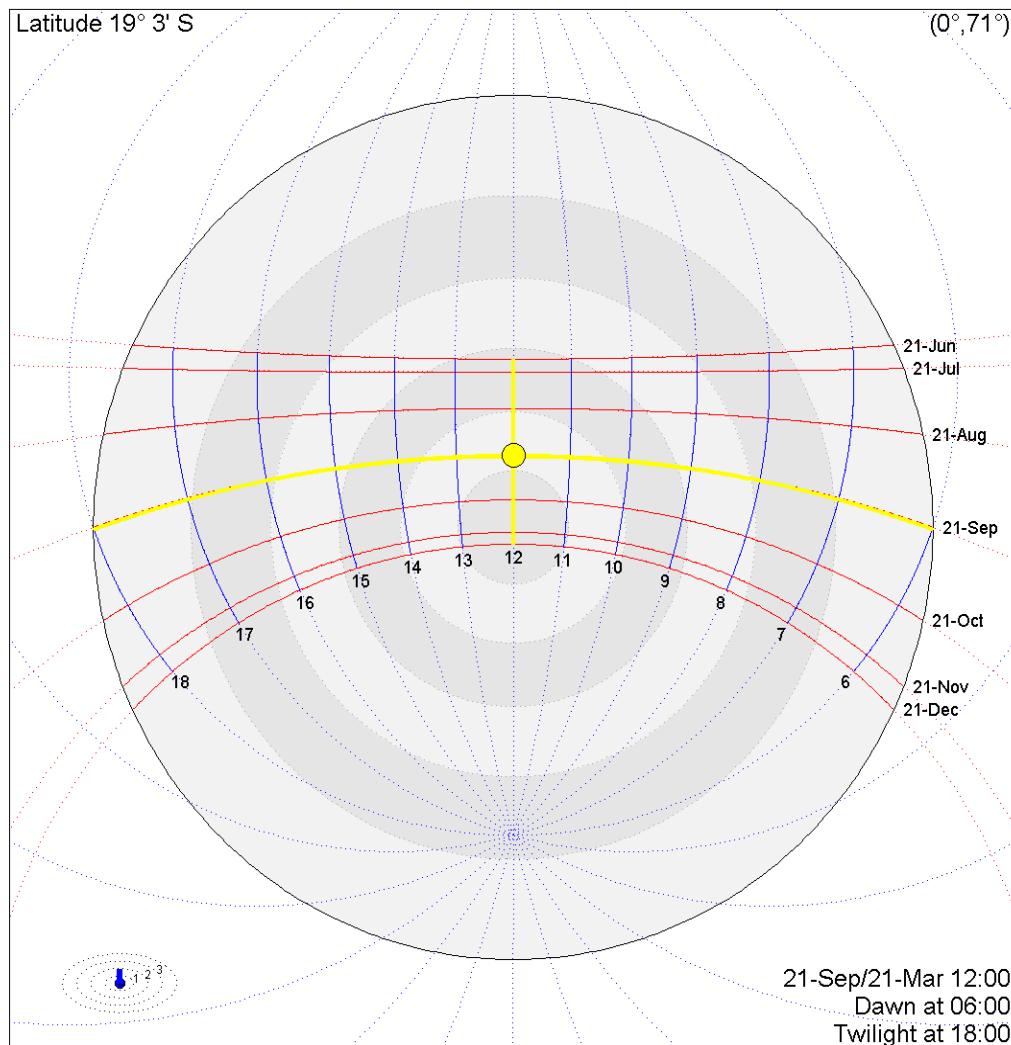


Ilustración N° 30. Carta Solar Estereográfica. Latitud 19°3'Sur

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

- SOLSTICIO DE INVIERNO: 21 JUN
Hora de salida del sol: 6:34
Hora de puesta del sol: 17:25
Ángulo solar al medio día: 47°
- SOLSTICIO DE VERANO: 21 DIC
Hora de salida del sol: 5:25
Hora de puesta del sol: 18:34
Ángulo solar al medio día: 86°
- EQUINOCCIOS: 21 SEP y 21 MAR
Hora de salida del sol: 6:00
Hora de puesta del sol: 18:00
Ángulo solar al medio día: 71°

Los ángulos obtenidos nos servirán para realizar el diseño de elementos arquitectónicos que nos permitan captar o bloquear la radiación solar, de acuerdo a lo que se requiera, como se presenta en los siguientes capítulos.

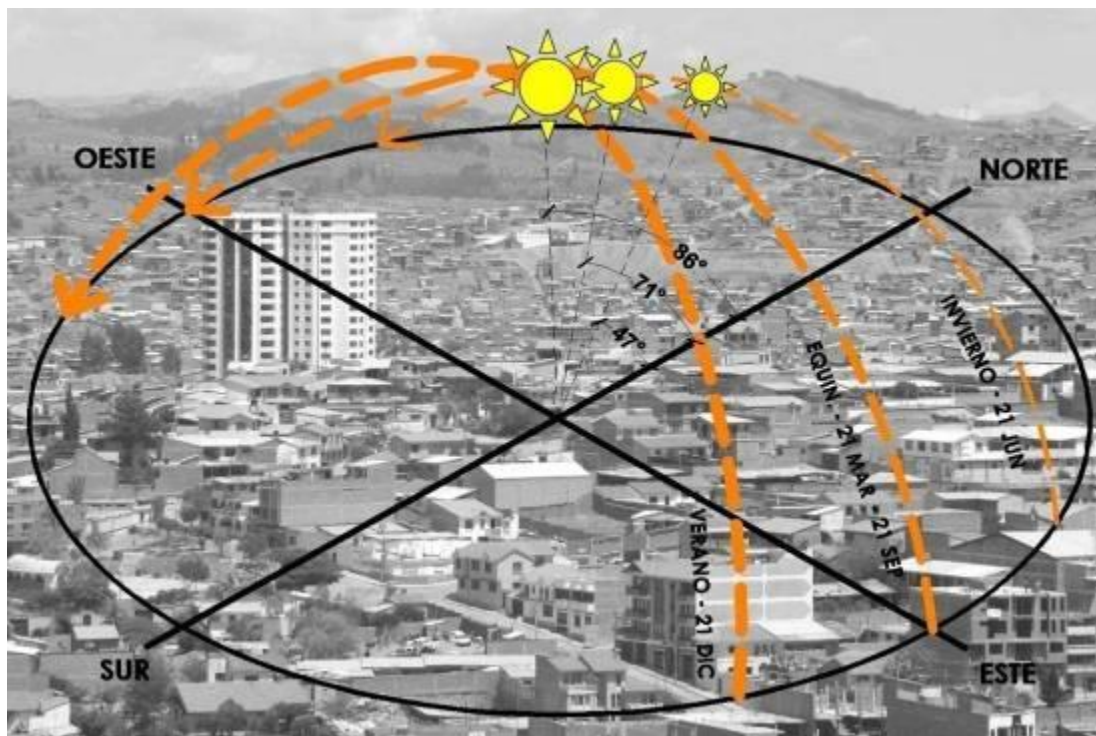


Ilustración N° 31. Recorrido solar. Vista desde la zona Libertadores

6. ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS GENERALES

En el presente punto, se obtienen estrategias o recomendaciones de diseño, basadas en diversos métodos y autores: Mahoney, Givoni y Olgyay.

6.1. TABLAS DE MAHONEY

En el acápite 3.8.1 (página 30) se indica las características y la utilidad de las tablas diseñadas por Carl Mahoney para ayudar en el diseño de viviendas.

Las tablas de Mahoney aplicadas a Sucre, se presentan en el ANEXO 1 y el resumen de las recomendaciones obtenidas en el acápite 6.4 (página 70).

6.2. DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DE BARUK GIVONI

Como se mencionó con anterioridad, se trata de un diagrama psicométrico que relaciona múltiples parámetros: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire.

Como el diagrama no es constante y varía en función de la altura sobre el nivel del mar, para Sucre empleamos un diagrama realizado para localidades cercanas a los 3000 msnm¹⁸.

Para aplicar el Diagrama Psicométrico en la ciudad, debemos primeramente contar con los datos de temperatura y humedad horaria de cada mes del año.

¹⁸ La carta psicométrica ha sido obtenido del Centro de Estudios de Energía y Medioambiente – IAA – FAU – UNT (CEEMA)

6.2.1. Comportamiento Horario De La Temperatura

En Sucre, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología no registra datos de temperatura horaria (únicamente temperatura máxima, mínima y media), por lo tanto se debe recurrir a métodos matemáticos que permitan determinar los datos requeridos.

Los datos del comportamiento horario de la temperatura, se realiza en base al modelo de Snyder (1985). La fórmula que se emplea es la siguiente:

$$T_h = M + W \cdot \text{SEN}(t)$$

Donde:

$$t = \pi (h-6)/12; h \text{ varía de } 1 \text{ a } 24.$$

$$M = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}})/2$$

$$W = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})/2$$

Los datos obtenidos se muestran en la Tabla N° 6 (página 66).

6.2.2. Comportamiento Horario De La Humedad Relativa

La humedad relativa tiene un comportamiento inverso a la temperatura, por lo que cuando se registra la mayor temperatura, se tiene la menor humedad, y viceversa.

Lamentablemente, la estación meteorológica de Sucre no registra datos de la humedad horaria, únicamente la humedad media diaria. El comportamiento horario de la humedad relativa, la obtenemos a través del empleo de la carta psicométrica de Givoni, trasladando primeramente los datos de temperatura media horaria.

La Tabla N° 6 muestra la temperatura y humedad horaria media, obtenida para cada mes del año. Posteriormente, en el Gráfico N° 4 se presenta el diagrama psicométrico de Givoni aplicado a Sucre, seguido de la Tabla N° 7, que resume las necesidades bioclimáticas de cada hora del año, para alcanzar el confort térmico.

Tabla N° 6. Temperatura y Humedad Horarias Medias Mensuales

HORA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %	T °C	H %
1:00	12,7	84	12,5	86	12,5	86	11,6	83	9,5	69	8,5	62	8,1	63	9,3	65	10,4	67	12,3	73	12,8	74	13,2	80
2:00	11,9	89	11,7	90	11,6	91	10,6	89	8,2	76	7,1	68	6,8	69	8,0	70	9,1	73	11,2	78	11,8	79	12,2	85
3:00	11,2	93	11,0	94	10,9	95	9,8	93	7,2	81	6,0	74	5,7	74	6,9	76	8,1	78	10,3	83	10,9	84	11,5	89
4:00	10,7	96	10,5	97	10,4	97	9,2	97	6,5	85	5,2	78	4,9	78	6,0	81	7,3	82	9,6	87	10,3	88	10,9	93
5:00	10,3	98	10,2	99	10,1	99	8,8	99	6,0	88	4,7	81	4,4	81	5,5	83	6,8	85	9,2	89	9,9	90	10,6	95
6:00	10,2	99	10,1	100	10,0	100	8,7	100	5,8	89	4,5	82	4,3	82	5,4	84	6,6	87	9,1	90	9,8	91	10,5	95
7:00	10,5	97	10,4	98	10,3	98	9,0	98	6,3	86	5,0	79	4,7	79	5,8	83	7,1	84	9,5	87	10,1	89	10,8	93
8:00	11,4	92	11,3	93	11,2	93	10,0	92	7,5	79	6,3	72	6,1	72	7,2	74	8,4	76	10,6	81	11,2	83	11,7	88
9:00	12,7	84	12,5	86	12,5	86	11,6	83	9,5	69	8,5	62	8,1	63	9,3	65	10,4	67	12,3	73	12,8	74	13,2	80
10:00	14,3	76	14,1	78	14,1	78	13,4	75	11,8	60	11,1	53	10,7	53	11,9	55	12,8	57	14,4	63	14,8	65	14,9	71
11:00	16,0	68	15,8	70	15,9	70	15,5	66	14,4	51	13,8	45	13,4	45	14,6	46	15,4	49	16,6	55	16,9	57	16,8	63
12:00	17,6	61	17,4	63	17,5	64	17,3	59	16,7	44	16,4	38	15,9	39	17,1	39	17,8	42	18,7	48	18,9	51	18,6	57
13:00	18,9	57	18,6	59	18,8	59	18,9	54	18,7	39	18,6	33	18,0	34	19,2	34	19,8	37	20,5	43	20,6	46	20,0	52
14:00	19,8	54	19,5	56	19,7	56	19,9	51	19,9	36	19,9	30	19,3	31	20,6	31	21,1	34	21,6	40	21,6	43	20,9	49
15:00	20,1	53	19,8	55	20,0	55	20,2	50	20,4	35	20,4	29	19,8	30	21,1	31	21,5	33	22,0	39	22,0	42	21,3	48
16:00	19,9	53	19,7	55	19,9	56	20,1	50	20,2	35	20,2	29	19,6	30	20,9	30	21,4	33	21,8	40	21,8	42	21,1	48
17:00	19,6	54	19,3	56	19,6	57	19,7	51	19,8	36	19,7	31	19,1	31	20,4	32	20,9	34	21,4	41	21,5	43	20,8	49
18:00	19,1	56	18,8	58	19,0	59	19,1	53	19,0	38	18,9	32	18,3	33	19,6	34	20,1	36	20,7	43	20,8	45	20,2	51
19:00	18,4	58	18,2	61	18,3	61	18,3	56	18,0	40	17,8	35	17,2	36	18,5	36	19,1	39	19,8	45	20,0	47	19,5	53
20:00	17,6	61	17,4	63	17,5	64	17,3	59	16,7	44	16,4	38	15,9	39	17,1	39	17,8	42	18,7	48	18,9	51	18,6	57
21:00	16,7	65	16,4	67	16,5	68	16,2	63	15,4	48	14,9	42	14,4	42	15,6	43	16,4	46	17,5	52	17,8	54	17,5	61
22:00	15,7	69	15,4	71	15,5	72	15,1	67	13,9	52	13,3	46	12,8	47	14,0	48	14,9	50	16,2	57	16,5	59	16,4	65
23:00	14,6	74	14,4	76	14,5	76	13,8	73	12,3	58	11,6	51	11,2	52	12,4	53	13,3	56	14,8	62	15,2	64	15,3	69
0:00	13,6	79	13,5	80	13,4	81	12,7	78	10,9	63	10,0	57	9,6	57	10,8	58	11,8	61	13,5	67	14,0	69	14,2	75

Gráfico N° 4. Diagrama Psicrométrico de Givoni para Sucre

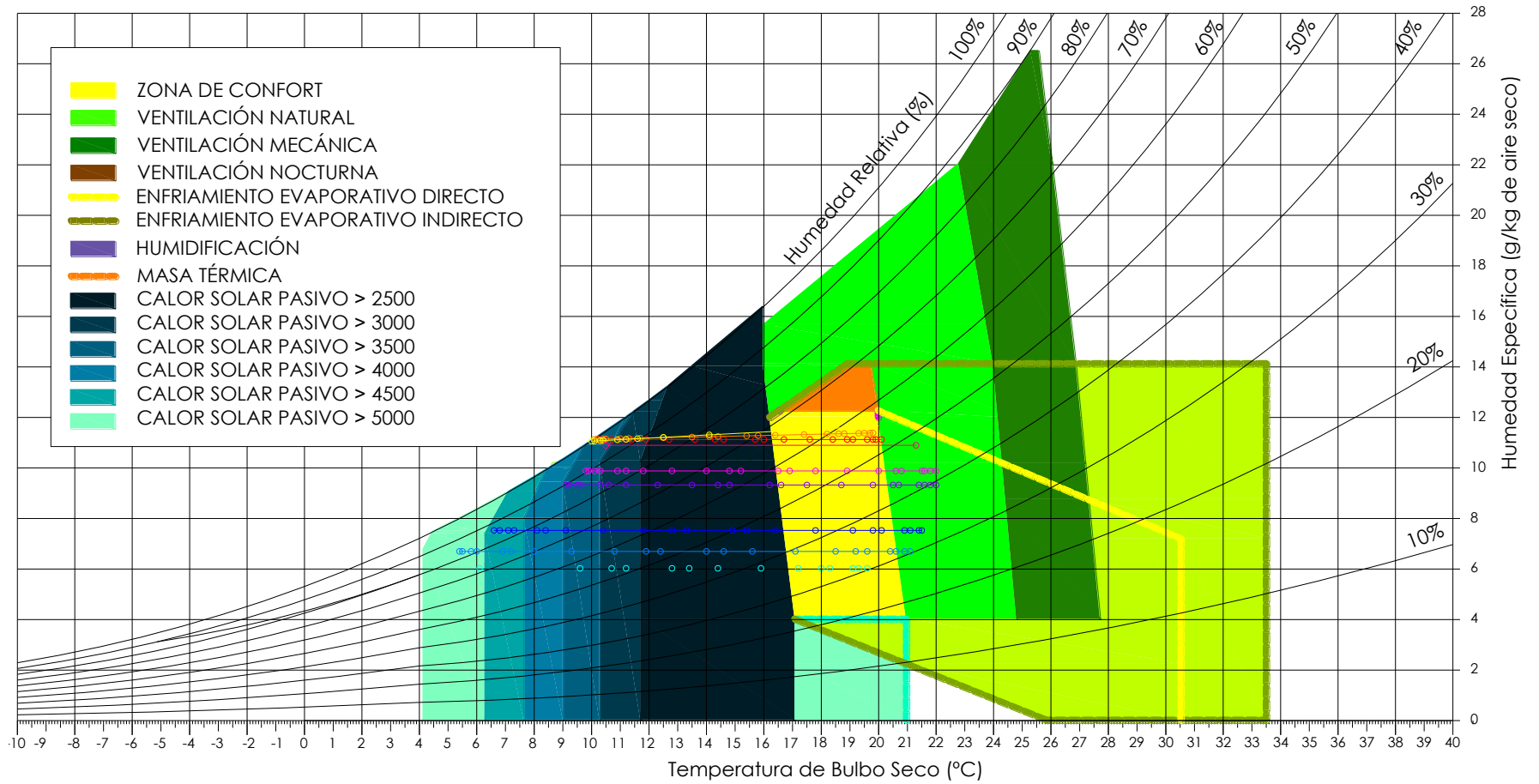


Tabla N° 7. Resumen de necesidades horarias para alcanzar el confort térmico

HR/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC
1:00	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500
2:00	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500
3:00	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000
4:00	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3000
5:00	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500
6:00	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500
7:00	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3000
8:00	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 5000	Cal. Solar P. 4500	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000
9:00	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 4000	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500
10:00	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500
11:00	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Confort	Confort	Confort
12:00	Confort	Confort	Confort	Confort	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort
13:00	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Ventilación	Ventilación	Confort
14:00	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Ventilación	Ventilación	Ventilación	Ventilación
15:00	Ventilación	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Ventilación	Ventilación	Ventilación	Ventilación	Ventilación
16:00	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Ventilación	Ventilación	Ventilación	Ventilación	Ventilación
17:00	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Ventilación	Ventilación	Ventilación	Ventilación
18:00	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Ventilación	Ventilación	Confort
19:00	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort
20:00	Confort	Confort	Confort	Confort	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort
21:00	Confort	Confort	Confort	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Confort	Confort	Confort
22:00	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Confort	Confort
23:00	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500
0:00	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3500	Cal. Solar P. 3000	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500	Cal. Solar P. 2500

6.3. GRÁFICA BIOCLIMÁTICA DE VÍCTOR OLGYAY

Se trata de diagramas psicométricos, que relacionan temperatura y humedad, sobre los que se establecen las condiciones de confort en función de los índices térmicos.

Aplicamos el diagrama de Olgay, considerando 3 horas claves del día: las 3:00, 10:00 y 17:00, pues estas horas se constituyen en hitos representativos del comportamiento diario de la temperatura y humedad.

Cada zona dispone de una carta bioclimática específica, dependiendo de las condiciones particulares de temperatura y humedad. La gráfica que se utiliza ha sido corregida para climas moderados cercanos a los 3000 msnm.

El diagrama aplicado a Sucre es el siguiente:

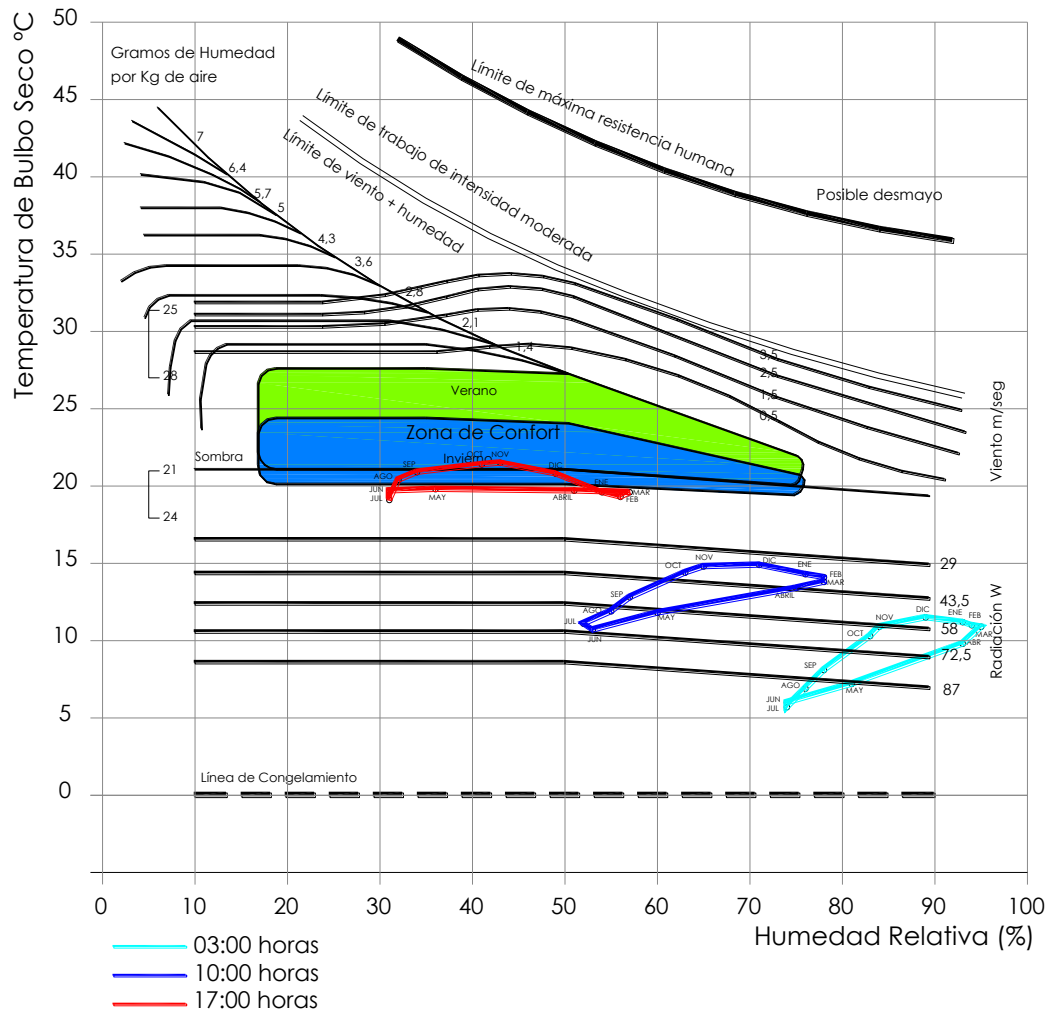


Gráfico N° 5. Gráfica Bioclimática de Olgay para Sucre

6.4. RESUMEN DE ESTRATEGIAS RECOMENDADAS

Las siguientes recomendaciones de diseño son resultado de la aplicación de las tres herramientas indicadas en puntos anteriores. Se constituyen en estrategias generales para el diseño bioclimático, en función de las cuales se determinarán posteriormente estrategias específicas.

TABLAS DE MAHONEY

- Orientación de la volumetría: Eje mayor Este-Oeste
- Separación de volúmenes: Distribución compacta del predio
- Provisión temporal del movimiento del aire (renovación)
- Aberturas medias: 20-40% de la superficie de fachadas
- Paredes internas y externas pesadas (inercia térmica)
- Tejados pesados, con más de 8 horas de retardo (inercia térmica)
- Aberturas también en las paredes interiores
- En las aberturas, evitar la luz solar directa a través de protectores solares

DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DE GIVONI

- La zona de confort térmico en la ciudad es muy amplia, y está presente en todos los meses del año, con una duración en horas variable. El 31% del tiempo total del año, se tiene un grado de confort térmico, lo que es muy destacable.
- De agosto a enero, se requiere ventilación natural, alrededor de las 3 de la tarde, siendo más pronunciada en los meses de octubre y noviembre. Se requiere ventilación en aproximadamente 8% del tiempo en un año, aspecto que fácilmente se puede considerar en el proyecto arquitectónico.
- Durante todos los meses del año, se requiere calentamiento pasivo, que varía de intensidad, acentuándose en el invierno en las primeras horas de la mañana (5 a 6 a.m.).

- En resumen, las condiciones existentes no son extremas, y los sistemas que se requieren son únicamente pasivos, pudiendo aplicarse la inercia térmica como un método eficaz para mejorar las condiciones térmicas de los ambientes.

GRÁFICA BIOCLIMÁTICA DE OLGYAY

- Para las horas de la madrugada (específicamente para las 3:00), se requiere radiación, desde 47 wats en verano, a 90 wats en invierno.
- A las 10:00 de la mañana, todavía se requiere radiación, aproximadamente 30 wats en verano, y 72 en invierno.
- A las 17:00 horas, se tiene un clima más agradable, muy cercano a la zona de confort térmico.
- Se observa que no se requiere en ningún momento de ventilación, ni humidificación, como estrategias correctivas, únicamente radiación en diferentes grados.
- Es importante recordar que la gráfica de Olgay se aplica principalmente a espacios abiertos, por lo tanto las estrategias determinadas no se aplican para espacios interiores, sino exteriores.

7. ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

El presente capítulo se trata de la determinación de reglas prácticas para el diseño arquitectónico, que no se constituyen en restrictivas. Sirven para guiar el proceso de diseño de manera coherente, para lograr la calefacción y refrigeración de las viviendas con sistemas solares pasivos.

Es importante considerar también los aspectos lumínicos y acústicos –no incluidos en este trabajo- pues de ellos depende también el confort ambiental. Por lo tanto, para aplicar las estrategias definidas, será necesario considerar la repercusión lumínica y acústica.

Las estrategias bioclimáticas que se presentan en el presente capítulo se refieren a aspectos puntuales que hacen a la edificación:

- Ubicación
- Orientación
- Forma
- Distribución interior
- Ventanas
- Color
- Materiales de construcción
- Relación del edificio con la vegetación

En Sucre, tanto el periodo frío como el periodo cálido representan una parte sustancial del año, por lo tanto, se hace necesario establecer cierto equilibrio estacional mediante medidas que permitan reducir o permitir –según sea el caso- la producción de calor, por radiación y convección.

7.1. UBICACIÓN DEL EDIFICIO

La ubicación del edificio tiene una importante repercusión en el comportamiento climático del mismo, por lo tanto, siempre que sea posible determinarla, debe otorgársele un especial cuidado.

Consideraciones Previas

Se debe procurar que los edificios reciban el sol en invierno, entre las 9 y las 15 horas, caso contrario no podrán utilizar directamente la energía solar para calefacción, puesto que aproximadamente el 90% de la energía solar se recibe en ese horario.

Por lo tanto, debe considerarse la obstrucción de radiación solar producida por obstáculos o barreras, como edificios vecinos, árboles altos, etc. en especial en el sector norte.

Las fachadas norte de los edificios no son solo importantes como captadoras de radiación solar, sino como creadoras de espacios exteriores.

Una vez identificada la localización del edificio, también se podrá determinar la ubicación de los espacios exteriores anexos, con la consideración de que "la gente usa un espacio si es soleado, y no lo usa en caso contrario".



Ilustración N° 32. Ubicación en función del recorrido solar

Ubicación en el Lote

Es importante considerar que la fachada norte de un edificio recibe casi 3 veces más radiación en invierno que las fachadas este y oeste; y durante el verano se invierte la situación y la fachada norte recibe una radiación mucho menor en comparación a la cubierta y las caras este y oeste del edificio. En verano e invierno, la cara sur recibe muy poca radiación.

Recordemos que la mejor ubicación de la vivienda es aquella que permite captar la mayor cantidad de asoleamiento.

La ubicación de la edificación en el lote debe ser preferentemente separada de las colindancias, con el objeto de diseñar libremente el asoleamiento en cada fachada, de acuerdo a las actividades que se realicen en cada sector de la edificación.

El espaciamiento mínimo con las edificaciones vecinas, debe ser como mínimo una vez la altura de la vivienda.



Ilustración N° 33. Vivienda separada de colindancias

En el caso de que sea necesario adosar alguna de las fachadas a una medianera, deberá primero considerarse la fachada sur, puesto que es la de menor ganancia de calor; en segundo lugar deberá considerarse las fachadas este u oeste, dependiendo de la distribución interior que se realice y de las necesidades específicas; en ningún caso deberá adosarse la fachada norte, pues esta es la principal captadora de radiación solar.

Un grado de adosamiento alto de los edificios genera pocas superficies de intercambio de calor con el exterior, por lo tanto, son edificios que no pueden ser buenos captadores de radiación solar y que tienen mayor dificultad para ventilar. Por lo tanto, es posible un aumento de la humedad relativa al interior del edificio y pocas posibilidades de captar luz y calor del exterior.



Ilustración N° 34. Viviendas muy adosadas

El asentamiento del Edificio

El asentamiento de un edificio es un aspecto de la piel, que indica el grado de contacto de las superficies que rodean el volumen de todo el edificio con el terreno.

En nuestro clima, es necesario un asentamiento medio del edificio en el terreno, o sea simplemente apoyado, con el objeto de lograr una inercia térmica adecuada. Se desestima los edificios no asentados (elevados) o los muy asentados (prácticamente enterrados).

7.2. ORIENTACIÓN DEL EDIFICIO

Al momento de definir la orientación del edificio, se debe considerar que este debe recibir la mayor cantidad de radiación solar posible.

Las orientaciones básicas de respuesta favorable son las siguientes, según el orden de preferencia que se muestra en la Ilustración N° 35.

Las diferentes vertientes otorgan parámetros climáticos diferentes. La vertiente norte permite una mayor proximidad entre los edificios que la pendiente al sur, por lo que la altura de las edificaciones puede aumentar sin obstrucción.

En las vertientes al sur, la edificación deberá disminuir en altura para mantener el asoleo.

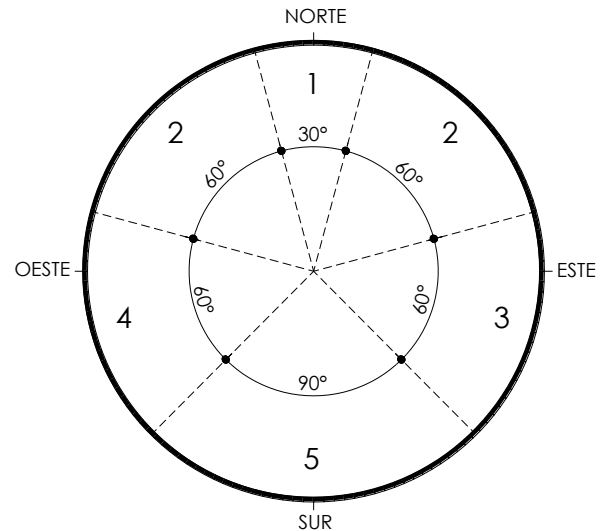


Ilustración N° 35. Orientaciones favorables

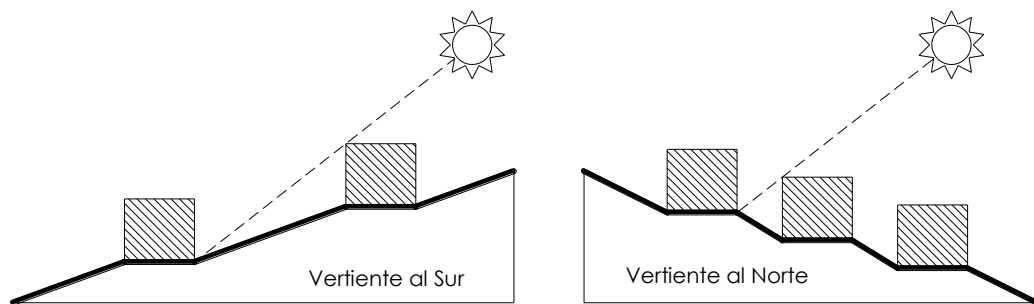


Ilustración N° 36. Repercusión de las vertientes al Sur y al Norte

Por otro lado, es importante considerar que las pendientes al norte reducen la sombra arrojada por el propio edificio, disminuyendo el área sombreada al sur. Se debe tratar de ubicar las viviendas más altas al sur y las de menor altura al norte.

En nuestro clima templado, la zona de posible ubicación en las vertientes es más amplias que en otros climas. La orientación favorable abarca toda la zona norte al noreste, como se observa en el gráfico.

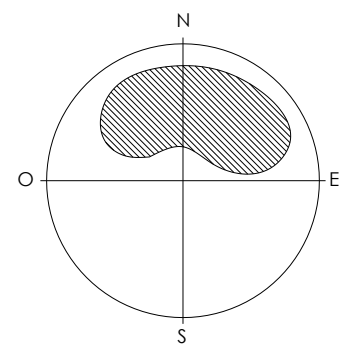


Ilustración N° 37. Zona de emplazamiento favorable para clima templado

Las viviendas deben ubicarse en la vertiente norte, evitando en cierto grado el poniente, para evitar calentamiento excesivo por las tardes.

En Sucre, la vertiente al noreste es más expuesta a los vientos, lo que puede favorecer el confort térmico en el diseño, aunque se debe proteger de los vientos fríos en el invierno y captar las brisas suaves en verano.



Ilustración N° 38. Viviendas en pendiente al norte. Barrio Japón

7.3. FORMA DE LA EDIFICACIÓN

Al momento de definir la forma del edificio, es necesario pensar e imaginar en la manera en que penetrará la radiación solar dentro del mismo.

La forma general de un edificio es el conjunto de las características geométricas y volumétricas que éste puede tener y que lo definen. Se refiere, por tanto, al tratamiento de sus volúmenes, a sus proporciones y al aspecto exterior de estos volúmenes.

Considerando que la forma óptima del edificio es aquella en la que se pierde un mínimo de calor durante el invierno y se gana un mínimo de calor en verano, tenemos que:

Un edificio alargado según el eje Este-Oeste expondrá mayor superficie hacia el norte durante el invierno y captará mayor radiación. Esta resulta la forma más eficaz en todos los climas, para minimizar las necesidades de calefacción en invierno y de refrigeración en verano.

Proporción del Edificio.

Víctor Olgyay¹⁹ recomienda para el clima templado, una relación 1:1,6, definido en función de la cantidad de calor recibido y perdido en cada uno de los lados del edificio. Según la ilustración anterior, la edificación puede ser más eficiente si se realiza un quiebre hacia el noreste.

¹⁹ Olgyay, Víctor. Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas. 2004



Ilustración N° 39. Edificio alargado en el eje Este – Oeste. Facultad de Derecho USFX

No obstante el ambiente interior mejorará aún más si se extrae un trozo del volumen, y se rellena el vacío resultante con aire fresco (proporcionado por la evaporación del frío a través de la colocación de césped, árboles, fuentes, piscinas) y con sombras de árboles de hojas caducas.

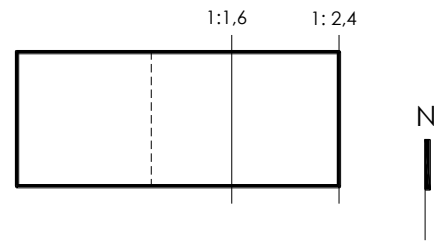
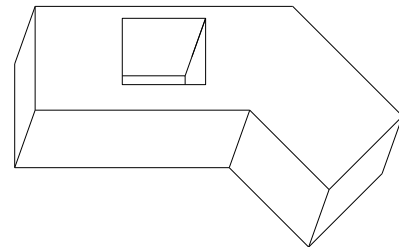


Ilustración N° 40. Esquema Formal sugerido para clima templado



Respecto a la profundidad de los ambientes, se considera la siguiente regla que indica que "...cuando la fuente principal de radiación solar que penetra en el espacio es a través de ventanas en la fachada norte, 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 y esta proporción asegura que la radiación cubra todo el espacio."²⁰

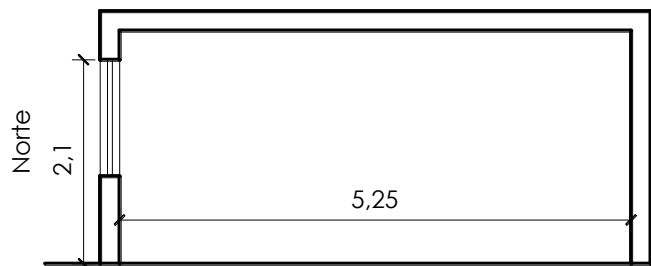


Ilustración N° 41. Profundidad máxima del espacio

²⁰ Mazria, Edward. Libro de la Energía Solar Pasiva.

Cuando no solo se depende del ingreso de radiación solar a través de aberturas al norte (o sea que se cuenta con lucernarios, claraboyas, ventanas hacia otras fachadas, etc.) este dato puede ser modificado.

Rafael Serra y Elena Coch²¹ consideran la compacidad, la porosidad y la esbeltez, como características importantes de la forma, que tienen repercusión climática, lumínica y acústica en el edificio, dependiendo del clima donde este se emplace.

Para el clima propio de la ciudad de Sucre, estas características de la forma tienen la siguiente influencia:

- a) La compacidad.** El concepto de compacidad establece una relación entre la piel que rodea al edificio y su volumen. Se refiere al grado de concentración de las masas que lo componen. Esta relación indicará la mayor o menor posibilidad de realizar intercambios energéticos con el exterior, al tener mayor o menor superficie de piel para un mismo volumen. Es importante recordar que la forma más compacta está representada por la esfera.

El clima templado requiere de formas no muy compactas, pues estas están recomendadas para climas extremadamente fríos o calientes, ya que el contacto con las condiciones exteriores debe ser mínimo en ese caso.

En el clima templado, la variación de temperatura permite el diseño de plantas más flexibles. Las tensiones térmicas, incluso sobre los cuerpos que se extienden en dirección norte-sur, producen menos efectos negativos que en otras regiones. Como consecuencia, esta región soporta mejor las plantas en forma de cruz o libres, no obstante debe destacarse que un edificio desarrollado a lo largo del eje este-oeste es definitivamente la forma más adecuada.



Ilustración N° 42. Vivienda compacta. Villa de Yotala

- b) La porosidad.** Es la relación entre el volumen lleno y vacío del edificio, es decir, la proporción de patios existentes en un edificio en relación con su volumen total.

²¹ Serra, Rafael y Coch, Elena. *Arquitectura y Energía Natural*. 1995

Entendemos como "patios", aquellos en los que su superficie abierta de contacto con el exterior es inferior a $1/6$ de la suma de las superficies de todos los cerramientos del patio (incluyendo la misma superficie abierta). Si su superficie abierta es superior a este valor se consideran sus paredes como formando parte de la piel y por lo tanto influyen sobre la compacidad.

En un clima templado seco, un edificio con un grado de porosidad amplio ofrece la posibilidad de crear espacios intermedios con microclimas propios, que pueden ser útiles para aumentar la humedad del ambiente, por lo que se recomienda los edificios con patios.



Ilustración N° 43. Edificio poroso. Patios del Archivo y Biblioteca Nacional

c) La esbeltez. El coeficiente de esbeltez se define como la relación entre la altura total del edificio y el radio de la superficie media de la planta. En otras palabras, se trata del alargamiento del edificio sobre la vertical.

En general, no existen climas donde sea recomendable una mayor esbeltez. A mas esbeltez, menos superficie de contacto con el terreno y mayor exposición climática (radiación, vientos, etc.). A mayor altura, son mayores los problemas interiores de estratificación del aire. Por lo tanto, no se recomienda edificios esbeltos.



Ilustración N° 44. Edificio esbelto. Edificio Careaga

7.4. DISTRIBUCIÓN INTERIOR

Una vez considerada la ubicación y la forma del edificio, se debe pensar en la distribución de los espacios interiores de acuerdo a las necesidades de asoleamiento. Para situar los espacios interiores, es conveniente considerar que:

- La fachada norte del edificio será más caliente y más soleada durante el invierno, debido a que recibe radiación a lo largo de todo el día.
- La fachada sur del edificio es la más fría durante el invierno, pues no recibe asoleamiento directo.
- Las fachadas este y oeste reciben la misma cantidad de radiación solar directa, cada una durante la mitad del día, pues la trayectoria solar es simétrica respecto al eje norte-sur. Sin embargo, la fachada oeste puede llegar a tener temperaturas algo más altas que la este, debido a que en la tarde las temperaturas exteriores son más altas que por la mañana.

Por lo tanto, los dormitorios, salas de estar y comedores (u otro espacios ocupados continuamente) deben situarse hacia el noreste, norte y noroeste, de acuerdo a sus necesidades de asoleamiento. 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, donde podrán servir como espacios protectores entre las zonas calentadas del norte y la fachada fría del sur.

La distribución interior debe realizarse en función de las actividades de cada ambiente y el horario en el que se va a estar el ambiente, recordando siempre que los espacios son más acogedores y más utilizados cuando tienen un confort térmico e iluminación natural.

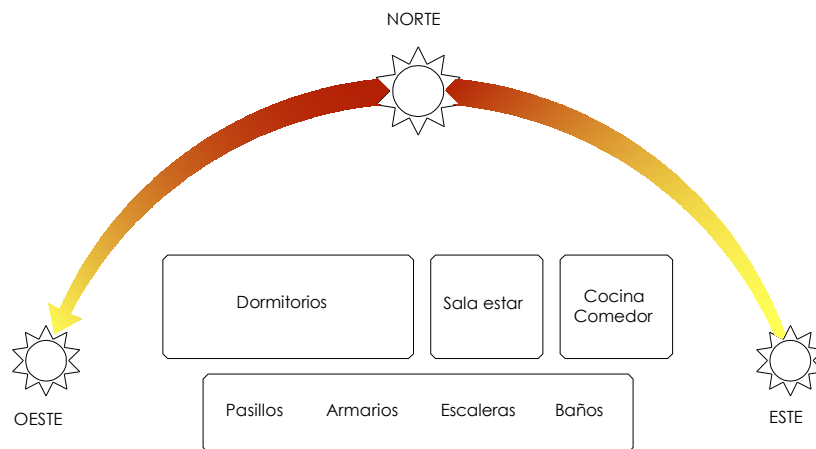


Ilustración N° 45. Distribución del espacio interior

Los espacios que requieran asoleamiento y no puedan orientarse al norte, deberán recibir asoleo a través de lucernarios o claraboyas orientados al norte.

El ingreso al edificio

Aunque en Sucre el intercambio de temperatura interior-externo no suele ser tan marcado, existen épocas (en invierno y verano), donde es necesario considerar la transición del espacio exterior al interior o viceversa.

La entrada principal al edificio debe transformarse en un pequeño espacio cerrado o semicerrado (vestíbulo o doble entrada), que proporcione una esclusa de separación entre el edificio y el exterior. Esto evitará que se pierda al exterior una gran cantidad de aire calentado o enfriado, cada vez que se abra la puerta del edificio. Se disminuirán de esta manera las pérdidas de calor debido a infiltración y transmisión.

La entrada debe protegerse respecto a los vientos fríos frecuentes en invierno, que en Sucre provienen del Nor-noreste, esta protección se puede realizar a través de barreras de vegetación de hoja perenne o un muro edificado a propósito, la entrada rehundida en el edificio también puede reducir el impacto y la velocidad del viento.

Afortunadamente en nuestro clima no es necesario colocar juntas o sellados que impidan fugas de aire en las puertas o ventanas, pues estas pérdidas son mínimas.



Ilustración N° 46. Ingreso protegido

La compartimentación interior

Se refiere al hecho de que existan pocos o muchos espacios en el interior.

En nuestro clima, es recomendable una mayor compartimentación, puesto que esto permite mayor diversidad ambiental, y tendremos la posibilidad de situar cada espacio en el lugar que más convenga según sus necesidades. En otras palabras, la compartimentación permite una adecuación térmica a cada actividad, mientras que en los espacios poco compartimentados, si bien las condiciones interiores son más uniformes, las variaciones de un sector repercuten en todo el ambiente.

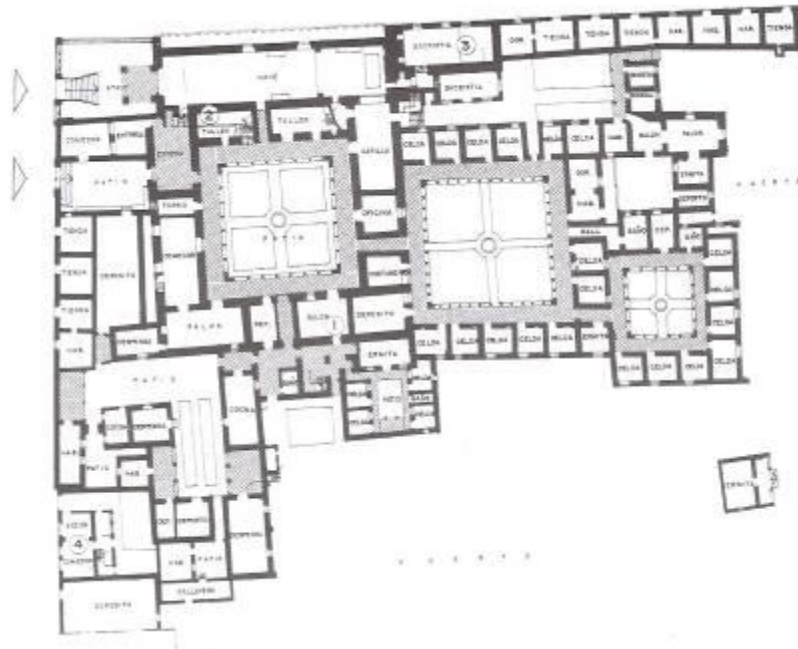


Ilustración Nº 47. Planta muy compartimentada. Convento de Santa Teresa

7.5. LAS VENTANAS

La ubicación de las ventanas son un factor muy determinante en el comportamiento climático del edificio, puesto que las pérdidas a través de una ventana en invierno son notablemente superiores a las que se dan incluso a través de una pared bien aislada.

Las ventanas tienen que situarse de manera que sean capaces de:

- En invierno obtengan las máximas ganancias posibles de asoleamiento, de forma que estas superen a las posibles pérdidas.
- Durante el verano, las mismas ventanas deben estar sombreadas para evitar aportes de calor no deseados.

Por lo tanto, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Situar las ventanas principales hacia el norte, las secundarias hacia el este y oeste, y en la fachada sur reducir la superficie de ventanas. Si bien la orientación óptima de una ventana para captación solar es el norte estricto, las variaciones de hasta 30° al este u oeste disminuyen poco el buen rendimiento.

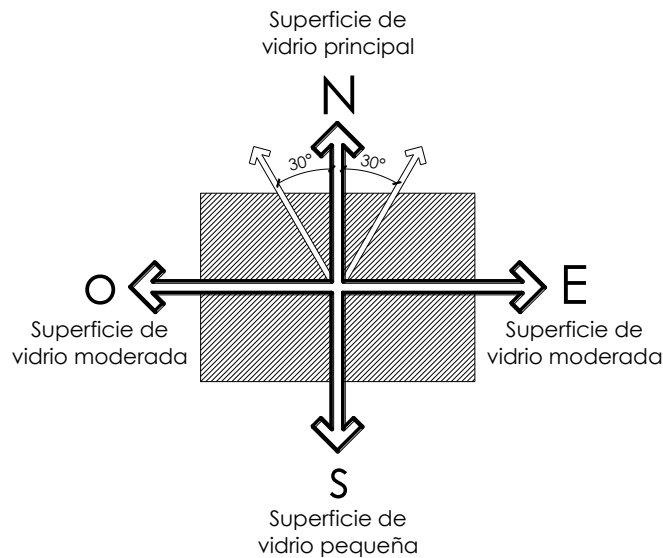


Ilustración N° 48. Distribución de las superficies vidriadas

- En invierno, las ventanas deben protegerse de los vientos fríos del NNE.
- En verano, para interceptar el sol se debe colocar árboles, vegetación u otra protección, al frente y sobre las ventanas.
- Las características de la piel deben ser diferentes según las diferentes orientaciones, ya que cada una de ellas tiene una realidad energética diferente.
- Las grandes superficies acristaladas deben utilizar aislamientos móviles que impidan que durante la noche se pierda el calor almacenado durante el día.
- Respecto a la ventilación, debe planificarse adecuadamente cuales serán las ventanas practicables que permitirán una ventilación adecuada para refrigerar los ambientes en verano.

Recordemos que durante el invierno, la fachada norte recibe cerca del triple de radiación solar que cualquier otra fachada. Durante el verano la situación es inversa y la fachada norte recibe mucha menos radiación en comparación con el techo y las fachadas este y oeste.

Debido a que la radiación solar en una ventana al norte, es mayor en invierno que en verano (puesto que en invierno el sol se encuentra más bajo o más perpendicular a la ventana), es vidrio ubicado al norte proporciona un control automático de la captación solar.

En nuestra latitud, el calor ganado por radiación solar durante el invierno a través de las ventanas al norte, supera a las pérdidas que se producen por esa misma ventana, considerando que no toda la radiación atraviesa el vidrio. Las ventanas hacia el sur, en invierno no reciben radiación solar directa, por lo tanto son una fuente continua de pérdidas, nunca de ganancias.

La perforación o las aberturas, no son una característica fija, ya que el uso del edificio y el clima pueden hacer variar el grado de perforación necesaria.

Por lo general, en invierno el grado de perforación debe ser mucho más pequeño que en verano, por ello es que se permite una variabilidad determinada por el hecho de que la mayoría de las aberturas deben ser practicables (significa que se puede eliminar el cerramiento a voluntad). Es importante que las aberturas tengan la capacidad de modificar la relación vacío-lleño, que supone convertir elementos transparentes en opacos y viceversa.

Un alto grado de perforación tiende a igualar las condiciones exteriores con las interiores. Gracias a la perforación se asegura la renovación de aire, lo cual es buena en el clima templado.

La transparencia de la piel del edificio, a través de las aberturas, produce el efecto invernadero, que consiste en el hecho de que la radiación, una vez que ha atravesado el vidrio y ha sido absorbida por el material interior, es re-emitida con ondas de longitud más grande que en parte no pueden volver a atravesar el vidrio.

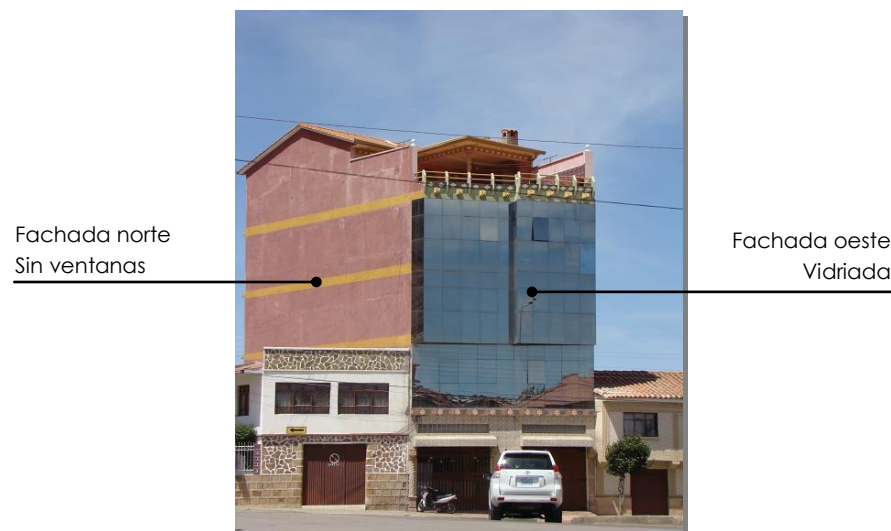


Ilustración N° 49. Ejemplo de ubicación deficiente de ventanas

Por tanto, un edificio muy transparente tendrá ganancias elevadas y pérdidas también notables, a no ser que se modifique la transparencia nocturna a través de aislamiento con sistemas móviles. Caso contrario, se generarán oscilaciones muy fuertes de temperatura al interior. La alta transparencia es peligrosa en todo clima, y debe utilizarse con precaución.



Ilustración N° 50. Ejemplos del uso de grandes superficies vidriadas

7.6. EL COLOR DEL EDIFICIO

Es una cualidad de la piel exterior de los edificios que define su comportamiento frente a la absorción superficial y por lo tanto, al paso de energía procedente de la radiación.

Esta cualidad se da básicamente a través de los cerramientos opacos.

En general, los colores claros son muy reflectores y ello comporta un poco captación de energía calorífica. Al contrario, con colores oscuros hay mucha absorción de la radiación solar, peligroso especialmente en climas cálidos secos.

En un clima templado como en Sucre, es aconsejable:

- En la fachada norte (captadora de radiación solar), aplicar colores medios a oscuros con el fin de absorber la máxima radiación posible durante el invierno, que es cuando el sol se encuentra más bajo y la fachada que recibe mayor incidencia de la radiación solar es la norte.
- En las fachadas este y oeste, se deberá utilizar superficies selectivas frías, como son la cal, y ciertas pinturas blancas o en tonalidades claras.
- En la cubierta debe aplicarse colores claros, con el fin de reflejar la mayor cantidad de radiación solar durante el verano, que es cuando el sol se halla en su punto más alto, y por tanto incide más directamente en la cubierta.

Cada fachada del edificio tiene un comportamiento térmico diferente, y en función a ello se debe aplicar colores diferentes que ayuden a lograr los efectos deseados en el interior del edificio.

Es importante mencionar que Sucre es conocida como la Ciudad Blanca de América, siendo las edificaciones del centro histórico las que le dieron este nombre.



Ilustración Nº 51. Sucre, Ciudad Blanca de América

7.7. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los materiales que debemos emplear en la construcción de los edificios, son aquellos locales, y en lo posible biodegradables.

En los muros deberá utilizarse en lo posible adobe, tapial, ladrillo o piedra. En los acabados se utilizará madera, tableros aglomerados y placas de yeso. Estos materiales requieren relativamente poca energía en su producción.

Los aceros, perfiles metálicos, aluminios, porcelanatos y plásticos, deben utilizarse en pequeñas cantidades, ya que estos materiales tienen una huella ecológica muy grande, debido a la alta cantidad de energía necesaria para su fabricación.

Lastimosamente, muchas veces se tiende a construir con las técnicas más económicas, y estas van directamente asociadas a fuentes de energías no renovables, resultando una práctica muy poco ecológica, ya que atravesamos por una disminución acelerada de nuestros recursos no renovables.

Afortunadamente, los materiales que se requieren en nuestro clima, para la inercia térmica de nuestros edificios son compatibles con las prácticas ecológicas.

Los materiales nobles que debemos emplear, no suponen un costo mayor en la edificación, y por el contrario, suponen una disminución en los costos de los servicios –principalmente de electricidad- durante la vida útil del edificio.

En Sucre habitualmente utilizamos los materiales "ecológicos", debido principalmente a aspectos económicos, sin embargo, la tendencia que se observa en muchas edificaciones -en especial en el área de expansión de la ciudad- es de utilizar materiales nuevos, importados, con el afán de innovar, o hacer edificios diferentes, sin considerar las bondades de los materiales utilizados tradicionalmente.



Ilustración N° 52. Sistema constructivo tradicional

7.8. RELACIÓN DEL EDIFICIO CON LA VEGETACIÓN

En nuestro clima es muy beneficioso que exista una relación muy estrecha entre la casa y la naturaleza.

La repercusión de la vegetación en el entorno del edificio es muy importante, y depende principalmente de su altura y del tipo de hoja de la planta (perenne o caduca).

De acuerdo a Serra y Coch²² en las latitudes medias y los climas templados, se recomienda una distribución de plantas en torno a los edificios, en función de la siguiente imagen.

²² Serra, Rafael y Coch, Elena. Arquitectura y Energía Natural. 1995

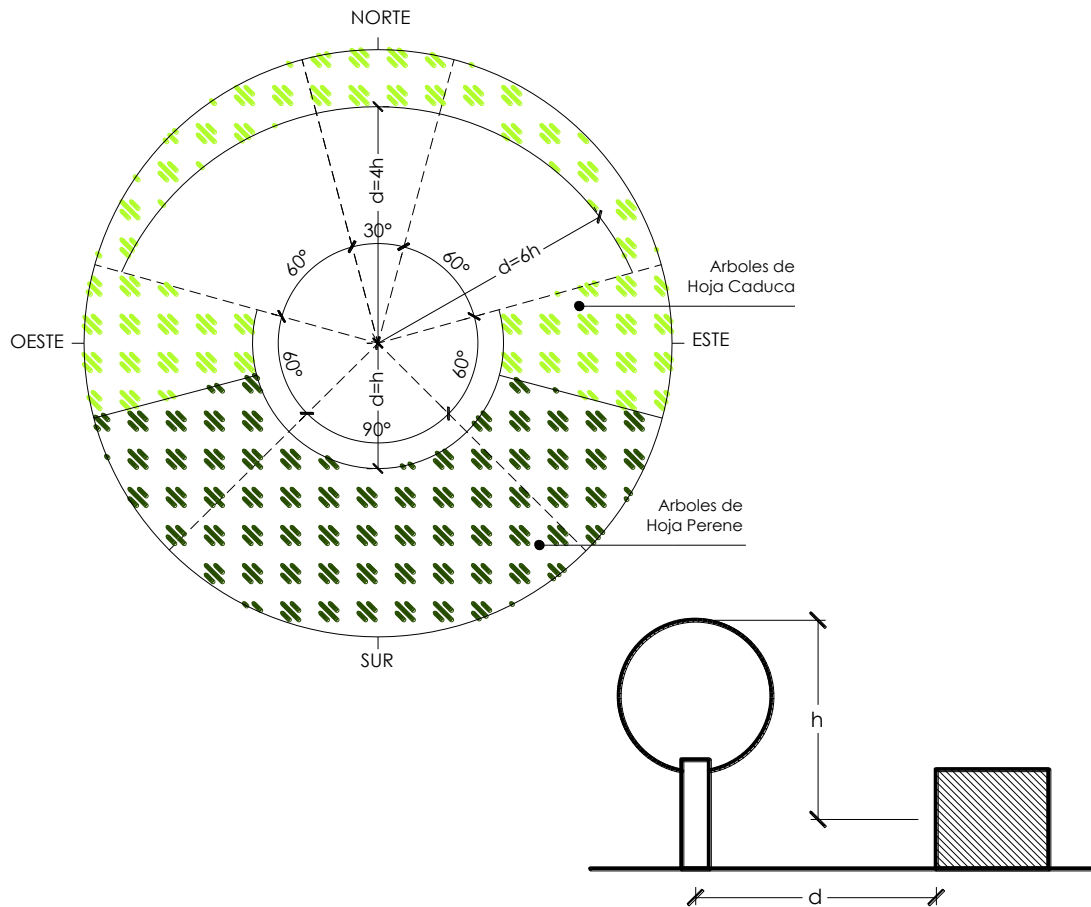


Ilustración N° 53. Diagrama de distribución de vegetación alrededor del edificio

Al margen de la repercusión climática, se debe considerar que para la vista, la vegetación tiene un papel muy importante, pues nos ayuda a componer las vistas existentes, haciendo posible un lugar más agradable.

La existencia de la vegetación aporta humedad al ambiente, lo cual es necesario considerando que tenemos un clima árido.

8. SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO PASIVO

Aplicando la gráfica de Givoni, se determinó que en Sucre se requiere de calefacción en todos los meses del año (en diferentes intensidades), y ventilación durante 6 meses (en distintos horarios).

Una vez pensada la ubicación, la forma del edificio, la distribución interior y otros elementos del diseño, debemos estudiar cuales serán los sistemas de acondicionamiento térmico pasivo que debemos utilizar para lograr un confort térmico al interior de nuestros espacios.

Si se analiza detenidamente nuestros diferentes espacios, deduciremos que cada uno de ellos requiere de un sistema de acondicionamiento específico, sin embargo esto no es posible, pues se trata de un conjunto arquitectónico y no de espacios individuales. Por lo tanto, se debe analizar detalladamente cual es el sistema o la combinación de sistemas que mejor se adapta a nuestro edificio. La mayoría de las veces estos sistemas funcionan combinados, sin embargo para una adecuada comprensión, se presentan a continuación de manera separada.

Los sistemas de acondicionamiento que se desarrollan son los siguientes:

- Sistemas de calentamiento pasivo y almacenamiento térmico
- Sistemas de enfriamiento
- Sistemas de ventilación
- Sistemas de protección de la radiación
- Sistemas de humidificación del aire

Para lograr un confort ambiental, los sistemas de acondicionamiento térmico, deben siempre combinarse con sistemas de acondicionamiento acústico y lumínico.

8.1. SISTEMAS DE CALENTAMIENTO PASIVO

Se trata de sistemas que captan la energía de la radiación solar y la convierten en calor cedido al interior de los ambientes.

Los sistemas captadores de radiación solar pueden ser directos, semidirectos, indirectos o independientes.

8.1.1. Sistema De Captación Directa

En este sistema, la radiación solar penetra directamente en el ambiente que se quiere calentar, a través de superficies transparentes a la onda corta, como los vidrios en ventanas, lucernarios, claraboyas, etc. orientadas hacia el norte.

Una vez adentro, la radiación solar es absorbida por las superficies interiores (muros, pisos, cielo falso, etc.) y las calienta.

Esta energía se acumula en la masa térmica de muros y pisos, y después de un tiempo de retardo es cedida al ambiente, calentando el mismo a través de la convección y la radiación de onda larga, la cual ya no puede atravesar el vidrio. Este fenómeno hace que las oscilaciones de temperatura del aire al interior de los ambientes durante todo el día sean reducidas.

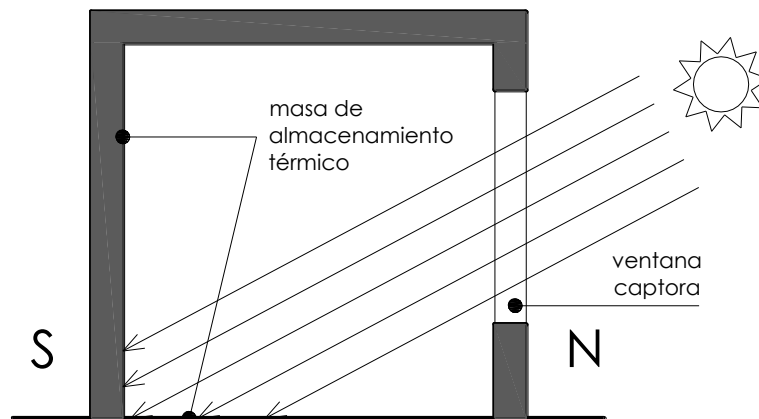


Ilustración N° 54. Sistema de captación directa

A menudo estos ambientes resultan sobrecalentados en los días soleados de invierno, debido a que las superficies de captación están sobredimensionadas, por lo que el uso de este sistema se ha visto muy limitado, ya que el tamaño de las ventanas determina la temperatura promedio en el espacio durante el día.

En función de la temperatura media exterior en invierno en Sucre ($4,7^{\circ}\text{C}$), obtenemos una superficie de abertura vidriada al norte de 0,13 a 0,21 m^2 por m^2 útil²³.

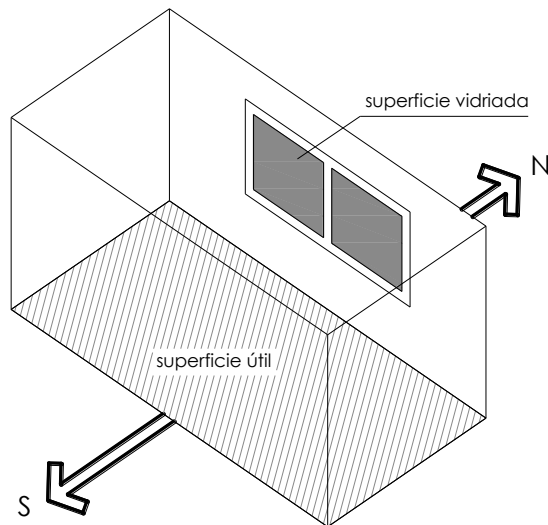


Ilustración N° 55. Superficie vidriada

Esta superficie captora es suficiente para mantener una temperatura media de 10°C a 21°C durante la mayor parte del invierno, siempre y cuando se cuente con masa térmica suficiente distribuida dentro del espacio para absorber el exceso de radiación incidente. Por lo general, los materiales utilizados frecuentemente (muros de ladrillo cerámico, pisos de madera, cielos falsos de yeso, etc.) poseen una adecuada masa térmica que garantiza la aplicabilidad de la relación de superficies dada.

Se admite una variación de 30° al este u oeste respecto al norte, asegurando una captación del 90% de la radiación solar incidente en la fachada norte.

Durante la noche, se recomienda el uso de aislamiento móvil en las aberturas para mejorar el aislamiento nocturno del edificio y así evitar las pérdidas de calor a través del vidrio. Estos elementos móviles podrán utilizarse también en el verano para proteger el espacio del sol.

Es importante considerar el tipo de vidrio que se utiliza, la carpintería, y el grado de limpieza de los vidrios. En condiciones típicas (vidrio doble, carpintería de madera) se reporta rendimientos a la captación del 55%.

El sistema es el más utilizado en nuestra región debido a su sencillez, sin embargo, si no se consideran los aspectos básicos tratados, los resultados

²³ Dato extraído de la tabla: Dimensiones de ventanas captoras en diferentes climas. El libro de la Energía Solar. Edward Mazria.

obtenidos no serán satisfactorios, obteniéndose consecuencias que vayan en desmedro del confort térmico de los espacios.

Si bien este sistema se aplica principalmente a través de ventanas, también puede emplearse en lucernarios y claraboyas, ya que existen muchos casos donde no es realizable o deseable introducir la energía a través de las ventanas al norte, como por ejemplo cuando se tienen obstrucciones de construcciones cercanas, cuando el muro norte es medianero, cuando la superficie de almacenamiento térmico está muy lejos de la ventana captora, por aspectos estéticos, de privacidad u otros. En esos casos, la superficie captora debe trasladarse a la cubierta a través de las siguientes opciones:

- **Lucernarios**

Es una abertura vertical o casi vertical que se proyecta por encima del plano de cubierta. Resulta particularmente eficaz para dirigir la radiación sobre una pared interior de almacenamiento térmico. Debe cuidarse la localización del lucernario a la distancia frente a la pared que asegure la radiación directa sobre ella durante el invierno.

La distancia (L) varía según el ángulo de inclinación solar en invierno (en el caso de Sucre 47°) y altura del techo (H), de 0,5 a 1 L.

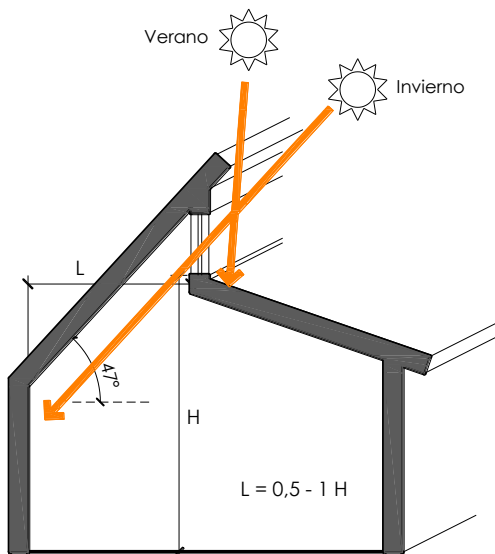


Ilustración N° 56. Diseño del lucernario

Los cielos falsos próximos al lucernario deben tener un color claro que permita la reflexión y difusión de la radiación sobre el local.

En verano se puede sombrear la abertura, a través de la prolongación del alero de la cubierta.

En nuestro clima no es necesario utilizar reflectores en la cubierta que incrementen el aporte calorífico.



Ilustración N° 57. Lucernarios orientados al norte

Los **dientes de sierra**, son series de lucernarios, uno detrás de otro. Con vidrios difusores permiten a distribución de la radiación sobre todo el espacio. Es importante considerar también en el diseño el ángulo solar en invierno, para asegurar que los lucernarios no queden sombreados uno por otro durante las horas de invierno de máxima radiación solar.



Ilustración N° 58. Dientes de sierra

- **Claraboyas**

Las claraboyas se ubican en la cubierta, y pueden ser horizontales o inclinadas. En las claraboyas horizontales, es importante utilizar un reflector para aumentar el aporte solar en invierno, puesto que en esa época, los rayos solares son menos verticales que en cualquier época del año.

Las claraboyas de gran tamaño deben tener una protección solar móvil interior o exterior para evitar los excesivos aportes de calor durante el verano.



Ilustración N° 59. Claraboya

Las ventajas de la utilización de lucernarios y claraboyas, es que la radiación puede distribuirse a cualquier parte del espacio del edificio, lo que representa también una mayor libertad respecto a la localización de la masa térmica interior.

El éxito en la utilización de estos elementos, consiste en el reparto de la radiación en el interior, si hace falta difundir la radiación por todo el espacio.

Los lucernarios y las claraboyas también pueden contar con aislamiento móvil para conseguir resultados más eficientes. Se deberán sombrear las superficies vidriadas, especialmente las horizontales y las orientadas al norte, protegiéndolas del sol de verano.

8.1.2. Almacenamiento Térmico en Obra

En los sistemas de calentamiento pasivo directo, el almacenamiento y el control del calor en la obra del edificio representa el problema principal, debido a que la cantidad de energía solar que entre a través de las ventanas, lucernarios o claraboyas determina la temperatura media interior del espacio durante el día.

Una gran parte de esa energía debe almacenarse en las paredes y suelo de la obra para su uso nocturno. Recordemos que el objetivo del sistema es mantener relativamente constante la temperatura del ambiente interior.

Para minimizar las variaciones de la temperatura interior deben construirse las paredes interiores y los suelos en obra maciza, con un mínimo de 10 cm de espesor. La radiación directa debe difundirse sobre la superficie de la obra utilizando elementos vidriados translúcidos, colocando varias ventanas pequeñas o mediante reflexiones en superficies interiores claras.

En invierno, por la noche se pierde un 65% aproximadamente de calor y el 35% durante el día. Si las ventanas captoras se dimensionan para recoger durante un día despejado de invierno, la energía necesaria para 24 horas, aproximadamente el 65% de esta energía debe almacenarse para su uso nocturno.

Cuando se almacena una pequeña parte de la misma, habrá sobrecalentamiento durante el día y déficit por la noche, por lo tanto, excesiva variación de temperaturas.

Por lo mencionado, es muy importante dimensionar adecuadamente la superficie captora de radiación solar. El porcentaje de calor almacenado en la masa térmica depende de la situación, tamaño y distribución de la masa y de su color superficial.

Es recomendable que todo el local (paredes y suelo) compongan la masa térmica de almacenamiento.

Para el dimensionamiento, se debe considerar que la superficie expuesta de paredes y suelo debe ser 9 veces la superficie del vidrio, con un mínimo de 10 cm en el espesor de las paredes y del suelo, con ello se garantiza una variación diaria promedio de temperatura de solo 7°C, lo que en nuestro clima resulta muy confortable.

Con el espesor indicado (de 10 o más cm) se tienen las siguientes variaciones de temperatura interior en el día, de acuerdo a distintos tipos de materiales, todos ellos recomendables para ser aplicados en nuestro clima.

Material	Variación de Temperatura
Adobe	9 °C
Ladrillo cerámico	8 °C
Hormigón macizo	6° C
Ladrillo con magnesio	5 °C

Tabla N° 8. Variación de temperaturas interiores en el día²⁴

Es importante propiciar que la radiación solar se difunda sobre las superficies interiores de la manera más uniforme posible, para lo cual puede usarse vidrios

²⁴ Fuente: El libro de la Energía Solar. Edward Mazria

o plásticos translúcidos, o reflejar la radiación directa transmitida a través de un vidrio transparente, haciéndola incidir primeramente sobre una superficie clara para que se disperse en todas direcciones sobre el espacio en general. También se puede colocar varias ventanas pequeñas que creen manchas de radiación directa.

Las recomendaciones para los acabados de las superficies interiores son las siguientes:

- Los pisos deben tener colores medios y oscuros para asegurar que una parte del calor quede absorbido y almacenado en el suelo. Al almacenarse calor en la parte baja se generará un mayor grado de confort humano.
- Las paredes pueden tener diversos colores, ya que la radiación solar que no se absorba y se refleje en las paredes claras, podrá ser absorbida eventualmente por otras superficies del ambiente.
- Si existe algún elemento de separación ligero (enchapado de madera, yeso, etc.), este deberá tener un color claro, para reflejar toda la radiación posible sobre otras superficies más pesadas.

Caso contrario, si estos elementos ligeros tienen colores oscuros, se calentarán rápidamente en el día, y no almacenarán calor para la noche.

- Se debe evitar que las superficies oscuras tengan radiación directa por mucho tiempo, pues resultarán sobrecalentadas.
- No es recomendable la utilización de alfombrados en los pisos, debido a que aíslan la masa de almacenamiento térmico respecto de la habitación.

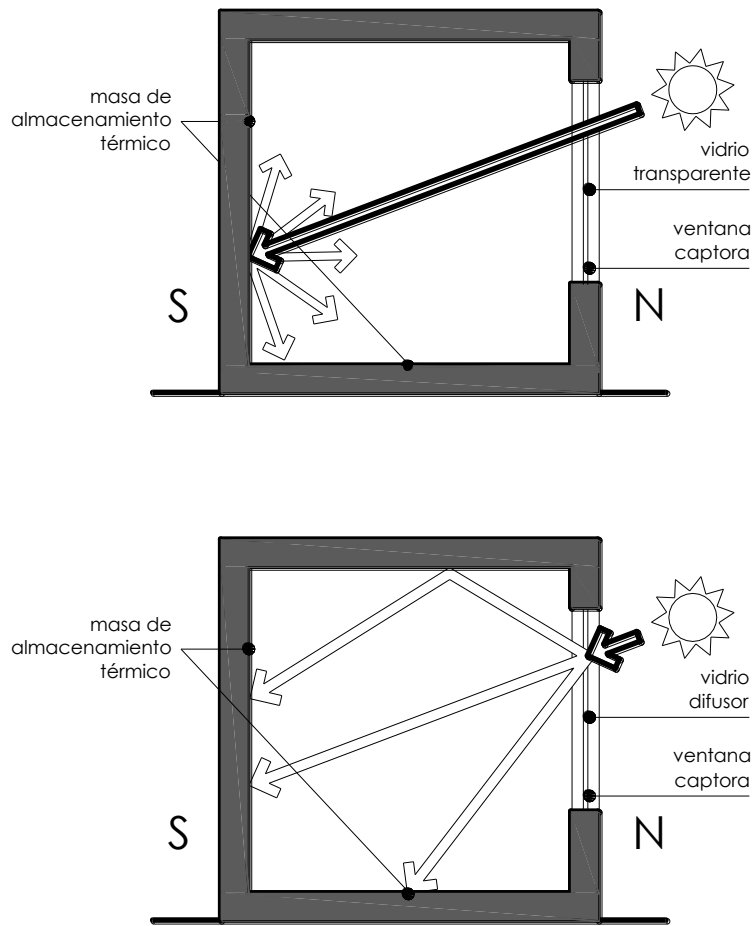


Ilustración N° 60. Reflexión y difusión de la radiación solar

8.1.3. Invernadero Adosado

Se constituyen en un sistema semidirecto de captación solar. Es un ambiente intermedio que capta la energía solar, y que se sitúa entre el espacio interior y el espacio exterior. Este espacio absorbe radiación dentro del mismo y la convierte en calor, este calor se cede al interior del edificio por convección o conducción, calentándolo.

El invernadero tiene una alta capacidad de captar radiación, pero presenta oscilaciones fuertes de temperatura, por lo que en algunos momentos el nivel energético en el invernadero puede ser más alto que en el interior y se puede regular voluntariamente la transferencia de calor mediante aberturas.

También se puede permitir la transferencia amortiguada a través de un muro separador, muy recomendable en nuestro clima.

En función de la temperatura media exterior en invierno en Sucre ($4,7^{\circ}\text{C}$), obtenemos una superficie de abertura vidriada al norte (vidrio doble) de $0,42$ a $0,69 \text{ m}^2$ por m^2 útil²⁵. Esta superficie vidriada captará energía durante un día despejado de invierno, suficiente para mantener el invernadero y el espacio anexo a una temperatura media de 15 a 21°C .

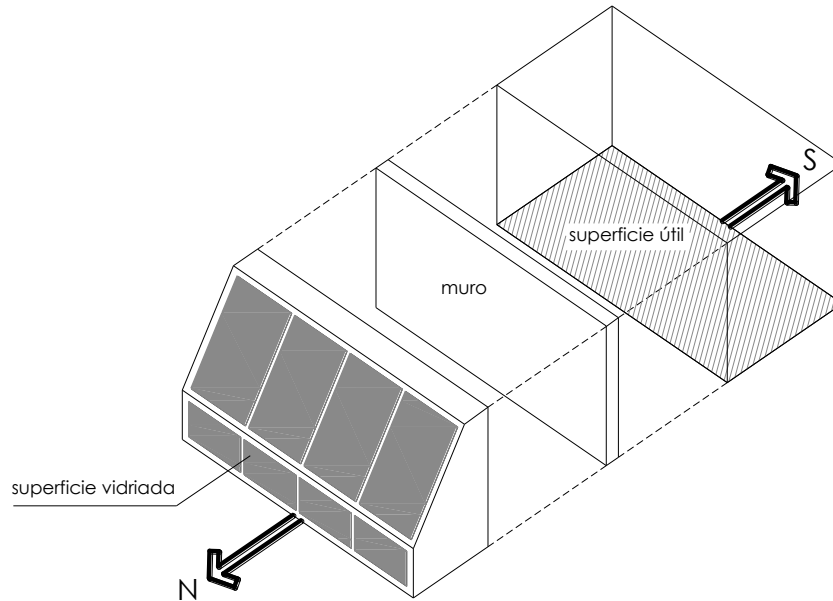


Ilustración N° 61. Superficie vidriada del invernadero

En un día despejado de invierno, el invernadero captará más energía de la que requiere su propia calefacción, por lo tanto, una parte de esa energía sobrante debe conducirse a través de la pared de separación entre el invernadero y el edificio para facilitar una eficiente transferencia de calor entre dos espacios.

De esta manera, el invernadero tiene el potencial de energía para calentar el ambiente contiguo y se amortiguarán las variaciones de temperatura interior.

Siempre que se utilice el muro intermedio como principal sistema de transferencia térmica, se deberá considerar los siguientes datos de anchos de muros:

²⁵ Dato extraído de la tabla: Dimensiones de invernaderos adosados. El libro de la Energía Solar. Edward Mazria.

Material	Ancho recomendado (cm)
Adobe	20 – 30
Ladrillo cerámico	25 - 35
Hormigón macizo	30 – 45

Tabla N° 9. Tipos de muros y anchos recomendados ²⁶

La pared deberá tener una superficie de color medio u oscuro y debe cuidarse de no bloquear la radiación directa que llega sobre ella. Deben abrirse pequeñas ventilaciones o ventanas practicables en la pared para transferir calor directamente del invernadero al edificio durante el día. En nuestro clima, solo se requiere contar con el muro de almacenamiento térmico, en climas fríos se requerirá aumentar una masa térmica adicional.

En vista de que su utilización como captador es durante los meses del invierno, el invernadero deberá orientarse al norte, sobre el eje este y oeste (se admite una variación de 30° al este u oeste), y tener una forma lo más compacta posible, por supuesto debe ubicarse junto a los locales que se pretende calentar.

La complejidad de los flujos térmicos entre el invernadero adosado y un edificio, hace difícil el dimensionado exacto del invernadero y la predicción del rendimiento del sistema de calefacción. La cantidad de energía proporcionada dependerá de distintos factores como la latitud, el clima, la masa térmica de almacenamiento, el tamaño y las características de aislamiento del invernadero, y de la conexión de este espacio con el espacio que se debe calentar.

Funcionalmente, se deberá pensar en las mejores soluciones de integración del invernadero en el edificio, por ejemplo podrá ser una prolongación del espacio interior, o ser un espacio habitable solo durante el invierno.



Ilustración N° 62. Invernadero adosado

²⁶ Fuente: El libro de la Energía Solar. Edward Mazria

8.1.4. Sistema De Muro Captador

En este sistema, la captación se efectúa a través de un elemento acumulador que almacena energía, para ceder posteriormente calor al ambiente interior.

Una vez que la radiación solar atraviesa el vidrio, es absorbida y se acumula como calor en un elemento opaco de gran capacidad térmica (muro captor).

De este elemento, se cede al ambiente interior el calor en como radiación de onda larga y por convección superficial, en este proceso existe un retardo y una amortiguación de la oscilación de temperaturas que hace que la temperatura interior se mantenga confortable a través de gran parte del invierno, sin ninguna fuente de calefacción adicional.

Si el muro captador está sobredimensionado, transmite más calor del necesario resultando un espacio sofocante, aunque el calor sobrante se puede evacuar a través de la ventilación (pero se disminuye el rendimiento del sistema).

Si el muro está subdimensionado, no se transmite la suficiente energía y se requerirá más calefacción suplementaria.

En función de la temperatura media exterior en invierno en Sucre (4,7°C), obtenemos una superficie de muro captador al norte de 0,28 a 0,46 m² por m² útil²⁷.

Esta superficie captará energía durante un día despejado de invierno, suficiente para mantener el invernadero y el espacio anexo a una temperatura media de 18 a 24 °C durante todo el día.

En nuestro clima templado, no es necesario aumentar el rendimiento de los muros captadores a través de reflectores y aislamiento móvil, debido a que no existirán muchas pérdidas de calor porque las diferencias de temperatura del exterior y el interior son menores, y nos encontramos en una latitud baja (19° S).

La pérdida de energía del sistema hacia el exterior puede reducirse con aislamientos móviles y vidrios dobles.

²⁷ Dato extraído de la tabla: Dimensiones de invernaderos adosados. El libro de la Energía Solar. Edward Mazria.

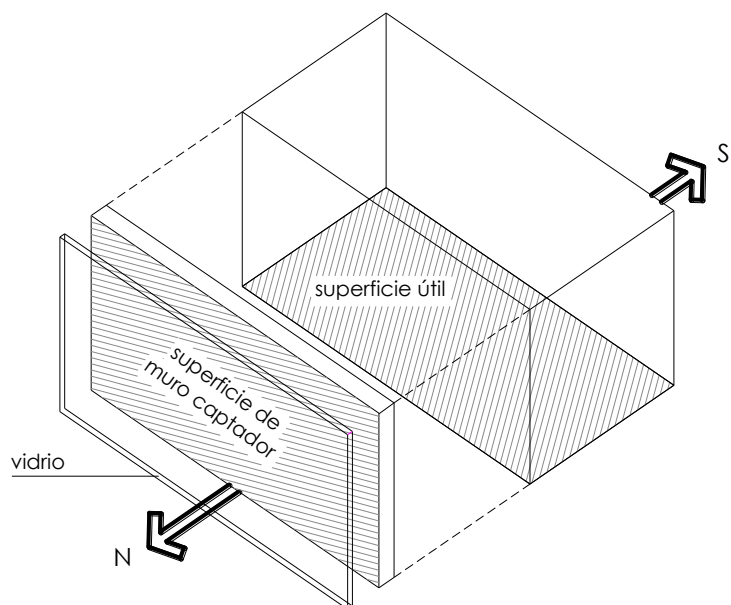


Ilustración N° 63. Muro captor

Las características que debe poseer el muro captador son las siguientes:

- El **ancho del muro** debe ser el siguiente, dependiendo de la conductividad del material utilizado para construir el muro.

Material	Ancho recomendado (cm)
Adobe	20 – 30
Ladrillo cerámico	25 - 35
Hormigón macizo	30 – 45

Tabla N° 10. Tipos de muros y anchos recomendados ²⁸

Si el muro es muy delgado o muy grueso, se producirá un sobrecalentamiento del ambiente, o se reducirá la eficiencia del mismo, en ambos casos, no se logrará un confort térmico en el interior.

Debe considerarse que las variaciones de la temperatura interior durante el día son muy sensibles al espesor del muro, como se observa en la siguiente tabla:

²⁸ Fuente: Elaboración propia en base a datos de "El libro de la Energía Solar". Edward Mazria

Material	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm
Adobe	---	10 °C	4 °C	4 °C	4,5 °C	---
Ladrillo cerámico	---	13 °C	6 °C	4 °C	---	---
Hormigón macizo	---	15,5 °C	9 °C	5,5 °C	3,3 °C	2,7 °C

Tabla N° 11. Variación de temperatura interior en función del espesor de muro ²⁹

Como regla general, la variación de temperatura en el día decrece cuando crece el espesor del muro.

- El **color de la superficie exterior** de la pared debe ser de color oscuro, con el fin de absorber la mayor cantidad de radiación solar posible, y de esta manera transmitir una mayor cantidad de calor.

El color oscuro debe tener una absorción solar del 95% para un óptimo rendimiento, aunque se admiten colores de menor absorción, incluso hasta el 85%. La cara interior del muro puede tener cualquier color.

En Sucre no se requiere incorporar aislamiento móvil sobre el vidrio por las noches, ni tampoco reflectores que mejoren el sistema de captación.

Muros Trombe

El muro Trombe es un caso particular del muro captador, donde se añaden unas perforaciones en la parte superior e inferior del muro para comunicar la cámara de aire que hay entre el vidrio y el muro con el ambiente interior.

En el clima templado de Sucre, no es necesario utilizar el muro trombe, ya que las temperaturas diurnas de invierno son confortables y la calefacción no es necesaria usualmente a esas horas.

8.2. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PASIVO

El sistema de enfriamiento es muy importante en el diseño solar pasivo, aunque muchas veces solamente se incluyen sistemas de calefacción para el invierno, y se pasa de largo la necesidad del edificio de refrigerarse en el verano, ocasionando a menudo condiciones interiores extremadamente molestas.

²⁹ Fuente: Elaboración propia en base a datos de "El libro de la Energía Solar". Edward Mazria

En climas templados secos, como el de Sucre, se recomienda:

- Abrir el edificio por la parte superior hacia el exterior durante la noche, a través de ventanas practicables u orificios de ventilación para refrescar la masa térmica interior.
- Se debe disponer aberturas amplias para la entrada y salida del aire (ambas de iguales dimensiones), que permitan el paso de la brisa nocturna en el verano.
- En días de verano, se debe mantener cerrado el edificio para rechazar el calor exterior.

Algunas soluciones necesarias son:

Sombras

Se constituye en la primera solución a incorporar en el diseño para detener el sol de verano, se aplica a través de vegetación de hoja caduca y elementos de protección fijos o móviles, como los mencionados en el acápite correspondiente.

Los árboles, además de proporcionar sombra, ayudan a moderar la temperatura y permite la humidificación del ambiente.

Si un edificio está bien sombreado en verano, su ganancia térmica quedará limitada fundamentalmente a la transmisión del calor a través de su piel.



Ilustración N° 64. Árbol para sombrear en verano

Color de las superficies exteriores

En nuestro clima, los colores de los exteriores suponen un conflicto, pues se requiere tanto de la absorción de energía (en invierno), como de la reflexión (en verano). En función de la trayectoria solar –distinta en verano e invierno- se recomienda que para refrigerar el edificio, se deberá aplicar colores claros en la cubierta, que en verano permitan la mayor reflexión de energía posible. La fachada norte es la captadora de energía solar para el invierno, por lo que no será intervenida para la refrigeración del edificio.

La ventilación constituye una de las principales técnicas de refrigeración, y debido a su marcada importancia, se le asigna un acápite especial.

8.3. SISTEMA DE VENTILACIÓN

De acuerdo a la tabla de necesidades de Givoni, para lograr un confort térmico, se requiere de ventilación durante 6 meses del año, desde agosto hasta enero, principalmente en las horas de la tarde.

Por lo tanto, es necesario diseñar nuestros edificios incluyendo el sistema de ventilación que se utilizará, especialmente durante el verano, para mejorar el clima del interior del edificio.

Un sistema de ventilación supone favorecer el paso del aire por el interior de la edificación y de esta manera propiciar la renovación del aire y enfriar el ambiente.

El movimiento del aire puede producir un efecto de refrigeración, por acción de su velocidad relativa al cuerpo humano, lo que supone que en condiciones de calor se incrementa positivamente el efecto de refrigeración.

A continuación se indican 4 sistemas de ventilación que pueden aplicarse en Sucre:

- **Ventilación Cruzada**

Es el método más sencillo de ventilar el interior, consiste en hacer mover el aire de un espacio (o sucesión de espacios) mediante la ubicación de aberturas en dos fachadas opuestas.

Es muy aconsejable durante el verano, para refrescar el espacio interior.

Las aberturas deben ubicarse en fachadas que estén en comunicación con los espacios exteriores, y que tengan diferentes condiciones de exposición al viento o de radiación. Deben ubicarse en muros paralelos. Una excelente decisión sería ubicarlas en el eje NNE – SSO.

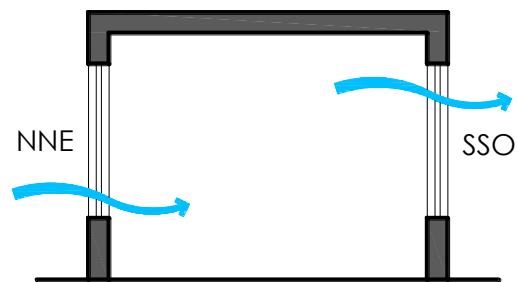


Ilustración Nº 65. Ventilación cruzada

Considerando que los vientos registrados en Sucre son por lo general débiles, la ventilación cruzada produciría de 12 a 20 renovaciones horarias de aire.

Se recomienda en lo posible la utilización de este sistema, pues tiene un rendimiento bastante elevado en comparación con los que se describen posteriormente, y su aplicación es muy sencilla.

- **Efecto Chimenea**

En el caso de que no se pueda realizar aberturas como en muros paralelos, deberá lograrse la ventilación a través del efecto chimenea.

Este consiste en generar la extracción de aire por unas aberturas en la parte superior del espacio, conectadas a un ducto de extracción vertical, e incorporar una abertura en la parte inferior para la entrada del aire más frío. Este efecto se logra gracias a la diferencia de densidad del aire que depende de la temperatura del mismo, y hace que el aire menos denso (caliente) salga por arriba, y el aire de mayor densidad (frío) entre por abajo.

Las renovaciones horarias de aire obtenidas son menores, lográndose entre 4 a 6.

La aplicación de este sistema puede darse en espacios de doble altura, o con gran conexión vertical, donde el aire suele estratificarse, teniendo un aire más caliente en la parte superior.

Este sistema funciona adecuadamente por la tarde, cuando la diferencia de temperaturas en un ambiente interior y uno exterior es relativamente alta, teniéndose en el exterior temperaturas más bajas que las registradas en la parte alta del interior. Si ambas temperaturas son similares, no se produciría el efecto chimenea.

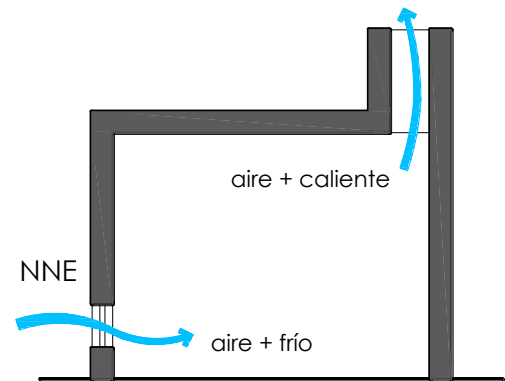


Ilustración N° 66. Efecto chimenea

- **Efecto Venturi, a través de Aspiradores Estáticos**

En nuestra ciudad, se emplea constantemente este sistema de ventilación, que consiste en forzar la extracción del aire del ambiente interior, insertando al sistema anterior (efecto chimenea) un aspirador estático situado en la cubierta, donde al pasar el viento se produce el efecto Venturi.

Si bien en Sucre el viento es relativamente constante, es de intensidad baja o débil, por lo que el rendimiento de este sistema tiende a bajar, dependiendo en todo caso del aspirador que se utilice.

Las renovaciones horarias de aire obtenidas son de entre 6 y 8 volúmenes por hora.

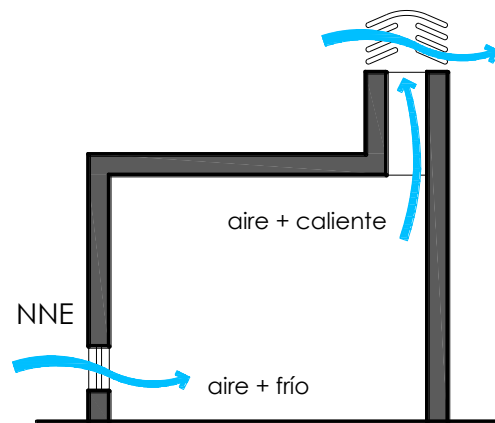


Ilustración Nº 67. Efecto Venturi. Sistema de aspiración de aire

- **Cámara Solar**

Consiste en calentar aire que existe dentro de una cámara con un captador de color oscuro, protegido por una cubierta de cristal. El aire se calienta y succiona en las aberturas inferiores y así extrae aire del interior hacia el exterior.

Estas se deben orientar hacia el norte, o dependiendo del horario de uso se puede orientar hacia el este u oeste.

La ventaja de este sistema, es que el rendimiento aumenta de la mano de la radiación, por lo tanto, mientras más calor haya, mejor funcionamiento reporta.

Las renovaciones horarias de aire obtenidas son de entre 6 y 8 volúmenes por hora.

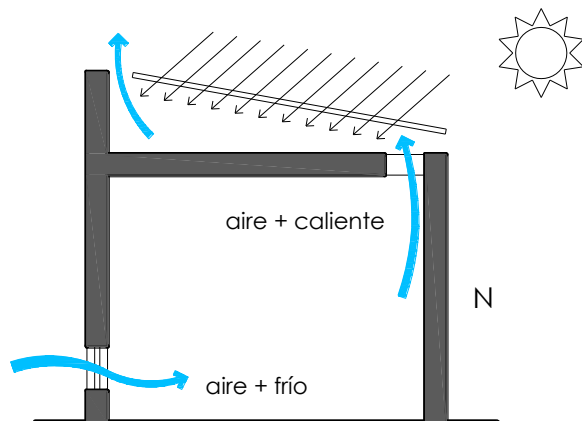


Ilustración Nº 68. Cámara solar

Al margen de los mencionados, existen otros sistemas de ventilación, que no son aplicables en nuestra región, como las **torres de viento**, cuyo efecto solo es notorio cuando se tiene vientos intensos.

8.4. SISTEMAS DE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN

Las superficies vidriadas que en invierno captarán la máxima radiación, lo harán también en verano, cuando no sea necesario, por lo que es necesario impedir el sobrecalentamiento de los espacios interiores, protegiéndolos de la radiación solar. Generalmente esta protección es más eficiente que el aislamiento térmico en los muros.

Existen diversos tipos de sistemas de protección, con la consideración de que los sistemas fijos no son muy precisos debido a que no coincide exactamente –por ejemplo- el punto medio del verano con el día más largo del año, o el punto medio del invierno con el día más corto del año. Esto ocasiona un desfase de aproximadamente 20 días, por lo que las sombras trazadas no serán exactas.

Mientras, las pantallas móviles proporcionan en teoría una mejor solución, pues se regulan de acuerdo a la estación, cerrándolas o abriéndolas de acuerdo a la necesidad, sin embargo requieren resultan más costosas debido a la mano de obra adicional, al diseño y sobre todo al mantenimiento.

Las protecciones de ventanas al este y al oeste, deben realizarse a través de cortinas o toldos, que constituyen en la solución más simple y económica.

- **Aleros y Voladizos**

Son elementos arquitectónicos opacos y fijos, ubicados en la fachada norte que sobresalen de manera horizontal y protegen de la radiación y de la lluvia, son muy eficaces para controlar efectivamente la radiación en verano.

Deben estar integrados adecuadamente al diseño desde su concepción, y no aparecer como elementos “añadidos”.

Para un eficiente funcionamiento, deben diseñarse en función de:

- Los ángulos solares (para la latitud precisa del emplazamiento), de manera que se permita el acceso del sol en invierno y se proteja de la radiación en verano.

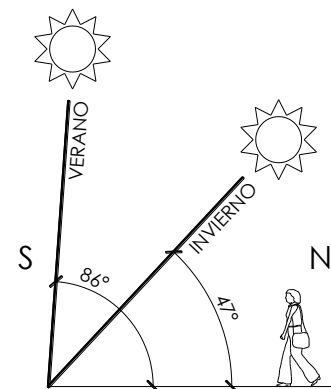


Ilustración N° 69. Ángulos solares de Sucre

- La altura de la ventana, mientras mayor sea la altura de la ventana mayor será el voladizo.
- Los aleros y voladizos deben estar colocados hacia el norte, hacia el este y oeste no tienen mucha utilidad, y hacia el sur no tienen efecto.

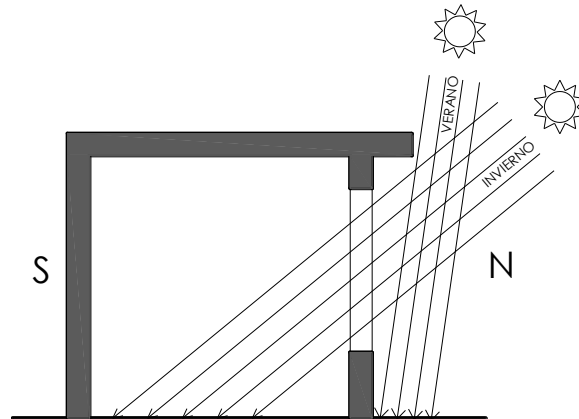


Ilustración N° 70. Alero como protector de radiación

Los voladizos inclinados hacia arriba no solo servirán de protección en verano, sino también como reflector en invierno. Los aleros y voladizos son muy recomendables, debido a su sencillez constructiva y a su fácil implementación en el diseño arquitectónico.

- **Persianas**

Son un conjunto de pequeñas lamas ligadas entre sí, son móviles y practicables. Colocadas frente a las aberturas detienen la radiación solar directa, permiten ventilar, conservar vistas y generar iluminación controlada.



Ilustración N° 71. Persianas

- **Toldos**

Son cortinas exteriores, móviles y flexibles situados con cierta inclinación delante de las aberturas que protegen. Protegen del sol, pero dejan pasar cierta cantidad de luz difusa, dependiendo del material. Permiten cierta ventilación al interior.

Las persianas, cortinas, toldos, y otros, tienen una eficacia menor, pero su mantenimiento y utilización es más fácil.

Debe considerarse que los sistemas interiores de protección solar, reducen considerablemente la vista hacia el exterior.



Ilustración N° 72. Toldo desplegable

- **Vegetación**

La vegetación adherida a los muros de la fachada protege de la radiación solar, y se origina una ventilación entre la pared y las hojas. Si se utiliza este sistema, es importante que las hojas sean caducas, para poder aprovechar la radiación en el invierno.

Un emparrado colocado en voladizo es un sistema estacional autorregulable de protección solar para un vidrio al norte.

Un emparrado conserva las hojas en verano y las pierde en invierno, debe cuidarse con una poda periódica que evite que crezcan ramas demasiadas gruesas que puedan arrojar sombras en invierno.

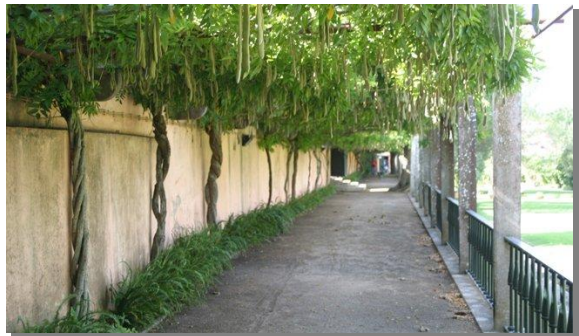


Ilustración N° 73. Emparrado

- **Vidrios Reflectantes**

Protegen del sol, pero no permiten la ventilación, por lo tanto no son muy recomendados para nuestro clima. Su efecto es más lumínico que térmico.

8.5. SISTEMAS DE HUMIDIFICACIÓN DEL AIRE

Sucre posee un clima templado seco, y en función de mejorar el clima interior en nuestros edificios, deberemos incorporar sistemas que permitan humidificar el aire.

- **Masas de Aire**

Se trata de mejorar el aire de ventilación antes de que este aire ingrese a la vivienda, para mejorar las condiciones de humedad al interior.

El efecto que se aprovecha es el de la refrigeración evaporativa, que se basa en el hecho de que un líquido al evaporarse (por tanto pasar de líquido a gas), absorbe energía del aire, y el aire aumenta su contenido de vapor de agua.

El aire de Sucre, al ser seco, tiene gran capacidad de aumentar su contenido de humedad. Entonces, en Sucre el clima árido requiere la presencia de agua en pequeñas cantidades –pequeñas comparadas con las grandes masas de agua existentes en la naturaleza- influye directamente en la humedad e indirectamente en la refrigeración evaporación del agua, siempre y cuando el agua se sitúe en la dirección del viento dominante (en este caso del NNE).

De esta manera se puede lograr un efecto apreciable y agradable humidificando el aire. Estas masas de agua pueden ser piscinas, fuentes, u otras.

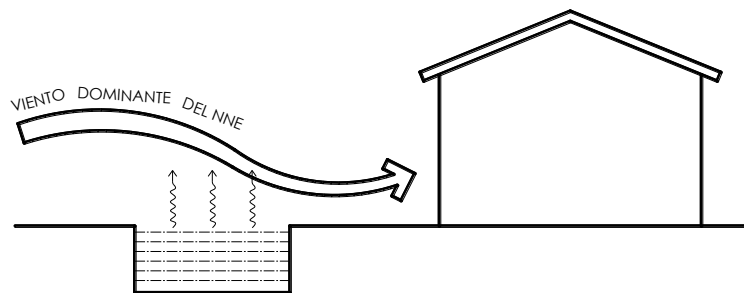


Ilustración N° 74. Efecto humidificante y evaporativo del agua

La presencia de agua en pequeñas cantidades en el entorno inmediato, no tiene repercusión en la inercia térmica del edificio, o en la generación de brisas.

- **Los Patios**

Un patio es un espacio abierto dentro del volumen del edificio, que genera un microclima específico y funciona como un filtro entre las condiciones exteriores y las interiores. En el caso de que el patio cuente con una piscina o una fuente, puede producir el efecto evaporativo, actuando directamente sobre la temperatura, enfriando los espacios.

Como se menciono antes, el efecto evaporativo actúa también sobre la humedad, aumentando la misma, y más aún si existe vegetación en el patio.

En Sucre podemos observar muchos patios que tienen estas características, que además de proteger de la radiación solar a través de sus corredores, sirven de espacios con un microclima propio, con una excelente transitoriedad entre el espacio exterior al interior y que a la vez humidifican los espacios interiores.



Ilustración N° 75. Patio del Museo Charcas

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la ciudad de Sucre, donde se tiene un clima templado seco, conocido por ser agradable durante casi todo el año, existen periodos muy calientes y muy fríos, para los cuales, gran parte de las viviendas no están preparadas, pese a que las estrategias que deben aplicarse para mejorar el comportamiento térmico de las viviendas son por demás sencillas, económicas, y no suponen de ninguna manera una modificación en la práctica constructiva habitual.

Las estrategias de diseño bioclimático pasivo, son herramientas fácilmente aplicables en cualquier región climática. Actualmente tienen un interés nuevo y singular, ya que tienden a simplificar los problemas más que a complicarlos. Los sistemas pasivos son sencillos en su concepto y en su práctica. Necesitan pocos elementos y su mantenimiento es reducido, además, la energía solar llega sobre toda la tierra de manera gratuita.

Con el trabajo desarrollado se ha evidenciado, que modificaciones sencillas en la forma, ubicación, orientación, aberturas, colores y otros elementos, tienen un importante efecto en el clima interior de la vivienda y en los espacios anexos abiertos, motivo por el cual se debe tener un especial cuidado en el diseño de cada uno de los elementos.

Es necesario tener en cuenta los datos climatológicos y solares desde el principio –en la concepción- así como en cada una de las etapas del proyecto, puesto que el funcionamiento térmico depende de la construcción misma y de todos los elementos que la componen.

Las estrategias bioclimáticas que se determinan en el presente trabajo, no solo se pueden utilizar como una herramienta de diseño, sino también para realizar un análisis o una crítica de los edificios existentes o de los proyectos que se realicen.

También se ha comprobado que no solamente los climas extremos -ya sean fríos o calientes- requieren estrategias de mejoramiento térmico, sino también los climas templados, donde la complejidad es muchas veces mayor, puesto que se debe considerar elementos ambivalentes, que funcionen adecuadamente en las distintas épocas climáticas.

El presente trabajo, ha cumplido el objetivo planteado, puesto que sin duda, las estrategias identificadas son aplicables a viviendas y otras edificaciones de la ciudad de Sucre, y permitirán un mejoramiento del comportamiento térmico de las edificaciones.

Al mismo tiempo, el trabajo goza de una importante pertinencia, no solamente desde el punto de vista medioambiental, sino principalmente social.

BIBLIOGRAFÍA

- Campos Navarro, Fidel. "Arquitectura y Clima de Bolivia: Una propuesta de zonificación bioclimático". Universidade Estadual de Campinas. 2007.
- Fortín, Jacques. Para comprender el clima y el medio ambiente. Publicaciones CITEM. México, 2002.
- Gobierno Municipal de Sucre. "Plan de Desarrollo Municipal de Sucre". 2007
- Hinz, Elke; Gonzalez, Eduardo; de Oteiza, Pilar; Quiros, Carlos. "Proyecto, clima y arquitectura". Ediciones G. Gili. México, 1986.
- Lippsmeier, George. Tropen bau. "Building in the tropics".
- López de Asiaín, Jaime. 2001. "Arquitectura, Ciudad, Medioambiente". Sevilla. Universidad de Sevilla. Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- López de Asiaín, María. "Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura". Universidad Autónoma de Chiapas, 2003.
- Marín, Juan Antonio. 2009. "Elementos Para El Diseño Térmico". Universidad Politécnica de Catalunya.
- Morillón Gálvez, David. "Bioclimática. Sistemas pasivos de climatización". Universidad de Guadalajara.
- O. Koenisberger et. al. "Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales". Paraninfo. Madrid, 1977.
- Olgyay, Víctor. "Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas". Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 1998.
- Orosco Arce, Gonzalo, "Tipologías Arquitectónicas del Centro Histórico de Sucre". Plan de Rehabilitación de Áreas Históricas de Sucre. 1997.

- Pérez de Lama, J. "Arquitectura y Medioambiente. Sistemas de enfriamiento pasivo". ETSA Universidad de Sevilla. 2009.
- Rivero, Roberto. "Arquitectura y clima. Acondicionamiento natural para el hemisferio norte". Universidad Autónoma de México. México D.F. 1988.
- Sabady, Pierre Robert. "Arquitectura Solar. Concepto, cálculo y ejecución de edificaciones solares". Ediciones CEAC. Barcelona, España.
- Salamanca Mazuelo, Luis Alberto. "Documento País Bolivia". 2008
- Serra, Rafael. "Arquitectura y clima". Ed. Gustavo Gili. Barcelona, 1999.
- Serra, Rafael. "Arquitectura y Energía". Barcelona. Ediciones UPC. 1999
- Sevilla, Alfonso. "Arquitectura Solar para climas cálidos". Geohábitat
- Tudela, Fernando. "Ecodiseño". Colección Ensayos, Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco.

ANEXO 1. TABLAS DE MAHONEY

TEMPERATURA DEL AIRE (°C)

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Máxima Media (°C)	20,1	19,8	20,0	20,2	20,4	20,4	19,8	21,1	21,5	22,0	22,0	21,3
Mínima Media (°C)	10,2	10,1	10,0	8,7	5,8	4,5	4,3	5,4	6,6	9,1	9,8	10,5
Media (°C)	15,2	15,0	15,0	14,5	13,1	12,5	12,1	13,3	14,1	15,6	15,9	15,9
Diferencia Media (°C)	9,9	9,7	10,0	11,5	14,6	15,9	15,5	15,7	14,9	12,9	12,2	10,8

Valor Máximo Max. Media	22,0	°C
Valor Mínimo Mín. Media	4,3	°C
Temperatura Media Anual (TMA)	13,15	°C
Diferencia Media Anual (DMA)	17,7	°C

HUMEDAD RELATIVA (%)

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Humedad Relativa Media	72,3	73,8	74,1	70,2	55,2	48,4	48,9	50,1	53,2	59,3	61,2	67,4
Grupo de Humedad	4	4	4	4	3	2	2	3	3	3	3	3

GRUPO DE HUMEDAD	HUMEDAD RELATIVA
1	Menor a 30%
2	30% a 50%
3	50% a 70%
4	Mayor a 70%

LLUVIA (mm/m2)

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Precipitaciones (mm)	159,9	108,8	89,8	32,8	5,7	0,4	2,5	6,0	18,7	56,0	51,7	100,7	633,0

VIENTO DOMINANTE

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Viento dominante	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

LIMITES DE CONFORT

GRUPO DE HUMEDAD	TMA MAYOR A 20°C		TMA 15°C A 20°C		TMA MENOR A 15°C	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21
2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-21
3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

DIAGNÓSTICO

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Máxima Media Mensual	20,1	19,8	20,0	20,2	20,4	20,4	19,8	21,1	21,5	22,0	22,0	21,3
Confort Diurno Superior	24	24	24	24	26	27	27	26	26	26	26	26
Confort Diurno Inferior	18	18	18	18	19	20	20	19	19	19	19	19
Mínima Medial Mensual	10,2	10,1	10,0	8,7	5,8	4,5	4,3	5,4	6,6	9,1	9,8	10,5
Confort Nocturno Superior	18	18	18	18	19	21	21	19	19	19	19	19
Confort Nocturno Inferior	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Grupo de Humedad	4	4	4	4	3	2	2	3	3	3	3	3
Sensación Térmica Diurna	O	O	O	O	O	O	F	O	O	O	O	O
Sensación Térmica Nocturna	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

SENSACIÓN TÉRMICA	DETALLE	
C	Caliente	Si la media está por encima del límite
O	Confort	Si la media está entre los límites
F	Frío	Si la media está por debajo del límite

INDICADORES

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
HUMEDO: H1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
H3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SECO: A1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

APLICABILIDAD

PARÁMETRO	INDICADOR	DÍA	NOCHE	PRECIPIT.	GRUPO HUM.	DMM
Movimiento Aire Esencial	H1	C			4	
		C			2,3	Inf. a 10°C
Movimiento Aire Deseable	H2	O			4	
Protección Lluvias Requerida	H3			Sobre 200		
Capacidad Térmica Necesaria	A1				1,2,3	Sup. a 10°C
Dormitorio Exterior	A2		C		1,2	
		C	O		1,2	Sup. a 10°C
Protección al Frío	A3	F				

RECOMENDACIONES GENERALES

Indicadores:	H1	H2	H3	A1	A2	A3		
	0	4	0	8	0	1		
1. DISTRIBUCIÓN DE LA VOLUMETRÍA								
1				0-10			x	Orientación N-S (eje mayor E-O)
						5-12		
2				11-12				Planificación patio compacto
						0-4		
2. SEPARACIÓN								
3	11-12							Separación amplia para penetración de brisa
4	2-10							Como 3. Protección al viento caliente y frío
5	0-1						x	Distribución compacta de la finca
3. MOVIMIENTO DE AIRE								
6	3-12							Habitaciones en una sola fila, provisión permanente del movimiento del aire
	1-2			0-5				
7				6-12			x	Habitación doble, provisión temporal del movimiento del aire
	0	2-12						
8		0-1						No se necesita movimiento de aire
4. ABERTURAS								
9				0-1		0		Aberturas grandes 40-80%

10				11-12		0-1													
11	Si no cumple ninguna de las anteriores						x												
5. PAREDES																			
12				0-2															
13				3-12			x												
6. TEJADOS																			
14				0-5															
15				6-12			x												
7. DORMITORIOS EXTERIORES																			
16						2-12													
8. RESGUARDO DE LA LLUVIA																			
17				3-12															

RECOMENDACIONES DE DETALLE

Indicadores

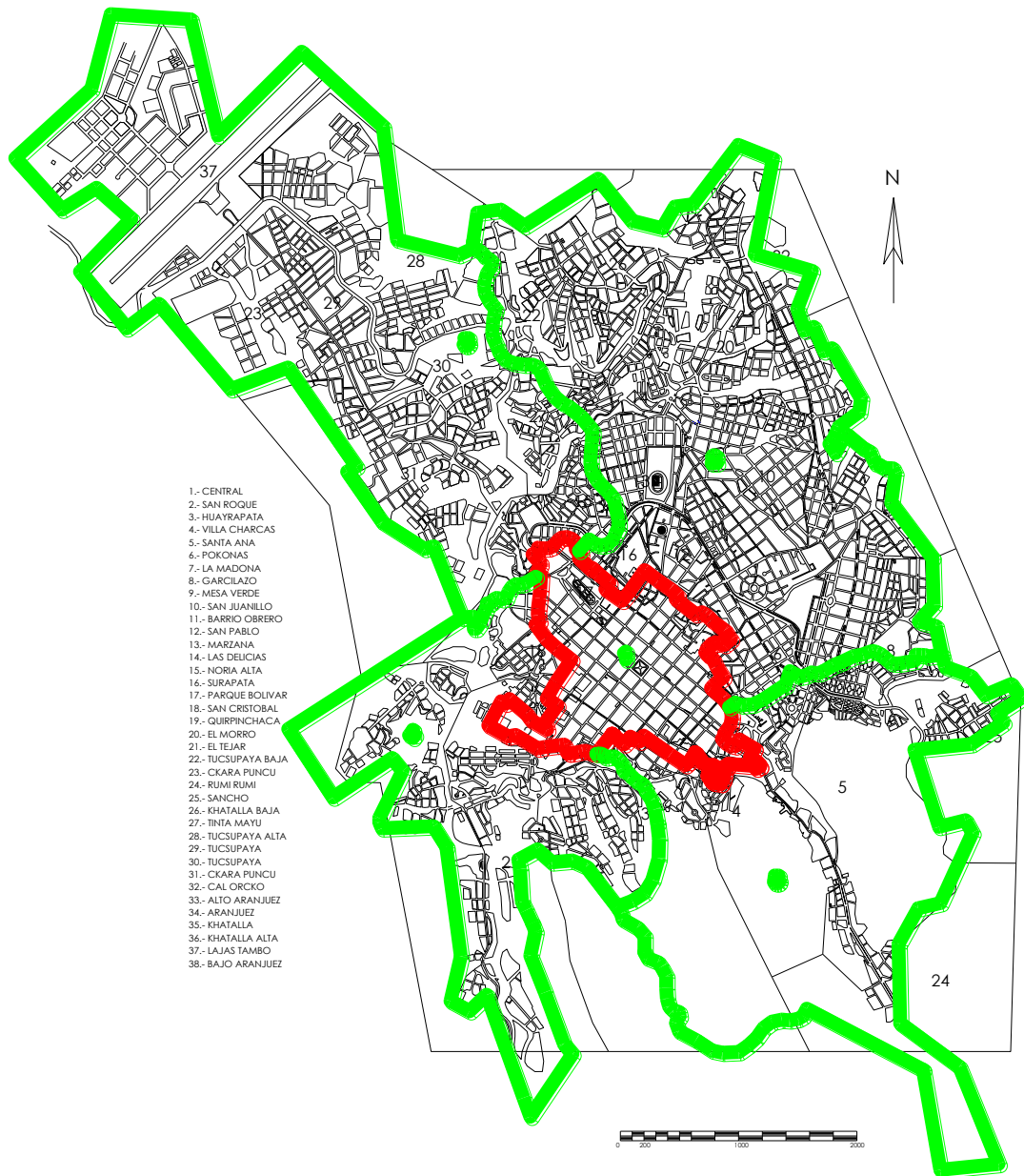
H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	4	0	8	0	1

1. TAMAÑO DE ABERTURAS																			
1				0-1		0													
2						1-12	x												
3				2-5															
				6-10															

4				11-12		0-3		Muy pequeño 10-20%
5						4-12		Medio 20-40%
2. POSICIÓN DE LAS ABERTURAS								
6	3-12							En las paredes N y S a la altura de un hombre y a barlovento
	1-2			0-5				
7				6-12			x	Como anteriormente. Aberturas también en las paredes interiores
	0	2-12						
3. PROTECCIÓN DE LAS ABERTURAS								
8						0-2	x	Evitar la luz solar directa
9			2-12					Proteger de la lluvia
4. PAREDES Y SUELOS								
10				0-2				Ligeros, baja capacidad térmica
11				3-12			x	Pesados, tiempo de retardo de más de 8 hrs.
5. TEJADOS								
12	10-12			0-2				Ligeros. Superficie reflectora, cámara
13				3-12				Ligeros, bien aislados
	0-9			0-5				
14				6-12			x	Pesados, tiempo de retardo de unas 8 horas
6. CARACTERÍSTICAS EXTERNAS								
15					1-12			Espacio para dormir al exterior
16			1-12					Adecuado drenaje para la lluvia

ANEXO 2. PLANOS DE LA CIUDAD DE SUCRE

Mancha Urbana de Sucre



Centro Histórico de Sucre

