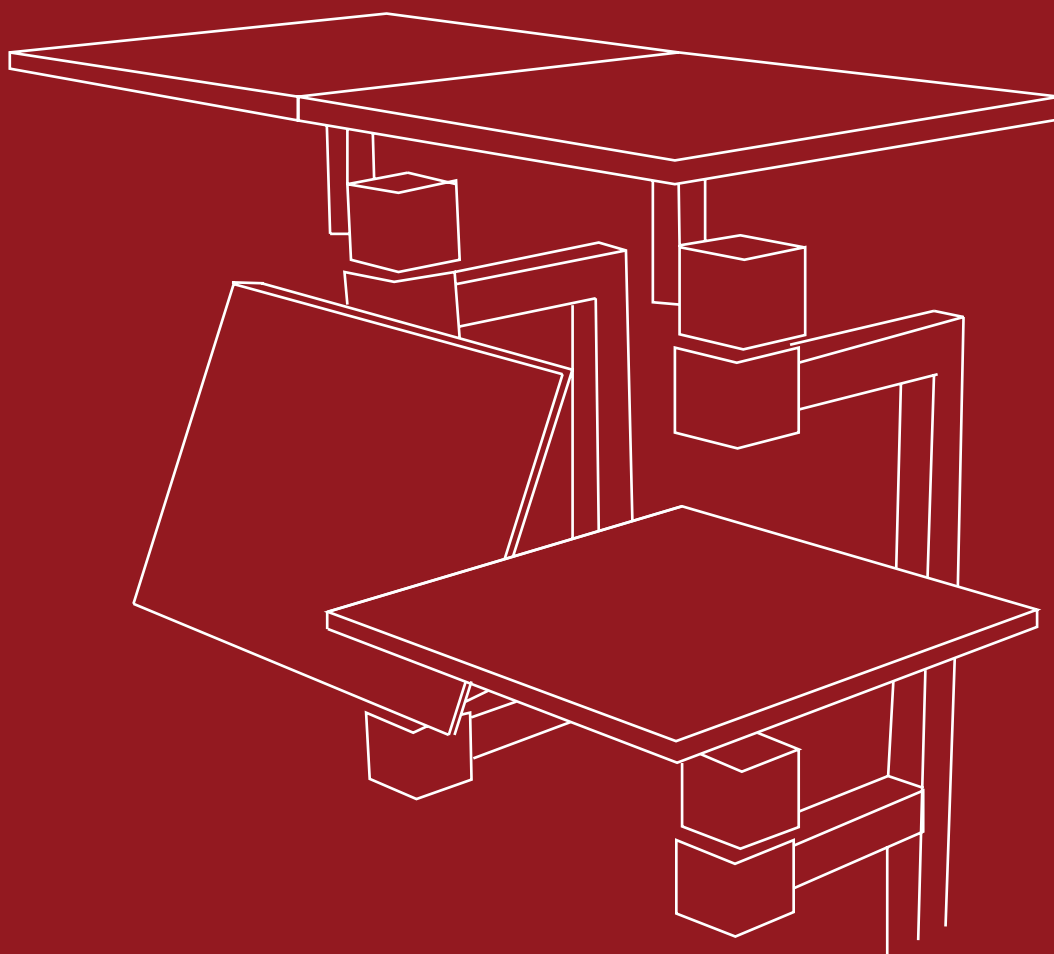


# Envolventes [ Confort & Movimiento ]

Envolventes móviles para el confort higrotérmico de los usuarios



Luis Carlos Gutiérrez Morales - A73062

Universidad de Costa Rica / Facultad de Ingeniería/ Escuela de Arquitectura  
Proyecto de Graduación para optar por el grado de licenciatura en Arquitectura  
2015



# **Envolventes**

## **[ Confort & Movimiento]**

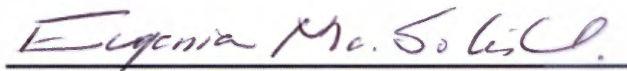
Envolventes móviles para el confort higrotérmico de los usuarios

Luis Carlos Gutiérrez Morales - A73062

Universidad de Costa Rica / Facultad de Ingeniería/ Escuela de Arquitectura  
Proyecto de Graduación para optar por el grado de licenciatura en Arquitectura  
2015

## **DIRECTORA DE LA INVESTIGACIÓN**

Magister Eugenia Solís Umaña  
Licenciatura en Arquitectura, Universidad de Costa Rica ,1977  
Magister en Arquitectura Tropical, Univesidad de Costa Rica,2005  
Coordinadora Opción de salida Talleres de Diseño IX y X , 2009-2013  
Coordinadora Maestría Arquitectura Tropical  
Miembro de la Comisión institucional de Carbono Neutralidad  
Miembro del Consejo Científico PriFAE ( Programa Institucional en Fuentes Alternativas de Energía )

  
\_\_\_\_\_

## **COLABORADORES**

Arquitecta Andrea Sancho Salas  
Licenciatura en Arquitectura Universidad de Costa Rica. Especialización en arquitectura sostenible y bioclimática, 2013  
Encargado del Laboratorio Bioclimático Universidad de Costa Rica, 2014-2015

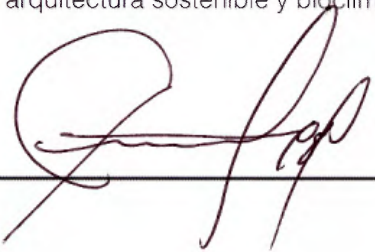
  
\_\_\_\_\_

Arquitecto Esteban Zamora Barahona  
Licenciatura en Arquitectura Universidad de Costa Rica. Especialización en arquitectura sostenible y bioclimática, 2010  
Encargado del Laboratorio Bioclimático Universidad de Costa Rica, 2011-2013  
Primer lugar en investigación de la IV Bienal Estudiantil de Arquitectura de Costa Rica.

  
\_\_\_\_\_

**LECTOR INVITADO**

Arquitecto Ernesto Viquez Alas  
Licenciatura en Arquitectura Universidad de Costa Rica. Especialización  
en arquitectura sostenible y bioclimática.



---

**ESTUDIANTE**

**Luis Carlos Gutierrez Morales**  
A73062



# Agradecimientos

Quiero agradecer a todas aquellas personas que colaboraron con el desarrollo de este trabajo de graduación:

A la Profesora Eugenia Solís, directora de esta investigación, por guiarme a largo de este proceso, con paciencia y cordialidad; compartiendo sus conocimientos, sin los cuales no hubiera sido posible el desarrollo del mismo.

A la Arquitecta Andrea Sancho por su apoyo y dedicación a este proyecto, impulsandome semana a semana.

Al Arquitecto Esteban Zamora, por sus colaboraciones en la programación y realización física de la propuesta.

A Johel Rivera, por toda la ayuda en modelado y animación de la propuesta.

A mi familia y amigos, por el gran apoyo y paciencia que me han brindado a lo largo de estos años.

Finalmente, a Andrea Meza, por acompañarme e impulsarme durante todo este proceso.





# Resumen

Envolventes - Confort y Movimiento  
Simulaciones climáticas para el desarrollo de envolventes.

El proyecto tiene como objetivo principal Diseñar e implementar ,mediante simulaciones termodinamicas, la tipología de envolvente más efectiva a la hora generar confort interno de los espacios habitables a lo largo del año, en tres zonas de vida distintas de Costa Rica.

Para ello se selecciono las tres zonas de vida en las cuales habitan la mayor cantidad de personas en Costa Rica: Bosque Humedo Premontano, Bosque Seco tropical transición humedo y Bosque Humedo Tropical.

En las primeras etapas se hace un análisis bioclimático evaluativo de las tres zonas en estudio, a travez de herramientas como: climogramas de columnas, abacos psicrométricos y Climogramas de Bienestar Adapatados, para la comprensión del comportamiento climático de cada una de las zonas.

Posterior al análisis, se diseño tres prototipos de viviendas típicas en Costa Rica, utilizando estrategias bioclimáticas pasivas, con el fin evaluar el comportamiento de sus envolventes en cada una de las zonas de vida en estudio. A dichos prototipos se le realizaron simulaciones termodinámicas variando el sistema constructivo lo que ayudó a determinar el material ideal para cada una de las zonas de vida. A su vez, se identificaron las fortalezas y falencias de las mismas a la hora de generar confort interno de los espacios habitables.

Como último paso, tomamndo como base los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas a los distintos prototipos, se desarrolló un prototipo de envolvente movil, el cual elimina el ingreso de radiación solar directa , generando una mayor eficiencia a la hora de generar confort en los espacios internos de las edificaciones.

Finalmente se le realizaron simulaciones termodinamicas para cuantificar, mediante el uso gráficas, su eficacia.

# Índice de Contenido

Agradecimientos	7		
Resumen	9		
Índice de Contenido	10		
Índice de Imágenes	13		
Índice de figuras	15		
<b>Planteamiento</b>	<b>16</b>		
1.1 Introducción	18		
1.2 Problema y Justificación	19		
1.3 Objetivos	24		
<b>Marco Teórico</b>	<b>26</b>		
2.1 Confort + Ser humano	28		
2.1.1 Introducción	28		
2.1.2 Estímulos Higrotérmicos	30		
CLO	34		
2.1.3 Estímulos Acústicos	42		
2.1.4 Estímulos Lumínicos	45		
2.1.5 Herramientas de Cálculo	48		
2.1.5 Herramientas de Cálculo	50		
2.2 Envolventes + Ambiente	52		
2.2.1 Introducción	52		
2.2.2 Origen y Evolución	54		
2.2.3 Componentes	57		
2.2.4 Clasificación	58		
2.2.5 Estrategias Pasivas (Climas Cálidos)	60		
2.2.6 Materialidad (Características)	68		
2.3 Clima y Tiempo	72		
2.4 Sistema de zonas de vida de Holdridge	73		
2.5 Geometría Solar	74		
<b>Análisis Climático</b>	<b>76</b>		
3.1 Zonas en estudio	76		
3.1.1 Liberia - Bosque Seco Tropical - transición húmedo	80		
3.1.1.1 Localización	80		
3.1.1 Liberia - Bosque Seco Tropical - transición húmedo	82		
3.1.1.2 Resumen Climatológico Anual	82		
3.1.1 Liberia - Bosque Seco Tropical	86		
3.1.1.3 Estrategias Pasivas	86		
3.1.2 San Jose - Bosque húmedo Premontano	88		
3.1.2.1 Localización	88		
3.1.2 San Jose - Bosque húmedo Premontano	90		
3.1.2.2 Resumen Climatológico Anual	90		
3.1.2 San Jose - Bosque húmedo Premontano	94		
3.1.2.3 Estrategias Pasivas	94		
3.1.3 Limón - Bosque húmedo Tropical	96		
3.1.3.1 Localización	96		
3.1.3 Limón - Bosque húmedo Tropical	98		
3.1.3.2 Resumen Climatológico Anual	98		
3.1.3 Limón - Bosque húmedo Tropical	102		
3.1.3.3 Estrategias Pasivas	102		
<b>Análisis Envolventes Típicas</b>	<b>104</b>		
4.1 Introducción	107		
4.2 Prototipo 1	108		
4.2.1 Diseño	108		
4.2.2 Planta	109		
4.2.3 Sistema Constructivo	111		
Mampostería de Bloques de Concreto	111		
4.2.4 Simulaciones Mampostería de Concreto	112		
4.2.5 Sistema Constructivo Madera	115		
4.2.6 Simulaciones Madera	116		
4.2.7 Sistema Constructivo Metal	119		
4.2.8 Simulaciones Metal	120		
4.2.9 Resultados y Conclusiones Prototipo 1	122		
4.3 Prototipo 2	124		
4.3.1 Diseño	124		
4.3.2 Planta	125		
4.3.3 Sistema Constructivo	127		
Mampostería de Bloques de Concreto	127		
4.3.4 Simulaciones Mampostería de Concreto	128		
4.3.5 Simulaciones Mampostería de Concreto	130		
Ganancias Internas	130		

4.3.6 Sistema Constructivo Madera	133
4.3.7 Simulaciones Madera	134
4.3.8 Simulaciones Madera	136
Ganancias Internas	136
4.3.9 Sistema Constructivo Metal	139
4.3.10 Simulaciones Metal	140
4.3.11 Simulaciones Metal	142
Ganancias Internas	142
4.3.12 Resultados y Conclusiones	144
4.4 Prototipo 3	146
4.4.1 Diseño	146
4.4.2 Planta	147
4.4.3 Sistema Constructivo Mampostería de Concreto	149
4.4.4 Simulaciones Mampostería bloques de concreto	150
4.4.5 Sistema Constructivo Madera	153
4.4.6 Simulaciones Madera	154
4.4.7 Sistema Constructivo Metal	157
4.4.8 Simulaciones Metal	158
4.4.9 Resultados y Conclusiones prototipo 3	160

## **Propuesta 164**

5.1 Introducción	167
5.2 Sombras	168
5.3 Diseño	170
5.4 Código	172
5.5 Potencial Visual	174
5.6 Sistema Constructivo	176
5.7 Simulaciones - Ganancias Internas	179
5.8 Configuraciones	180
5.9 Aplicabilidad	182
5.10 Simulaciones Aplicabilidad	184
5.11 Conclusiones	190

## **Bibliografía 192**

6.1 Libros	194
6.2 Tesis e Investigaciones	194
6.3 Infografía	195

# Índice de Imágenes

Imagen 1. Movimiento de la tierra en relacion al sol - Fuente: Autor	40
Imagen 2. Eje de rotación terrestre - Fuente: Autor	40
Imagen 3. Carta Solar Estereografica latitud 10 - Fuente: Autor	41
Imagen 4. Equinoccio y Solsticios para Costa Rica - Fuente: Autor	41
Imagen 5. Representación de la Onda Acústica - Fuente: (Carrison Isberg, 1998, pag42)	42
Imagen 6 Curvas “Noice Criteria” - Fuente: (Carrison Isberg, 1998, pag42)	44
Imagen 7 - Espectro de luz visible - Fuente: (Carrison Isberg, 1998, pag42)	45
Imagen 8 - Climograma de Columnas - Fuente: Autor	48
Imagen 9 -Abaco Psicrometrico - Fuente: Autor	48
Imagen 10 - Areas del Climograma de Bienestar Adaptado - Fuente: J. Neila	50
Imagen 11 - Modelo con diagrama solar - Ecotect Analysis - Fuente: Autor	51
Imagen 12 - Diagrama de Radiación - Ecotect Analysis - Fuente: Autor	51
Imagen 13 - Catedral Brasilia - Oscar Niemeyer - Fuente: Archdaily	59
Imagen 14 - “Serpentine Gallery Pavillion” - SANAA - Fuente: Archdaily	59
Imagen 15 - Ciudad de la Cultura, Eisenman Architects - Fuente: Archdaily	59
Imagen 16 - Termina TWA, JFK. Eero Saarinen - Fuente: Archdaily	59
Imagen 17- Orientacio + Tipos de Parasol - Fuente: Autor	60
Imagen 18- Efectos del viento - Presiones y Depresiones - Fuente: Autor	62
Imagen 19- Efectos del viento en el interior de las edificaciones - Fuente: Autor	63
Imagen 20- Sistema de deshumedecimiento del aire - Fuente: Autor	65
Imagen 21- Zonas de vida segun Holdridge - Fuente: Guia Diseño Bioclimático	75
Imagen 22 - Mapa bosque seco Sistema de zonas de vida Holdridge - Fuente: Guia Diseño Bioclimático	79
Imagen 23 - Mapa bosque seco Sistema de zonas de vida Holdridge Bosque Tropical Seco transición Humedo - Fuente: Autor	80
Imagen 24- Zonas de vida segun Holdridge - Fuente: Guia Diseño Bioclimático	81
Imagen 25 - Mapa bosque Humedo premontano Sistema de zonas de vida Holdridge - Fuente: Guia Diseño Bioclimático	88
Imagen 26- Zonas de vida segun Holdridge - Fuente: Guia Diseño Bioclimático	89
Imagen 27 - Mapa bosque Humedo tropical Sistema de zonas de vida Holdridge - Fuente: Guia Diseño Bioclimático	96
Imagen 28- Zonas de vida segun Holdridge - Fuente: Guia Diseño Bioclimático	97
Imagen 29- Prototipo de vivienda 1 - Fuente: Autor	105
Imagen 30- Prototipo de vivienda 2 - Fuente: Autor	105
Imagen 31- Prototipo de vivienda 3 - Fuente: Autor	105
Imagen 32- Prototipo de vivienda 1 - Perspectiva - Fuente: Autor	107
Imagen 33- Prototipo de vivienda 2 - Perspectiva - Fuente: Autor	107
Imagen 34- Prototipo de vivienda 3 - Perspectiva - Fuente: Autor	107
Imagen 35- Planta prototipo 1 - Fuente: Autor	109
Imagen 36- Perspectiva NO prototipo 1 - Fuente: Autor	110
Imagen 37- Perspectiva NE prototipo 1 - Fuente: Autor	110
Imagen 38- Perspectiva SE prototipo 1 - Fuente: Autor	110
Imagen 39- Bloque de concreto - Fuente: Autor	111
Imagen 40- Montaje mampostería de concreto - Fuente: Autor	111
Imagen 41- Estructura Primaria - Fuente: Autor	111
Imagen 42- Estructura de cubierta - Fuente: Autor	111
Imagen 44- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre -San José Design builder - Fuente: Autor	112
Imagen 43- Modelo Prototipo 1 - Design Builder - Fuente: Autor	112
Imagen 45- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre- Limón - Design builder - Fuente: Autor	113
Imagen 46- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre- Liberia - Design builder - Fuente: Autor	113
Imagen 49- Perspectiva SE prototipo 1 - Madera - Fuente: Autor	114

Imagen 47- Perspectiva NE prototipo 1 - Madera - Fuente: Autor	114
Imagen 48- Perspectiva NO prototipo 1 - Madera - Fuente: Autor	114
Imagen 50 - Sección de madera - Fuente: Autor	115
Imagen 51 - Sistema de union en madera - Fuente: Autor	115
Imagen 52 - Estructura de paredes - madera - Fuente: Autor	115
Imagen 53 - Estructura de cubierta - madera - Fuente: Autor	115
Imagen 55- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Madera-San José Design builder - Fuente: Autor	116
Imagen 54- Modelo Prototipo 1 - Design Builder - Fuente: Autor	116
Imagen 56- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Madera-Limón - Design builder - Fuente: Autor	117
Imagen 57- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Madera-Liberia - Design builder - Fuente: Autor	117
Imagen 60- Perspectiva S prototipo 1 - Metal + laminas cementicias - Fuente: Autor	118
Imagen 58- Perspectiva NE prototipo 1 - Metal + laminas cementicias - Fuente: Autor	118
Imagen 59- Perspectiva SE prototipo 1 - Metal + laminas cementicias - Fuente: Autor	118
Imagen 61 - Perfil acero cuadrado de 10mm x 10mm - Fuente: Autor	119
Imagen 62 - Unión soldada - Fuente: Autor	119
Imagen 63 - Estructura de pared de acero - Fuente: Autor	119
Imagen 64 - Estructura de cubierta en acero - Fuente: Autor	119
Imagen 66- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Metal -San José Design builder - Fuente: Autor	120
Imagen 65- Modelo Prototipo 1 - Design Builder - Fuente: Autor	120
Imagen 67- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Metal -Limón Design builder - Fuente: Autor	121
Imagen 68- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Metal -Liberia Design builder - Fuente: Autor	121
Imagen 69- Perspectiva Prototipo 1 Concreto - NE - Fuente: Autor	123
Imagen 70-- Perspectiva Prototipo 1 Madera - NE - Fuente: Autor	123
Imagen 71-- Perspectiva Prototipo 1 Metal - NE - Fuente: Autor	123
Imagen 72-- Planta Prototipo 2 - Fuente: Autor	125
Imagen 74-- Corte Longitudinal Prototipo 2 - Fuente: Autor	126
Imagen 73-- Fachada Principal Prototipo 2 - Fuente: Autor	126
Imagen 76- Montaje mampostería de concreto - Fuente: Autor	127
Imagen 75- Bloque de concreto - Fuente: Autor	127
Imagen 77- Estructura Primaria - Fuente: Autor	127
Imagen 78- Estructura de cubierta - Fuente: Autor	127
Imagen 80- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Concreto -San José Design builder - Fuente: Autor	128
Imagen 79- Modelo Prototipo 2 - Design Builder - Fuente: Autor	128
Imagen 81- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Concreto -Limón Design builder - Fuente: Autor	129
Imagen 82- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Concreto -Liberia Design builder - Fuente: Autor	129
Imagen 83- Simulaciones Ganancias internas Solares - Norte - Fuente: Autor	130
Imagen 84- Simulaciones Ganancias internas Solares - Oeste - Fuente: Autor	130
Imagen 86-- Corte Longitudinal Prototipo 2 - Madera - Fuente: Autor	132
Imagen 85-- Fachada Principal Prototipo 2 - Madera - Fuente: Autor	132
Imagen 87 - Sección de madera - Fuente: Autor	133
Imagen 88 - Sistema de union en madera - Fuente: Autor	133
Imagen 89 - Estructura de paredes - madera - Fuente: Autor	133
Imagen 90 - Estructura de cubierta - madera - Fuente: Autor	133
Imagen 92- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Madera -San José Design builder - Fuente: Autor	134
Imagen 91- Modelo Prototipo 2 - Design Builder - Fuente: Autor	134
Imagen 93- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Madera -Limón Design builder - Fuente: Autor	135
Imagen 94- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Madera -Liberia Design builder - Fuente: Autor	135
Imagen 95- Simulaciones Ganancias internas Solares - Norte - Fuente: Autor	136
Imagen 96- Simulaciones Ganancias internas Solares - Oeste - Fuente: Autor	136

Imagen 97-- Fachada Principal Prototipo 2 - Metal - Fuente: Autor	138
Imagen 98-- Corte Prototipo 2 - Metal - Fuente: Autor	138
Imagen 99 - Perfil acero cuadrado de 10mm x 10mm - Fuente: Autor	139
Imagen 100 - Unión soldada - Fuente: Autor	139
Imagen 101 - Estructura de pared de acero - Fuente: Autor	139
Imagen 102 - Estructura de cubierta en acero - Fuente: Autor	139
Imagen 104- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Metal -San José Design builder - Fuente: Autor	140
Imagen 103- Modelo Prototipo 2 - Design Builder - Fuente: Autor	140
Imagen 105- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Metal -Limón Design builder - Fuente: Autor	141
Imagen 106- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Metal -Liberia Design builder - Fuente: Autor	141
Imagen 107- Simulaciones Ganancias internas Solares - Sur - Fuente: Autor	142
Imagen 108- Simulaciones Ganancias internas Solares - Oeste - Fuente: Autor	142
Imagen 109- Planta 1 nivel y 2do nivel - Prototipo 3 - Fuente: Autor	147
Imagen 110 - Fachada Principal - Prototipo 3 - Fuente: Autor	148
Imagen 111 - Corte Longitudinal - Prototipo 3 - Fuente: Autor	148
Imagen 112- Montaje mampostería de concreto - Fuente: Autor	149
Imagen 113- Estructura Primaria - Fuente: Autor	149
Imagen 114- Estructura de cubierta y entrepiso - Fuente: Autor	149
Imagen 116- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Concreto -San José Design builder - Fuente: Autor	150
Imagen 115- Modelo Prototipo 3 - Design Builder - Fuente: Autor	150
Imagen 117- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Concreto -Limón Design builder - Fuente: Autor	151
Imagen 117- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Concreto -Liberia Design builder - Fuente: Autor	151
Imagen 118 - Fachada Principal - Prototipo 3 - Madera - Fuente: Autor	152
Imagen 119 - Corte Longitudinal- Prototipo 3 - Madera - Fuente: Autor	152
Imagen 120 - Sección de madera - Fuente: Autor	153
Imagen 121 - Sistema de union en madera - Fuente: Autor	153
Imagen 122 - Estructura de paredes - madera - Fuente: Autor	153
Imagen 123 - Estructura de cubierta - madera - Fuente: Autor	153
Imagen 125- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -San José Design builder - Fuente: Autor	154
Imagen 124- Modelo Prototipo 3 - Design Builder - Fuente: Autor	154
Imagen 126- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -Limón Design builder - Fuente: Autor	155
Imagen 127- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -Liberia Design builder - Fuente: Autor	155
Imagen 128 - Fachada Principal - Prototipo 3 - Metal - Fuente: Autor	156
Imagen 129 - Corte Longitudinal- Prototipo 3 - Metal - Fuente: Autor	156
Imagen 130 - Perfil acero cuadrado de 10mm x 10mm - Fuente: Autor	157
Imagen 131 - Unión soldada - Fuente: Autor	157
Imagen 132 - Estructura de pared de acero - Fuente: Autor	157
Imagen 133 - Estructura de cubierta en acero - Fuente: Autor	157
Imagen 135- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -San José Design builder - Fuente: Autor	158
Imagen 134- Modelo Prototipo 3 - Design Builder - Fuente: Autor	158
Imagen 136- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -Limón Design builder - Fuente: Autor	159
Imagen 137- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -Liberia Design builder - Fuente: Autor	159
Imagen 138- Prototipo de Envolverte Adaptable - Conjunto 8 x 6 - Fuente: Autor	163
Imagen 139- Prototipo de Envolverte Adaptable - Modulo 1 x 2 - Fuente: Autor	165

## Indice de figuras

Figura 1: Carta Solar Estereográfica - Fuente: Autor	77
Figura 2: Climograma de Columnas - Liberia - Fuente: Autor	82
Figura 3: Abaco Psicrométrico - Liberia - Fuente: Autor	83
Figura 4: Diagrama de dirección de viento- Liberia - Fuente: Autor	83
Figura 5: Climograma de Bienestar Adaptado- Liberia - Fuente: Autor	85
Figura 7: Diagrama de altura ideal - Liberia - Fuente: Autor	86
Figura 6: Orientación ideal - Liberia - Fuente: Autor	86
Figura 8: Diagrama de localización programática - Liberia - Fuente: Autor	86
Figura 9: Diagrama de Aperturas - Liberia - Fuente: Autor	87
Figura 11: Diagrama cubierta ideal - Liberia - Fuente: Autor	87
Figura 12: Diagrama de configuraciones de patio - Liberia - Fuente: Autor	87
Figura 13: Climograma de columnas - San José - Fuente: Autor	90
Figura 14: Abaco Psicrometrico - San José - Fuente: Autor	91
Figura 15: Diagrama de viento - San José - Fuente: Autor	91
Figura 16: Climograma de Bienestar Adaptado - San José - Fuente: Autor	93
Figura 17: Orientación ideal - San José - Fuente: Autor	94
Figura 18: Altura del espacio interno - San José - Fuente: Autor	94
Figura 19: Localización Programática - San José - Fuente: Autor	94
Figura 21: Diagrama de ventilación individualizada - San José - Fuente: Autor	95
Figura 20: Diagrama de aperturas - San José - Fuente: Autor	95
Figura 22: Diagrama de cubierta - San José - Fuente: Autor	95
Figura 23: Climograma de columnas - Limón - Fuente: Autor	98
Figura 24: Abaco Psicrométrico - Limón - Fuente: Autor	99
Figura 25: Diagrama de viento - Limón - Fuente: Autor	99
Figura 26: Climograma de Bienestar Adaptado - Limón - Fuente: Autor	101
Figura 27: Orientación Ideal - Limón - Fuente: Autor	102
Figura 28: Altura ideal a cielo- Limón - Fuente: Autor	102
Figura 29: Localización programática- Limón - Fuente: Autor	102
Figura 30: Diagrama de Aperturas- Limón - Fuente: Autor	103
Figura 30: Diseño de sitio ideal- Limón - Fuente: Autor	103
Figura 31: Diagrama de cubierta- Limón - Fuente: Autor	103
Figura 31: Diagrama de circulación perimetral - Fuente: Autor	103

# 1

## Planteamiento



- 1.1 Introducción
- 1.2 Problema y Justificación
- 1.3 Objetivos

# 1.1 Introducción

La arquitectura nace de la necesidad del ser humano de protegerse de las condiciones climáticas de su entorno inmediato. Una vez logrado este cometido el ser humano, a través de los tiempos, ha ido transformando estos espacios para hacer de ellos, espacios cada vez más cómodos de una manera integral.

El confort del ser humano depende principalmente de los estímulos que recibamos por medio de nuestros sentidos: estímulos higrotérmicos (Temperatura y Humedad), acústicos (sonido), lumínicos (cantidad de luz) y olfativos (olor). Con solo que alguno de los estímulos se encuentre fuera de nuestra zona de confort, la totalidad del espacio deja de ser confortable.

Hoy en día se cuenta con dos ramas estratégicas que buscan desde su perspectiva satisfacer las necesidades de confort higrotérmico del ser humano. La primera rama, y más antigua, es la utilización de estrategias pasivas para la climatización de los espacios. Estas estrategias, buscan, sin la utilización de sistemas mecánicos, generar espacios confortables estableciendo respuestas específicas a las condiciones inmediatas según el lugar en que se encuentre.

Por su parte la otra rama, es la utilización de estrategias activas. Dichas estrategias dejan totalmente de lado las condiciones del espacio en que se encuentran, aislando herméticamente el espacio interno del exterior, utilizando sistemas mecánicos para regular las condiciones dentro del espacio. Ambas ramas estratégicas a su vez poseen ventajas y desventajas.

Ahora bien, el confort de los usuarios en el interior de los edificios depende principalmente de su “**envolvente**”. Esta envolvente es la piel del edificio; es el filtro encargado de regular la incidencia de las variables climáticas externas sobre el interior de los espacios habitables. Por lo que, dada su importancia, esta se convierte en el componente jerárquico de la investigación.

Para esto se seleccionaron 3 zonas de vida de Costa Rica, con el objeto de analizar el comportamiento de distintas envolventes, las cuales serán probadas en los 3 prototipos de viviendas más comunes en el país.

Por lo cual:

**Esta investigación pretende desarrollar un prototipo de envolvente que responda a las variables climáticas: geometría solar, viento, humedad y temperatura; para así mantener el confort de los usuarios a lo largo del día y durante todo el año, en 3 distintas zonas de vida de Costa Rica.**

Se hace énfasis en la temporalidad, con el objeto de recalcar la importancia del análisis de la función de las envolventes a distintas horas, para determinar sus horas efectivas en contra al tiempo en que algunos de sus elementos se convierten en componentes residuales.

## 1.2 Problema y Justificación

La gran mayoría de edificaciones construidas en Costa Rica presentan envolventes diseñadas sin la utilización de estrategias bioclimáticas. Por lo que las condiciones ambientales de sus espacios internos están a merced del cambio en la incidencia de las variables climáticas en su entorno inmediato, razón por la cual los niveles de temperatura de los espacios internos usualmente se salen de los rangos de confort humano.

Estas situaciones se pueden evitar mediante la incorporación estrategias bioclimáticas: ventilación natural, masa termica, orientación adecuada, selección del material, etc. Lamentablemente los elementos bioclimáticos que hasta la fecha se han diseñado, construido y puestos en operación, poseen deficiencias que molestan tanto a los usuarios como a los diseñadores, lo cual limita su utilización

A continuación se expondrá el porqué de esta afirmación, demostrando las debilidades en las envolventes de uso actual, a la hora de enfrentarse a las variables climáticas: geometría solar, ventilación y temperatura.

### 1.3.1 Deficiencias en respuesta a la geometría solar:

La mayor deficiencia de los elementos bioclimáticos como los elementos de sombra( parasoles) , los cuales son los elementos mayormente utilizados para evitar la incidencia directa de los rayos solares, es su condición estática.

Dichos elementos de sombra obstaculizan ampliamente la iluminación natural y la visual hacia el exterior, lo cual es una de las razones principales del porqué estos no son tan utilizados.

A su vez, estos están diseñados para ser cien por ciento efectivos ante horas y meses críticos, lo cual los hace muy efectivos durante su momento, pero innecesarios durante épocas de menos incidencia solar, convirtiéndose en elementos residuales durante ciertas horas y meses del año ; meses y horas en los cuales la incidencia solar se ubica en la fachada opuesta, mas las noches de todo el año.

Recordemos que la radiación solar, mediante exposición directa, puede ocasionar severos daños a la piel y a los ojos. Por lo cual aparte del confort, esta en juego la salud de los usuarios del espacio. Razón por la cual, no se debe prescindir del uso de estos elementos.

**El prototipo de envolvente planteado para esta investigación, pretende proteger los espacios internos, de la incidencia directa de radiación solar a las horas necesarias, y el resto del tiempo abrirse para permitir la visual hacia el exterior, y a su vez ingresar una mayor cantidad de luz natural al edificio.**

### 1.3.2 Deficiencias en utilización de Ventilación:

Para la ventilación natural de las edificaciones, usualmente se utilizan dos sistemas: Aperturas fijas y aperturas móviles de carácter manual.

*Aperturas fijas:* Las aperturas fijas son todas aquellas aperturas que permanecen abiertas en todo momento. No se pueden cerrar. Un ejemplo de estas son los monitores. Este tipo de aperturas usualmente se utilizan en la sección mas alta de las edificaciones para que por ellas escape el aire caliente.

Ante el desconocimiento de su función e impacto en la climatización de espacios internos, se ha implementado este tipo de aperturas en climas que no ameritan esta estrategia, como lo es en el clima húmedo premontano de San José.

*Aperturas móviles de carácter manual.* Estas aperturas son las mayormente utilizadas, en ellas entran todos los sistemas como las celosías, las corredizas, las ventilas, de guillotina y de pivote. Estas permiten abrirse o cerrarse dependiendo las necesidades del momento, por lo cual bien ubicadas, llegan a ser muy eficientes.

La problemática de este tipo de aperturas, es precisamente su dependencia del conocimiento del usuario para su control, ya que en la mayoría de los casos, este desconoce como utilizarlas adecuadamente para mantener el confort en el interior.

La mayoría de las personas reacciona a cerrar estas aperturas cuando siente frío, ya para estas horas ha salido todo el calor que se pudo haber acumulado durante el día, calor que de haberse conservado, mantendría por más tiempo el confort ambiental en el espacio.

En la gran mayoría de edificaciones, contando aquellas que utilizan estrategias bioclimáticas, las aperturas se diseñan tomando en cuenta la dirección predominante de los vientos. A pesar de que esta práctica no es equivocada, la dirección de los vientos se encuentra en constante cambio, e inclusive, dependiendo la zona, puede ser totalmente opuesta en el día como en la noche, como se da en zonas costeras. Por lo que, para mayor eficiencia la envolvente debe ser capaz de adaptarse a dichos cambios.

**El prototipo de envolvente planteada para esta investigación pretende controlar con precisión cuando y en donde cerrarse o abrirse para mantener el control en la ventilación dentro del espacio habitable.**

### **1.3.3 Deficiencias en el control de la Temperatura**

La temperatura de los espacios interiores de las edificaciones es el resultado de muchos factores: clima del lugar, características de los materiales de la envolvente, temperatura radiante, orientación del edificio y ventilación.

Para ello, las envolventes de los edificios juegan un papel vital en su control, ya que ellas son el filtro entre el interior y exterior. Por lo cual su diseño debe realizarse tomando en cuenta estos factores, aplicando correctamente las estrategias propias para su ubicación.

En nuestras ciudades, se ha dado una gran importación de estilos arquitectónicos no propicios para nuestro clima, dejando de lado las estrategias adecuadas, que han funcionado durante años.

Muestra de ello, es el abandono de las estrategias aplicadas en nuestra arquitectura vernácula, lo que trae como consecuencia deficiencias en el control de la temperatura en nuestros edificios.

#### **1.3.4 Configuración de las zonas residenciales**

Una adecuada orientación de las edificaciones, conlleva una serie de ventajas a nivel térmico, lumínico y de ventilación, que inciden directamente en el confort dentro de los espacios habitables

Dada la configuración de nuestras ciudades, la gran mayoría de lotes propuestos para la construcción, poseen un tamaño muy reducido, lo que impide proporcionar una adecuada orientación a los edificios.

Como consecuencia, se genera limitaciones en la colocación de aperturas, lo que conlleva deficiencias a nivel de luz y ventilación natural. Por lo que se debe ajustar las estrategias de diseño de la envolvente, con tal de aprovechar al máximo los recursos naturales presentes en el sitio.

En estos casos si se aplican estrategias de protección solar, con elementos fijos, como parasoles, la iluminación natural se reduce aun más, aumentando el consumo energético de la edificación, además de una gran reducción del potencial visual del proyecto.

De no utilizarse ninguna protección solar, los niveles de temperatura interna pueden aumentar ampliamente en los meses y horas críticas y se puede generar deslumbramiento en los usuarios a ciertas horas, incidiendo directamente en el confort del usuario.

Por lo tanto para un adecuado aprovechamiento de los recursos naturales, y mantener el confort de los usuarios, generando un balance en el espacio habitable, la envolvente debe ajustarse según las necesidades del momento.

#### **El prototipo de envolvente planteado para esta investigación esta diseñado para acoplarse a las características propias de su locación en época seca y lluviosa.**

#### **1.3.5 Cambio Climático**

El cambio climático es un fenómeno natural que se da en el planeta y que permite mantener la temperatura en un rango adecuado para la vida. (Kerr y Kharouba 2007) Sin embargo, el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ha causado cambios en los componentes que definen el clima global, como consecuencia del aumento en las temperaturas anuales.

El aumento de la temperatura promedio de la Tierra en los últimos 100 años ha sido de 0,6°C, pero se estima que a finales de este siglo es posible que la temperatura promedio del planeta llegue a incrementarse entre 1.4 y 5.8°C (Kerr y Kharouba 2007)

Estos cambios a nivel climático, impactan directamente a la biodiversidad, afectando los límites en los ecosistemas aumentando o disminuyendo sus áreas, por lo cual se proyectan movimientos a nivel de las zonas de vida del sistema de Holdridge.

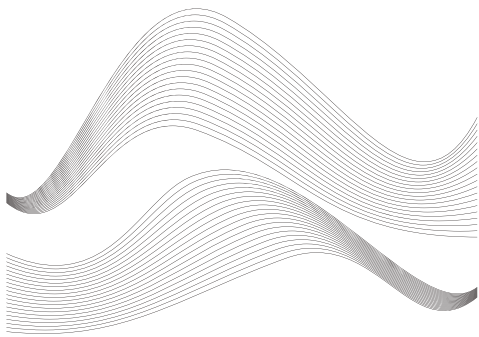
Estos traslados de las zonas climáticas se generan a partir de cambios ligeros en la temperatura global, por lo cual es algo que ha venido sucediendo a mayor velocidad desde la revolución industrial (aumento de los GEI).

Para Costa Rica, se proyecta que para el 2020, las zonas de vida actuales se conserven, pero con variaciones en su distribución a nivel nacional, por lo que algunos sectores del territorio, actualmente se encuentran en una etapa de transición (Jiménez Méndez, 2009)

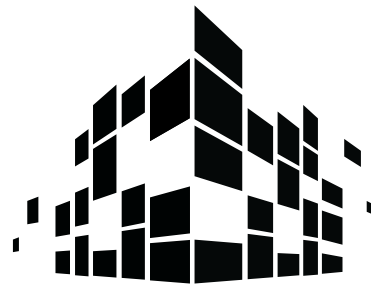
A un mediano plazo, para el 2080, se proyectan tres nuevas zonas de vida: el bosque muy seco tropical (bms-T), el bosque seco pre montano (bs-P) y el bosque seco montano bajo (bs-MB) y la disminución en área de algunas zonas existentes (Jiménez Méndez, 2009)

Este movimiento afecta directamente a la arquitectura propia de cada zona, ya que algunas de las estrategias bioclimáticas utilizadas actualmente, pueden ser equivocadas ante cambios climáticos y de zona de vida a corto y mediano plazo. Por lo cual, es necesario la introducción de envolventes que puedan ser ajustadas ante estos cambios.

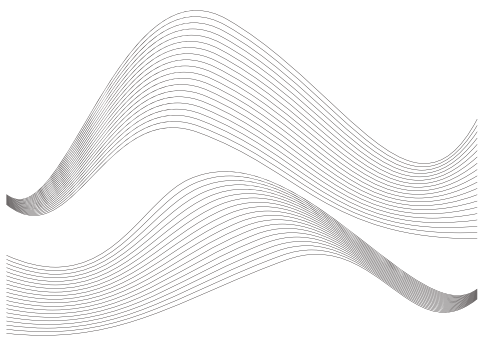
**El prototipo de envolvente planteado para esta investigación está diseñado de manera que se pueda ajustar a los cambios proyectados para las zonas en estudio, para el 2020 y 2080 según Jiménez Méndez 2009.**



**Variables Climáticas**



**Envolvente Típica ( Estática)**



**Movimiento**



**Envolvente Móvil**

Imagen 1. Diagrama de Justificación

## 1.3 Objetivos

### 2.2.1 Objetivo General

**Diseñar e implementar**, mediante simulaciones termodinámicas, una tipología de envolvente móvil, que sea más efectiva a la hora de generar confort interno de los espacios habitables a lo largo del año, en tres zonas de vida distintas de Costa Rica.

### 2.2.2. Objetivo Especifico 1

**Definir** las estrategias bioclimáticas a utilizar en el diseño de las envolventes mediante el análisis de las variables climáticas: geometría solar, viento y temperatura de las tres zonas de vida en estudio y su relación con las características fisiológicas del ser humano: estímulos higrotermodinámicos, lumínicos y acústicos.

### 2.2.3 Objetivo Especifico 2

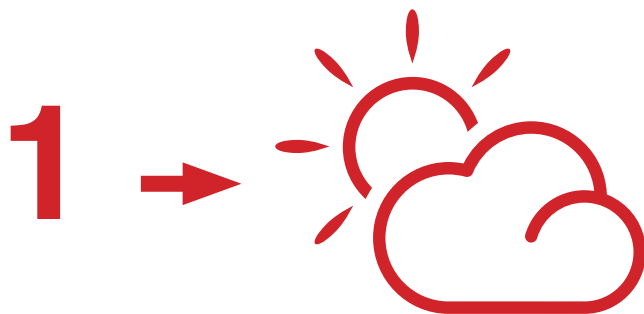
**Analizar** el comportamiento de las envolventes tradicionales estáticas en tres zonas de vida de Costa Rica, mediante simulaciones termodinámicas sobre prototipos de vivienda, utilizando los sistemas constructivos más utilizados en el país.

### 2.2.4 Objetivo Especifico 3

**Demostrar**, utilizando simulaciones termodinámicas, la eficiencia de las envolventes móviles a la hora de generar confort, mediante su aplicación sobre la Casa del Cuño.



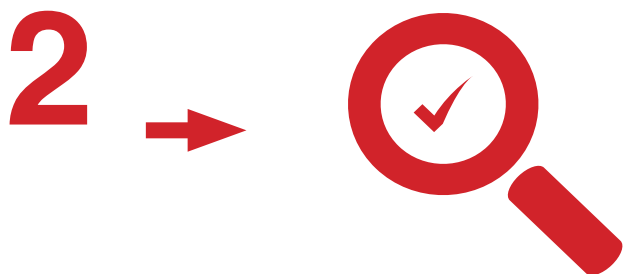
## 1.4 Metodología



### Análisis Climático



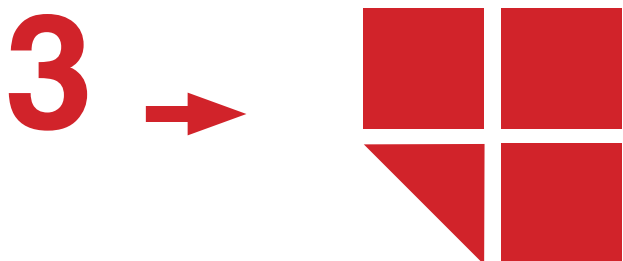
- A - Selección de locaciones a analizar
- B - Análisis Climático de las zonas seleccionadas
- C - Conclusiones



### Análisis de Envolventes Típicas



- A- Diseño de 3 Prototipos de vivienda
- B- Simulaciones Climáticas con 3 sistemas constructivos distintos.
- C- Conclusiones



### Propuesta



- A - Diseño de la Propuesta
- B - Simulaciones Climáticas
- C- Aplicabilidad
- D- Conclusiones

# 2

## Marco Teórico

- 2.1 Confort y Ser Humano
- 2.2 Envolventes + Ambiente

## 2.1 Confort + Ser humano

### 2.1.1 Introducción

El confort se puede definir como la sensación integral de bienestar. Depende directamente de los estímulos que nuestros órganos receptores reciben. Estos estímulos son los responsables de que podamos percibir que un espacio o ambiente es agradable o molesto.

Existen 4 tipos de estímulos : higrotérmicos, acústicos, lumínicos y olfativos

Los estímulos higrotérmicos son percibidos por el sentido criostésico y es el responsable de que sintamos frío o calor. Este frío o calor es recibido por los corpúsculos de Kraus (frío) y de Ruffini (calor) ubicados en la piel, los cuales por medio del nervio sensitivo envían la información al cerebro y así percibimos que tanto frío o calor tenemos. (Neila Gonzales, 2004, pag 177 )

Esta información la recibimos al estar en contacto con el ambiente que nos rodea, por lo cual no solo depende de la temperatura del aire, sino que también depende de otros factores como la humedad relativa, el movimiento del aire, la temperatura irradiada y la ropa que tenemos puesta. Todos estos factores se explicaran a profundidad en el apartado de estímulos higrotérmicos mas adelante.

Por su parte los estímulos acústicos son aquellos percibidos por el sentido del oído y es el responsable de la percepción de sonidos. Estos sonidos provenientes de nuestro alrededor son recibidos por el tímpano y esa información es enviada a nuestro cerebro por medio del nervio auditivo.

Al igual que con los estímulos higrotérmicos, el ser humano se siente a gusto frente a cierto rango de decibels por lo cual, el control de la presión sonora en los espacios internos es vital para el confort del ser humano.

Como tercer grupo de estímulo, tenemos los estímulos lumínicos. Estos estímulos son los correspondientes al sentido de la vista. Son recibidos por el ojo y enviados al cerebro por medio del nervio óptico. El ser humano realiza diversidad de actividades a lo largo del día, y cada una de ellas necesita un nivel específico de intensidad lumínica para que los usuarios se sientan cómodos. Por ejemplo, el ser humano promedio necesita una intensidad lumínica entre 750 y 900 lux para leer y escribir, mientras que para caminar y poder ver cómodamente por donde se camina, tan solo es necesario 200 lux

Como ultimo grupo de estímulos, tenemos a los estímulos olfativos. Estos a diferencia de los tres anteriores, no dependen del traspaso energético entre ambientes, si no que corresponde a la entrada de partículas a la cavidad olfativa del ser humano, la cual mediante el nervio sensitivo envía la información al cerebro y así interpretamos si estamos frente a algo de mal olor o frente a algo agradable. Estas partículas viajan por medio del aire. Dada la particularidad de este tipo de estímulos, y la subjetividad de interpretación entre un mal olor y un olor agradable, el control se realiza mediante la configuración de los espacios para que aquellos que puedan manejar olores fuertes debido a su función, como son las

cocinas, no estén directamente conectados con espacios con olores neutros; o de ser así que la ventilación se encuentre bien posicionada para que dichos olores no interfieran en el confort del resto de los espacios. (Neila Gonzales, 2004, pag 177 )

A pesar de que acá se mencionan dichos estímulos por separado, para que el usuario este en confort, es necesario tener en cuenta todos, ya que solo con que uno de nuestros sentidos no este a gusto, el espacio en su totalidad va a percibirse como molesto.

Hay que tener en cuenta que existen además de los estímulos, otros factores psicológicos y sociológicos que pueden ser los causantes de molestias en los espacios, como lo es el estar tenso o estresado por alguna situación, estar cansado o enfermo, pero debido a que estos factores no pueden ser tratados desde el punto de vista arquitectónico, no van a ser contemplados.

## 2.1.2 Estímulos Higrotérmicos

Cuando nos referimos a estímulos higrotérmicos son específicamente los estímulos térmicos, propiamente el frío y el calor. El ser humano ante una actividad pasiva, como lo es estar sentado, utilizando ropa ligera, encuentra su zona de confort entre 21°C y 25°C de **temperatura efectiva**. La **temperatura efectiva** son los efectos de la temperatura ambiente, la humedad relativa, el movimiento del aire, la radiación, la actividad metabólica y el arropamiento en el ser humano. Por lo cual cualquier aumento o disminución de temperatura efectiva fuera de este rango, genera molestia en los usuarios de los espacios. Por lo tanto para alcanzar niveles de confort Higrotérmico en el interior de una edificación se deben tomar en cuenta todos estos factores los cuales se relacionan entre si para crear el ambiente que percibimos. Dichos factores son los siguientes:

- 1- *Humedad relativa*
- 2- *movimiento del aire*
- 3- *temperatura del aire*
- 4- *temperatura irradiada*
- 5- *Vestimenta (Clo)*
- 6- *Actividad Metabólica*

A su vez, es necesario conocer como intercambia calor el cuerpo humano con su entorno. 2/5 partes del total del intercambio de calor del ser humano se da a través de la radiación. Otras 2/5 partes se da por convección. Y por ultimo 1/5 parte se intercambia a través de la evaporación. (Olgyay, 1963, pag 16)

### **Humedad relativa:**

La humedad relativa se define como la relación entre la cantidad de vapor de agua dentro de una masa de aire y la que tendría si estuviera

Completamente saturada. Se expresa en porcentajes de 0% a 100%. El 100% significa que esa masa de aire esta saturada, por lo cual a partir de ese punto deja de haber evaporación y al contrario empieza la condensación y llueve.

La Humedad relativa afecta el confort de las personas debido a que entre mayor sea el porcentaje de humedad relativa, mayor es la sensación de calor. Esto se debe a que a mayor humedad relativa menor es la evaporación, por lo cual la perdida de calor por parte del cuerpo humano se vuelve más lenta. A esta sensación de temperatura más elevada que la real se le llama **temperatura aparente**. A pesar de esto, el rango de aceptación de humedad del ser humano es bastante amplio, está entre el 20% y el 75%. Menor que 20% el ambiente se siente muy seco y se presentan síntomas como labios y piel seca, y mas de 75% la percepción del calor aumenta fuera de los rangos de confort. (Olgyay, 1963, pag 20)

La Tabla 1 muestra la temperatura aparente en función de la humedad relativa y la temperatura real en °C.

### **Movimiento del aire**

Por su parte el viento cumple parte importante en la percepción del frío y del calor, ya que en un día soleado, si hay brisa sentimos que el calor no es tanto como si no hubiera. Y al contrario en días fríos, una ventisca incrementa la percepción del frío.

Esto se debe a que el viento posee una capacidad de enfriamiento la cual genera una sensación térmica menor a la temperatura real del ambiente. Esta sensación se debe a que la velocidad del viento ayuda a la pérdida de calor por convección y a su vez acelerando el proceso de evaporación por el cual expulsamos calor hacia el ambiente por medio del sudor. (Olgyay, 1963, pag 20)

Esta pérdida de calor es mayor entre más baja sea la temperatura, mas alta sea la velocidad del viento y más larga sea su exposición. Esta sensación térmica al exponerse al viento se conoce como **temperatura equivalente**.

HR/ T	21. 1	23. 9	26. 7	29. 4	32. 2	35	37. 8	40. 6	43. 3	46. 1	48. 9	51. 7	54. 4	57. 2
0	17. 8	23. 9	22. 8	25. 6	28. 3	30. 6	32. 8	35	37. 2	39. 4	41. 7	43. 9	47. 2	48. 9
10	18. 3	20. 6	23. 9	26. 7	29. 4	32. 2	35	37. 8	40. 6	43. 9	46. 7	52. 2	55	
20	18. 9	21. 1	25	27. 8	30. 6	33. 9	37. 2	40. 6	44. 4	48. 9	54. 4	60. 6		
30	19. 4	22. 2	25. 6	28. 9	32. 2	35. 6	40	45	50. 6	57. 2	64. 4			
40	20	22. 8	26. 4	30	33. 9	38. 3	43. 3	50. 6	58. 3	66. 1				
50	20. 6	23. 3	27. 2	31. 1	35. 6	41. 7	48. 9	57. 2	71. 1					
60	21. 1	24. 4	27. 8	32. 2	37. 8	45. 6	55. 6	65						
70	21. 1	25	28. 9	33. 9	41. 1	51. 1	62. 2							
80	21. 7	25. 6	30	36. 1	45	57. 8								
90	21. 7	26. 1	31. 1	38. 9	50	65. 6								
100	22. 2	26. 7	32. 2	42. 2	55									

Tabla 1. Temperatura aparente (°C.) en función de la temperatura y humedad relativa ambiental (Llorca Llorca, 2006, pag 35)

A su vez, el ser humano percibe el viento de la siguiente manera:

Velocidad	Impacto en el Ser Humano
Hasta 15m/min	Inadvertido
entre 15 y 30.5 m/min	Agradable
entre 30.5 y 61m/min	Generalmente agradable, pero se percibe constantemente su presencia
entre 61 y 91m/min	De poco a muy molesto
91.5m/min o +	Muy Molesto

Tabla 2. Impacto del viento en el ser humano (Olgay, 1963, pag 20)

### Temperatura del aire:

La temperatura como definición es la condición que determina el flujo de calor de un cuerpo a otro; por lo cual todos los cuerpos a nuestro alrededor influyen a esta variable. La temperatura más directa que percibimos en el ambiente, de la cual recibimos la mayor influencia, es la temperatura del aire; es esta misma la temperatura medida por los meteorólogos, la cual se nos proporciona en hojas climáticas.

La temperatura que posee la tierra es de 15° C, está directamente determinada por el sol; sin el se calcula que la temperatura de la tierra rondaría los -18 °C, por lo cual al hablar de temperatura siempre va estar ligado el sol. En las mañanas cuando apenas sale el sol la temperatura es siempre mas fresca que al medio día cuando el sol está en lo más alto del cielo y desciende conforme este se oculta por lo cual conocer el movimiento solar resulta vital. (Bolin,1991)

Temperatura(°C)	Viento (km/h)								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
12	12	11	10	9	9	8	8	8	7
8	8	6	5	4	3	3	2	2	2
4	4	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-4
0	0	-3	-5	-6	-7	-8	-9	-9	-10
-4	-4	-8	-10	-12	-13	-14	-14	-15	-15
-8	-8	-13	-15	-17	-18	-19	-20	-21	-21

Tabla 3. Temperatura del aire equivalente a la del mismo ambiente con una velocidad de viento aproximada a 4.8 km/h (LLorca Llorca, 2006, pag 36)



La temperatura a su vez depende de factores geográficos: ubicación geográfica (coordenadas), latitud, altitud, y orografía. No es lo mismo una edificación en la playa que en la montaña, como a su vez no es lo mismo la temperatura del lado de una montaña con influencia directa del viento al otro lado sin influencia directa del mismo. Por lo cual conocer las características específicas del lugar a emplazar una obra es de vital importancia para establecer estrategias apropiadas para dicho lugar. (Herrera, 1985)

A la hora de hablar de confort, el ser humano promedio se siente cómodo ante temperaturas medias entre su punto máximo de resistencia, que es el punto de insolación por radiación solar y su límite mínimo que es el punto de congelación. Por lo cual se afirma que, con poco movimiento de aire, menos de 0,25m/min las temperaturas ideales están entre los 23.3° C y los 26.7° C para los trópicos con una humedad relativa entre el 35% y el 65%. Bajo este rango la percepción de frío aumenta, y sobre este rango la percepción de calor aumenta. (Olgyay, 1963, pag 18)

Cabe mencionar que este rango es subjetivo y varía de persona en persona, dado que la edad y el sexo también juegan un papel importante en cuanto a los requerimientos térmicos de cada persona. Lo anterior se debe a que generalmente las personas mayores de 40 años prefieren condiciones 1° C más elevado que las personas de menor edad, y que a su vez las mujeres prefieren ambientes 1° C más elevado que el ambiente ideal para los hombres. Por lo cual a la hora de aclimatar los espacios se debe buscar un punto medio de neutralidad térmica para que la mayor parte de los usuarios no presenten ningún tipo de incomodidad. (Olgyay, 1963, pag 18)

A su vez es importante mencionar que los datos que acabamos de mencionar, son para seres humanos realizando actividades pasivas, ya que por ejemplo, al hacer ejercicio, el metabolismo se acelera y la zona de confort cambia.

#### **Vestimenta (CLO):**

La vestimenta influye directamente en la percepción de frío y calor; es por esto que existe una escala que mide el efecto térmico de la ropa en el cuerpo humano. Dicha escala tiene como unidad de medición el CLO. Un clo es una unidad arbitraria para determinar el grado de aislamiento de cada prenda. El valor de un CLO equivale al aislamiento que proporciona la ropa normal de un hombre manteniendo el confort a una temperatura exterior de 21.1 ° C sin movimiento de aire, con humedad relativa menor al 50% y sin demasiada actividad física. Para ser más exactos un CLO equivale a una combinación de ropa que presenta una resistencia térmica de 0.155 m<sup>2</sup>-C/W. La medida máxima que puede alcanzar una prenda es de 4.5 Clo y la mínima es 0.0 la cual equivale a estar totalmente desnudo. (Neila Gonzales, 2004, pag 237 )

En cuanto a la vestimenta es importante recalcar que ésta tiene como función térmica el brindar aislamiento al cuerpo, evitando así la pérdida de calor. Por lo que es contraproducente cuando lo que se pretende es enfriar el cuerpo.

A continuación se muestra una lista de valores CLO para algunas prendas básicas:

# CLO

<b>Prendas de vestir</b>	<b>Clo</b>	<b>m<sup>2</sup>°C/W</b>
Desnudez	0.00	0.000
<b>Ropa interior inferior</b>		
Medias	0.02	0.003
Bragas y calzoncillos	0.04	0.006
Calzoncillo 1/2 pierna de lana	0.06	0.009
Calzoncillo pierna entera	0.10	0.016
<b>Ropa interior superior</b>		
Sujetador	0.01	0.002
Camiseta sin mangas	0.06	0.009
Camiseta manga corta	0.09	0.014
Camiseta manga larga	0.12	0.019
Camiseta térmica nylon	0.14	0.022
<b>Camisas</b>		
Camisa manga corta	0.09	0.014
Blusa ligera, manga larga	0.15	0.023
Camisa ligera, manga larga	0.20	0.031
Camisa normal, manga larga	0.25	0.039
Camisa franela, manga larga	0.30	0.047
Blusa larga de cuello de cisne	0.34	0.053

Tabla 4.1 Valores de aislamiento de la Ropa (CLO y Resistencia)  
(Bjørn Kvisgaard, 1997)

### **Pantalones**

Pantalones cortos	0.06	0.009
Pantalones ligeros	0.20	0.031
Pantalones normales	0.25	0.039
Pantalones de franela	0.28	0.043

### **Falda, vestido**

Falda ligera, 15 cm sobre rodilla	0.10	0.016
Falda ligera, 15 cm bajo rodilla	0.18	0.028
Falda gruesa hasta la rodilla	0.25	0.039
Vestido ligero sin mangas	0.25	0.039
Vestido de invierno manga larga	0.40	0.062

### **De alto aislamiento**

Suéter chaleco	0.12	0.019
Suéter fino	0.20	0.031
Suéter fino cuello de cisne	0.26	0.040
Suéter normal	0.28	0.043
Suéter grueso	0.35	0.054
Suéter grueso cuello de cisne	0.37	0.057
Chaqueta ligera de verano	0.25	0.039
Chaqueta normal	0.35	0.054
Multicomponente relleno	1.03	0.160
Multicomponente con forro de peluche	1.13	0.175

Tabla 4.2 Valores de aislamiento de la Ropa (CLO y Resistencia)  
(Bjørn Kvisgaard, 1997)

El valor de aislamiento de la vestimenta aumenta en relación con el tipo y número de prendas. Por ejemplo, una persona con vestimenta casual podría preferir una temperatura aproximadamente 9°C por debajo de la que preferiría una persona desnuda. Por lo general el valor total de aislamiento se puede calcular de manera suficientemente exacta sumando los valores CLO de cada prenda. Sin embargo, en el ASHRAE Handbook of Fundamentals (1985) se recomienda multiplicar

la sumatoria de los valores de Clo de todas las prendas por un factor de 0.82.

Dada la condición de la diversidad de variables de combinaciones que pueden utilizar los distintos usuarios de un espacio; para el cálculo se debe utilizar un valor promedio, tomando como base la vestimenta estándar de la mayoría de los usuarios.

Valores de aislamiento de algunas combinaciones de ropa			
Combinación de ropa	Clo	Resistencia	Conductancia
Ropa interior corta, pantalones ligeros de algodón, camisa de manga corta, cuello abierto	0.5 Clo	0.078 m <sup>2</sup> °CW	12.90 W/m <sup>2</sup> °C
Ropa interior corta, traje común de oficina con chaleco	1.0 Clo	0.155 m <sup>2</sup> °CW	6.45 W/m <sup>2</sup> °C
Ropa interior larga, traje con chaleco de lana, calcetines de lana	1.5 Clo	0.234 m <sup>2</sup> °CW	4.30 W/m <sup>2</sup> °C
El vestido ártico más pesado	4.5 Clo	0.698 m <sup>2</sup> °CW	1.43 W/m <sup>2</sup> °C

Tabla 5 Valores de aislamiento de combinaciones de Ropa (Bjørn Kvisgaard, 1997)

### Radiación

Otra de las variables de importancia para el confort de las personas en los espacios es la radiación solar. La radiación solar es la emisión de energía por medio de ondas electromagnéticas emitidas por el sol. Esta radiación llega en diferentes longitudes de onda en las cuales sobresalen 3 tipos: radiación ultravioleta, radiación visible y radiación infrarroja.

La radiación ultravioleta es la de menor longitud de onda (360nm), por lo cual es la más peligrosa para la salud del ser humano, ya que posee mucha energía; tanto así que puede alterar las moléculas del ADN. (Szololay , 2004, pag 8)

La mayor parte de esta radiación es absorbida por la atmósfera, pero hay un porcentaje bajo que logra alcanzar la troposfera, por lo cual es vital protegerse de la misma.

Por su parte la radiación visible cuya longitud de onda está entre 360nm (violeta) y 760nm (rojo) se conoce a su vez como espectro visible debido a que es la región del espectro electromagnético que el ojo humano puede percibir. En general es aquello que conocemos tradicionalmente como Luz, por lo cual es vital para el desarrollo del ser humano y su confort. (Szololay , 2004, pag 8)

Este tipo de radiación se profundiza en el apartado de estímulos lumínicos.

Por último está la radiación infrarroja, la cual va de 760nm en adelante, es la radiación con longitud de onda mas larga. Entre sus características principales, es la responsable del incremento de temperatura, ya que aumenta la agitación de las moléculas. Gran parte de esta radiación es absorbida por las atmósfera lo cual permite que la temperatura en la tierra no sea muy elevada. (Szololay , 2004, pag 8)

Teniendo esto claro podemos denotar que su incidencia debe ser regulada para que no afecte la salud, ni el confort de los usuarios de los espacios. La radiación ultravioleta, al ser dañina, en buena teoría se debería proteger totalmente de ella, pero a su vez, la radiación visible es indispensable para la realización de la mayor parte de las actividades del ser humano, y por ultimo dependiendo de las necesidades térmicas del espacio, la radiación infrarroja debe ser evitada o utilizada, por lo cual su regulación es vital para el confort humano.

Por lo cual a la hora de hablar de estímulos Higrotérmicos, el control de la radiación infrarroja se vuelve fundamental. Esta nos afecta debido a que incrementa el calor al estar expuestos a ella directamente. Es por esta razón que al estar bajo una sombra se siente mas fresca que al estar directamente expuestos al sol.

Ante la exposición directa al sol, mediante radiación infrarroja se transmite energía en forma de calor de una manera directa. Al protegerse en una sombra, no se recibe esa

energía de forma directa por lo cual, la transmisión de calor es más baja. Cabe mencionar que al estar bajo una sombra no significa que no estamos recibiendo radiación, sino que estamos recibiendo radiación indirecta o reflejada la cual no es tan fuerte como la directa pero de igual manera puede afectar la piel.

La materia por su caracterización energética emite radiación. Todo ser viviente emite radiación infrarroja. Los seres vivos emiten una gran proporción de radiación en el espectro infrarrojo debido a su calor corporal. El ser humano por ejemplo, teniendo en cuenta su superficie de piel ( aproximadamente 2m<sup>2</sup>) y su temperatura corporal (37C) emite alrededor de 100 vatios; por lo cual si recibimos mas de 100 vatios sentimos mas calor y si recibimos menos de 100 vatios sentimos frío, independientemente de la temperatura del ambiente. (Szololay , 2004, pag 8)

Ahora también, al igual que la radiación influencia nuestra temperatura, lo mismo hace con las superficies que envuelven los espacios: pisos, paredes, cubiertas, etc. Por lo cual estos elementos irradian temperatura hacia el espacio interno. Esta se conoce como **temperatura radiante**.

La temperatura radiante, puede ser utilizada para equilibrar temperaturas extremas del aire. Por ejemplo: A bajas temperaturas, la pérdida de calor puede ser contrarrestada mediante la radiación solar, por lo cual la exposición a la radiación puede ser utilizada como estrategia para ambientes fríos por debajo de los 21°C y al contrario debe ser bloqueada en ambientes cálidos, es por esta razón que en ambientes tropicales se da la utilización de protectores solares como los parasoles y aleros.

## Metabolismo (MET)

La actividad que realiza el usuario en el espacio influye directamente en su sensación de confort. Esto se debe a que depende de la actividad que se este realizando, varía la velocidad de dispersión de energía metabólica hacia el ambiente exterior.

Para cuantificar lo anterior, se creó la variable denominada MET, que corresponde a una dispersión de 50 kcal/h por metro cuadrado de superficie corporal (58,2 W/m<sup>2</sup>). Teniendo en cuenta que un hombre promedio tiene una superficie corporal de 1.9m<sup>2</sup> y una mujer de 1.6m<sup>2</sup>, usualmente se suele redondear esta cifra a 100 W cada met. (Neila Gonzales, 2004, pag 230 )

Se denomina metabolismo basal al menor ritmo de transferencia de calor metabólico entre la persona y su entorno. Para hombres este tiene un valor estándar de 44W/m<sup>2</sup> (79 W) y para mujeres tiene un valor de 41W/m<sup>2</sup>( 65W ), y corresponde a un estado de reposo absoluto.

Actualmente existen tres métodos para su medición: evaluación según la actividad, evaluación según la ocupación y la medición directa. El primer método tiene un porcentaje de error muy alto (mayor al 20%) y dada las condiciones de este proyecto, basado en simulaciones, la medición directa es algo imposible, por lo cual se utilizará el método de evaluación según la ocupación. (Neila Gonzales, 2004, pag 230 )

Para la utilización de este método, se considera el metabolismo basal y se le suman valores dependiendo si la posición es estática o es en movimiento, además de las partes del cuerpo en utilización. Teniendo en cuenta las siguientes tablas.

A modo de ejemplo, se considera que el valor que corresponde a la actividad desarrollada en viviendas u oficinas ronda las 125 W (1,25 met) (Neila Gonzales, 2004, pag 230 )

PARTE DEL CUERPO EMPLEADA EN LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO		SUMANDO ADICIONAL (W/m <sup>2</sup> )	
		Medio	Rango
Trabajo realizado con las manos	Ligero	15	<20
	Medio	30	20...35
	Pesado	40	>35
Trabajo para el que sólo se precisa el empleo de un brazo	Ligero	35	<45
	Medio	55	45...65
	Pesado	75	>65
Trabajo para el que es imprescindible el uso de ambos brazos	Ligero	65	<75
	Medio	85	75...95
	Pesado	105	>95
Trabajo para el que se precisa el uso de todo el cuerpo	Ligero	125	<155
	Medio	190	155...230
	Pesado	280	230...330
	Muy pesado	390	>330

Tabla 6 Metabolismo según parte del cuerpo empleada en la realización del Trabajo (Neila Gonzales, 2004, pag 230 )

POSICIÓN ESTÁTICA DEL CUERPO	SUMANDO ADICIONAL (W/m <sup>2</sup> )
Sentado	10
Arrodillado	20
Agachado	20
De pie	25
De pie inclinado	30

Tabla 7 Velocidad del metabolismo según ocupación (Neila Gonzales, 2004, pag 231)

TIPOS DE MOVIMIENTO DEL CUERPO (para velocidades entre 0,9 y 1,1 m/s) <sup>36</sup>		SUMANDO ADICIONAL (W/m <sup>2</sup> )
Caminando en plano horizontal		110
Ascendiendo en plano inclinado	Inclinación de 5°	210
	Inclinación de 10°	360
Descendiendo en plano inclinado	Inclinación de 5°	85
	Inclinación de 10°	70
Caminando con carga	10 kg	140
	30 kg	205
	50 kg	315

Tabla 8 Velocidad del metabolismo según ocupación (Neila Gonzales, 2004, pag 231)

## Geometría Solar

La geometría solar se puede definir como la dirección desde la cual, el sol incide sobre una superficie. Esta es vital para el confort de los usuarios debido a que está directamente relacionada con la radiación; por lo cual su conocimiento y la aplicación de estrategias para su control son necesarias a la hora de introducir o bloquear la radiación proveniente del sol.

La incidencia solar depende de la ubicación de la superficie a analizar dentro del planeta tierra, ya que esta depende de los movimientos del planeta en relación con el sol (Imagen 1). La tierra tiene dos movimientos principales que afectan la incidencia solar: rotación y traslación. El movimiento de rotación es el movimiento en el cual la Tierra gira sobre sí misma en un eje imaginario que se denomina eje terrestre. En este movimiento la tierra gira en dirección oeste a este definiendo así lo que se denomina el día solar (día y noche). Por su parte la tierra gira sobre el sol en una órbita elíptica en la cual se dura 365 días y 6 horas para dar una vuelta completa; a este movimiento se le denomina traslación.

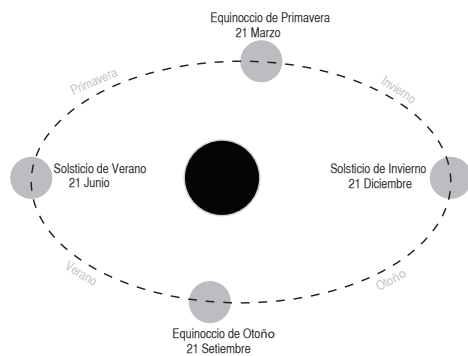


Imagen 1. Movimiento de la tierra en relación al sol

Además, como se observa en la imagen 2 el eje terrestre sobre el que gira la tierra en el movimiento de rotación, tiene una inclinación de 23.5 grados en relación a la normal de la órbita. Ahora, como consecuencia de esta inclinación, de la división imaginaria en hemisferios y del movimiento de traslación, un hemisferio recibirá más rayos y más calor y el otro menos, esto en forma alternativa durante la traslación orbitando al sol. Todos estos factores hacen que la posición de la superficie de la tierra en la relación con el sol vaya cambiando segundo a segundo a lo largo del año.

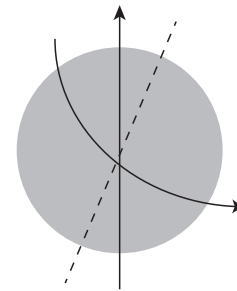


Imagen 2. Eje de rotación terrestre



Para efectos de este proyecto la superficie a analizar es Costa Rica. Se toma como superficie la totalidad del país debido a que los cambios entre una ciudad y otra son casi imperceptibles por lo cual pueden ser despreciados. Costa Rica, para efectos de calculo, se encuentra ubicada dentro de las coordenadas geográficas en el punto  $10^{\circ}$  de latitud norte y  $84^{\circ}$  de longitud oeste por lo cual su movimiento en relación al sol se representa como se muestra en la carta solar estereográfica latitud  $10^{\circ}$  (imagen 3). **La Carta solar estereográfica** es una representación de una bóveda de 3d en 2 dimensiones, utilizada para graficar la trayectoria solar sobre una latitud específica en la tierra. Usualmente se crean para los días 21 de cada mes, marcando así los solsticios y los equinoccios. En ella podemos observar que a lo largo del año, al estar  $10^{\circ}$  al norte del Ecuador, el sol se ubica durante más tiempo al sur (7 meses), siendo así las fachadas sur las más expuestas a radiación directa a lo largo del año. Esto se debe a que al estar posicionada en el hemisferio Norte, el sol se encuentra mayoritariamente inclinado hacia el sur durante la mayor parte del año, ubicándose al norte por tan solo 5 meses.

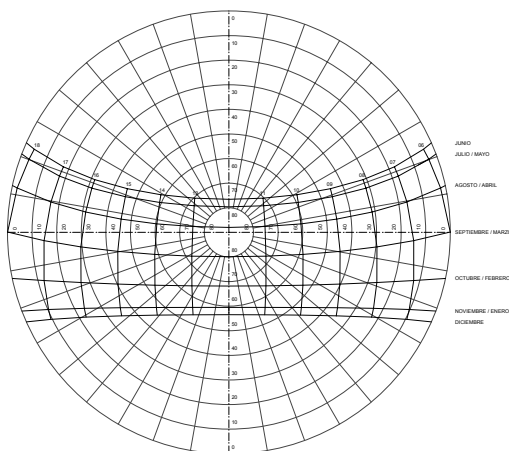


Imagen 3. Carta Solar Estereografica latitud 10

Esto a su vez genera que la inclinación del sol máxima al norte difiera de su inclinación máxima al sur, como se puede observar en la imagen 4. En ella podemos denotar que la máxima inclinación del sol hacia el sur es de  $33.5^{\circ}$  ( $23.5^{\circ} + 10^{\circ}$ ) y que la máxima inclinación hacia el Norte es de  $13.5^{\circ}$  ( $23.5^{\circ} - 10^{\circ}$ ), siendo así estos los toques sobre los cuales el sol oscila a lo largo del año.

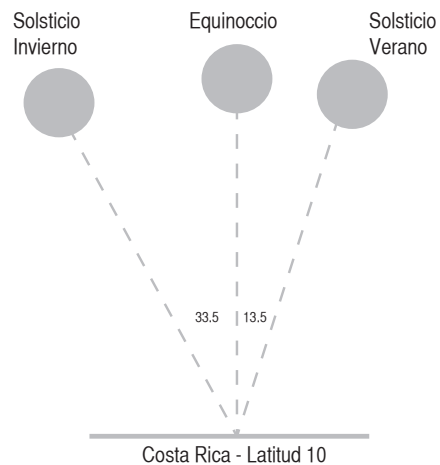


Imagen 4. Equinoccio y Solsticios para Costa Rica

## 2.1.3 Estímulos Acústicos

### Estímulos Acústicos

Para conocer y controlar los estímulos acústicos que afectan al ser humano es fundamental conocer como se comporta y se mide el sonido; y como el ser humano reacciona ante el.

El sonido se define como: la sensación auditiva provocada por una perturbación que ha sido capaz de propagarse en un medio elástico. Se produce al tener aire en movimiento.

El más común es cuando un cuerpo vibra, como lo hacen nuestras cuerdas vocales, que al moverse hacia delante y atrás impulsan el aire rítmicamente generando una perturbación, a la que conocemos como sonido.

El sonido se propaga en forma de ondas senoidales, las cuales se pueden caracterizar de dos maneras: su amplitud (intensidad) y su frecuencia, como se puede observar en la Imagen 5

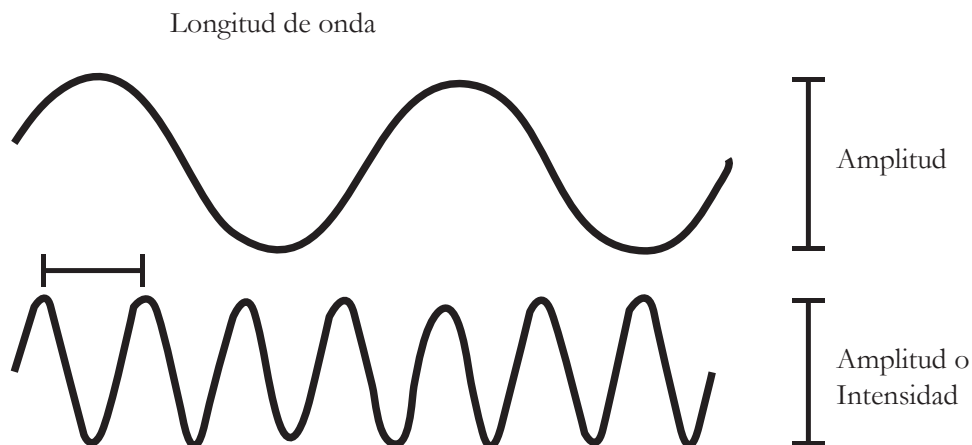


Imagen 5. Representación de la Onda Acústica

El ser humano tiene su Umbral auditivo a 0 dB y su Umbral del dolor a 135 dB. El sonido usualmente se mide utilizando la presión acústica; se puede medir también con la potencia acústica, pero no es tan común. (Neila Gonzales, 2004, pag 204)

En la siguiente tabla se en listan una serie de fuentes sonoras con su respectivo nivel de presión sonora en dB, junto con una valoración subjetiva de la percepción de los seres humanos ante dichos niveles.

### Sonoridad

Sonoridad, es la sensación subjetiva del nivel sonoro. El oído humano no percibe de manera equitativa todas las frecuencias. Para niveles bajos de presión sonora, el oído es muy insensible a bajas frecuencias, es decir, el nivel de presión sonora de un sonido grave tiene que ser mucho mas elevado que el correspondiente a un sonido de frecuencias medias para que ambos produzcan la misma sonoridad. Por ejemplo, un nivel SPL 70dB, a 20hz, produce la misma sonoridad que un nivel SPL = 5dB, a 1khz. (Neila Gonzales, 2004, pag 208)

FUENTE SONORA	NIVEL DE PRESIÓN SONORA SPL (dB)	VALORACIÓN SUBJETIVA DEL NIVEL
Despegue avión (a 60 m)	120	<b>Muy elevado</b>
Edificio en construcción	110	
Martillo neumático	100	
Camión pesado (a 15 m)	90	<b>Elevado</b>
Calle (ciudad)	80	<b>Moderado</b>
Interior automóvil	70	
Conversación normal (a 1 m)	60	<b>Bajo</b>
Oficina, aula	50	
Sala de estar	40	
Dormitorio (noche)	30	
Estudio de radiodifusión	20	

Tabla 9 Nivel de Presión Sonora en Decibeles, ruidos típicos (Carrison Isberg, 1998, pag35)

Para dichos niveles bajos, el oído también presenta cierta atenuación a altas frecuencias

A medida que los niveles aumentan, el oído tiene a responder de forma más homogénea en toda la banda de frecuencias audibles, hasta el punto de que cuando son muy elevados, la sonoridad asociada a tonos puros de diferente frecuencia es muy parecida.

Dado a esta característica del oído humano, establecer parámetros puntuales en decibios generalizados para todas las frecuencias es una práctica incorrecta, es por esto que existen las curvas NC (Noise Criteria) las cuales según la frecuencia indican el máximo al cual en cada una de las frecuencias se vuelve molesto. (Carrison Isberg, 1998, pag42)

Como se puede observar, entre mayor es la frecuencia, menor es el dB al cual el ser humano está cómodo. Como complemento a estos datos, existen tablas las cuales muestran las curvas NC recomendadas para cada espacio.

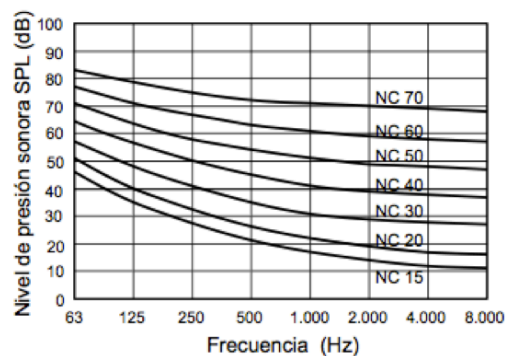


Imagen 6 Curvas "Noise Criteria"  
(Carrison Isberg, 1998, pag42)

TIPOS DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA	EQUIVALENCIA EN dBA
Estudios de grabación	15	28
Salas de conciertos y teatros	15-25	28-38
Hoteles (habitaciones individuales)	20-30	33-42
Salas de conferencias / Aulas	20-30	33-42
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35	42-46
Hoteles (vestíbulos y pasillos)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de ordenadores	35-45	46-55
Cafeterías	40-45	50-55
Polideportivos	40-50	50-60
Talleres (maquinaria ligera)	45-55	55-65
Talleres (maquinaria pesada)	50-65	60-75

Tabla 10 Nivel de Presión Sonora en Decibios por recintos (Carrison Isberg, 1998, pag43)

## 2.1.4 Estímulos Lumínicos

### Estímulos Lumínicos

La iluminación natural de los espacios es la mas recomendada por el ahorro del consumo energético, que puede llegar a ser hasta de un 40%. Además, esta reduce la tensión ocular, facilita la lectura, funciona como un antidepresivo, aumenta la productividad en el trabajo, y permite la vida de plantas en el interior de los espacios lo cual les da vitalidad. Por estas razones, es vital para el confort, por lo cual nos estaremos refiriendo a ella en mas profundidad.

“Salud....la luz, a través de la pupila estimula la producción de serotonina, la cual es un neurotransmisor, cuya escasez puede ocasionar depresión. También ayuda a regular el biorritmo (reloj interno) de las personas”

Javier Neila

La luz, es parte de la energía radiante, la cual produce un estímulo en los ojos,y permite la visión de los objetos. Esta radiación, que nos permite la vista es la que se ubica entre las frecuencias entre 380nm y 780nm. Dependiendo de la frecuencia, es que logramos distinguir los colores: 380nm a 435nm violeta, hasta 495 azul, hasta 566nm rojo, hasta 589nm amarillo hasta 627 naranja y hasta 780 rojo.

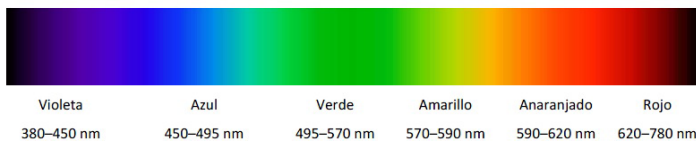


Imagen 7 - Espectro de luz visible

El órgano encargado del sentido de la vista es el ojo. Su funcionamiento es relativamente complejo; se puede comparar al de una cámara, donde el obturador es el iris, que abriéndose mas o no, deja pasar cantidades de luz variables según la luminosidad exterior. Al otro lado del iris, se encuentra el cristalino, el cual cumple la función del lente de una cámara, el se ajusta para enfocar dependiendo de lo que se este observando. Al final esta la retina, la cual es la que recibe la imagen visual que se transmite al cerebro por el nervio óptico.

La luz es energía, pero debido a que lo que nos interesa de ella es el resultado a través de los ojos, las magnitudes y unidades con la que medimos la luz, en relación a la sensación que generan son: flujo luminoso, intensidad luminosa, la iluminancia y la luminancia.

Flujo luminoso: La luz al ser energía, viene dentro de un flujo radiante, pero el ojo humano no responde igual a cada longitud de onda por lo cual, se denomina flujo luminosos a diferente sensibilidad del ojo en respuesta a cada longitud de onda. Se cuantifica en lúmenes (lm)

Intensidad luminosa: Es la cantidad de flujo luminoso por unidad de ángulo solido. Angulo solido es el angulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado. La intensidad luminosa se mide en candelas cd.

**Illuminancia:** Es el nivel de iluminación de un ambiente. Es el flujo luminoso, recibido por una superficie. Se miden en  $\text{lm}/\text{m}^2$ , que es igual que decir lux (lx). Los niveles de iluminancia van cambiando a través del día. Por ejemplo: una noche de luna, la iluminancia puede ser de menos de un lux, en cambio un día soleado puede llegar a tener una iluminancia de 100 000 lux, mientras un día nublado unos 10 000 lux.

**Luminancia:** Es la intensidad luminosa recibida por unidad de superficie, medida en candelas por metro cuadrado  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Esta medida es la que nos define el contraste, y gracias a ese contraste podemos percibir los objetos.

“La arquitectura es el juego de volúmenes bajo la luz” Le Corbusier

#### **Características de bienestar visual:**

1. Nivel de iluminación adecuado
2. Ausencia de deslumbramiento
3. Reproducción cromática correcta.

#### **Recomendaciones**

1. El deslumbramiento se logra evitar dirigiendo las aperturas a fuentes de luz difusa, no directa. Evitar luz directa. Otra forma es usando elementos translucidos que difuminen la luz antes de entrar al espacio interior.

2. Una apertura alargado, permite una iluminación mas homogénea que aperturas puntuales. Una apertura a media altura de la pared, genera buena iluminación para una mesa cerca, mientras que una apertura en la parte alta de la pared, genera buena iluminación para una mesa más alejada de la pared. Por lo cual la ubicación de las aperturas es importante, para lograr un nivel de iluminación adecuado dependiendo de la actividad a realizar en el espacio.

3. La reproducción cromática correcta depende tanto de la superficie como de la fuente de luz. La reproducción cromática correcta es aquella dada por una superficie (x) bajo una fuente de luz natural. Este es el parámetro inicial. Si la fuente de luz cambia, la reproducción cromática también. Esto funciona de esta manera: el color que percibimos es la cantidad de luz que dicha superficie refleja. Si refleja mucha luz la superficie tiende a blanco y si no refleja mucha luz, esta tiende a negro. Por lo cual se debe promover la utilización de luz natural, y de no ser posible, refuerzos artificiales que asemejen los niveles adecuados para el espacio.

A continuación, se muestra una tabla con los niveles de iluminación mínimos e ideales para ciertos espacios:

Usos	Nivel mínimo (lux)	Nivel recomendado (lux)
<b>VIVIENDAS</b>		
Pasillos	70	100
Escaleras	100	150
Aseos (general)	70	100
Aseos (puntual)	200	500
Dormitorios (general)	70	70
Dormitorios (cabecera)	200	500
Cocinas	100	200
Estancias (general)	70	200
Estancias (puntos de lectura)	300	500
<b>ESPECTÁCULOS</b>		
Vestibulos	100	150
Salas de entreactos	100	200
Locales deportivos	150	500
<b>OFICINAS</b>		
Zonas de paso	150	200
Zonas de trabajo	750	900
Salas de reuniones	500	700
<b>EDIFICIOS DOCENTES</b>		
Zonas de paso	150	200
Clases y laboratorios	300	500
Salas de conferencias	200	500
Bibliotecas (estantes)	100	200
Bibliotecas (área de lectura)	300	500
<b>CENTROS SANITARIOS</b>		
Vestibulos	100	150
Zonas de paso	150	200
Habitaciones	100	200
Consultas	500	1000
Quirófanos (general)	750	1000
Quirófanos (localizado)	3000	3000
<b>INDUSTRIAS</b>		
Actividades de poca precisión	100	200
Actividades de mediana precisión	200	300
Actividades de alta precisión	300	1000

Tabla 11 Niveles de Iluminancia Requeridos según los usos (Neila Gonzales, 2004, pag198)

## 2.1.5 Herramientas de Cálculo

Una vez dominada la teoría, para todo arquitecto cuyo objetivo es hacer de sus espacios, un lugar confortable para sus usuarios, es vital el conocer el método de cálculo para cada una de las variables mencionadas en el capítulo anterior. En este capítulo se detallará, paso a paso algunos métodos de cálculo para cada uno de los diferentes estímulos que afectan al ser humano. Para tal, empezaremos con los estímulos higrotermico.

### Estímulos Higrotérmicos

#### Herramientas:

##### Climograma de columnas:

Un climograma es un gráfico en el que se representa simultáneamente los valores de la temperatura, humedad, radiación y precipitación mensuales, utilizando los valores mínimos, máximos, y medios, graficados mediante barras verticales y líneas, para los doce meses del año.

El Objetivo de este gráfico es obtener una visión general del comportamiento climático de la zona de estudio, teniendo todas las variables a la vista, lo cual nos permite relacionarlas de una manera simple y así entender su comportamiento como totalidad.

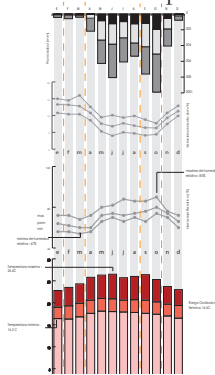


Imagen 8 - Climograma de Columnas

### Ábaco Psicrométrico de Baruch Givoni.

Un ábaco psicrométrico es una gráfica que nos muestra la relación de la temperatura del aire y su contenido de vapor de agua. Givoni planteó un índice de confort realizando una adaptación de un ábaco psicrométrico tradicional, en el cual se puede determinar la zona de confort, que según Givoni coincide con aquella zona dentro de la cual se mantienen rangos climáticos en los cuales una persona manifiesta estar térmicamente confortable.

Este método permite evaluar las condiciones térmicas de un lugar en función de los diferentes parámetros ambientales (Temperatura del aire, Humedad Relativa, Viento, Radiación). Sin embargo, se cuestiona su universalidad ya que no toma en cuenta parámetros como la edad, sexo y distintas diferencias individuales las cuales pueden ser determinantes para el confort.

En este ábaco aparecen zonas de confort de invierno, verano, además de zonas que con actuaciones arquitectónicas podrían ser mejoradas; es decir, se establecen límites en los cuales con aumento o disminución de cierta variable climática se puede alcanzar el confort.

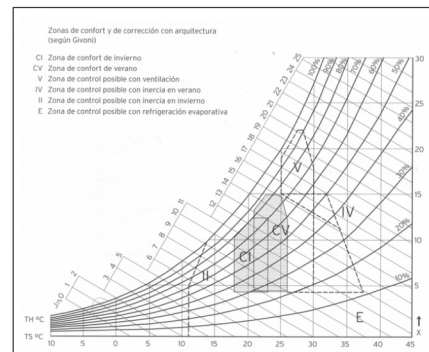


Imagen 9 -Ábaco Psicrometrico



### **Índice de Fanger.**

El índice de Fanger es uno de los métodos numéricos de evaluación de confort más utilizados. Se analiza desde el punto de vista de la percepción de las personas. En él se analizan las variables independientes para el exterior: temperatura del aire, temperatura radiante, presión de vapor de agua y viento. Para las personas se analiza la actividad, la resistencia térmica de la ropa y el factor cubierto de la misma. A su vez se analizan las variables dependientes: temperatura de la piel y la cantidad de energía debida a la secreción de sudor.

En el desarrollo de la ecuación de Fanger, se demuestra que siempre existe un 5% de insatisfechos.

Este método calcula dos índices: El Voto Medio Estimado (Predicted Mean Vote PMV) y el Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD - Predicted Percentage Dissatisfied).

El Voto medio estimado es un índice que refleja el valor de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles (frío, fresco, ligeramente fresco, neutro, ligeramente caluroso, muy caluroso), basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano (la producción interna de calor del cuerpo es igual a su pérdida hacia el ambiente).

El procedimiento de aplicación del método se resume en los siguientes pasos:

1. Recopilación de información, que incluirá:
  - 1.1. El aislamiento de la ropa.
  - 1.2. La tasa metabólica.
  - 1.3. Características del ambiente, definida por:
    - La temperatura del aire.
    - La temperatura radiante.
    - La humedad relativa o la presión parcial del vapor de agua.
    - La velocidad relativa del aire.
2. Cálculo del voto medio estimado (PMV).
3. Obtención de la sensación térmica global a partir del Voto medio estimado, según la escala de 7 niveles definida por Fanger.
4. Cálculo de porcentaje estimado de insatisfechos (PPD) a partir del valor del PMV.
5. Análisis de resultados

## 2.1.5 Herramientas de Cálculo

### Climograma de Bienestar Adaptado (CBA) desarrollado por Javier Neila (2004)

El climograma de bienestar adaptado o CBA es un compendio de los climogramas de Olgay y de Givoni, resuelto a través de una hoja de cálculo de Excel En el cual se definen 11 áreas:

- 1- Área de bienestar Saludable (menos de 10% de insatisfechos)
- 2- Área de bienestar algo seca para la salud (menos del 10% de insatisfechos)
- 3-Área de bienestar algo húmeda para la salud (menos del 10% de insatisfechos)
- 4-Área de bienestar extendida(20% de insatisfechos)
- 5-Área térmicamente aceptable pero excesivamente seca
- 6-Área térmicamente aceptable pero excesivamente húmeda
- 7-Zona controlada por la ventilación nocturna y la masa térmica
- 8-Zona controlada por la ventilación permanente
- 9-Zona Controlada por el enfriamiento evaporativo y la masa térmica
- 10- Zona controlada por el enfriamiento evaporativo y la masa térmica
- 11- Zona controlada por las cargas internas.

Cada una de las zonas describe cierto nivel de bienestar o inconformidad  
( Neila, 2004, pag 246)

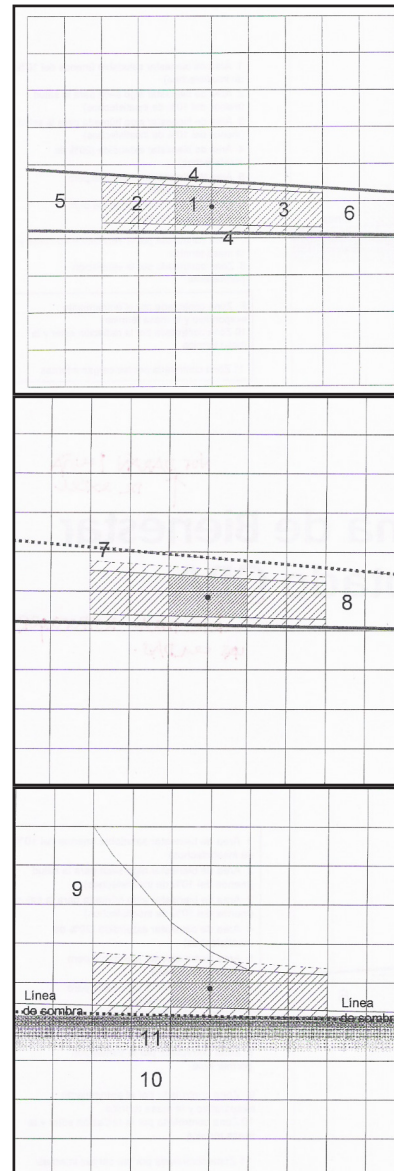


Imagen 10 - Areas del Climograma de Bienestar Adaptado

## Ecotect y Design Builder

Son softwares de cómputo diseñados para modelar las edificaciones, a los cuales se les puede aplicar simulaciones de eficiencia energética como climática., con tal de lograr una eficiencia menor gasto energético en los proyectos.. Algunos de los análisis que se pueden realizar en dichos programas son: Análisis total de energía, Comportamiento Térmico, Uso de agua y su costo, radiación solar, iluminación, consumo sombras y reflexiones. Por lo cual son herramientas de gran ayuda para la realización de proyectos de este enfoque.

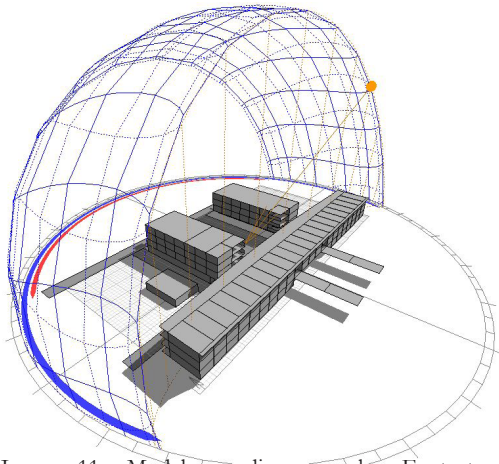


Imagen 11 - Modelo con diagrama solar - Ecotect Analysis

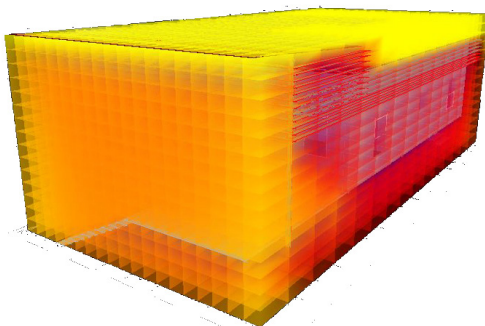


Imagen 12 - Diagrama de Radiación - Ecotect Analysis

## 2.2 Envoltentes + Ambiente

### 2.2.1 Introducción

Las envoltentes son la piel del edificio, y se componen de todo aquel elemento que envuelve el espacio: paredes, pisos, aperturas y cubiertas. Su función, como su nombre lo dice, es envolver el espacio, generando así un espacio interior (envuelto) y un espacio exterior.

Las envoltentes son la primera capa de toda edificación que se interrelaciona con el ambiente que la rodea por lo cual son vitales para la climatización del espacio interior.

Su función principal es proteger al usuario de los agentes climáticos externos : frío, calor, lluvia, viento, etc. Y a su vez son intermediarios de toda transferencia energética entre los espacios, ya sea sónica, térmica, lumínica por lo cual son responsables de un alto porcentaje del confort de los usuarios.

Además, las envoltentes cumplen una función vital para la apariencia visual de los edificios. Ellas definen el volumen, le dan color y textura.

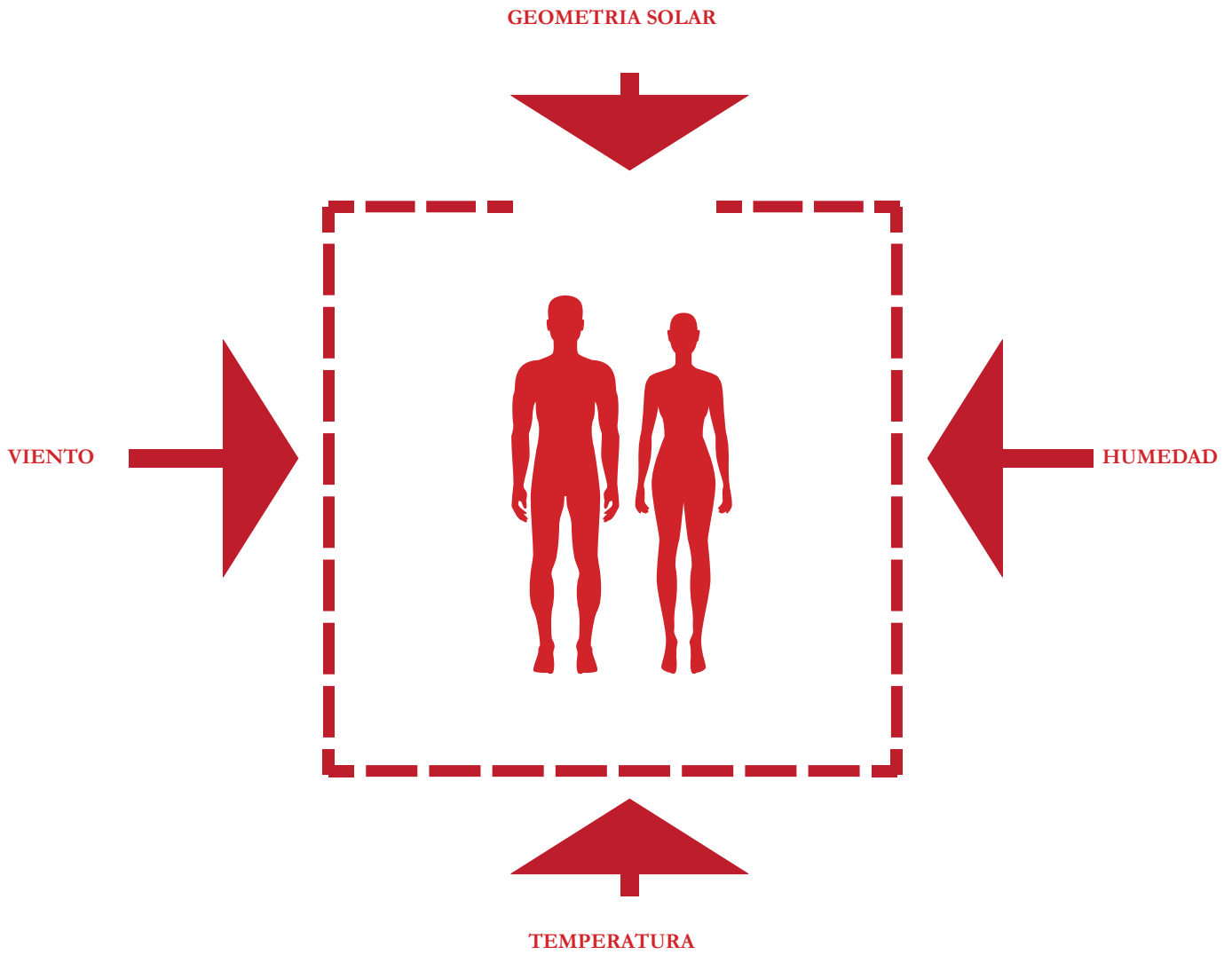


Figura - Diagrama conceptual: Envolverte

## 2.2.2 Origen y Evolución

### Origen y Evolución

Los primeros refugios del ser humano eran la propia naturaleza, espacios abiertos o espacios como las cuevas, las cuales estuvieran cerca de fuentes de agua y comida. Poco a poco, con la implementación de herramientas, nacieron los refugios hechos por el hombre, los cuales han ido evolucionando hasta el día de hoy. Los primeros refugios hechos por el ser humano data de aproximadamente 200 000 años atrás, en la era Paleolítica, los cuales eran algo mas similar a un campamento que propiamente a una casa. A partir de ahí los refugios fueron evolucionando; Inicialmente se realizaban estructuras a base de ramas con cerramientos de hojas secas como la paja e inclusive con pieles y huesos de animales; pero debido a que todos estos materiales son perecederos, los refugios duraban poco tiempo y eran severamente afectados por las condiciones climáticas externas, lo cual no era problema en el entonces debido a la condición nómada del ser humano de la época.

La segunda etapa de la evolución de las envolventes se dio con el asentamiento del ser humano con la incorporación de la agricultura en el Neolítico (10 000 AC). En esta era surgió la primera vivienda como tal. la cual fue hecha de bloques lodo recubierta con yeso, cuya entrada se localizaba en el techo, por lo cual poseía escaleras adentro y afuera. Al darse esta transición de nómadas a sedentarios, las construcciones debían ser mas resistentes por lo que se incorporaron materiales mas duraderos como el barro, arcilla, yeso, madera, adobe y la piedra para la creación de las mismas.

Con estos materiales y el dominio de nuevos métodos y herramientas, se perfecciono el arte de la construcción, hasta alcanzar niveles que permitieron realizar estructuras mas grandes.

Con la llegada de la edad de los metales, precisamente en la edad de cobre el ser humano empezó a experimentar con metales pero fue hasta finales de esta, e inicios de la edad de bronce, que se dio a conocer la metalurgia como tal, pero esta no se uso en la construcción en el entonces, las viviendas se realizaban con postes de madera para las estructuras y distintos materiales como arcilla, barro, caña y ladrillos dependiendo del lugar. En esta época se empezaron a desarrollar asentamientos mas formales, con viviendas individuales y organizaciones protourbanas utilizando los puntos cardinales.

Con la llegada de la edad media, se genera un gran avance en las técnicas de construcción que en los materiales utilizados, ya que estos fueron los mismos, solo que con nuevas técnicas de manipulación, logrando así la construcción de catedrales y castillos de grandes dimensiones. Hasta que en el gótico se dio la aparición del vidrio, principalmente para la realización de catedrales. Hasta este punto, todos los materiales empleados eran anteriormente eran provistos por la naturaleza.

Ya en la edad moderna, se genera un cambio en la filosofía de construcción con la introducción de la perspectiva. Con la llegada del Renacimiento se logra perfeccionar el trabajo en piedra y se da

la aparición de muros de mampostería sencilla con mortero seco y yesería en la arquitectura popular. A esto le siguió el barroco y el Neoclasicismo, los cuales fueron adaptaciones o cambios de estilos.

La edad contemporánea se dio con el desarrollo de materiales sintéticos como el hormigón, la incorporación del metal a las construcciones (hierro) y vidrio son sustancias creadas y moldeadas por el ser humano, lo cual trajo gran desarrollo a la construcción. En esta etapa se industrializó la construcción, lo que permitió una rápida expansión debido a la gran reducción de tiempos y costos de construcción. La cantidad de materiales se disparó, teniendo materiales pétreos (rocas, cerámicas y vidrios), aglutinantes (cemento, yeso, cal, morteros, hormigón etc), metálicos (hierro, acero, aluminio, etc), orgánicos (madera y plásticos), etc.

El estado actual del desarrollo y construcción de envolventes es compleja. Con la llegada de la arquitectura contemporánea, se produce un cambio en el paradigma en cuanto la fachada deja de ser un elemento pesado y estructural de un edificio para transformarse en una piel o membrana que envuelve al edificio, capaz de proteger y filtrar energías dependiendo de su necesidad. Generando así cerramientos más tecnológicos, e inclusive móviles. Para esto la diversidad de materiales aumenta día a día lo cual lo hace imposible de encasillar.

### **Envolventes Bioclimáticas**

La Arquitectura bioclimática no es un concepto o método de desarrollo reciente. Como concepto viene en desarrollo desde los 60's, pero ha estado en las construcciones desde sus inicios. Desde que el ser humano empezó a hacer refugios tomó en cuenta los aspectos ambientales que lo rodeaban, adaptando sus refugios al clima de donde estaba ubicado; tal vez no de manera consciente como concepto pero sí por el instinto humano de buscar la comodidad.

Muchas de las viviendas, principalmente de zonas rurales poseen conceptos bioclimáticos los cuales fueron implementados, no por la participación de un arquitecto en el proceso; si no por la repetición de conceptos que fueron creados en la zona y que funcionaron y han sido traspasados de generación en generación.

Si nos vamos un poco más atrás, en la era media, ya se utilizaba el concepto de masa térmica, en el cual las envolventes se hacían muy gruesas en donde se necesitaba que la transferencia térmica entre el exterior y el interior fuera poca. Inclusive esta estrategia fue utilizada desde el Neolítico en civilizaciones como la egipcia y por los Sumerios en Mesopotamia.

En la era moderna, ya se ubicaban los proyectos y aperturas teniendo en cuenta el movimiento solar y dirección del viento. Por lo cual con el paso del tiempo, cada sociedad dependiendo de su entorno ha desarrollado una serie de estrategias

pasivas para adaptar sus edificios y estar cada vez más cómodos dentro de ellos. Se pueden encontrar ejemplos de esto alrededor del mundo, e inclusive acá en Costa Rica.

Un caso extremo son los igloos se construyen de manera en que el acceso quede ubicado al lado contrario de la dirección del viento. Además los bloques de nieve compactada se cortan de grandes espesores para disminuir la transferencia térmica exterior-interior, pudiendo mantener temperaturas entre  $-7$  y  $16$  C en el interior, inclusive forrando el interior con pieles de animales se puede mantener temperaturas interiores de hasta  $20$  C.

Otro ejemplo que se ha adaptado en diferentes partes del mundo son los chalets, los cuales son construidos en tucas de madera sólida, con cubiertas con grandes pendientes con aleros. Usualmente suelen tener dos niveles; el primero de ellos es adosado a la pendiente de la montaña, quedando semi-enterrado lo cual ayuda a mantener el calor en el interior durante el invierno. La utilización de madera se debe a su gran capacidad aislante.

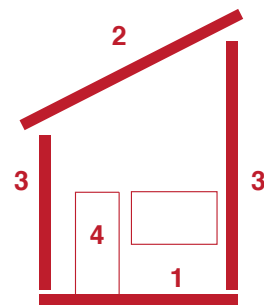
Acá en Costa Rica, tenemos como ejemplo las casas tradicionales de Limón, las cuales son construidas sobre postes, elevadas del suelo, que sirven en caso de inundaciones pero a su vez para ventilar el piso. Usando madera para aislar el calor, y ventanas de gran tamaño para el ingreso de ventilación.

Todos los anteriores ejemplos se desarrollaron con el concepto de pared antigua, en el cual un solo material era el responsable de satisfacer todas las funciones, por lo cual la eficiencia de la misma, a pesar de que sí funcionan, no es la ideal.

Actualmente esto se maneja de otra manera. Las envolventes están compuestas por capas, en las cuales cada capa, compuesta de un material específico alberga una función específica, la cual con la sumatoria de capas se logra una mayor eficiencia funcional de la envolvente.

Esto ha generado una gran diversidad de posibilidades para satisfacer las condiciones específicas de cada proyecto en cada locación.

Otro de los caminos en los que se ha avanzado en cuanto a envolventes en los últimos años, ha sido la incorporación de componentes tecnológicos a las mismas. Desde sensores de temperatura, iluminación, humedad, hasta paneles solares, e inclusive sistemas complejos de respuesta inmediata. Punto sobre el cual se impulsa esta investigación.



Componentes de la envolvente



## 2.2.3 Componentes

### Componentes de la envolvente

Cuando hablamos de envolventes nos referimos a todos aquellos elementos que encierran un espacio. Por lo cual los hay varios componentes que forman la envolvente. El primero (1) de ellos son todos los elementos horizontales inferiores sobre los cuales el usuario puede desplazarse. En este tipo se encuentran los contra-pisos y los entrepisos. Los hay de distintos materiales, pero los mas tradicionales son en concreto, madera y en algunos casos metal. Es importante la selección del material ya que al desplazarse sobre ellos dependiendo del material obtendremos cierta cantidad de sonido, el cual si no se maneja adecuadamente puede ser molesto para los usuarios. Otra de las funciones de estos cerramientos, es la transferencia térmica entre niveles.

El segundo (2) componente de la envolvente son los elementos superiores de cubierta de la edificación (techos). Estos elementos se relacionan tanto con el exterior de la edificación como con su interior. En su exterior reciben directamente tanto la radiación solar, como todo tipo de precipitaciones ( agua - nieve - granizo), por lo cual su diseño debe ser pensado según las condiciones climáticas de la localidad. En Costa Rica, se recomienda que estos posean una inclinación de al menos 15% debido a la gran cantidad de lluvia anual en mayor parte del territorio. A su vez debe tenerse en cuenta la producción sonora de los mismos a la hora de entrar en contacto con los distintos tipos de precipitación, por lo cual se recomienda que estos posean una capa interior y otra exterior con un vacío en el medio que absorba ese sonido y no se filtre y disturbe el interior.

Las cubiertas las hay de todo tipo de materiales; las mas comunes en Costa Rica son, el hierro galvanizado, el concreto y la teja para la capa exterior, y gypsum y madera para las capas interiores.

El tercer (3) componente de envolventes, son los cerramientos laterales, mas conocidos como “paredes”. Este tipo de envolvente se divide en dos categorías: Interior-Interior y Exterior-Interior. Los cerramientos laterales Interior-Interior, son todos aquellos elementos que dividen los espacios internos de la edificación. Mientras que los cerramientos laterales Exterior-Interior, tienen contacto con ambos ambientes por lo cual su diseño es de principal cuidado. Sobre ellos recae gran parte del confort tanto higrotermico, como lumínico y acústico en el espacio interior. Para el diseño de este tipo de envolventes se debe tener en cuenta tanto las necesidades del espacio interior, como las condiciones de su exterior, para lograr un balance que satisfaga a sus usuarios. En Costa Rica este tipo de cerramiento se construye principalmente de bloques de concreto, aunque los hay de madera, ladrillo, bambú, laminas cementicias, gypsum y vidrio.

El cuarto (4) componente son los elementos de comunicación. Estos componentes son las aperturas (puertas y ventanas). Son el elemento mas frágil de la envolvente, ya que se abren y se cierran al exterior según sea necesario, por lo cual su mala utilización, puede desequilibrar el ambiente interior y por lo tanto al confort de los usuarios. Usualmente estos elementos están hechos de materiales como vidrio, metal y madera, siendo este ultimo el predilecto para la realización de puertas, gracias a sus propiedades aislantes.

## 2.2.4 Clasificación

### Clasificación

Las envolventes se pueden clasificar de varias maneras: por su formas, materialidad, movilidad y función.

**A nivel de movilidad** hay dos tipos de envolventes: Las envolventes estáticas y las envolventes dinámicas. Las envolventes estáticas son todas aquellas envolventes las cuales están fijas a estructura soportante y no se pueden mover. Este tipo de envolvente ha sido y es el mas utilizado a nivel mundial.

Las envolventes dinámicas son todas aquellas envolventes las cuales están diseñadas para abrirse o cerrarse dependiendo de las necesidades del usuario en el espacio. Usualmente este tipo de envolvente es considerablemente mas liviana que el resto de las envolventes para que sean de fácil manipulación para el ser humano. En si el componente lateral de la envolvente se transforma totalmente en un componente de comunicación.

A su vez, las envolventes dinámicas se dividen en 2 categorías: manual y automática. Las manuales, son todas aquellas que necesitan de la fuerza humana para moverse. Por su parte las automáticas, son todas aquellas envolventes que responden a estímulos recibidos mediante sensores, los cuales envían una señal al cerramiento para que estos se abran o se cierren mediante sistemas mecánicos.

**A nivel de forma** se pueden clasificar en: geométrica , libre, topológica, analógica, orgánica y anamorfismo.

Las envolventes geométricas son aquellas envolventes en las que se utilizan formas simples solas o en composición, utilizando elementos como prismas y cilindros. Este tipo de arquitectura fue muy empleado en el Estilo Internacional. Aun con su simpleza se pueden realizar composiciones tal como la Catedral de Brasilia de Osca Niemeyer.

Las envolventes libres, son aquellas envolventes en los que la forma no hace referencia a ningún referente inmediato. Sus formas o figuras no corresponden a ninguna figura geométrica. Como ejemplo podemos nombrar el proyecto “Serpentine Gallery Pavilion” de SANAA.

Las envolventes topológicas, son aquellas en las que su forma se inspira en el sitio sobre el cual se ubican, extrayendo características de el adaptándolas a la forma del sitio. Un proyecto que ejemplifica esta tipología es la Ciudad de la Cultura de Galicia realizada por Eisenman Arquitectos.

Las envolventes analógicas son aquellas que hacen referencia a un objeto fuera de la arquitectura a nivel metafórico. Como ejemplo podemos citar la terminal TWA del aeropuerto JFK en New York, diseñada por Eero Saarinen (1962), la cual es una abstracción de un águila aterrizando.

Las envolventes orgánicas son aquellas en las que se promueve la armonía entre la edificación y su hábitat (Casa de la Cascada, Frank Lloyd Wright). También entran en esta categoría todas aquellas con formas que asemejan estructuras orgánicas de la naturaleza (Yellow Tree House Restaurant ,Pacific Enviroments Architects).

Por su parte las envolventes Anamórficas son aquellas en las que su proceso consiste en la deformación de una figura conocida en busca de una nueva. Un ejemplo de esto es el Museo Guggenheim de Bilbao por Frank O. Gehry.

**Por su materialidad y sistema de construcción** las envolventes se pueden clasificar en livianas y pesadas. Las envolventes livianas son aquellas compuestas por estructuras en madera o metal, recubiertas con paneles de distintos materiales. Usualmente recubiertas por laminas cementicias, gypsum u otros paneles ya sea de madera o metal. En esta categoría se encasillan la mayor parte de elementos de cubierta de las envolventes además de los componentes laterales. Las envolventes más modernas hacen uso de este sistema.

Por su parte las envolventes de bloques, son todas aquellas envolventes compuestas por elementos de gran masa como lo son los bloques de concreto y ladrillos unidos entre si y también por los elementos chorreados en concreto. Este el sistema más utilizado en Costa Rica.

**Las envolventes se pueden clasificar además por la función que cumplen.** Receptoras y Repelentes. Las Repelentes son todas aquellas envolventes que bloquean toda influencia del exterior, aislando el interior en su totalidad. Por su parte las envolventes Receptoras, reciben materia del exterior y lo transforman y utilizan a favor de la edificación. La gran mayoría de envolventes bioclimáticas se ubican en esta categoría ya sea de manera pasiva o activa. En esta clasificación entran todas aquellas envolventes de alimentación solar y eólica.



Imagen 13 - Catedral Brasilia - Oscar Niemeyer



Imagen 14 - "Serpentine Gallery Pavillion" - SANAA



Imagen 15 - Ciudad de la Cultura, Eisenman Architects



Imagen 16 - Termina TWA, JFK. Eero Saarinen

## 2.2.5 Estrategias Pasivas (Climas Cálidos)

### Estrategias Pasivas para condiciones de clima cálido:

En los climas cálidos, a diferencia de los climas fríos, el diseño se vuelve más complejo debido a que no existen fuentes naturales de refrigeración como alternativa al sol (fuente de calor natural). Por lo cual a diferencia de las estrategias pasivas para climas fríos, y ante la ausencia de una fuente de energía frigorífica (enfriamiento), lo que se busca es evitar el sobrecalentamiento del espacio interno.

Según Javier Neila, para que no se de este efecto se pueden aplicar medidas preventivas como:

#### A) Para aperturas acristaladas:

- Orientación de la apertura
- Sombreamiento de la apertura
- Selección de vidrios

#### B) Para la cubierta:

- Ventilación
- Auto ventilación
- Recubrimiento vegetal

#### C) Para las paredes

- Color
- Sombreamiento
- Ventilación

#### D) Espacio Interno

- Ventilación

A su vez nos dice que, la única estrategia natural para la eliminación del sobrecalentamiento, es la ventilación.

### A- Aperturas

En Costa Rica debido a nuestra posición geográfica en el hemisferio Norte, la **orientación** ideal de las aperturas para evitar el ingreso de radiación directa, es el Norte. Ya que es esta fachada la que recibe menos radiación directa a lo largo del año. Por su parte las fachadas Este y Oeste son las más expuestas, por lo cual para evitar el sobrecalentamiento lo ideal es protegerlas en su totalidad. A su vez la fachada sur, recibe radiación directa 9 meses al año por lo que, sus aberturas deben protegerse, pero con el debido diseño, es posible su utilización.

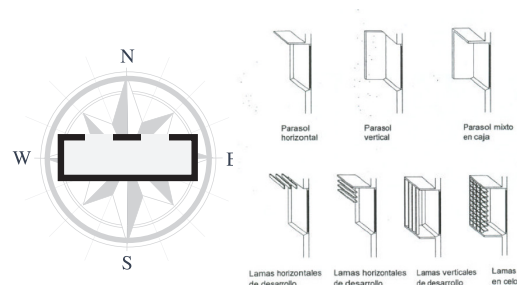


Imagen 17- Orientación + Tipos de Parasol

Debido a la estructura de nuestras ciudades, donde la gran mayoría de lotes y viviendas poseen un solo frente, lograr una orientación con aperturas hacia el norte se hace muy complejo. Para todos estos casos se acude al **sombreamiento de la apertura**. Para ello debemos conocer el movimiento del sol por el país a lo largo del año. (Incidencia Solar, Capítulo 2), y con ello diseñar los elementos necesarios de protección (aleros, parasoles, etc). (Neila Gonzales, 2004, pag293)

En cuanto a la **selección de vidrios** en el mercado se pueden encontrar 3 grandes grupos: Los acristalamientos sin aislante (una panel de vidrio sencillo), los acristalamientos dobles que son aislantes a la conducción (dos capas de vidrio separadas por una cámara de aire) y los acristalamientos aislantes a la radiación, que pueden combinarse con un vidrio doble.

Ademas hay diferentes tipos de vidrios: el vidrio incoloro, el coloreado (absorbe la radiación infrarroja )y el reflectante. Cada uno con diferente Factor Solar.

“El factor solar es la relación entre la energía total que penetra a través del cristal y la energía solar incidente”. Javier Neila

**Tabla 5.1**  
El factor solar en vidrios de 6 mm

TIPO DE VIDRIO	FACTOR SOLAR
Luna incolora de 6 mm	0.85
Luna coloreada en gris	0.60
Luna coloreada en bronce	0.59
Luna coloreada en verde	0.57
Luna coloreada en rosa	0.78
Luna incolora reflectante en plata	0.17
Luna incolora reflectante en cromo	0.17
Luna incolora reflectante en oro	0.16
Luna incolora reflectante en ocre	0.22
Luna incolora reflectante en azul	0.37
Luna coloreada en bronce reflectante en bronce	0.20
Luna coloreada en gris reflectante en gris	0.20
Luna coloreada en verde reflectante en verde	0.19
Luna coloreada en ámbar reflectante en ámbar	0.19
Vidrio aislante 6+6+6 de lunas incoloras	0.72
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna coloreada en bronce	0.48
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna coloreada en verde	0.47
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna coloreada en rosa	0.72
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna incolora reflectante en plata	0.13
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna incolora reflectante en oro	0.11
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna incolora reflectante en azul	0.31
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna coloreada en bronce reflectante en bronce	0.12
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna coloreada en gris reflectante en gris	0.12
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna coloreada en verde reflectante en verde	0.12
Vidrio aislante 6+6+6 con una luna coloreada en rosa reflectante en rosa	0.13

Tabla 12 Factor Solar en Vidrios (Neila Gonzales, 2004, pag290)

## B -Cubiertas

Las cubiertas son el componente de la envolvente que mas reciben radiación solar a lo largo del día. Por lo cual es necesario que su diseño sea adecuado a las condiciones en donde se encuentre. Lo ideal es que el **color** del acabado de este componente sea lo más claro posible para que refleje y no absorba tanta radiación, pero esto no es lo normal. Los colores muy claros poseen coeficientes de absorción muy bajos, entre 0.10 y 0,20 (10% y 20% de absorción) mientras que los colores oscuros absorben hasta el 95% de la radiación que incide sobre ellos.

Una estrategia para climas cálidos son las **cubiertas ventiladas** las cuales consisten en crear una doble cubierta, donde el espacio en medio de ellas se encuentre ampliamente ventilado. Siendo así la cubierta inferior, una cubierta totalmente sombreada.

Otra posibilidad son las **cubiertas auto ventiladas** las cuales son cubiertas permeables que dejan que el aire las atraviese. Pero este tipo de cubiertas no es recomendable para zonas donde llueve mucho como nuestro país.

Las **cubiertas vegetales o ajardinadas** son cubiertas muy eficientes energéticamente hablando. Se componen de sustratos y una capa vegetal que actúan como aislamiento térmico y absorbente acústico, a demás de que proporcionan beneficios al ambiente como: retención de contaminantes, filtración de partículas, aumento de la superficie verde de las ciudades, etc. (Neila Gonzales, 2004, pag294)

## C -Paredes

Al igual que con las cubiertas, el uso del **color** es una estrategia, sencilla, pero a la vez muy eficaz a la hora de reducir la absorción de radiación en los edificios.

Otra estrategia, es el uso de **fachadas ventiladas**, cuyo funcionamiento es muy similar a las cubiertas ventiladas. en las cuales se coloca un panel exterior y uno interior, permitiendo el paso de aire en medio de los paneles. Además como complemento se le puede adherir algún tipo de aislante adosado al panel interior. Se puede usar: fibra de vidrio, lana de roca, espumas de poliuretano, poliestireno expandido, etc.

Otra estrategia es la **masa térmica** de los cerramientos. Entre más grueso sea el cerramiento, más tarda la onda térmica en atravesarlo. Por lo cual entre más grueso el cerramiento, más estable es la temperatura en su interior.

Dada la configuración de nuestras ciudades acá en CR, se creó una estrategia de aislamiento térmico de manera involuntaria, la cual es la construcción de viviendas aglomeradas, una colindando directamente con la otra. Esta es una estrategia utilizada principalmente en zonas desérticas, pero bastante eficiente en ambientes cálidos. Esto elimina la incidencia solar en las fachadas colindantes. Simplificando el diseño a unicamente 2 fachadas. (Neila Gonzales, 2004, pag300)

Imagen 18- Efectos del viento - Presiones y Depresiones

## D -Ventilación

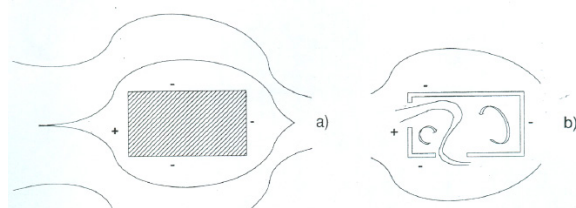
La medida natural mas eficiente para la eliminación del sobrecalentamiento es el uso de la ventilación. De manera sencilla esto consiste en sustituir el aire interior sobrecalentado, por el aire exterior.

Existen 3 tipos de ventilación: La ventilación natural pura, la ventilación forzada natural, y la ventilación inducida.

La ventilación natural pura se produce cuando hay diferencia de presión entre el interior y el exterior y subdivide en ventilación directa y ventilación cruzada.

La **ventilación directa** funciona de la siguiente manera: El viento al chocar con el edificio genera ciertas diferencias de presiones en cada una de sus fachadas. La fachada abatida de manera directa por el viento, obtendrá una presión positiva o sobre-presión, mientras que las fachadas laterales y su fachada opuesta obtendrán una presión negativa o depresión por lo cual, de haber una apertura en la fachada abatida por el viento, la entrada de este será por ahí, y su salida será por las aperturas en las fachadas con depresiones, mejorando así la ventilación del espacio interior.

La **ventilación cruzada** es ideal para mantener un flujo constante de viento. Este tipo de ventilación consiste en ubicar aperturas situadas en fachadas distintas, no necesariamente opuestas. Esto lo que genera son diferencias de presión en las aberturas por lo que se genera un flujo natural de ventilación.



No obstante entre mayor sea la diferencia de presiones entre las aperturas, mejor el flujo de ventilación. Para esto es importante saber que la mayor diferencia de presiones en las fachadas se obtiene entre la fachada directamente abatida por el viento, y su fachada opuesta.

Otra manera de incrementar el efecto de la ventilación cruzada es ubicar las **aperturas a diferente altura**. Siendo la cubierta, la locación ideal para ubicar la salida del aire, ya que sobre ella se genera una alta depresión por lo cual, el aire tiende a salir de manera natural.

Es importante mencionar que la **ubicación de las aperturas** según la distribución se vuelve de gran importancia. Ya que debemos asegurarnos que el flujo del viento recorra todos los espacios servidos por dichas aperturas. Por lo que a pesar de que mantener la dirección natural del viento, hace que este no disminuya la velocidad, es más importante cubrir en su totalidad los espacios, por lo que un leve cambio de dirección puede ayudarnos a lograr ese cometido, creando así pequeñas turbulencias que ayudan a mover más cantidad de aire.

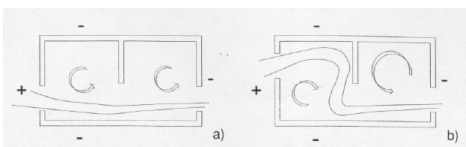


Imagen 19- Efectos del viento en el interior de las edificaciones.

Otro factor que afecta la velocidad del viento es el **tamaño de las aperturas**. Si la apertura de salida es de menor tamaño que la apertura de entrada, este disminuirá su velocidad. Por el contrario si la apertura de entrada es más pequeña que la de la salida, esto acelerará el viento, lo cual es un objetivo principal para climas calurosos. Esto se conoce como efecto Venturi. Como dato importante, entre mayor sea la diferencia entre las aperturas, mayor será el incremento de velocidad. (Neila Gonzales, 2004, pag306)

#### E- Ventilación natural Forzada

En algunos casos, la ventilación natural por sí sola, no es suficiente, principalmente debido a su poca velocidad, dirección o elementos del contexto, ya sean naturales o urbanos, que nos bloquean.

Para estos casos, los cuales son bastante usuales, se suele utilizar **refuerzos** los cuales pueden ser mecánicos como: ventiladores, extractores, e impulsores, que actúan cuando la ventilación natural no cumple su objetivo.

Aparte de estos refuerzos mecánicos, también se puede lograr la aceleración mediante estrategias basadas en el calentamiento del aire, o mediante elementos que aceleren su extracción.

(Neila Gonzales, 2004, pag314)

## F- Recalentamiento del aire

Como ya sabemos el aire al calentarse se eleva, y si colocamos un escape para este en la parte superior de la edificación, al salir el aire, se genera una depresión, la cual succiona el aire del interior acelerando su velocidad.

Por lo cual, una estrategia de aceleración consiste en recalentar el aire en su punto de escape, ya que entre mas caliente este el aire, mas rápida sera la corriente de succión que esta genera.

Es importante tener en cuenta que estos puntos deben estar protegidos de alguna manera a la exposición directa a la radiación. ya que si esta ingresa el ejercicio seria contraproducente.

Una estrategia que utiliza este principio de recalentamiento son las chimeneas solares; las cuales sirven como método natural de extracción de aire. ( Neila Gonzales, 2004, pag306)

## G- Extracción por Succión

Una manera de acelerar la extracción del aire es mediante la succión que provoca el viento al alta velocidad. Este efecto se utiliza principalmente en chimeneas. En donde se coloca la salida en dirección opuesta a los vientos predominantes, para que estos generen este efecto de succión. Para que la salida se encuentre siempre al lado opuesto de la dirección del viento, se le puede colocar una veleta. O se puede utilizar aireadores dinámicos o aspiradores eólicos los cuales generan una corriente de succión muy eficiente.

## H- Ventilación inducida

La ventilación inducida consiste en forzar la entrada de aire al interior de la edificación. Esta estrategia no es tan común debido a su complejidad, pero se logra con la utilización de un elemento que cumpla la función de “boca“ la cual sea amplia y con suficiente altura la cual dirija el viento hacia nuestro interior.

Otra posibilidad es la utilización de chimeneas, esta vez con su boquilla en dirección a los vientos predominantes, las cuales introducen el aire, el cual se redirige a zonas húmedas y frías, como los sótanos, para que ligeramente se enfríe y pueda ser utilizado para la ventilación de os espacios interiores. (Neila Gonzales, 2004, pag318)

## I -Consideraciones de interés

A la hora de trabajar la ventilación en proyectos ubicados en climas cálidos es importante conocer que cada vez que aumentamos la velocidad del aire 0,2 m/s se reduce la sensación de calor aproximadamente 1 C. Es por esto que es importante la utilización de una **ventilación cruzada** en donde el flujo de aire se pueda mantener de manera constante en circulación.

Dado que el aire caliente al ser mas liviano que el aire frío, este tiende a subir, por lo cual la ventilación debe manejarse en las áreas altas de las habitaciones. Si la temperatura del aire es mayor a la temperatura de la piel, se debe manejar la entrada y la salida del aire ubicadas ambas en la parte superior. Si por el contrario el aire es fresco, se puede localizar la entrada en un nivel inferior, siempre dejando la salida en la parte superior. (Neila Gonzales, 2004, pag319)



## J- Estrategias para la reducción de la humedad

Como se vio en el marco teórico, el ser humano permanece en estado de confort entre 30% y 70% de humedad; por lo cual cualquier espacio fuera de este rango se encuentra sobre-humedecido. Cabe mencionar que un cambio de humedad del 30% al 80% puede aumentar la sensación de calor hasta 4 C.

Una estrategia para reducir la humedad sin utilización de deshumidificadores y enfriadores es el uso de sales absorbentes. Estas sales absorben la humedad del aire transformándose de un estado sólido a un estado de plasma (gel). Este cambio es reversible cuando se calientan. (Neila Gonzales, 2004, pag304)

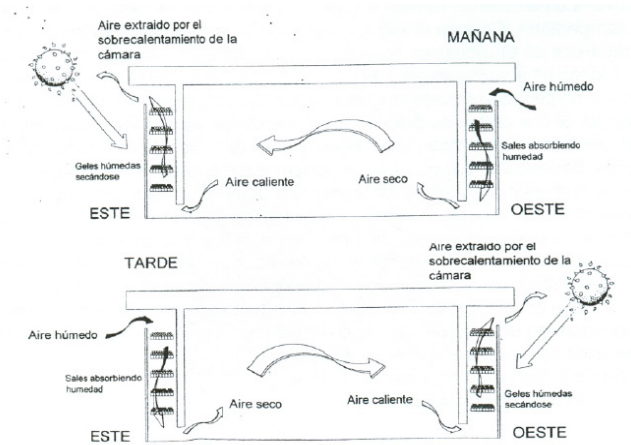


Imagen 20- Sistema de deshumedecimiento del aire

## K- Estrategias para la reducción de calor ocasionado por radiación

Como todos los cuerpos irradian energía, se genera un constante intercambio de energía entre los cuerpos a nuestro alrededor. Este intercambio posee dirección en donde el cuerpo de menor temperatura se convertirá en el receptor de calor y el cuerpo de mayor temperatura será el emisor.

Para protegernos de la radiación solar en el exterior, se suele recurrir al **sombreamiento** de los cuerpos. A pesar de esto siempre existe un intercambio de radiación entre el interior y exterior de los espacios. Para reducir la velocidad de este intercambio se debe utilizar el aumento de la **masa térmica** en los cerramientos y el uso de **colores claros** que no absorban mucha radiación. Como se observó anteriormente.

Para reforzar estas estrategias se debe trabajar el alrededor del espacio, sombreándolo utilizando vegetación, o elementos como toldos o pergolas.

Existen estrategias pasivas que se pueden utilizar para enfriar el aire que ingresa al interior de los edificios. Javier Neila, en su libro *Arquitectura Bioclimática*, nos presenta algunas de ellas, es importante mencionar que estas estrategias aplican para climas de alta temperatura pero baja humedad:

### **L- Enfriamiento evaporativo**

Esta estrategia consiste en colocar masas de agua (fuentes, piscinas, lagos, etc) en el exterior de la edificación, principalmente en dirección a los vientos predominantes, para que estos al pasar utilicen parte de su energía para evaporar el agua. Esta pérdida de energía puede significar un cambio en su temperatura de hasta 2.2 C, por lo cual a la hora de ingresar al edificio, el aire será más fresco.

Se recomienda su utilización únicamente para locaciones con porcentajes de humedad relativa menores al 30%, debido al aumento de humedad que esta representa. Para facilitar el efecto de evaporación la masa de agua debe estar en movimiento. (Neila Gonzales, 2004, pag320)

### **M-Micro climas**

Los edificios están directamente influenciados por el micro clima que se genera a su alrededor; por lo que es muy diferente estar en una edificación en el centro de una ciudad, como estarlo en una zona rural.

Esto se debe a la influencia de los elementos alrededor sobre el aire, y sobre el propio edificio. La vegetación por ejemplo, ayuda al sombreamiento por lo cual ayuda a reducir la radiación directa sobre el terreno, teniendo como resultado una reducción de la temperatura del suelo y del aire.

A su vez, rodear nuestro edificio de vegetación también ayuda a evaporar agua a través de las hojas, generando un poco de efecto evaporativo y además ayuda a aportar agua al suelo por medio de sus raíces, lo cual colabora en su enfriamiento.

### **N-Enfriamiento Sensible**

Se conoce como enfriamiento sensible, al enfriamiento que realmente reduce la cantidad de energía de un ambiente. Esto se logra, enviando esa energía a un sumidero de calor, de gran masa, como lo son: la bóveda celeste (enfriamiento radiante), el terreno (enfriamiento conductivo) y el aire (enfriamiento convectivo).

Dada la ubicación de las zonas en estudio y sus características, el **enfriamiento radiante**, el cual consiste en enviar la energía mediante radiación hacia la bóveda celeste por las noches, no se puede poner en práctica, ya que este necesita ambientes, secos, nitidez atmosférica y ausencia de nubosidad y contaminación.

Por su parte el **enfriamiento conductivo** consiste en el contacto del edificio con el terreno. El terreno, se ve afectado por los cambios en el ambiente en sus capas más superficiales, por lo que entre más profundo nos introduzcamos, más constante y más fría es la temperatura a lo largo del año.

Es por esto que semienterrar el edificio o enterrarlo en su totalidad, ayuda altamente a contrarrestar las fluctuaciones ambientales día a día y a lo largo del año. "...se podría decir que un edificio enterrado es el edificio bioclimático por excelencia. " Javier Neila"

(Neila Gonzales, 2004, pag325)

Dado que enterrar el edificio usualmente no es factible, se pueden utilizar otras estrategias de enfriamiento conductivo como lo son: la utilización de conductos de aire enterrados y la transferencia térmica por medio de superficies frías, la cual consiste en aprovechar la temperatura de la tierra, aislándola de las fluctuaciones ambientales. esto se logra, protegiendo los bordes de la losa de la edificación con bandas verticales; entre mas profundas mejor. Esto mantendrá frío el piso de la edificación, ayudando así a la reducción de calor.

Por último tenemos el **enfriamiento convectivo**. Este sistema de enfriamiento consiste en utilizar el aire enfriado de manera natural y usarlo para enfriar la edificación. Uno de los únicos momentos en los que el aire es mas fresco en las zonas con climas calurosos, es durante la noche, por lo cual, el uso de ventilación nocturna para enfriar las paredes, las cuales con gran masa térmica lo pueden conservar durante el día. Para su adecuado funcionamiento se debe bloquear la ventilación durante el día.

## 2.2.6 Materialidad (Características)

### Materialidad

A la hora de establecer el confort como objetivo en cualquier proyecto, se deben seleccionar adecuadamente los materiales a utilizar, ya que estos contienen propiedades térmicas que pueden afectar la edificación para bien, o para mal.

La propiedad de los materiales que más influye en este tema es la conductividad.

### Conductividad

La conductividad térmica es una propiedad de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor de los mismos. En la siguiente tabla se muestra, la conductividad de ciertos materiales, utilizados en construcción.

Es importante resaltar que entre menor sea la conductividad, mayor son las propiedades aislantes del material.

MATERIAL	DENSIDAD	CONDUCTIVIDAD
bitumen asfáltico	1000	0,170
Fieltro saturado con asfalto	1100	0,180
Tejas cerámicas	1650	0,650
Baldosas cerámicas	1750	0,700
Vidrio	2700	0,700
Hierro	7870	62
Acero	7780	45
Fundición	7500	48
Aluminio	2700	200
Aire	3	0,022
Agua	1000	0,58

Densidad (kg/m<sup>3</sup>) - Conductividad (kcal m/m<sup>2</sup> H C)

Tabla 13.1 Conductividad de los materiales), Norma Argentina IRAM 11601

MATERIAL	DENSIDAD	CONDUCTIVIDAD
lana mineral/ vidrio suelta	80/140	0,035
	150/200	0,040
lana mineral/ vidrio planchas semirígidas/rígidas	45/80	0,040
	80/200	0,045
Poliestireno expandido	15/20	0,030
Espuma de uretano/poliuretano	25/40	0,025
Perlita suelta	30/130	0,046
Mortero de perlita	400	0,080
	600	0,120
Espuma de vidrio	100	0,040
Paneles de corcho expandido/aglomerado	100/150	0,037
	150/200	0,041
Paneles de corcho comprimido	500	0,085
Maderas tipo aglomerado	200	0,055
	300	0,060
	400	0,074
Amianto	400	0,067
vermiculita suelta	150	0,070
vermiculita expandida	100	0,060
Minerales en forma granular	200	0,130
	400	0,150
Mampostería ladrillos comunes/macios	1600	0,700
	1800	0,780
	2000	0,900
Mampostería ladrillos silico calcáreos	1800	0,850
Mampostería ladrillos huecos	1000	0,400
	1200	0,450
	1400	0,520

Tabla 13.2 Conductividad de los materiales), Norma Argentina IRAM 11601

MATERIAL	DENSIDAD	CONDUCTIVIDAD
Mampostería bloques de hormigón 2c	1000	0,380
	1200	0,420
	1400	0,480
Mampostería bloques de hormigón 3c	1400	0,420
	1600	0,480
Bloques o placas de hormigón liviano	600	0,300
	800	0,350
	1000	0,480
	1200	0,600
Hormigón	2200	1,200
Hormigón de cascote	1600	0,650
	1800	0,800
Bloques cerámicos	730	0,320
Mortero de cal y cemento	1900	0,600
Mortero de cemento	2100	1,200
Mortero de yeso	1000	0,650
Mortero para revoques	1800/2000	1
Mortero de vermiculita	300	0,120
	450	0,160
	650	0,220
Placas de yeso	600	0,250
	700	0,280
	900	0,350
	1000	0,400
	1200	0,500
Madera	350/400	0,100
	450/600	0,130
	600/750	0,200
	800/1000	0,250

Tabla 13.3 Conductividad de los materiales , Norma Argentina IRAM 11601

### Transmitancia térmica en las envolventes

Para saber la transmitancia térmica total de la envolvente, se debe calcular todos componentes de la misma, para así obtener su comportamiento como un todo.

Para esto se debe descomponer cada uno de los componentes de la envolvente (cubiertas, paredes, pisos, aperturas), analizando su estructura y dimensionamiento, teniendo en cuenta todas las capas de material de las cuales se compone nuestra envolvente.

Este cometido se logra mediante la aplicación de las siguientes formulas:

$$\bar{U} = 1/R_t = (\sum U_i + A_i) / \sum A_i$$

y

$$R_t = 1/U = R_{si} + \sum(e/\lambda) + R_{se}$$

Donde:

e = espesor en milímetros del material

$\lambda$  = coeficiente de conductividad

$R_{se}$  y  $R_{si}$  = se obtienen de la Tabla 2 de la Norma Chilena 853

### Aislamiento térmico

Aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción.

La resistencia térmica es inversamente proporcional a la conductividad térmica, por lo cual se aplica

Se considera material aislante térmico cuando su coeficiente de conductividad térmica:  $\lambda$  es inferior a  $\lambda < 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  medido a  $20^\circ\text{C}$ .

## 2.3 Clima y Tiempo

**Tiempo** se puede definir como las condiciones climáticas de un lugar específico en un momento del tiempo específico.

Por su parte el **Clima** se puede definir como “ la suma de elementos atmosféricos, hidrosféricos, biosféricos, litosféricos y otros de carácter astronómico, extraterrestre, que caracterizan una región del planeta durante un intervalo de tiempo suficientemente significativo. Por lo tanto, precipitaciones, humedad relativa, dinámica de corrientes, temperatura de las masas de agua, altitud, caracterización vegetal, producción orgánica, incidencia de radiaciones solares, etc. serán elementos caracterizadores, con un elevado grado de interactividad y dependencia entre los mismos. Asimismo la variabilidad de los parámetros que distinguen esos elementos es inherente al propio concepto de clima como ente dinámico.” (Flores, 2010)

El clima en cualquier parte del mundo depende seis factores: la latitud, la altitud, continentalidad, las corrientes marinas, la configuración orográfica y la naturaleza de la superficie de la tierra. (Herrera, 1985)

### **Clima de Costa Rica**

Costa Rica se encuentra en las coordenadas  $10^{\circ}$  y  $11^{\circ}15'$  Latitud Norte y Longitud Oeste entre  $82^{\circ}30'$  y  $86^{\circ}00'$  (ITCR, 2000), en la parte Sur de Centroamérica dentro de la franja tropical del hemisferio Norte, en la zona conocida como Neo-tropical.

Debido a esto la duración de luz solar media a lo largo del año es de 12 horas y la diferencia máxima entre el día mas corto del año y el mas largo es de tan solo 70min lo cual lo hace muy estable.. A pesar de esto el promedio de brillo solar es de tan solo 6hrs debido a los cielos nublados (Herrera, 1985)

Dada a su posición en una zona tropical del planeta, se caracteriza por las altas temperaturas y lluvias durante gran parte del año. La variación anual más importante que se presenta es en el viento y se debe a la interacción de los diferentes sistemas de viento que afectan al país y la topografía; que cuenta con una cadena montañosa que atraviesan el país de noroeste a sureste con elevaciones de hasta 3 820 metros sobre el nivel medio del mar en el Cerro Chirripó (IMN, 2007).

Geográficamente, Costa Rica se encuentra entre 2 océanos (Pacífico y Atlántico), y su masa terrestre es muy angosta, 119km en la franja mas angosta y 464km la franja mas ancha, por lo cual su clima se ve afectado por ambos sectores (factor ístmico). A su vez posee un eje montañoso central que divide al país en dos vertientes: vertiente oriental y vertiente occidental. Por consecuencia de esto se presentan dos vientos predominantes: los alisios (norestes) en el Caribe y los suroestes en el Pacífico.



## 2.4 Sistema de zonas de vida de Holdridge

Cabe mencionar que el clima en Costa Rica a su vez se ve afectado por algunos sistemas atmosféricos como: frentes fríos, ondas tropicales, brisas marinas, brisas de tierra y la zona de convergencia intertropical (ZCI), lo cual genera cierta inestabilidad climática lo que dificulta su predicción.

A manera general, el clima en Costa Rica presenta dos estaciones muy marcadas a lo largo del año: Época seca y Época lluviosa. La época seca se caracteriza principalmente, por altas temperaturas, baja humedad y escasez o muy pocas precipitaciones. Por su parte la época lluviosa es totalmente lo contrario; en esta época llueve la mayor parte del tiempo, lo cual aumenta la humedad y disminuye la temperatura.

### Sistema de zonas de vida de Holdridge

Es un sistema de clasificación de las principales asociaciones vegetales del mundo, el cual relaciona los ecosistemas con las variables climáticas que los determinan como la biotemperatura, precipitación promedio anual y la evapotranspiración potencial (Holdridge 2000)

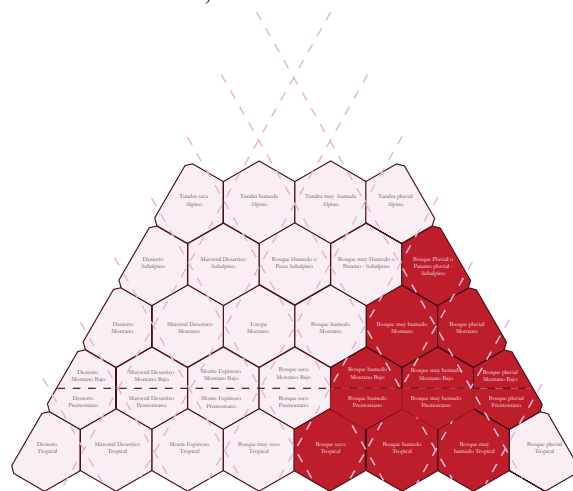
La biotemperatura se toma como una medida de calor en un rango donde es posible el crecimiento de las plantas, entre 0 y 30 °C, a partir de la cual se proponen siete pisos altitudinales (Premontano, Montano Bajo, Montano, Subalpino, Alpino y Nival).

Los pisos altitudinales corresponden a los rangos de elevación desde el nivel de mar que conforme aumentan en elevación muestran una disminución en la temperatura promedio anual, que igualmente se refleja en los valores de biotemperatura.

Este es el modelo biogeográfico de clasificación de vegetación a partir de datos climáticos mejor conocido, incluye 38 zonas de vida para el mundo.

Los ecosistemas boscosos de Costa Rica han sido clasificados bajo este sistema, en 12 zonas de vida y entre 6 y 12 zonas de transición dependiendo de la implementación del modelo, con base en factores ambientales como humedad, precipitación y temperatura; el resultado es la división del país en diferentes tipos de bosque. Según esta clasificación, los cinco principales bosques en términos de extensión en Costa Rica son: húmedo tropical con un 24% del territorio nacional, seguido por el muy húmedo tropical con un 22%; luego el muy húmedo pre montano con un 13,6%, el seco tropical con 10,3% y en quinto lugar el pluvial pre montano con 9,8%.

Imagen 21- Zonas de vida según Holdridge



## 2.5 Geometría Solar - Costa Rica

La Tierra gira alrededor de su propio eje, haciendo una rotación en 24 horas. El eje de este giro (línea que une los polos Norte y Sur) está inclinado con relación al plano de la órbita elíptica un ángulo de  $66,5^\circ$ , es decir una inclinación de  $23,5^\circ$  de la normal.

Si el eje de la Tierra fuese perpendicular al plano de la órbita, siempre sería las regiones ecuatoriales normales a la dirección de la radiación solar. Sin embargo, debido a la posición inclinada, el área que recibe la máxima intensidad se desplaza de norte a sur entre el trópico de cáncer (latitud  $23,5^\circ\text{N}$ ) y el trópico de Capricornio (latitud  $23,5^\circ\text{S}$ ). Esta es la causa principal de los cambios de estaciones.

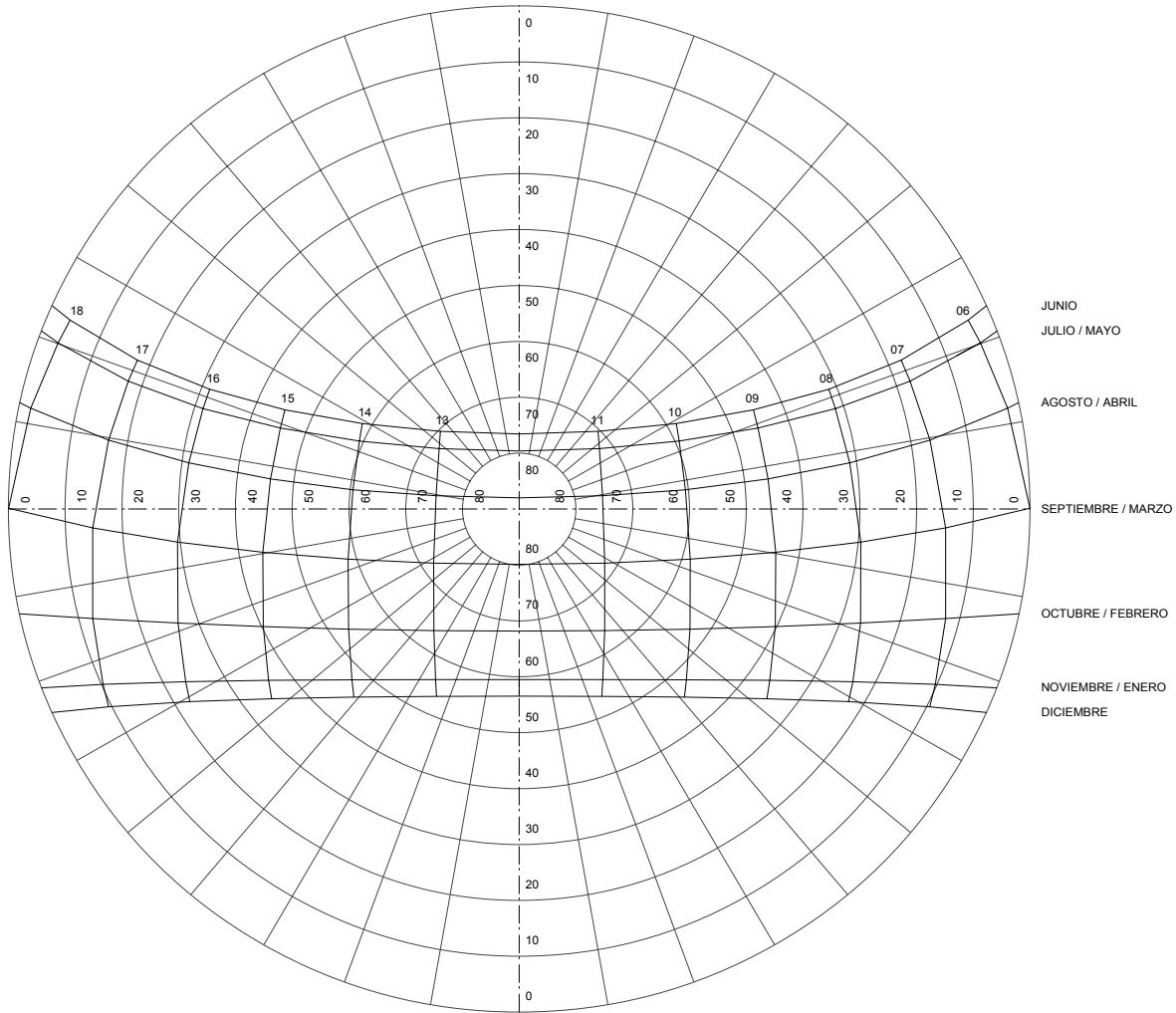
El 21 de junio las áreas que se extienden a lo largo de la latitud  $23,5^\circ\text{N}$  son normales a los rayos solares, la trayectoria aparente del sol pasa por el cenit en esta latitud y se experimenta el periodo más largo de luz diurna. Al mismo tiempo la latitud  $23,5^\circ\text{S}$  sufre el día más corto y una radiación mínima.

El 21 de marzo y el 23 de septiembre las áreas a lo largo del Ecuador son normales a los rayos solares y experimentan una trayectoria cenital del sol. En todas las áreas de la Tierra son estos los días equinociales (día y noche de igual extensión).

Por lo tanto el recorrido solar diario es una curva aparente en el domo del cielo, formada por las posiciones sucesivas del sol, desde el amanecer hasta el atardecer. Cada recorrido solar puede ser descrito geoméricamente, como la intersección del sol con el domo del cielo. Este recorrido se representa mediante la Carta Solar Estereográfica.

Para Costa Rica, dada su ubicación, se debe utilizar la carta Solar estereográfica Latitud 10, la cual se muestra en la figura 1.

Dado a la longitud geográfica de nuestro país, los cambios en el recorrido solar entre una zona y la otra son mínimos, por lo cual pueden ser despreciados.



**CARTA SOLAR ESTEREOGRAFICA** LATITUD 10° HEMISFERIO NORTE

Figura 1: Carta Solar Estereográfica

# 3

## Análisis Climático



## 3.1 Zonas en estudio

### Ubicación zonas en estudio

La escogencia de los sectores en estudio se baso en el sistema de zonas de vida de Holdridge.

De ellas se seleccionaron 3 zonas para la realización de este trabajo: Bosque Húmedo Pre-montano(San José),Bosque seco transición humedo (Liberia) Bosque muy húmedo pre montano (bmh-P) (Puerto Limón).

Se seleccionaron dichas regiones debido a sus características climáticas las cuales difieren entre sí. Además, es en dichas zonas donde habita la mayor cantidad de población de Costa Rica (aprox. 2.8 millones de habitanes), por lo cual los resultados obtenidos tendrán un mercado más alto para su utilización.

Puntualmente, el estudio se realizó en las Sedes de la Universidad de Costa Rica de cada una de las zonas: Campus universitario Rodrigo Facio(San José), Sede del Caribe(Limón) y Sede de Guanacaste (Liberia), con el objetivo de facilitar la obtención de datos en ellas.

Para cada zona se realizó un climograma de columnas para observar la relación directa entre temperatura, humedad, precipitación y radiación. Además se realizaron diagramas de dirección de viento, abacos psicrometricos para establecer la zona de confort y el Climograma de Bienestar Adaptado por zona, con el objetivo de entender el funcionamiento climático de cada una de las zonas en estudio.

Para la realización de dichos estudios se utilizaron datos climáticos porporcionados por el Instituto meteorológico Nacional ( IMN), entre los períodos 2004-2014.

Además se usaron herramientas como Autodesk Ecotect Analysis 2011, Meteonorm 5.1 y Hoja de Climograma de Bieneastar Adaptado (Excel) de Javier Neila, modificada por el Arquitecto Jose Alí Porras Salazar y Design Builder.

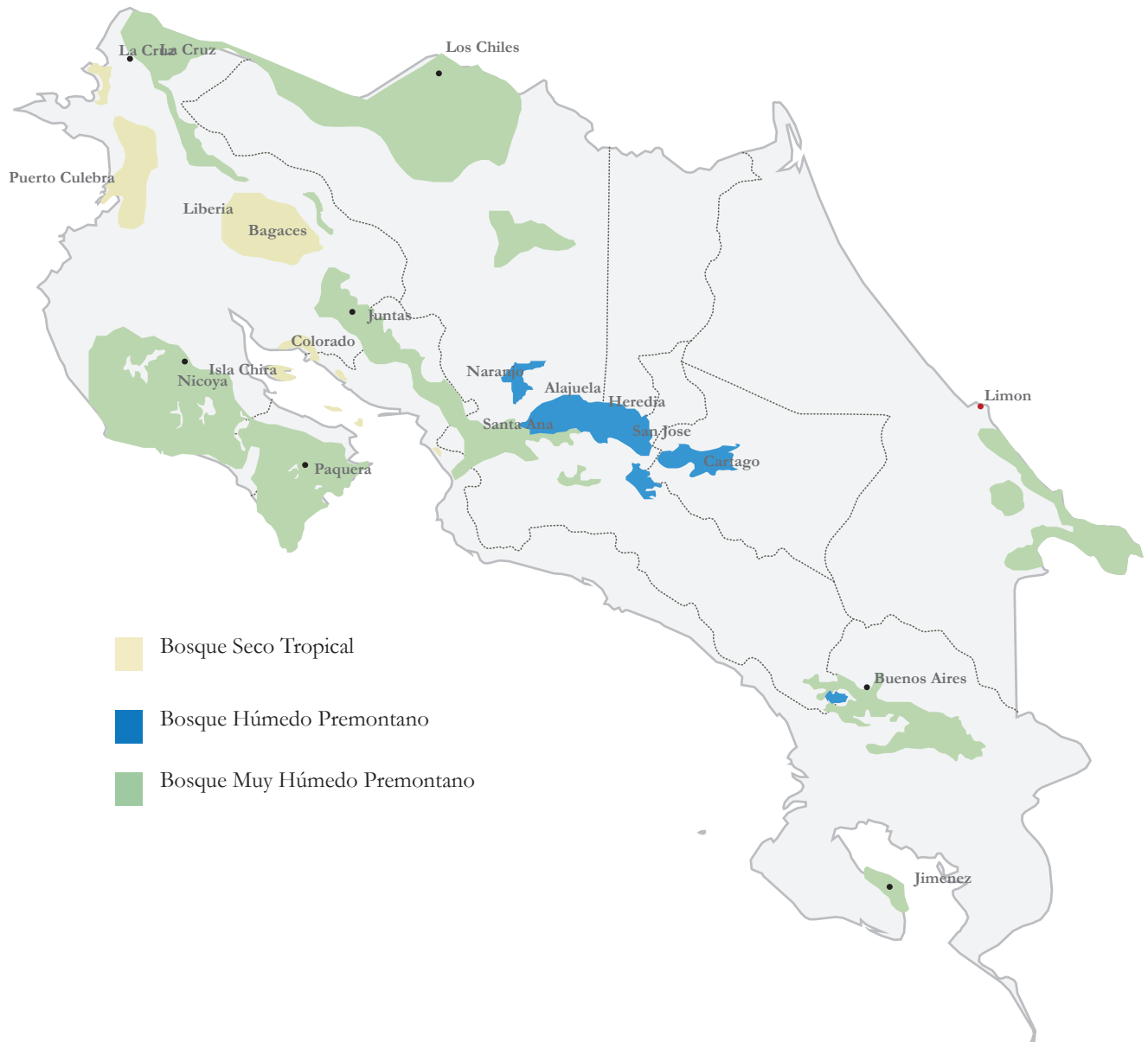


Imagen 22 - Mapa bosque seco Sistema de zonas de vida Holdridge

### 3.1.1 Liberia - Bosque Seco Tropical - transición humedo

#### 3.1.1.1 Localización



Imagen 23 - Mapa bosque seco Sistema de zonas de vida Holdridge Bosque Tropical Seco transición Humedo



## Descripción

### Liberia, Guanacaste

Liberia es la cabecera de la provincia de Guanacaste. Se ubica a 215 km al noreste de la ciudad de San Jose y a 75km al sur de la frontera con Nicaragua. Tiene una población de 25 000 habitantes, pero al ser una región de alto potencial turístico, tiene una gran cantidad de visitantes anualmente.

### Bosque Seco Tropical - Transición Húmedo

Según el mapa de zonas de vida de Holdridge, Liberia se encuentra en la zona bosque húmedo pre montano transición basal (2002), pero dadas las ultimas investigaciones, se proyecta que para el 2020 Liberia pertenezca a la zona Bosque Seco tropical transición húmedo, por lo cual esta investigación utiliza dicha clasificación (Jiménez, 2009)

Dicha transición se evidencia en las características climáticas mostradas en el climograma de columnas para la ciudad de liberia

El Bosque Seco Tropical transición húmedo se caracteriza por poseer una época seca extensa, teniendo un período seco consecutivo de hasta 6.5 meses. Dicha época seca se caracteriza por sus altas temperaturas, escasez de precipitaciones y por consiguiente baja humedad.

A pesar de esto, durante la época lluviosa, se genera un cambio considerable; la precipitación se vuelve abundante, alcanzando los 800 a 2100mm de precipitación media anual, lo cual mantiene los bosques húmedos durante dicha época, aumentando así el porcentaje de Humedad Relativa, alcanzando el 90% de HR en época lluviosa, en los meses de setiembre y octubre.

La Biotemperatura media anual para esta zona varía entre los 24 y los 24.5 grados centígrados. Siendo el promedio de la temperatura del aire entre los 24 y 27.8 grados

En proyecciones realizadas por Jiménez en el 2009, se proyecta para el año 2080, un aumento en las temperaturas y una disminución de las precipitaciones para esta zona, lo cual generaría un cambio de zona de vida a Bosque Tropical Seco.

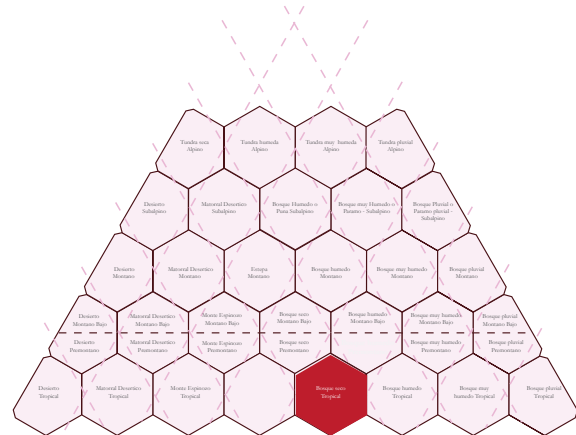


Imagen 24- Zonas de vida según Holdridge

# 3.1.1 Liberia - Bosque Seco Tropical - transición humedo

## 3.1.1.2 Resumen Climatológico Anual

### Climograma de columnas - Liberia

El climograma de columnas se realizó utilizando la tabla de datos climáticos de Instituto Meteorológico nacional (IMN) de la estación No 74020 ubicada en el Aeropuerto Daniel Oduber teniendo en cuenta datos del 2004 -2014. En el se pueden observar las mediciones mensuales mínimas, máximas y promediadas de temperatura, precipitación y humedad.

Específicamente a nivel térmico la temperatura en Liberia es relativamente cambiante, Posee un rango de oscilación térmico de 16.6 C con temperaturas que van desde los 19.3 C (Minina de enero) hasta los 35.9 C (maxima de abril). Las temperaturas mas altas, se presentan en la etapa critica de la época seca ( Febrero y Marzo ) , mientras las temperaturas mas bajas se presentan en la etapa critica de la época lluviosa ( Setiembre y Octubre )

Por su parte, los niveles de humedad se encuentran directamente relacionados con el incremento en la pluviosidad, siendo setiembre y octubre los meses con mas lluvia por lo tanto mas la humedad. En estos meses se presenta la mayor cantidad de lluvia alcanzando hasta 687.60 mm y una humedad máxima de 92%.

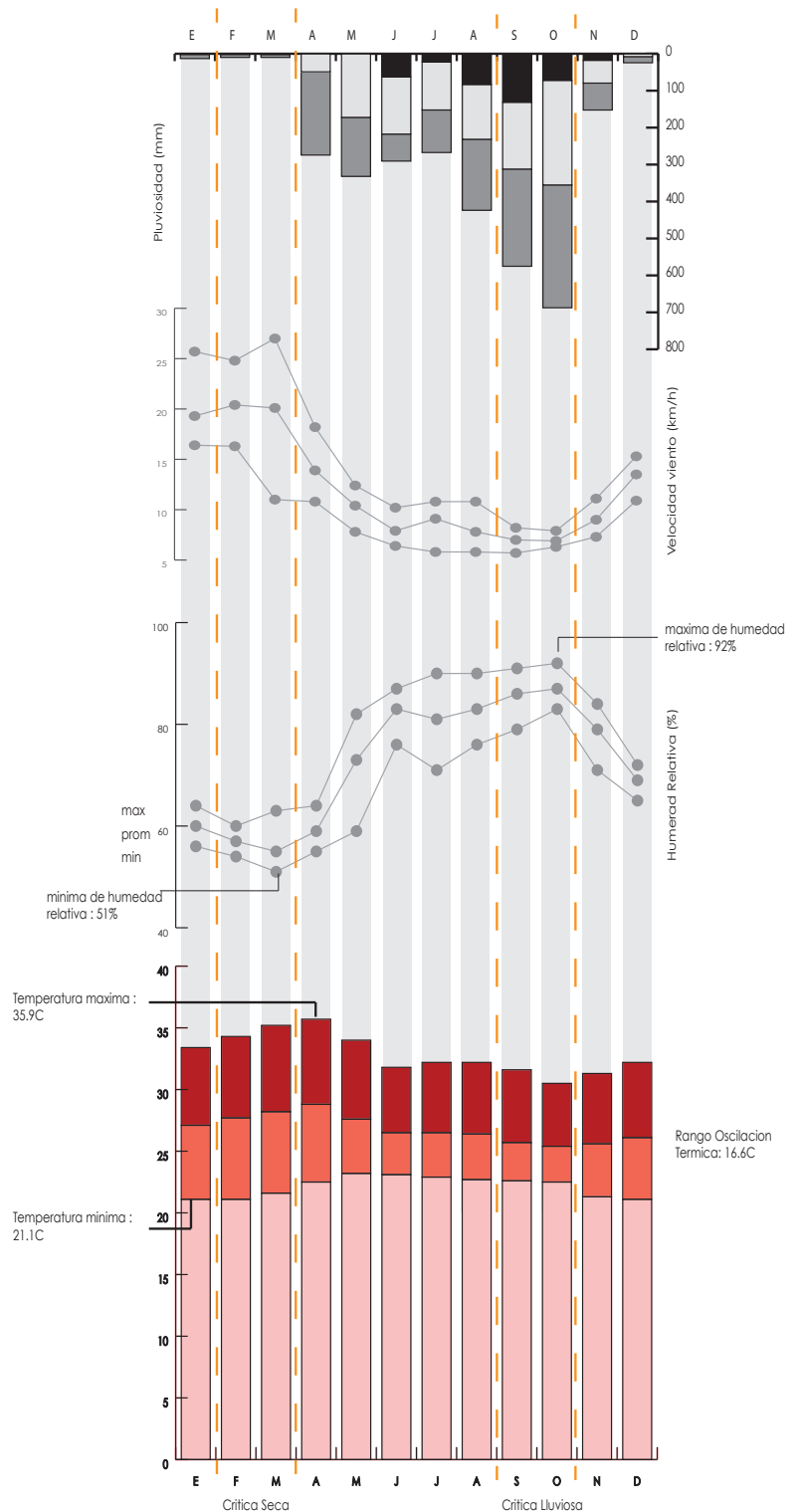


Figura 2: Climograma de Columnas - Liberia

## Viento

Los vientos predominantes a lo largo del año provienen del Este, con algunas ráfagas secundarias provenientes tanto del sureste como del noreste y en algunas ocasiones del Oeste. En cuanto a su velocidad el promedio anual ronda los 12.7 km/h, siendo 27km/h la mas alta.

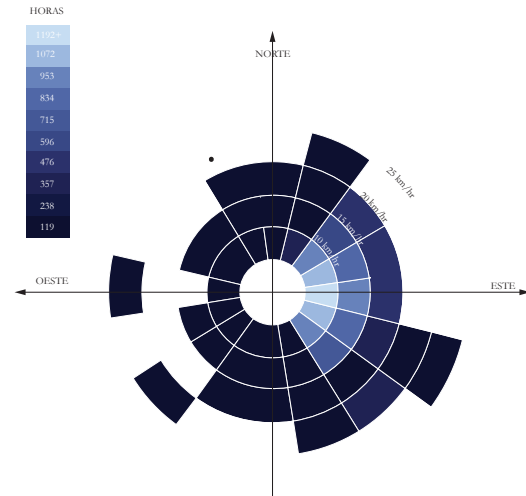


Figura 4: Diagrama de dirección de viento- Liberia

## Confort

Se utiliza un ábaco psicrométrico como herramienta para determinar la zona de confort para la ciudad de Liberia. En esta herramienta se muestran los valores mensuales de temperatura y humedad relativa en relación a la zona de confort.

El recuadro amarillo nos muestra la zona ideal de confort, el recuadro azul, su extensión utilizando ventilación y el recuadro rosa, su extensión utilizando masa térmica

Como podemos observar, con excepción de ciertos valores mínimos en el mes de enero, los valores se encuentran totalmente fuera de la zona de confort, pero mediante las extensiones de la zona de confort utilizando estrategias pasivas ( ventilación natural y masa térmica) Se puede alcanzar niveles óptimos para el confort interno de los espacios durante la mayor parte del año.

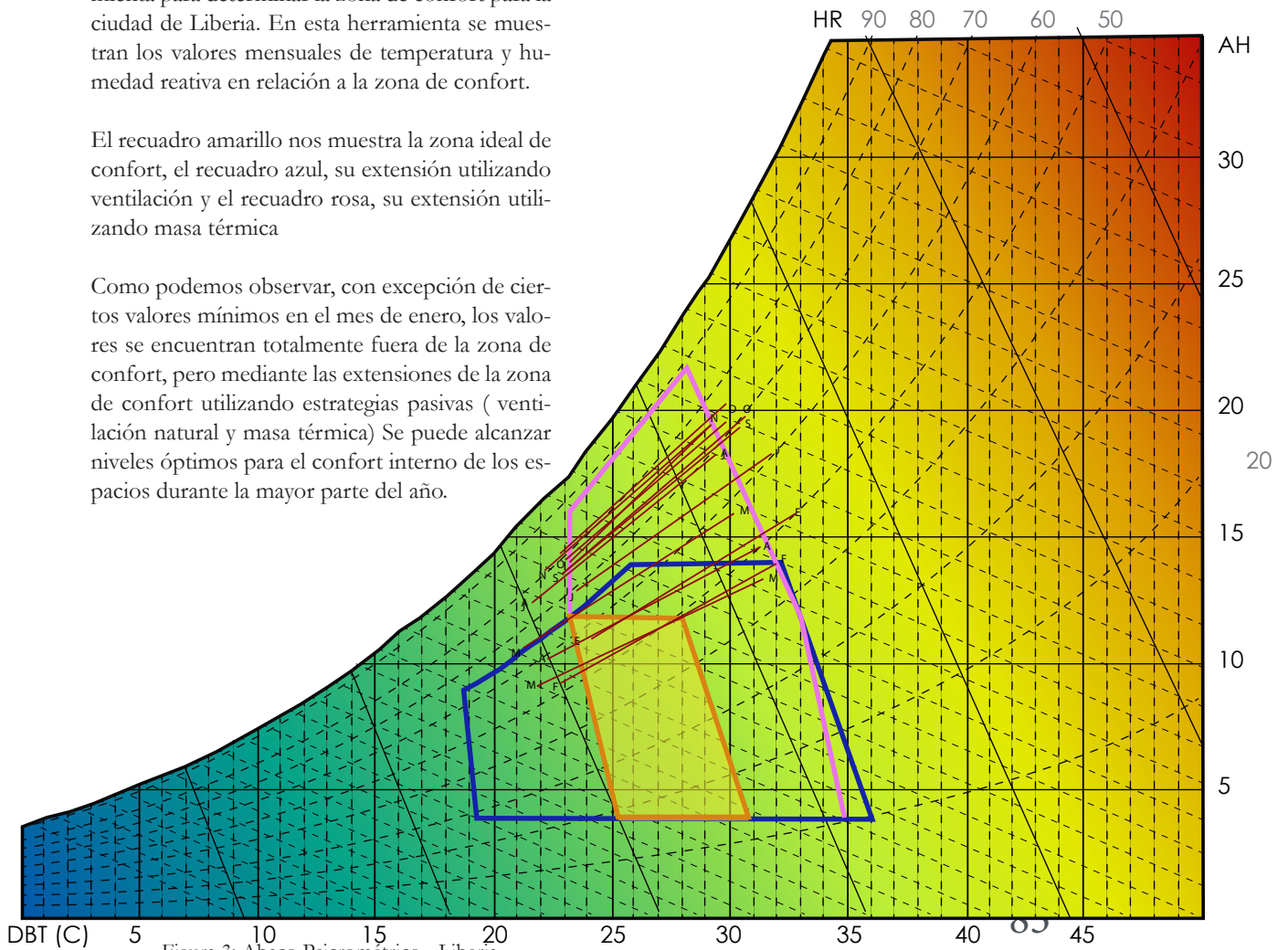


Figura 3: Ábaco Psicrométrico - Liberia

### Climograma de Bienestar Adaptado (CBA)

El CBA para la ciudad de Liberia nos muestra que en gran parte del año las condiciones climáticas se encuentran fuera del área de bienestar saludable principalmente ocasionado por altas temperaturas que se registran en ciertas épocas del año.

Esto se evidencia en el gráfico de isopletas, en donde se muestra un calor excesivo con condiciones críticas entre la 1pm y las 5pm durante la etapa crítica de la época seca (Color Rojo), correspondiente al 4% del tiempo.

También nos muestra que el 30% del tiempo las condiciones ameritan una ventilación constante, principalmente en horas de la tarde. (Color Naranja). Esta característica se presenta a lo largo de todo el año, sin distinción entre la época seca y la lluviosa

A su vez se muestra que la gran parte del año, durante las madrugadas, se presenta de un 10% a un 20% de personas insatisfechas, el cual coincide con las horas en que se registran las temperaturas mínimas durante el día.

Sensación	higrotérmica	Clave numérica
Calor Excesivo		0
Ventilación		1
Necesidad ventilación		2
20% Insatisfechos		3
10% Insatisfechos		4
Cargas térmicas		5
Necesidad de radiación		6

Temperatura en claves

	ENE	FEB	MAR
0:00	3	3	3
1:00	3	3	3
2:00	4	4	4
3:00	5	5	5
4:00	5	5	5
5:00	5	5	5
6:00	5	5	5
7:00	5	5	5
8:00	5	5	4
9:00	3	3	3
10:00	3	3	3
11:00	3	3	2
12:00	1	1	1
13:00	1	1	1
14:00	1	1	0
15:00	1	0	0
16:00	1	0	0
17:00	1	1	0
18:00	1	1	1
19:00	1	1	1
20:00	1	1	1
21:00	2	2	1
22:00	3	3	2
23:00	3	3	3

**SENSACION HIGROTÉRMICA A LO LARGO DE UN AÑO PROMEDIO**

Clave	color	Horas mes típico / año	% Tiempo
		12	4%
		84	30%
		19	7%
		97	35%
		34	12%
		42	15%
		0	0%
		276	100%

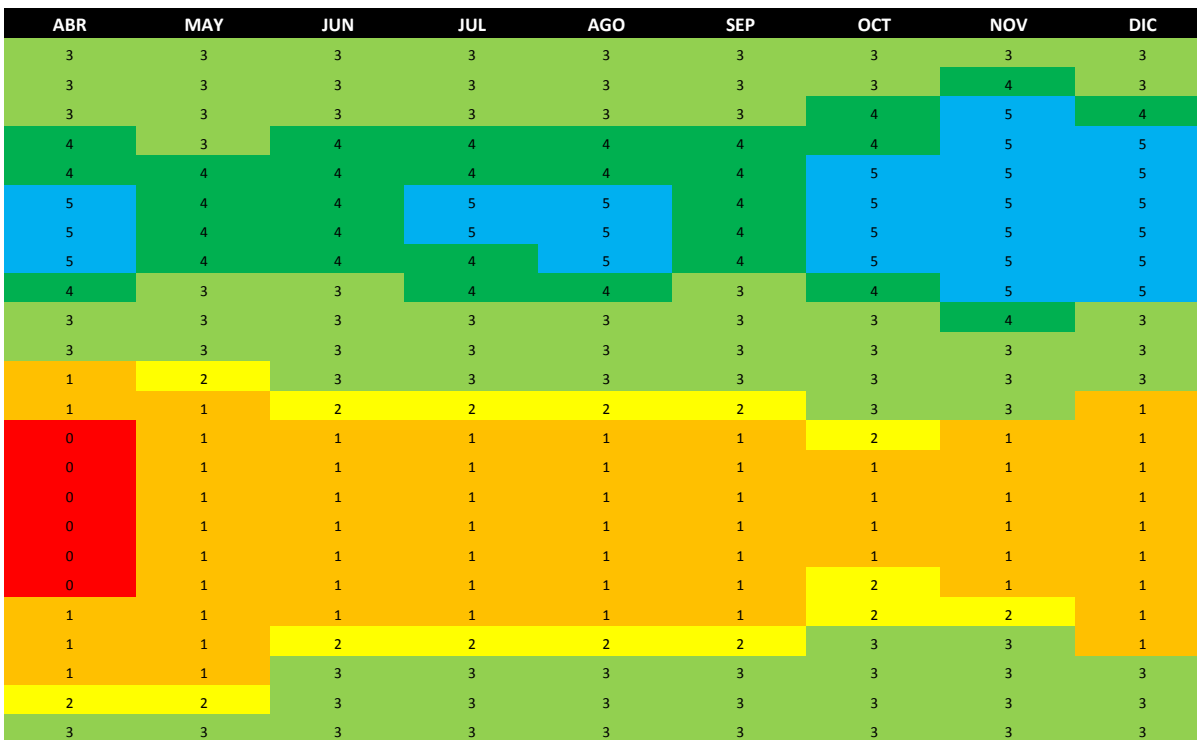


Figura 5: Climograma de Bienestar Adaptado- Liberia

# 3.1.1 Liberia - Bosque Seco Tropical

## 3.1.1.3 Estrategias Pasivas

### Estrategias Pasivas - Bosque Seco Tropical

Según la Guía de Diseño Bioclimático (Porras, 2013) Para esta zona de vida se recomienda una Orientación NorOeste a Sur Este, con una inclinación máxima de 20 grados sobre el Eje Este Oeste.

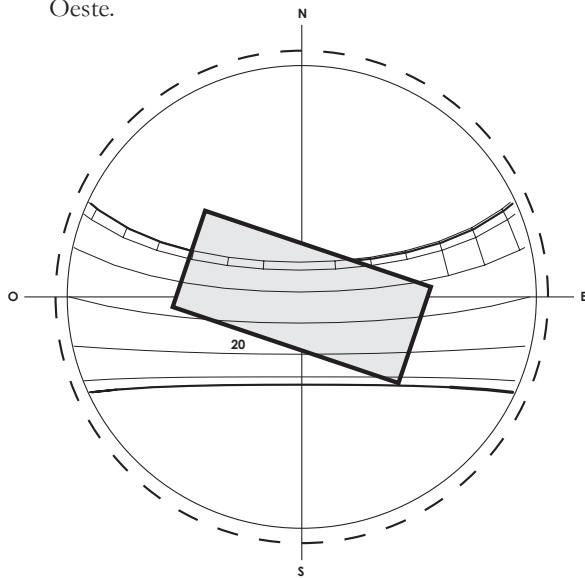


Figura 6: Orientación ideal - Liberia

Para la altura de los espacios internos se recomienda 3m o más, desde el nivel de piso terminado hasta el nivel de cielo, con el objetivo de que el aire caliente suba y se localice fuera de la altura promedio del ser humano, a su vez aumentando el volumen de espacio interno.

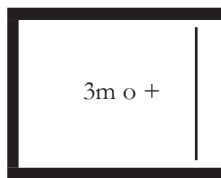


Figura 7: Diagrama de altura ideal - Liberia

A nivel de distribución se recomienda una planta abierta, con espaciamiento sencillo. Se recomienda que las áreas de servicio se coloquen al oeste, las áreas privadas al sur y al este, las áreas sociales al Norte y al Este, y finalmente que la cocina se localice al NorOeste.

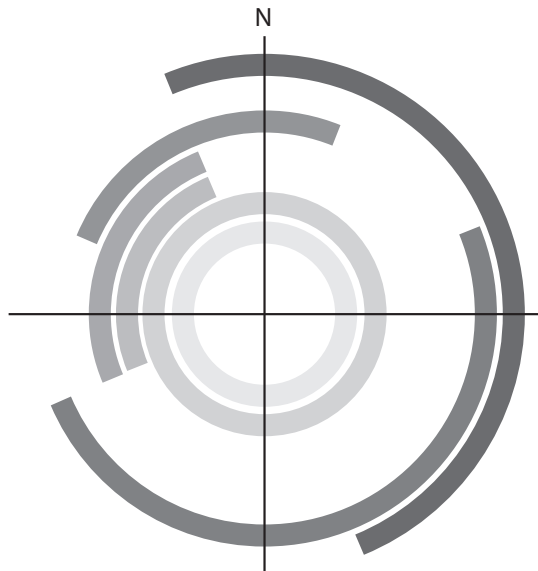


Figura 8: Diagrama de localización programática - Liberia

- Espacios Transitivos
- Circulación Horizontal
- Circulación Vertical
- Espacios de Servicio
- Cocina
- Espacios Privados
- Espacios Sociales

Las aperturas deben ser de 25% al 40% del total del area de la pared, con protección solar para impedir el sobrecalentamiento por radiación directa. A su vez las aperturas para de entrada de ventilación deben ser un 25% mas pequeñas que sus similares de salida, para generar una aceleración del aire dentro del edificio ( efecto venturi ).

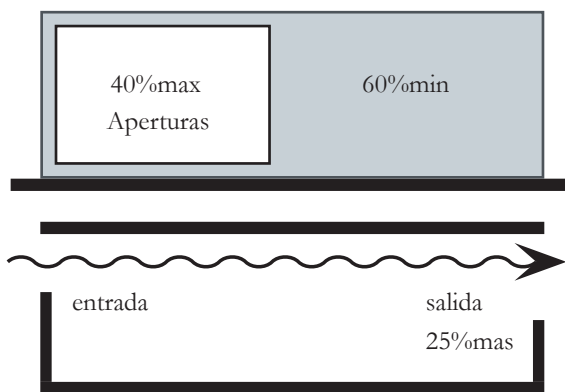


Figura 9: Diagrama de Aperturas - Liberia

A nivel de diseño de sitio se recomienda utilización de plantas que aporten sombreado a los suelos. Principalmente que protejan las fachadas Este y Oeste.

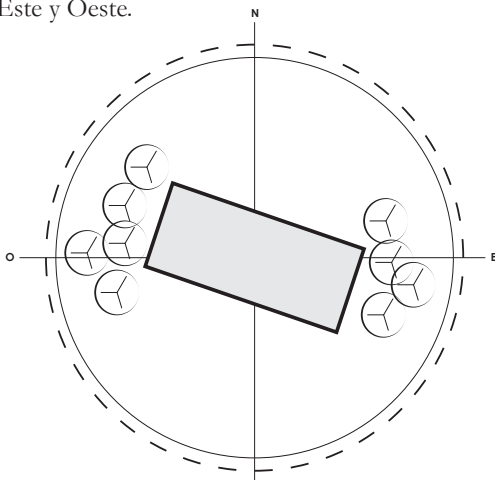


Figura 10: Diagrama de diseño de sitio - Liberia

A nivel de cubiertas se recomienda una inclinacion del 15% o 20%, en dirección Norte, para absorber menos radiación. A su vez se recomienda que esta sea ventilada.

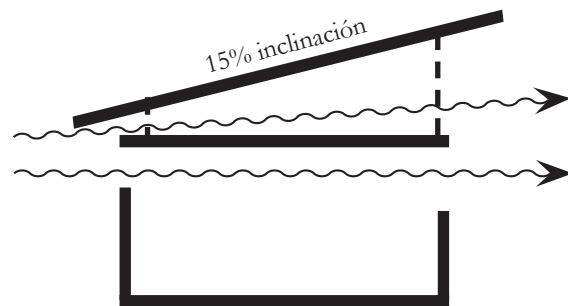


Figura 11: Diagrama cubierta ideal - Liberia

A nivel de ventilación se debe hacer uso de ventilación cruzada que ayude a disipar el calor, aprovechandose del efecto de enfriamiento característico del aire en movimiento.

Se recomienda el uso de vacíos y patios internos, para que la vivienda se vuelque sobre sí misma, creando un microclima interno.



Figura 12: Diagrama de configuraciones de patio - Liberia

## 3.1.2 San Jose - Bosque húmedo Premontano

### 3.1.2.1 Localización



Imagen 25 - Mapa bosque Humedo premontano Sistema de zonas de vida Holdridge



## Descripción

### San Pedro, Montes de Oca, San José

El Cantón Montes de Oca se ubica al Este de la Provincia de San José, capital de Costa Rica. Se encuentra ubicado en latitud 9°56 Norte, longitud 84°00 a una altura de 1179 m.s.n.m., Tiene un área de 15.6 km<sup>2</sup>, de la cual su gran mayoría es de carácter urbano.

Tiene una población de 49 132 habitantes, pero recibe gran cantidad de visitantes diarios, provenientes de diversos sectores del país, debido a su desarrollo comercial, laboral y centros de estudio.

Este cantón se encuentra en Zona de vida Bosque húmedo premontano, según el sistema de zonas de vida de Holdridge. Por lo cual tiene un bioclima muy atractivo para el asentamiento humano.

### Bosque Húmedo Premontano.

Este tipo de bosque se ubica principalmente en el Valle Central, donde se encuentra la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.

Este tipo de Bosque presenta un bioclima muy atractivo para el asentamiento humano y a su vez sus suelos presentan condiciones muy propicias para la agricultura, debido a su origen volcánico.

Dadas estas condiciones, con la abundante expansión de la huella urbana, sumado al aumento poblacional de esta zona, este tipo de bosque se ha ido reduciendo considerablemente con el pasar de los años.

Geográficamente este bosque se ubica entre los 1000 y 1500 m.s.n.m, en el Valle Central, desde Turrúcares hasta San Jose y en el Valle de San Ramón.

La temperatura anual de esta zona se localizan entre los 18 y los 24 grados centígrados, con una época seca entre los 3.5 y 5 meses anuales. Por su parte su precipitación oscila entre los 1000 y los 2000mm anuales,

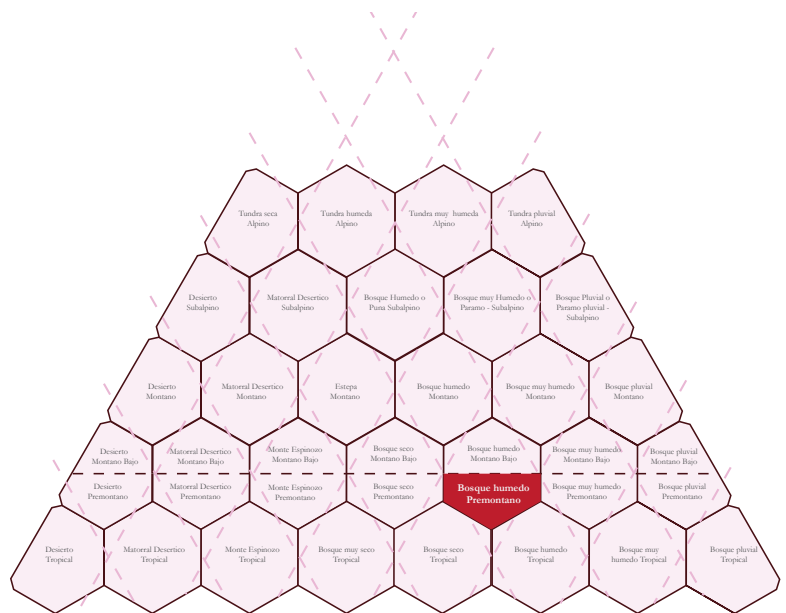


Imagen 26- Zonas de vida según Holdridge

## 3.1.2 San Jose - Bosque húmedo Premontano

### 3.1.2.2 Resumen Climatológico Anual

#### Perfil Climático

##### Climograma de columnas - San José

El climograma de columnas se realizó utilizando la tabla de datos climáticos de Instituto Meteorológico nacional (IMN) de la estación No ubicada en el IMN localizado en barrio Aranjuez, teniendo en cuenta datos del 2004 -2014. En el se pueden observar las mediciones mensuales mínimas, máximas y promediadas de temperatura, precipitación y humedad.

Específicamente a nivel térmico la temperatura en San José es relativamente estable; posee un rango de oscilación térmico de 10.1 C con temperaturas que van desde los 16.4 C hasta los 26.5 C con una media de 23 C. Las temperaturas más altas, se presentan en la etapa crítica de la época seca ( Febrero y Marzo ), mientras las temperaturas mas bajas se presentan en la etapa crítica de la época lluviosa ( Setiembre y Octubre )

Por su parte, los niveles de humedad se encuentran directamente relacionados con el incremento en la pluviosidad. Durante los meses de mayo a octubre se presenta un incremento en pluviosidad mientras de noviembre a abril se presenta una disminución, lo cual enmarca la época seca y la época lluviosa . En estos meses se presenta la mayor cantidad de lluvia alcanzando hasta 483 mm. y una humedad máxima de 85%.

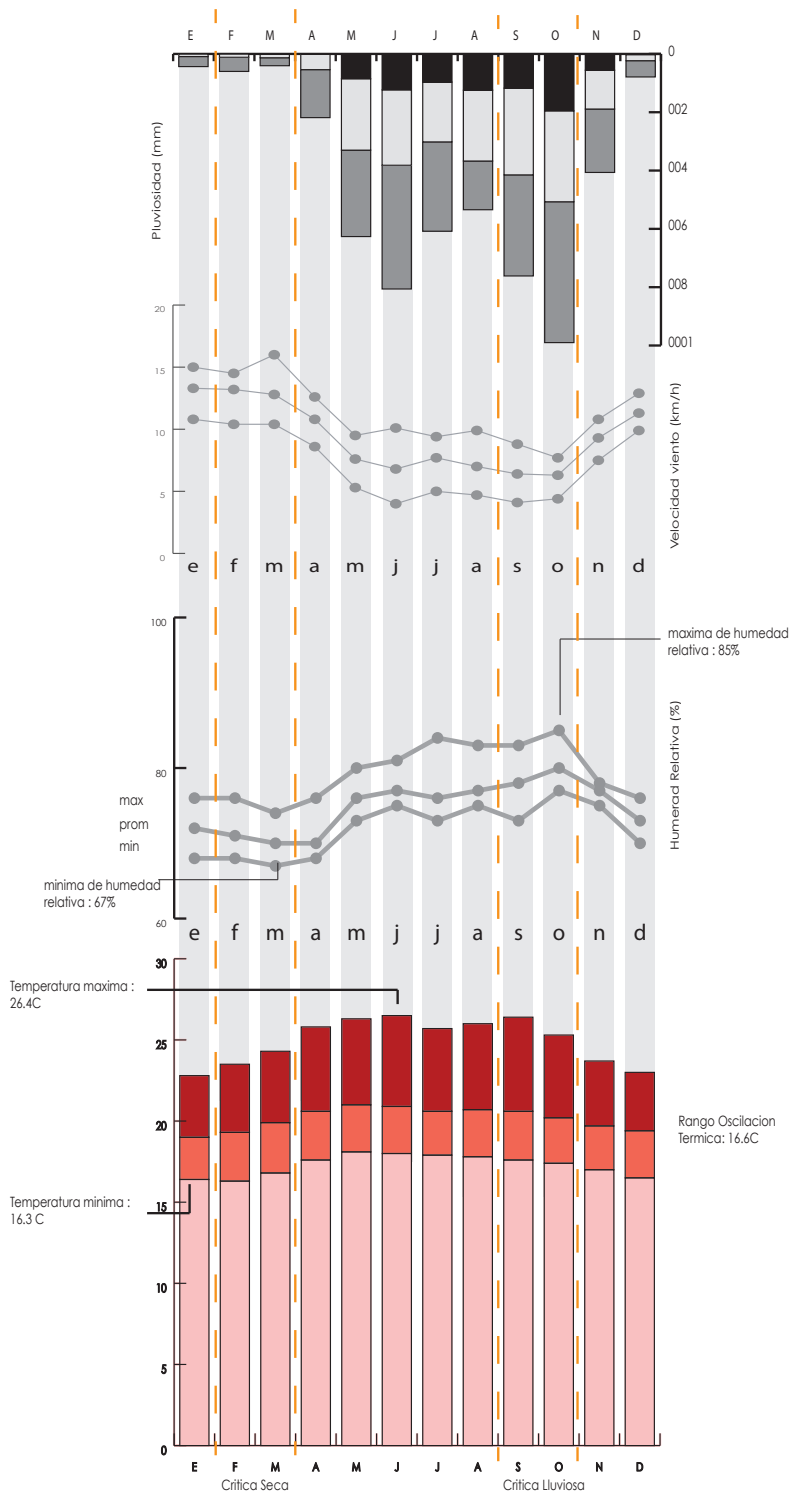


Figura 13: Climograma de columnas - San José

## Viento

Los vientos predominantes a lo largo del año provienen del Noreste, con algunas ráfagas secundarias provenientes tanto del Este y en algunas ocasiones del Oeste. En cuanto a su velocidad el promedio anual ronda los 9.4 km/h, siendo 16km/h la mas alta.

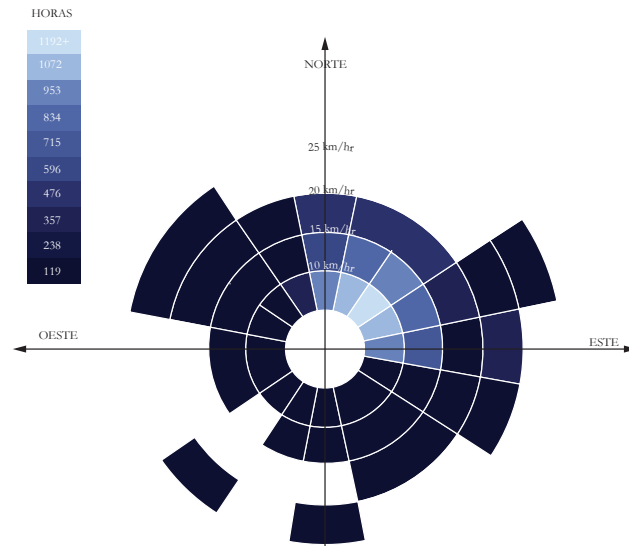


Figura 15: Diagrama de viento - San José

## Confort

Se utiliza un ábaco psicrométrico como herramienta para determinar la zona de confort para la ciudad de San José. En esta herramienta se muestran los valores mensuales de temperatura y humedad relativa en relación a la zona de confort.

El recuadro amarillo nos muestra la zona ideal de confort, el recuadro azul, su extensión utilizando ventilación y el recuadro rosa, su extensión utilizando masa térmica

Como podemos observar, con la ausencia de estrategias pasivas, gran parte del año se encuentra fuera de las zonas de confort. Dicha situación se puede corregir principalmente con la utilización de masa térmica como estrategia pasiva (recuadro azul), sumado a una buena ventilación natural. (recuadro rosa)

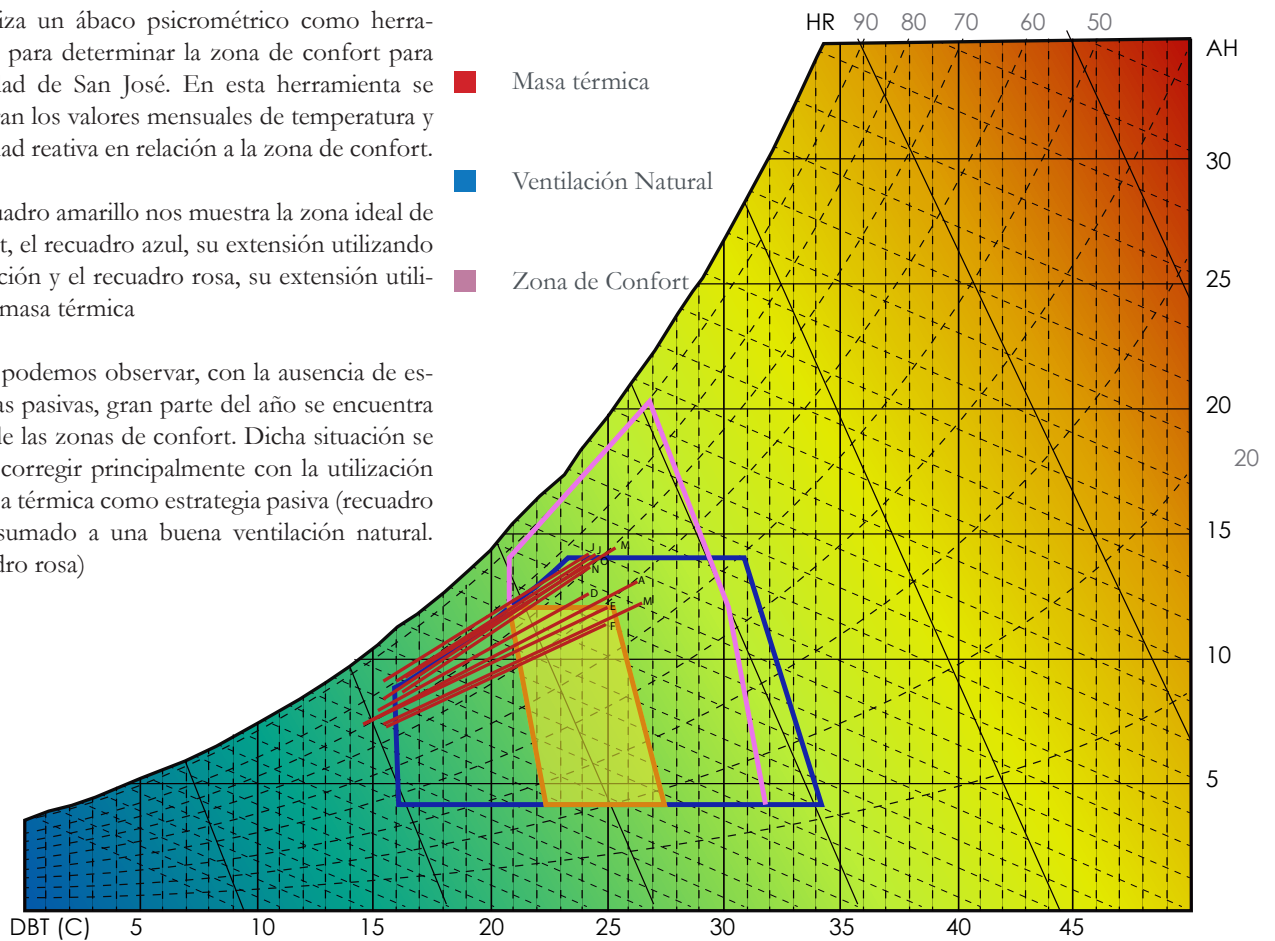


Figura 14: Abaco Psicrometrico - San José

### Climograma de Bienestar Adaptado (CBA)

El CBA para la ciudad de San José nos muestra que en gran parte del año las condiciones climáticas se encuentran cerca del área de bienestar saludable

Esto se evidencia en el gráfico de isopletas, en donde se muestra un 20% de insatisfechos durante el 42% del tiempo, sumado a un 8% del tiempo con un total de 10% de insatisfechos; lo cual es bastante positivo.

También nos muestra que las horas más críticas a nivel de calor se presentan en las horas de la tarde apartir del mes de abril, hasta el mes de octubre.

A su vez se muestra que durante las madrugadas se presentan disminuciones en la temperatura por lo cual se debe proteger la pérdida de calor a esas horas específicas, principalmente durante los primeros meses del año. Esto se debe a que en esta época se presenta poca nubosidad y vientos alisios, por lo cual el calor se escapa hacia la bóveda celeste, disminuyendo considerablemente las temperaturas. ( Herrera, 1985)

Sensación	higrotérmica	Clave numéri
Calor Excesivo		0
Ventilación		1
Necesidad ventilación		2
20% Insatisfechos		3
10% Insatisfechos		4
Cargas térmicas		5
Necesidad de radiación		6

Temperatura en claves

	ENE	FEB	MAR
0:00	5	5	5
1:00	5	5	5
2:00	6	6	5
3:00	6	6	5
4:00	6	6	6
5:00	6	6	6
6:00	6	6	6
7:00	6	6	6
8:00	6	6	5
9:00	5	5	5
10:00	5	5	4
11:00	4	3	3
12:00	3	3	3
13:00	3	3	3
14:00	3	3	3
15:00	3	3	3
16:00	3	3	3
17:00	3	3	3
18:00	3	3	3
19:00	3	3	3
20:00	3	3	3
21:00	3	3	3
22:00	4	4	3
23:00	5	4	4

SENSACION HIGROTÉRMICA A LO LARGO DE UN AÑO PROMEDIO			
Clave	color	Horas mes típico / año	% Tiempo
		0	0%
		4	1%
		25	9%
		131	45%
		24	8%
		75	26%
		29	10%
		288	100%

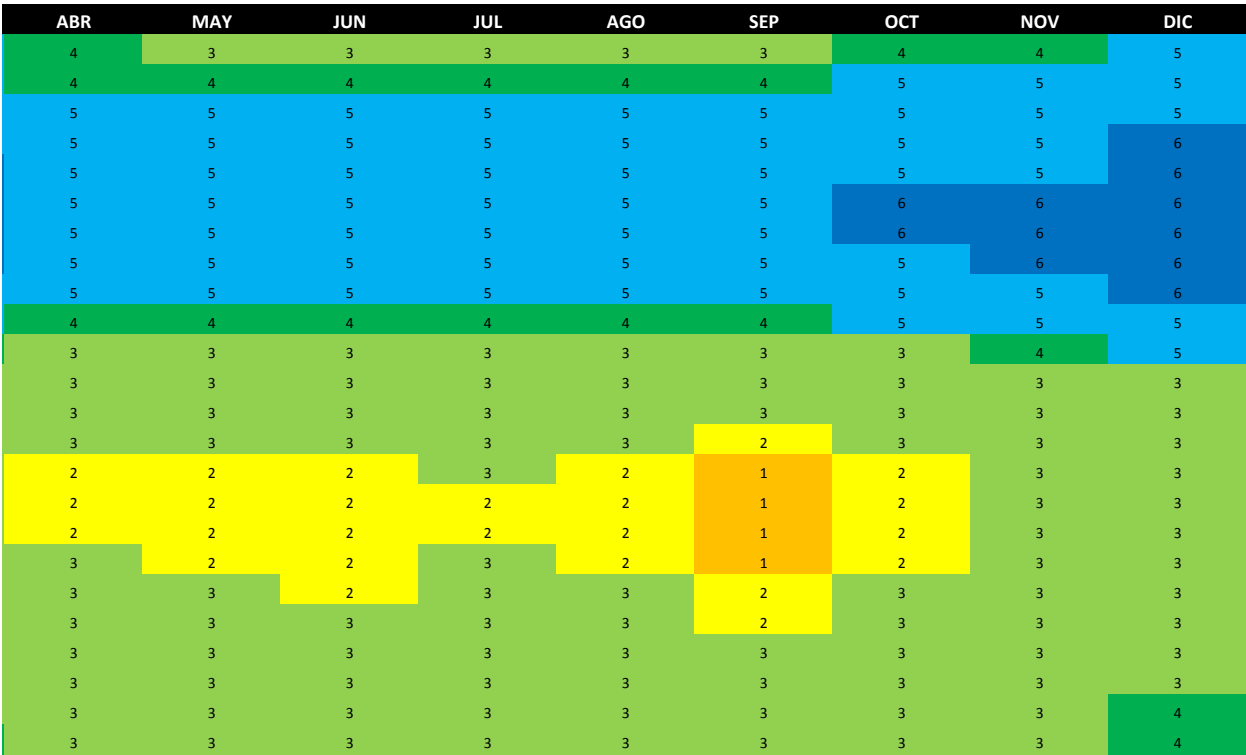


Figura 16: Climograma de Bienestar Adaptado - San José

## 3.1.2 San Jose - Bosque húmedo Premontano

### 3.1.2.3 Estrategias Pasivas

#### Estrategias Pasivas - Bosque Humedo Premontano

Según la Guía de Diseño Bioclimático (Porras, 2013) Para esta zona de vida se recomienda una Orientación Oeste a Este, con una inclinación máxima de 10 grados

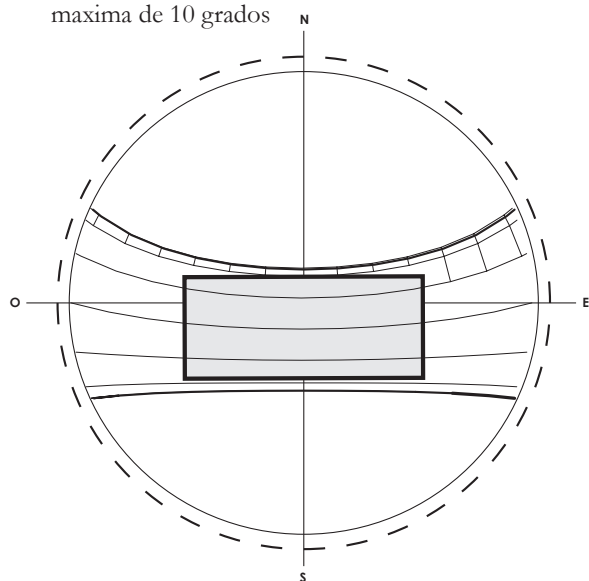


Figura 17: Orientación ideal - San José

Para la altura de los espacios internos se recomienda 2.6m o mas, desde el nivel de piso terminado hasta el nivel de cielo, con el objetivo de que el aire caliente suba y se localice fuera de la altura promedio del ser humano, a su vez aumentando el volumen de espacio interno.

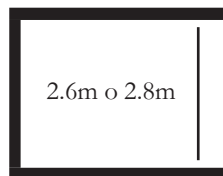


Figura 18: Altura del espacio interno - San José

A nivel de distribución se recomienda una planta con espacios individualizados. Se recomienda que las áreas de servicio se coloquen al Oeste, las áreas privadas al Sur y al Este, las áreas sociales al Norte y al Este, y finalmente que la cocina se localice al NorOeste.

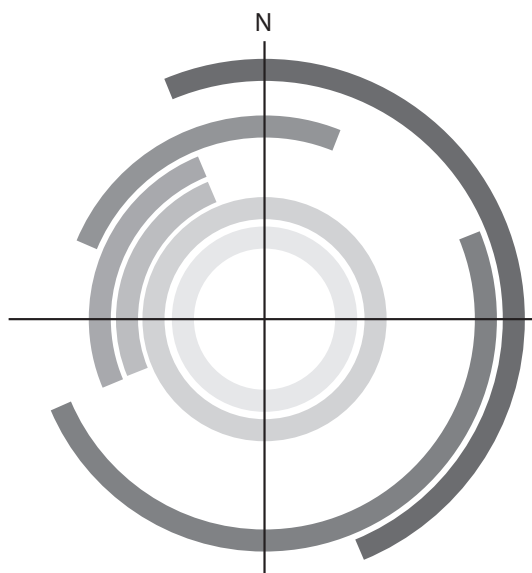


Figura 19: Localización Programática - San José

- Espacios Transitivos
- Circulación Horizontal
- Circulación Vertical
- Espacios de Servicio
- Cocina
- Espacios Privados
- Espacios Sociales

Las aperturas deben ser de 40% al 80% del total del area de la pared, con protección solar para impedir el sobrecalentamiento por radiación directa. A su vez las aperturas para de entrada de ventilación deben ser un 25% mas pequeñas que sus similares de salida, para generar una aceleración del aire dentro del edificio ( efecto venturi ).

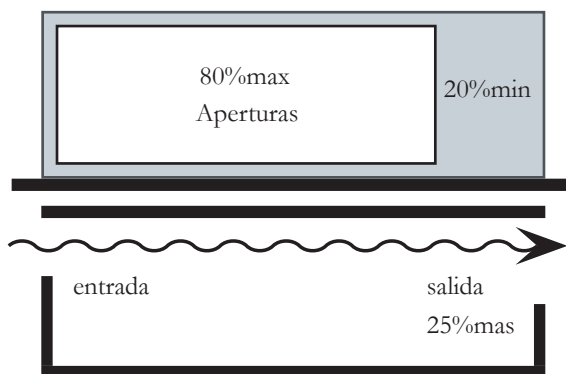


Figura 20: Diagrama de aperturas - San José

Por su parte se recomienda que la ventilación sea individualizada por cada uno de los espacios del programa.

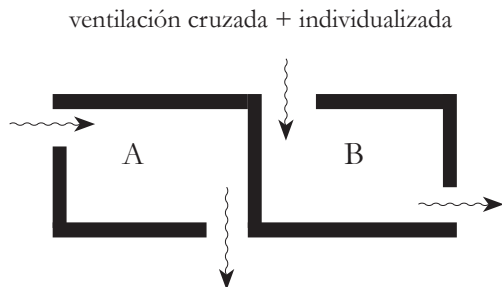


Figura 21: Diagrama de ventilación individualizada - San José

A nivel de cubiertas se recomienda una inclinacion del 15% o 20%, en dirección Norte, o distribuirlo en varias direcciones , para absorber menos radiación. A su vez se recomienda que esta sea ventilada.

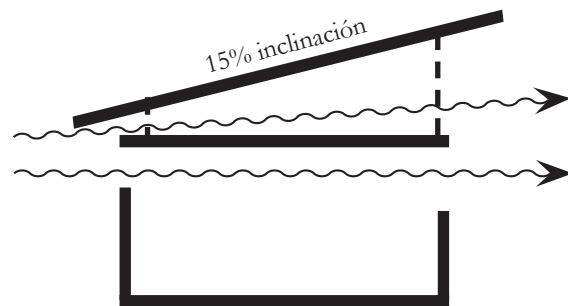


Figura 22: Diagrama de cubierta - San José

A nivel de ventilación se debe hacer uso de ventilación cruzada que ayude a disipar el calor, aprovechandose del efecto de enfriamiento característico del aire en movimiento. El tipo de apertura debe poder cerrarse para conservar el calor en las noches.

# 3.1.3 Limón - Bosque húmedo Tropical

## 3.1.3.1 Localización

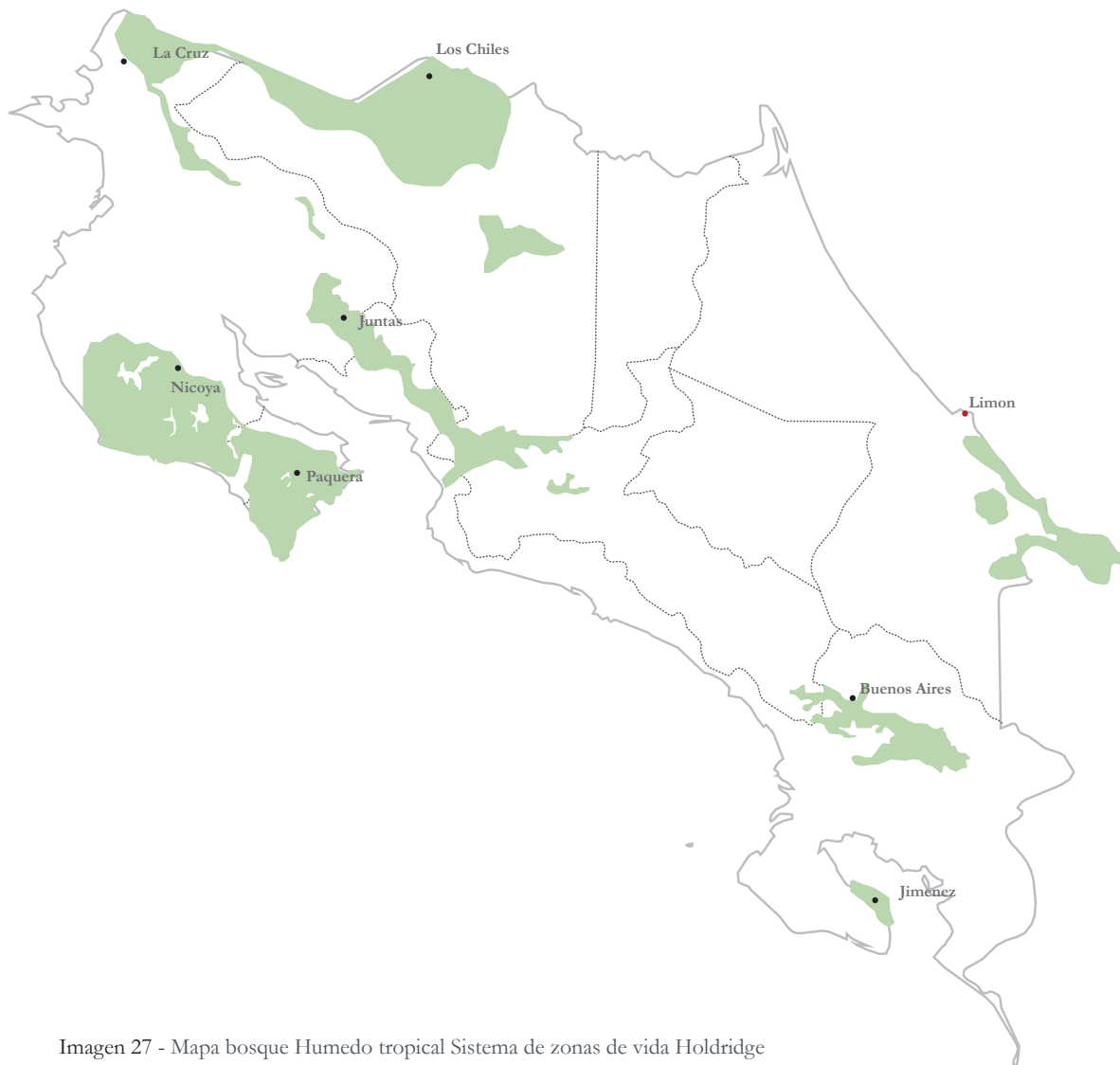


Imagen 27 - Mapa bosque Humedo tropical Sistema de zonas de vida Holdridge



**Descripción**  
**Puerto Limón, Limón**

Puerto Limón, es la cabecera de la provincia de Limón. Se encuentra localizado a 152km de la provincia de San José, en las coordenadas 9°59' 00" Norte y 83°02' 00" Oeste. Tiene un área de 59,79 km2 a una altitud de 0 m..s.n.m, y una población de 60 000 habitantes.

A nivel económico, posee el puerto mas grande para usos comerciales de Costa Rica.

Limón se encuentra en la zona de vida, **Bosque húmedo Tropical**, por lo que se caracteriza por tener altas temperaturas y una época lluviosa extensa, la cual disminuye en los meses de setiembre y octubre. Como su nombre lo indica, los porcentajes de humedad de la zona son altos, manteniéndose en un promedio de 76%.

**Bosque Húmedo Tropical**

Esta zona de vida presenta una precipitación entre 1800 y más de 4000 mm de precipitación media anual. Su estación seca varia de un lugar a otro, siendo entre 0 a 5 meses de duración (Bolaños et al, 2005).

Esta formación es frecuente localizarla en las regiones Pacífica como Atlántica (llanuras costeras), en gran parte de la región de Upala, San Carlos, así como en las partes altas de la Península de Nicoya

Se proyecta para el 2080 que esta zona de vida se extienda a lo largo de toda la costa Atlántica, sobre zonas actualmente clasificadas como Bosque muy humedo tropical.

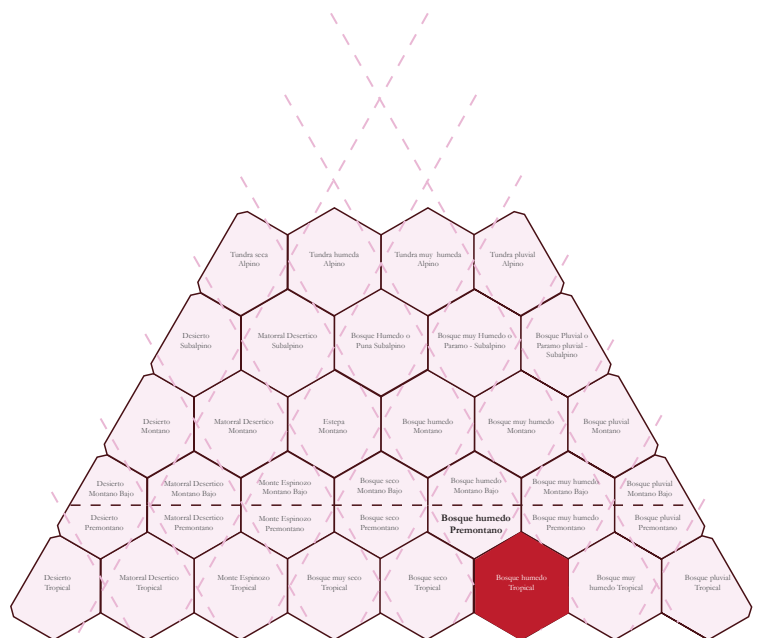


Imagen 28- Zonas de vida segun Holdridge

### 3.1.3 Limón - Bosque húmedo Tropical

#### 3.1.3.2 Resumen Climatológico Anual

##### Climograma de columnas - Limón

El climograma de columnas se realizó utilizando la tabla de datos climáticos de Instituto Meteorológico nacional (IMN) de la estación No 74020 ubicada en el Aeropuerto de Limón teniendo en cuenta datos del 2004 -2014. En el se pueden observar las mediciones mensuales mínimas, máximas y promediadas de temperatura, precipitación y humedad.

Específicamente a nivel térmico la temperatura en Limón es relativamente estable, Posee un rango de oscilación térmico de 9.6 C con temperaturas que van desde los 20.9 C hasta los 30.3 C.

Por su parte, los niveles de humedad relativa se mantiene alrededor del 80% siendo setiembre y octubre los meses con más lluvia por lo tanto más la humedad. En estos meses se presenta la mayor cantidad de lluvia alcanzando hasta 848 mm. y una humedad máxima de 90%.

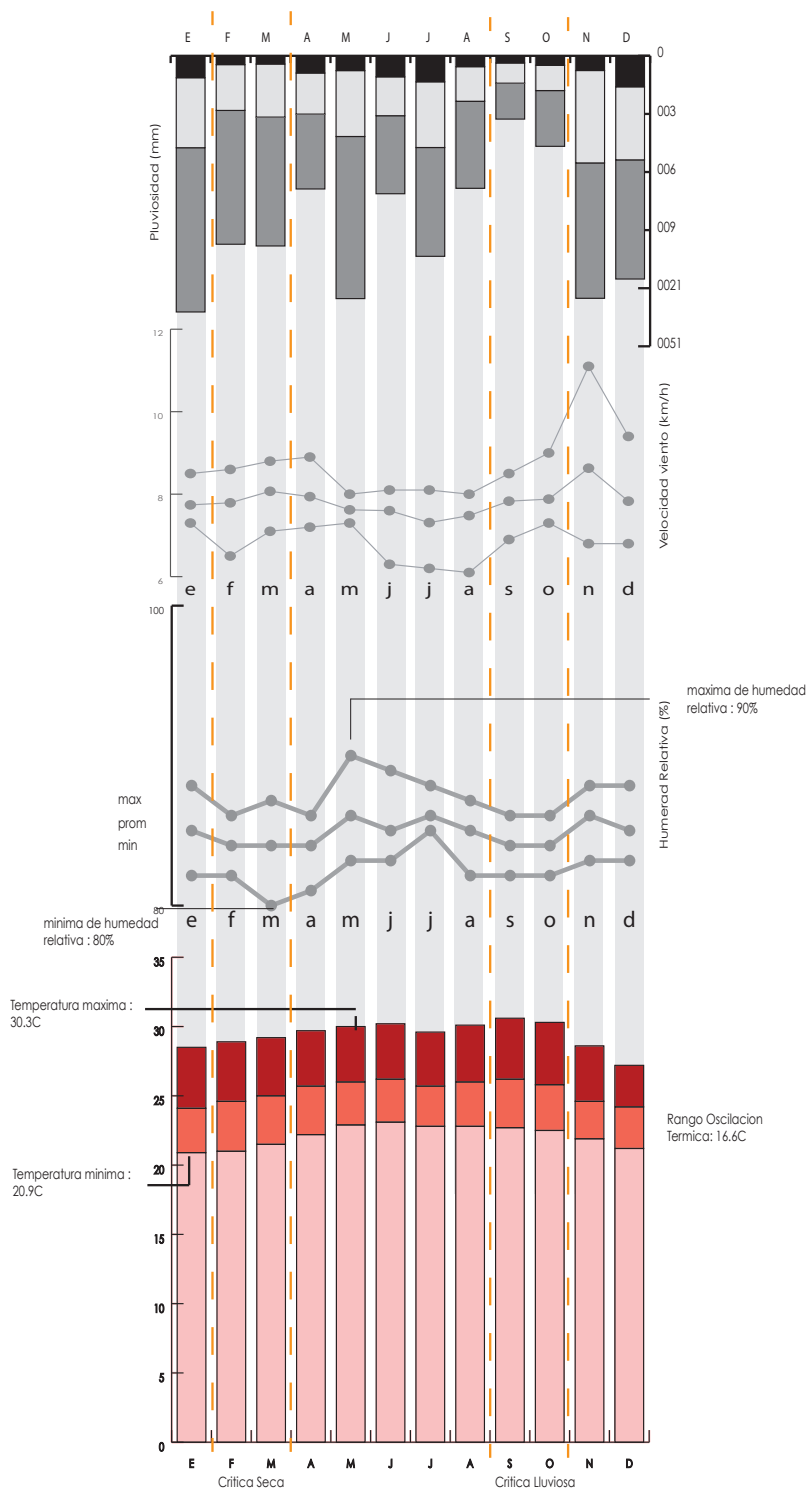


Figura 23: Climograma de columnas - Limón

### Viento

Los vientos predominantes a lo largo del año provienen del Suroeste, con algunas ráfagas secundarias provenientes tanto del Oeste. En cuanto a su velocidad el promedio anual ronda los 7.8 km/h en promedio, siendo 11.1 km/h la mas alta .

### Confort

A continuación se presenta un ábaco psicrométrico para la ciudad de Limón donde se muestran los valores mensuales en relación temperatura y humedad. Además se presenta la zona de confort para la región, junto con su respectiva extensión si se aplicaran estrategias pasivas como: masa térmica y ventilación natural

Como se puede observar, debido a los altos porcentajes de humedad, gran parte del año se encuentra fuera de la zona de confort, por lo cual el uso de estrategias de ventilación natural y masa térmica son fundamentales para el confort de los usuarios en los espacios internos.

- Masa térmica
- Ventilación Natural
- Zona de Confort

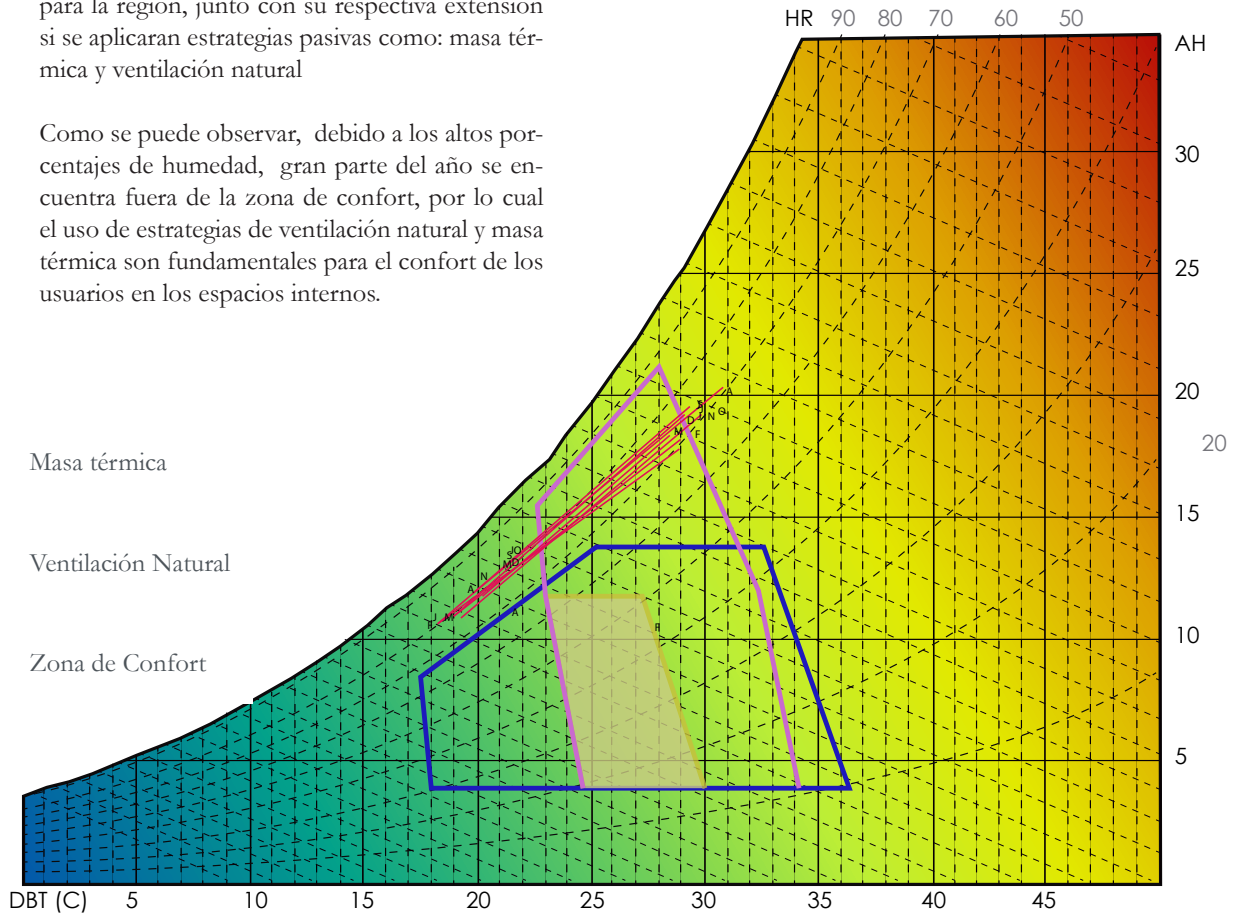


Figura 24: Abaco Psicrométrico - Limón

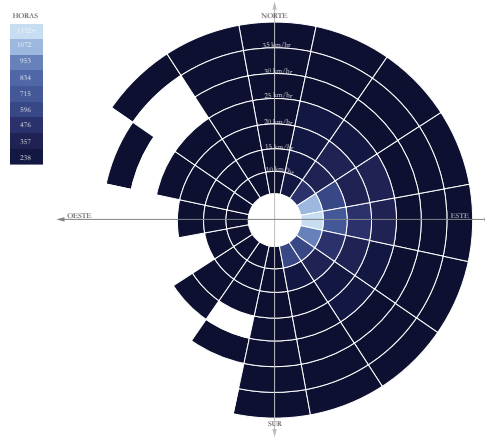


Figura 25: Diagrama de viento - Limón

### Climograma de Bienestar Adaptado (CBA)

El CBA para la ciudad de Limón nos muestra que en gran parte del año (50% del tiempo total) las condiciones climáticas nos presentan un 20% de insatisfechos.

Nos muestra a su vez, que las horas de las madrugadas entre los meses de noviembre y Marzo tienden a ser un poco frías.

Además de marzo a noviembre, en las horas de la tarde, se presenta la necesidad de implementar una buena ventilación, para contrarrestar las altas temperaturas de la época.

Sensación	higrotérmica	Clave numér
Calor Excesivo		0
Ventilación		1
Necesidad ventilación		2
20% Insatisfechos		3
10% Insatisfechos		4
Cargas térmicas		5
Necesidad de radiación		6

Temperatura en claves

	ENE	FEB	MAR
0:00	4	4	3
1:00	5	5	4
2:00	5	5	5
3:00	5	5	5
4:00	5	5	5
5:00	5	5	5
6:00	6	6	5
7:00	5	5	5
8:00	5	5	5
9:00	5	5	4
10:00	3	3	3
11:00	3	3	3
12:00	3	3	3
13:00	3	3	3
14:00	3	3	3
15:00	3	3	2
16:00	3	3	2
17:00	3	3	3
18:00	3	3	3
19:00	3	3	3
20:00	3	3	3
21:00	3	3	3
22:00	3	3	3
23:00	3	3	3

**SENSACION HIGROTÉRMICA A LO LARGO DE UN AÑO PROMEDIO**

Clave	color	Horas mes típico / año	% Tiempo
		0	0%
		16	6%
		37	13%
		145	50%
		36	13%
		52	18%
		2	1%
		288	100%

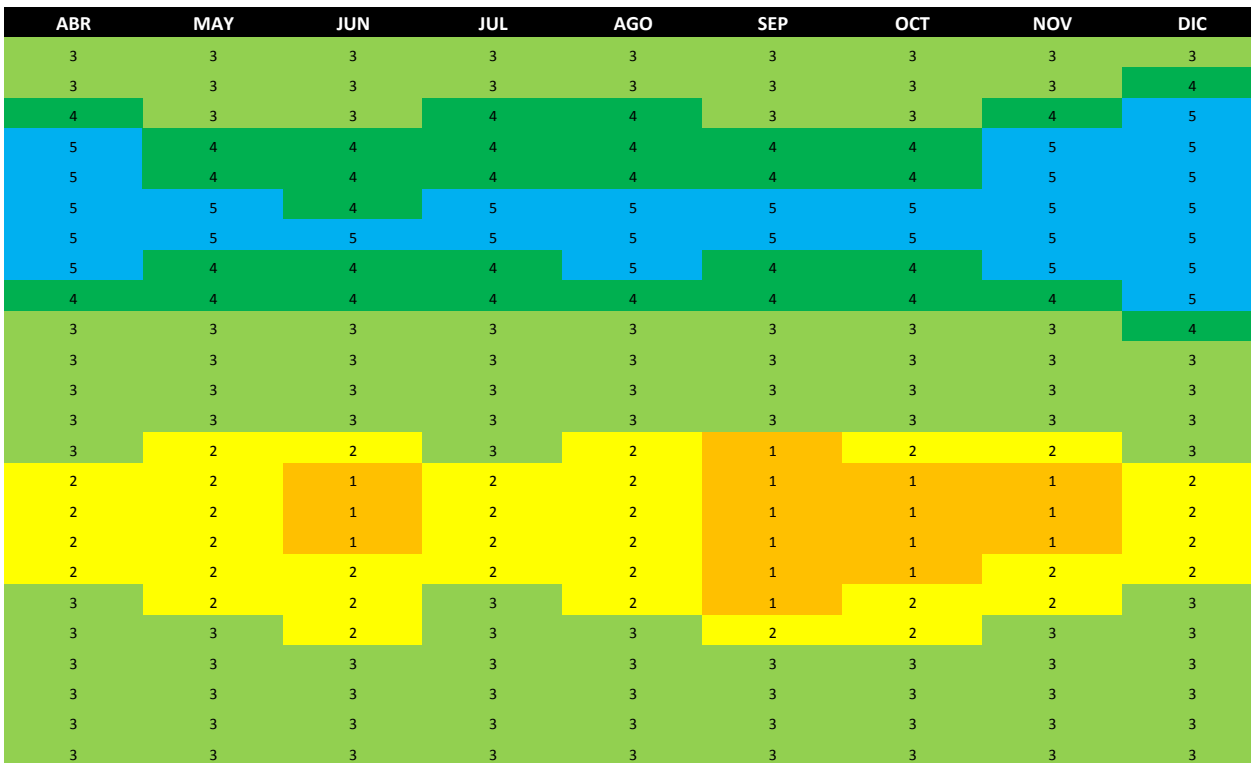


Figura 26: Climograma de Bienestar Adaptado - Limón

### 3.1.3 Limón - Bosque húmedo Tropical

#### 3.1.3.3 Estrategias Pasivas

##### Estrategias Pasivas - Bosque Seco Tropical

Según la Guía de Diseño Bioclimático (Porras,2013) Para esta zona de vida se recomienda una Orientación NorOeste a Sur Este, con una inclinación máxima de 20 grados sobre el Eje Este Oeste.

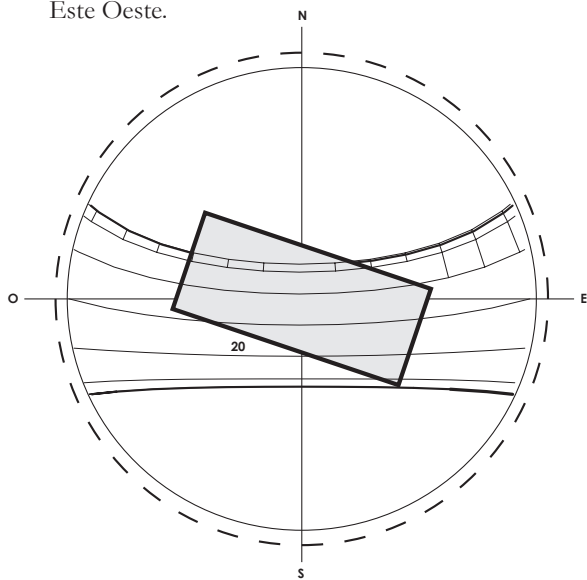


Figura 27: Orientación Ideal - Limón

Para la altura de los espacios internos se recomienda 3m o mas, desde el nivel de piso terminado hasta el nivel de cielo, con el objetivo de que el aire caliente suba y se localice fuera de la altura promedio del ser humano, a su vez aumentando el volumen de espacio interno.

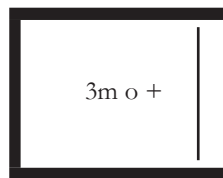


Figura 28: Altura ideal a cielo- Limón

A nivel de distribución se recomienda una planta abierta, con espaciamento sencillo. Se recomienda que las áreas de servicio se coloquen al oeste, las áreas privadas al sur y al este, las áreas sociales al norte y al este, y finalmente que la cocina se localice al NorOeste.

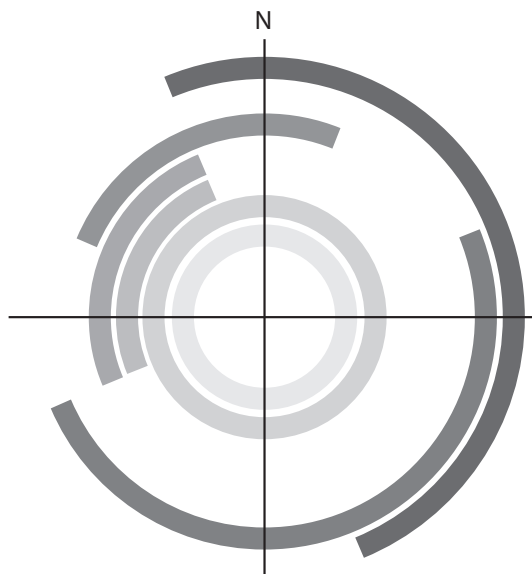


Figura 29: Localización programática- Limón

- Espacios Transitivos
- Circulación Horizontal
- Circulación Vertical
- Espacios de Servicio
- Cocina
- Espacios Privados
- Espacios Sociales

Las aperturas deben ser de 40% al 80% del total del area de la pared, con protección solar para impedir el sobrecalentamiento por radiación directa. A su vez las aperturas para de entrada de ventilación deben ser un 25% mas pequeñas que sus similares de salida, para generar una aceleración del aire dentro del edificio ( efecto venturi ).

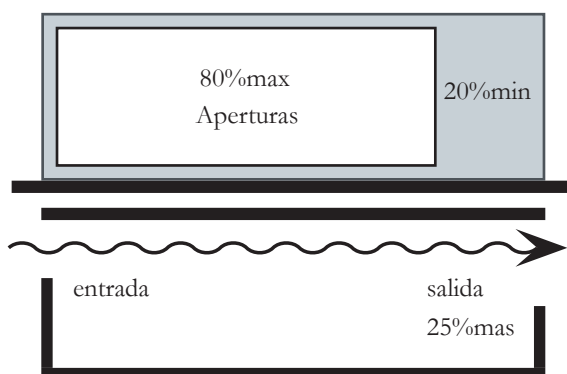


Figura 30: Diagrama de Aperturas- Limón

A nivel de diseño de sitio se recomienda utilización de plantas que aporten sombreado a los suelos. Principalmente que protejan las fachadas Este y Oeste.

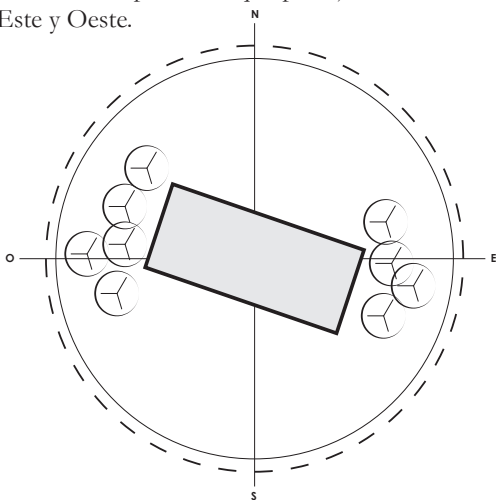


Figura 30: Diseño de sitio ideal- Limón

A nivel de cubiertas se recomienda una inclinación del 15% o 20%, en dirección Norte, o en distintas direcciones, para absorber menos radiación y generar mas sombreado. A su vez se recomienda que esta sea ventilada.

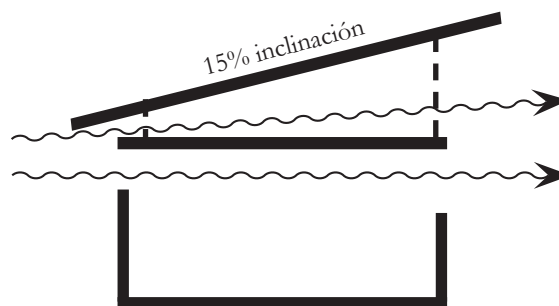


Figura 31: Diagrama de cubierta- Limón

A nivel de ventilación se debe hacer uso de ventilación cruzada que ayude a disipar el calor, aprovechándose del efecto de enfriamiento característico del aire en movimiento.

En cuanto a la configuración se recomienda alinear las distintas habitaciones, y utilizar una circulación perimetral para que su cubierta genera más sombreado

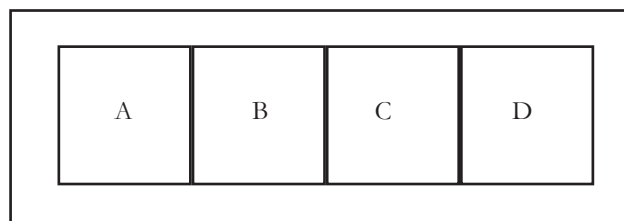


Figura 31: Diagrama de circulación perimetral

# 4

## Análisis de envolventes Típicas







## 4.1 Introducción

### Introducción

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de las estrategias en la guía de diseño bioclimático (Porrás, 2013), se diseñaron tres prototipos de vivienda presentes en Costa Rica.

El prototipo 1 es una vivienda para un lote amplio, sin edificaciones colindantes, por lo cual sus cuatro fachadas están expuestas directamente a la incidencia de las variables climáticas

El prototipo 2 es una vivienda de un nivel para un lote angosto, con edificaciones colindantes en sus laterales y posterior, por lo cual solo su fachada frontal se encuentra expuesta directamente a la incidencia de las variables climáticas

El prototipo 3 es una vivienda de dos niveles para un lote angosto, con edificaciones colindantes en sus laterales y posterior.

Todos los prototipos se colocaron en cada una de las tres zonas de vida en estudio y se les realizaron distintas simulaciones climáticas, mediante el software Design Builder. A su vez se probaron distintos sistemas constructivos para identificar cual de ellos generaba mejores condiciones en su interior.

Cabe resaltar que se utilizarón algunas de las estrategias pasivas propuestas por la guía de diseño Bioclimática (Porrás, 2013). Por lo cual a cada prototipo se le realizaron ciertos cambios ajustándose a la zona a emplazar.

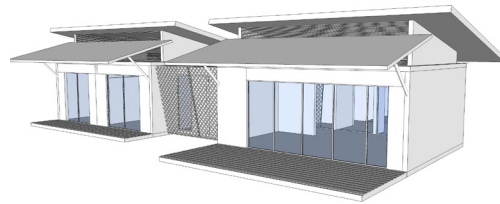


Imagen 32- Prototipo de vivienda 1 - Perspectiva



Imagen 33- Prototipo de vivienda 2 - Perspectiva



Imagen 34- Prototipo de vivienda 3 - Perspectiva

## 4.2 Prototipo 1

### 4.2.1 Diseño

#### Diseño General

Se diseñó un prototipo de vivienda con los siguientes espacios para una familia base de 3 personas, en un nivel:

1. Habitación Principal
2. Habitación Secundaria
3. Sala
4. Cocina
5. Comedor
6. Servicio Sanitario Completo
7. Cuarto de Pilas

Este prototipo de vivienda se diseñó para lotes amplios, sin colindancias cercanas (30m de ancho o más por 35m de largo o más) en los cuales la vivienda sufre la incidencia de las variables climáticas sobre las superficies de la envolvente.

#### Modificaciones de Diseño para cada una de las zonas

Dicho prototipo se colocó en cada una de las tres zonas de vida en estudio, por lo cual se le realizaron modificaciones siguiendo la Guía de diseño Bioclimático para Zonas de vida en Costa Rica. Por lo cual se hicieron modificaciones en localización, Geometría Solar y diseño de aperturas adaptándolo a cada una de las zonas.

#### Análisis de Confort

El objetivo fue analizar el comportamiento de la edificación en cada una de las zonas de vida seleccionadas, por lo cual se realizaron simulaciones climáticas utilizando el Software Design Builder, en las cuales se simuló variando el sistema constructivo entre:

Sistema 1: Paredes en Mampostería de bloques de concreto de 12x20x20cm, con repello y pintura, con estructura de cubierta en acero con perfiles de acero 10cm x 5cm y cubierta con laminas de hierro ondulado galvanizado, además de cielorraso en gypsum. Para la zona de vida ubicada en Liberia se modificó el cielorraso de gypsum por cielorraso en losa de concreto de 10cm de espesor.

Sistema 2: Paredes livianas con estructura en acero de 7.5cm x 7.5cm, postes y canales de 7.5cm, con cerramientos en durock de 12mm, cubierta en metal y cielorraso en laminas de gypsum.

Sistema 3: Paredes livianas con estructura de postes de madera de 7.5cm x 7.5cm, con cerramientos en paneles de madera de 1.26cm de espesor por ambos lados, estructura de cubierta en madera, cielorraso en tablilla y cubierta de hierro galvanizado ondulado.

Por lo cual se realizó un total de 3 simulaciones por cada una de las zonas. 12 simulaciones en total.

# 4.2.2 Planta

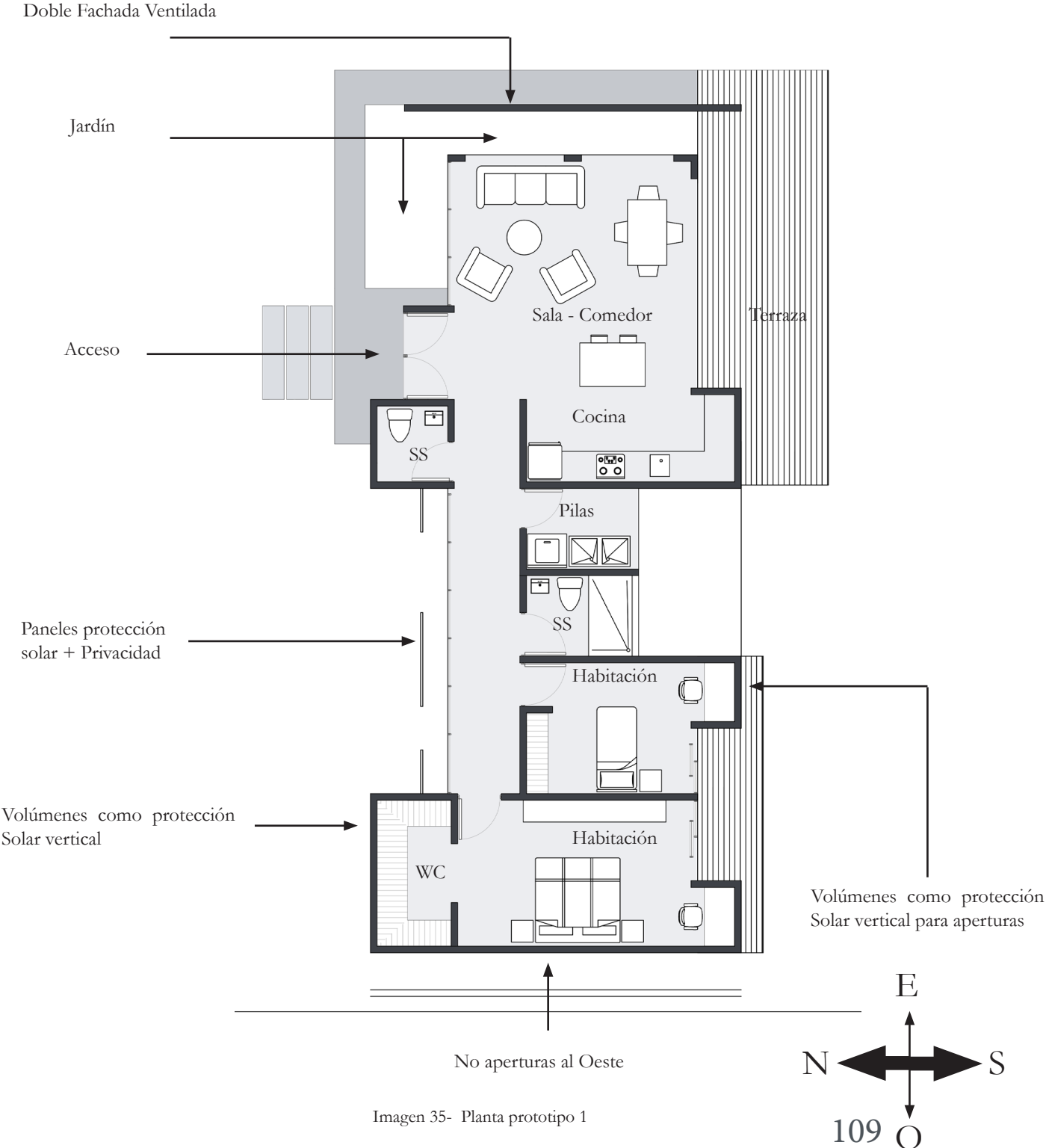


Imagen 35- Planta prototipo 1

Doble cubierta ventilada

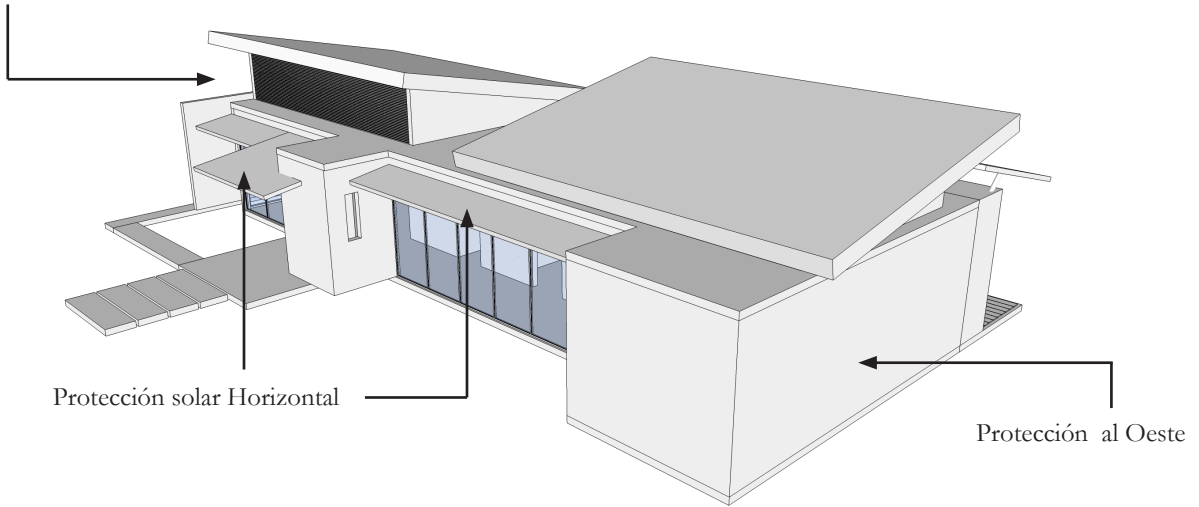


Imagen 36- Perspectiva NO prototipo 1

Cubiertas con 20% de inclinación

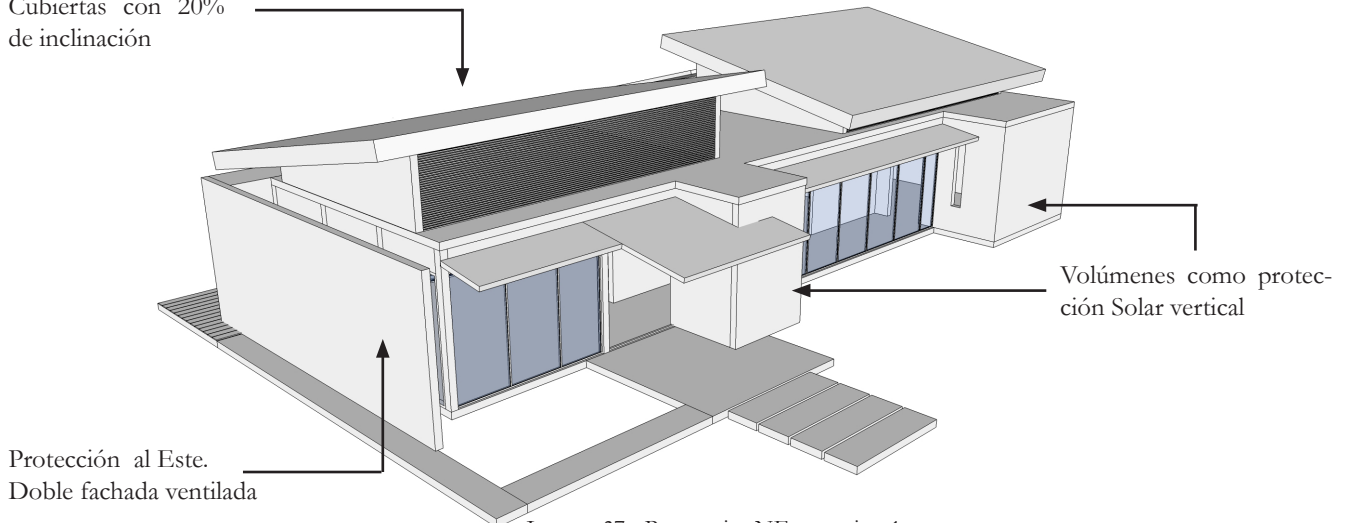


Imagen 37- Perspectiva NE prototipo 1

Protección Solar Horizontal al Sur

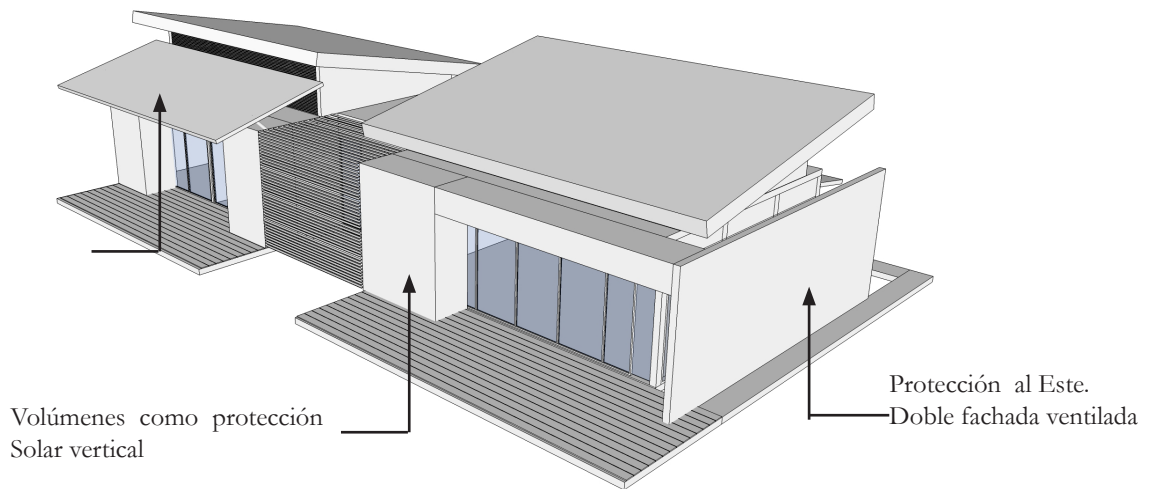


Imagen 38- Perspectiva SE prototipo 1

## 4.2.3 Sistema Constructivo Mampostería de Bloques de Concreto

### Sistema Constructivo 1: Mam- postería en Bloques de Concreto

El sistema 1, es de los sistemas constructivos más utilizados en Costa Rica para la construcción de viviendas. Se compone de paredes en mampostería de bloques de concreto de 150mmx200mmx400mm, con repello y pintura; estructura de cubierta en Metal con perfiles de acero 100 mmx100mm y 50mm x 50mm y cubierta con laminas de hierro ondulado galvanizado, además de cielorraso en gypsum.

Para la zona de vida ubicada en Liberia se modifico el cielorraso de gypsum por cielorraso en losa de concreto de 100mm de espesor.

El contrapiso es una capa de concreto chorreado de 15cm de espesor.

La estructura primaria se compone de vigas y columnas de concreto armado, con refuerzos de acero en varilla # 4 en los vértices y # 3 en centros con aros con varilla #3 a cada 15cm.

Para la ventanería se utilizo paños de vidrio de 5mm de espesor, en marco de aluminio natural, con aperturas tipo ventilas.

Las características acá mencionadas fueron utilizadas para las simulaciones.

Además se utilizaron elementos de cerramiento de aluminio (tipo parasol) y sus dimensiones son de 10cm x 1cm x el largo indicado. Estos elementos fueron utilizados principalmente en la doble cubierta ventilada a modo de protección.



Imagen 39- Bloque de concreto

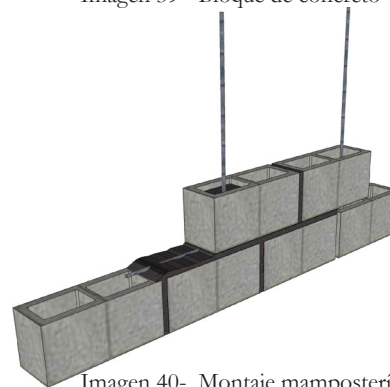


Imagen 40- Montaje mampostería de concreto

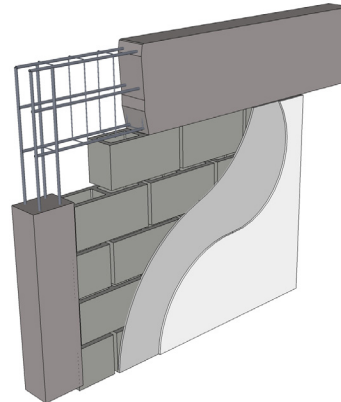


Imagen 41- Estructura Primaria

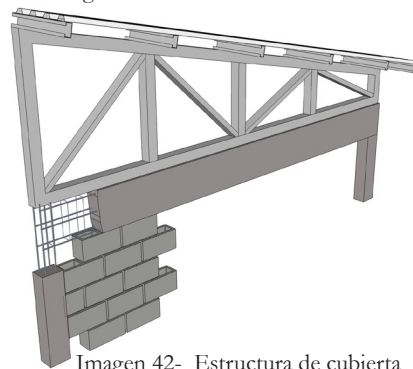


Imagen 42- Estructura de cubierta

## 4.2.4 Simulaciones Mamposteria de Concreto

### Simulaciones

Las simulaciones se realizaron mediante la utilización del software Design Builder, y los datos climáticos fueron obtenidos del software Meteor-norm y del Instituto Meteorológico Nacional.

Se simuló en las etapas críticas de la época seca (Febrero) y época lluviosa (Octubre), específicamente el día 15 de dichos meses.

Se realizó una simulación para cada uno de las zonas en estudio : Limón, San José y Liberia.

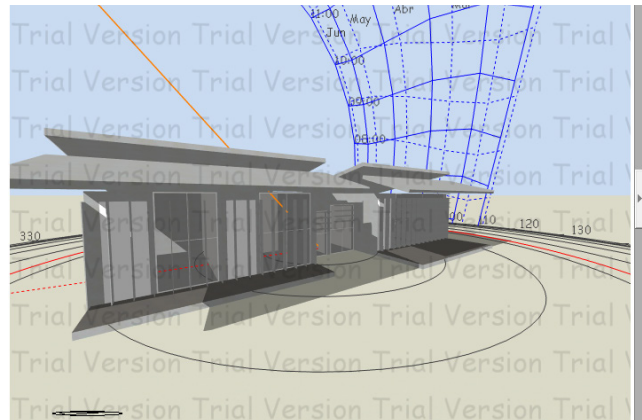
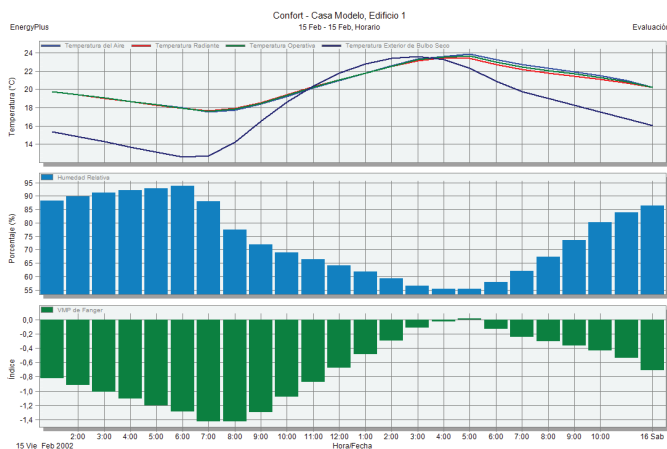


Imagen 43- Modelo Prototipo 1 - Design Builder

### San José

#### 15 DE FEBRERO



#### 15 DE OCTUBRE

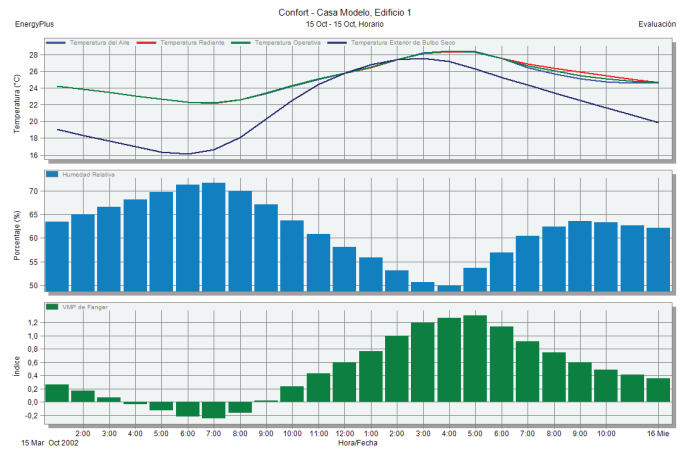


Imagen 44- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre -San José Design builder

En Febrero el rango de variación de temperatura se mantiene entre los 17,6 y 24 C, 6,4 grados en total , lo cual lo hace un espacio relativamente estable, saliendo un poco (1 punto) del rango ideal de confort durante de las noches debido a las bajas temperaturas. Durante el mes de Octubre el rango de variación de temperatura se mantiene entre los 22 y los 28 C, 6 grados en total. Durante el día el espacio se mantiene dentro del rango ideal de confort durante 15 horas diarias, saliendo de el entre la 1pm y las 8 pm debido a las altas temperaturas, horas durante las cuales el espacio se siente un poco mas calido de lo ideal, mas no es un calor extremo ni insoportable.



# Limón

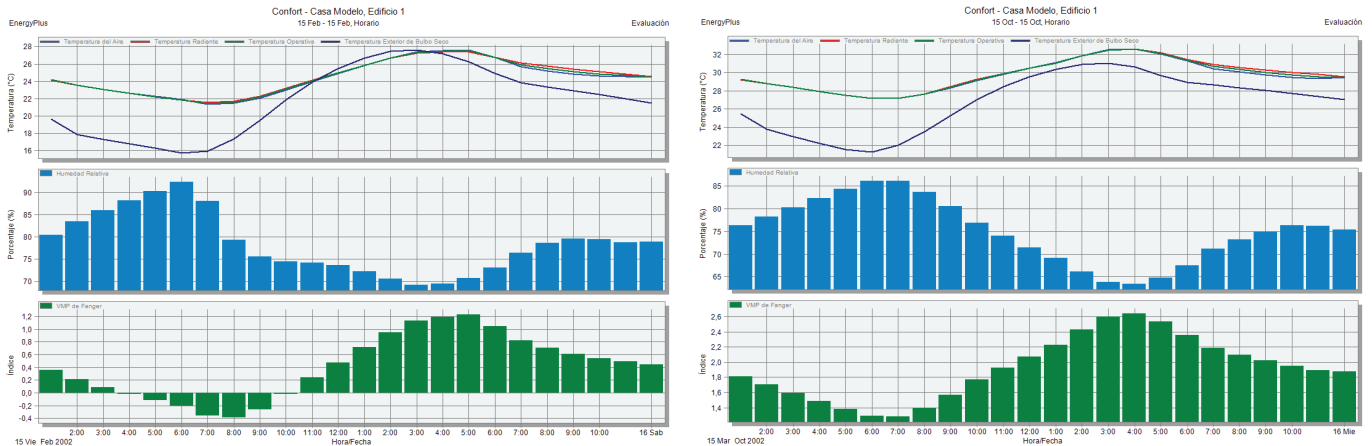


Imagen 45- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre- Limón - Design builder

En Limón, durante el Mes de Febrero, la misma edificación en concreto, se mantiene entre 21,5 y 27,7 C, 6,2 C. en total. La edificación se mantiene dentro del rango ideal de confort hasta las 12md, hora a partir de la cual el espacio se empieza a calentar, hasta alcanzar un tope maximo alrededor de las 5pm, a partir del cual la temperatura empieza a descender y el confort a aumentar. Por su parte en la época lluviosa, en el mes de octubre, debido a las altas temperaturas, que llegan a alcanzar los 32C, y la alta humedad, la edificación se mantiene fuera del rango de confort durante 100% del tiempo.

# Liberia

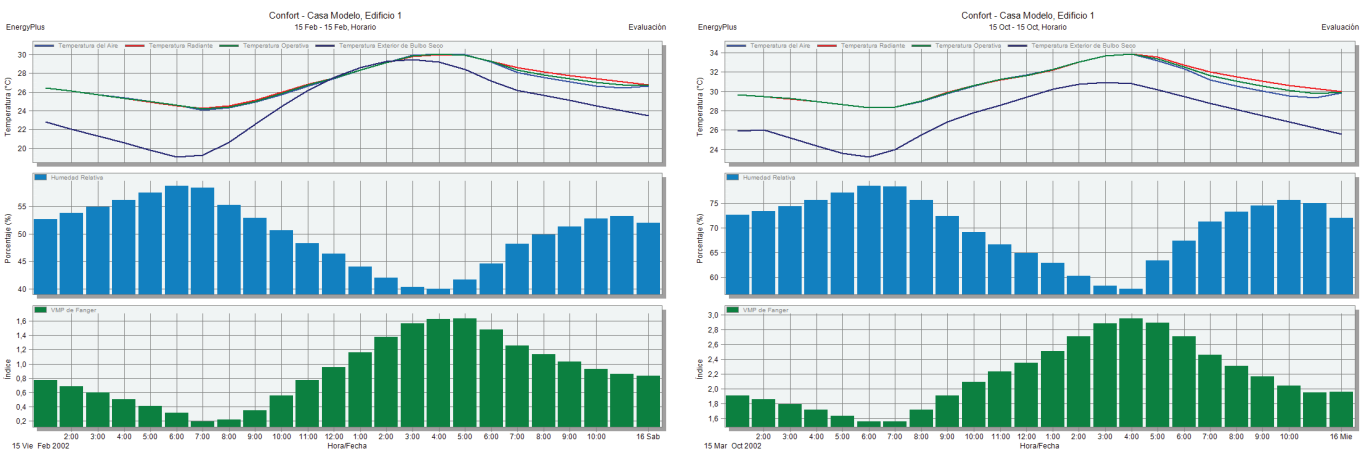


Imagen 46- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre- Liberia - Design builder

Por su parte en Liberia, durante la época seca del mes de Febrero, la edificación se mantiene cálida por la mayor parte del tiempo, saliéndose del rango ideal de confort a partir de las 11am, horas en la cual las altas temperaturas influyen directamente en el confort, ya que se alcanzan temperaturas de hasta 30C. Por su parte en la época lluviosa, con el aumento de humedad y las altas temperaturas, la edificación se mantiene fuera del rango de confort por la totalidad del tiempo, siendo las 4pm la hora mas critica, hora en la cual se alcanzan hasta 34C de temperatura.

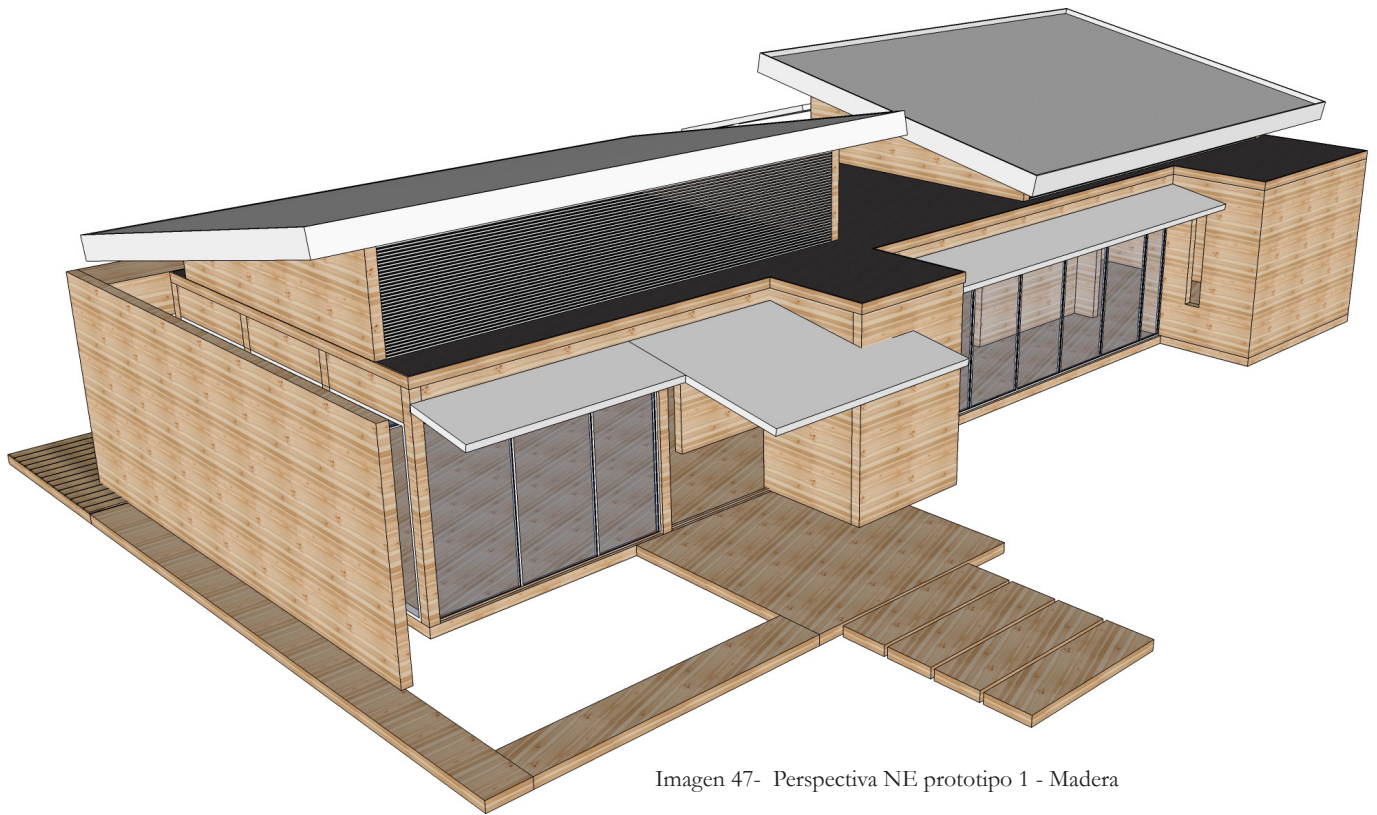


Imagen 47- Perspectiva NE prototipo 1 - Madera

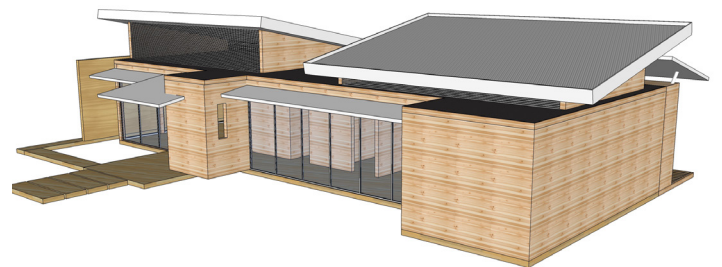


Imagen 48- Perspectiva NO prototipo 1 - Madera

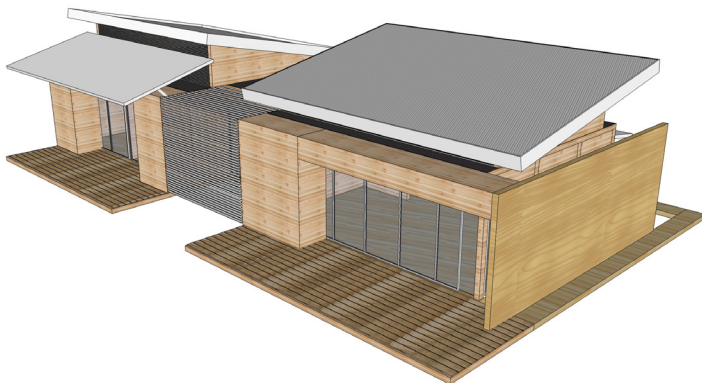


Imagen 49- Perspectiva SE prototipo 1 - Madera

## 4.2.5 Sistema Constructivo Madera

### Sistema Constructivo 2: Madera

El sistema 2 se compone de paredes livianas con estructura de postes de madera de 75mm x 75mm a cada 50cm, con cerramientos en paneles de madera de 1/2" de espesor, por 30cm de ancho por ambos lados, estructura de cubierta en madera, cielorraso en tablilla y cubierta de hierro galvanizado ondulado.

El contrapiso se compone de concreto chorreado de 15cm de espesor.

Las uniones de la madera se realizaron mediante pernos.

Para la ventanería se utilizó paños de vidrio de 5mm de espesor, en marco de madera, con aperturas tipo ventilas.

Las características acá mencionadas fueron utilizadas para las simulaciones.

Además se utilizaron reglas de madera a modo de parasoles, cuyas dimensiones son de 7.5 cm x 2.6 cm por el largo del espacio. Estos elementos fueron utilizados principalmente en la doble cubierta ventilada a modo de protección.



Imagen 50 - Sección de madera



Imagen 51 - Sistema de union en madera



Imagen 52 - Estructura de paredes - madera



Imagen 53 - Estructura de cubierta - madera

## 4.2.6 Simulaciones Madera

### Simulaciones

Las simulaciones se realizaron mediante la utilización del software Design Builder, y los datos climáticos fueron obtenidos del software Meteonorm y del Instituto Meteorológico Nacional.

Se simuló en las etapas críticas de la época seca (Febrero) y época lluviosa (Octubre), específicamente el día 15 de dichos meses.

Se realizó una simulación para cada uno de las zonas en estudio : Limón, San José y Liberia.



Imagen 54- Modelo Prototipo 1 - Design Builder

### San José

15 DE FEBRERO

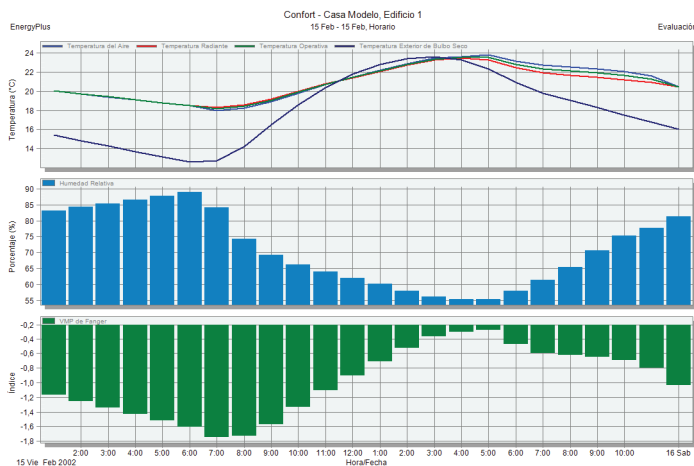
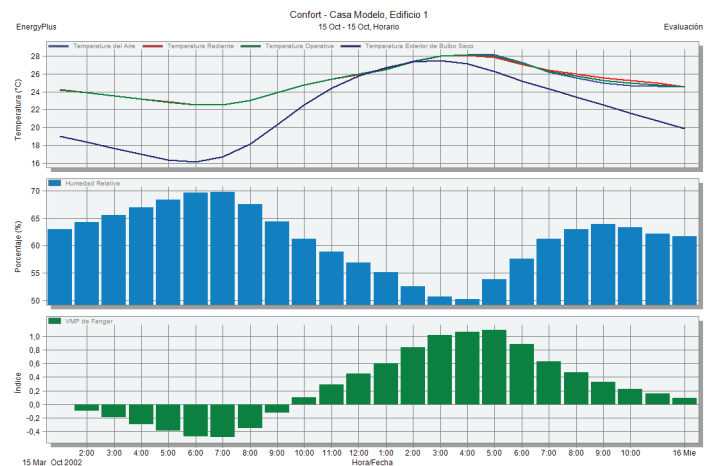


Imagen 55- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Madera-San José Design builder

15 DE OCTUBRE



El sistema constructivo en madera para San José, hace que en el interior del espacio haya una oscilación de temperatura de tan solo 6C, lamentablemente durante gran parte del día las temperaturas en el interior se mantienen por debajo del ideal, lo cual hace que se aleje un poco de la zona de confort. Durante la época lluviosa, con la alta humedad y temperaturas altas hacen que el confort en la edificación se mantenga más estable, saliendo un poco entre 3pm y 6pm, horas en la cual la edificación se calienta.

## Limón

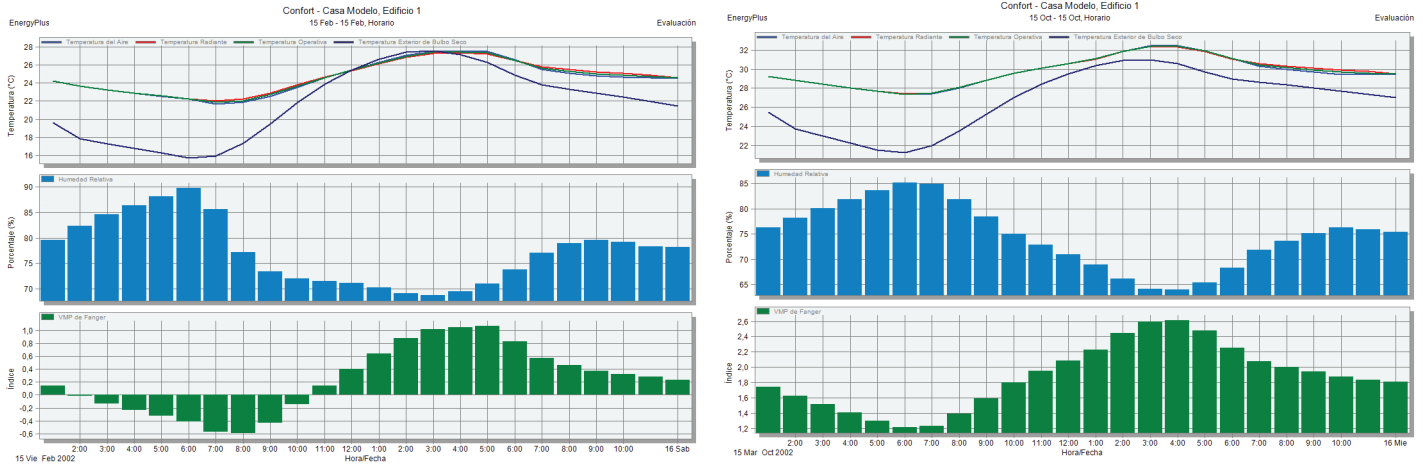


Imagen 56- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Madera-Limón - Design builder

Para la zona de Limón, en la época seca, se observa que en la cual durante las horas de la mañana se mantiene fría y confortable, pero conforme sube la temperatura exterior, esta empieza a calentarse y a salirse de la zona de confort. Por su parte en la época de lluvia, la edificación se mantiene muy caliente, alcanzando temperaturas de hasta 32C, lo cual genera un alto desconfort por parte de los usuarios.

## Liberia

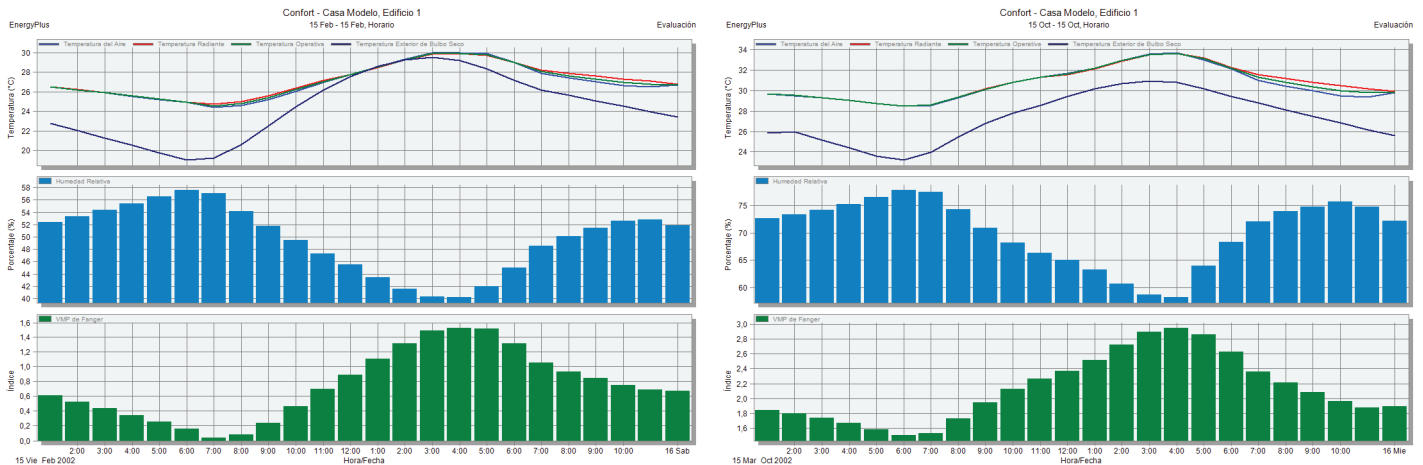


Imagen 57- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Madera-Liberia - Design builder

Para la zona de Liberia tanto en la época seca como en la época lluviosa la edificación se mantiene muy caliente, saliéndose la mayor parte del tiempo de la zona de confort principalmente en las horas de la tarde, siendo aun más crítico durante la época lluviosa.

Imagen 58- Perspectiva NE prototipo 1 - Metal + laminas cementicias

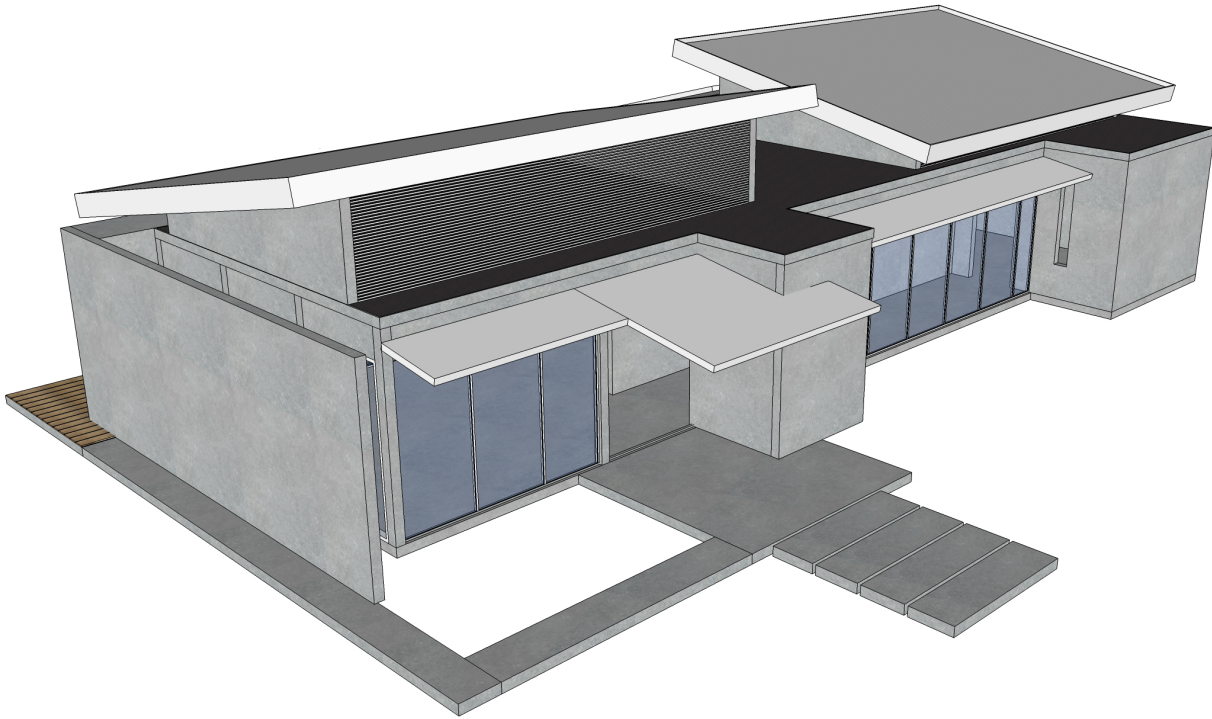


Imagen 59- Perspectiva SE prototipo 1 - Metal + laminas cementicias

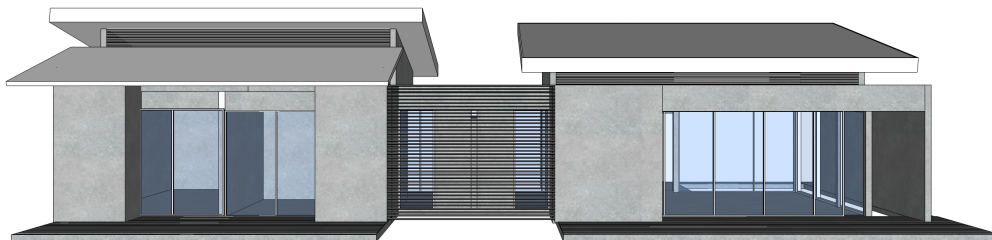
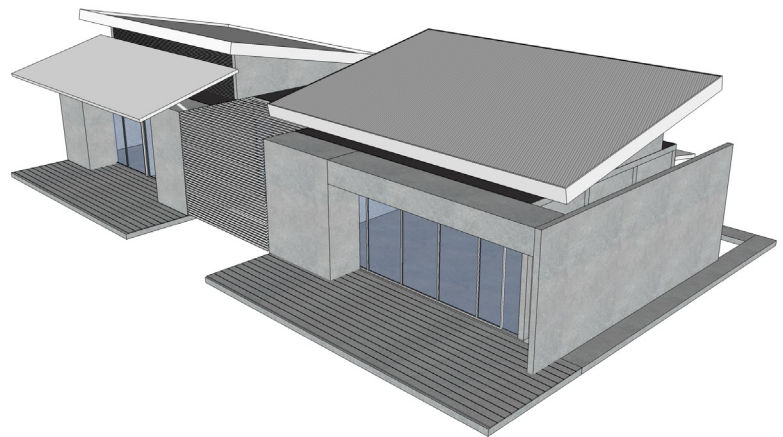


Imagen 60- Perspectiva S prototipo 1 - Metal + laminas cementicias

## 4.2.7 Sistema Constructivo Metal

### Sistema Constructivo 3: Estructura de acero mas cerramientos livianos en láminas cementicias.

El sistema 3 se compone de Paredes livianas formadas a partir de marcos compuestos con tubo de acero de 75mm x 75mm x 3.2mm, con elementos diagonales en tubo de acero de 50mm x 50mm x 3.2 mm, para evitar la deformación.

Los cerramientos poseen estructura liviana en postes y canales de aluminio a cada 40cm, recubiertos con láminas cementicias (durock) de 12 mm espesor, por ambos lados.

La estructura de cubierta en metal, cielorraso en gypsum de 12mm de espesor con cubierta de hierro galvanizado ondulado.

El contrapiso es de concreto armado de 15cm de espesor.

Las las uniones de los tubos se realizaron mediante soldadura.

Para la ventanería se utilizo paños de vidrio de 5mm de espesor, en marco de aluminio natural, con aperturas tipo ventilas.

Las características acá mencionadas fueron utilizadas para las simulaciones.

Además se utilizaron elementos de cerramiento de aluminio (tipo parasol) y sus dimensiones son de 100mm x 10mm x el largo indicado. Estos elementos fueron utilizados principalmente en la doble cubierta ventilada a modo de protección.



Imagen 61 - Perfil acero cuadrado de 10mm x 10mm



Imagen 62 - Unión soldada

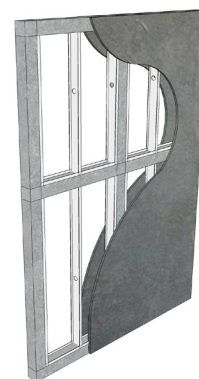


Imagen 63 - Estructura de pared de acero



Imagen 64 - Estructura de cubierta en acero

## 4.2.8 Simulaciones Metal

### Simulaciones

Las simulaciones se realizaron mediante la utilización del software Design Builder, y los datos climáticos fueron obtenidos del software Meteor-norm y del Instituto Meteorológico Nacional.

Se simuló en las etapas críticas de la época seca (Febrero) y época lluviosa (Octubre), específicamente el día 15 de dichos meses.

Se realizó una simulación para cada uno de las zonas en estudio : Limón, San José y Liberia.

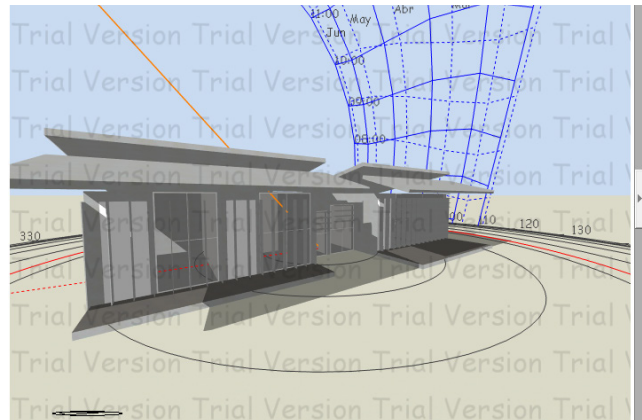


Imagen 65- Modelo Prototipo 1 - Design Builder

### San José

#### 15 DE FEBRERO

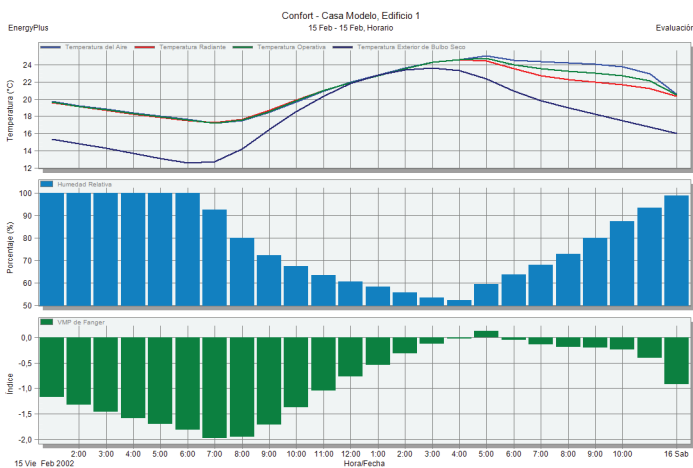
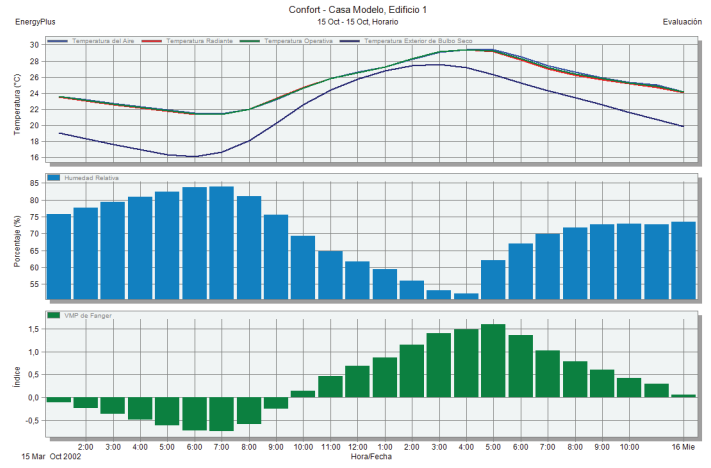


Imagen 66- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Metal -San José Design builder

#### 15 DE OCTUBRE



En Febrero, durante las horas de la noche la edificación se enfría rápidamente debido a las bajas temperaturas, lo cual hace que esta se salga de los rangos de confort. Durante la tarde las temperaturas se estabilizan, convirtiendo el espacio en una zona confortable, mas conforme avanza la noche, vuelve a enfriarse rapidamente. Por su parte en la época lluviosa durante la madrugada la edificación se mantiene fría, pero conforme avanza el día la edificación se calienta debido a las altas temperaturas



## Limón

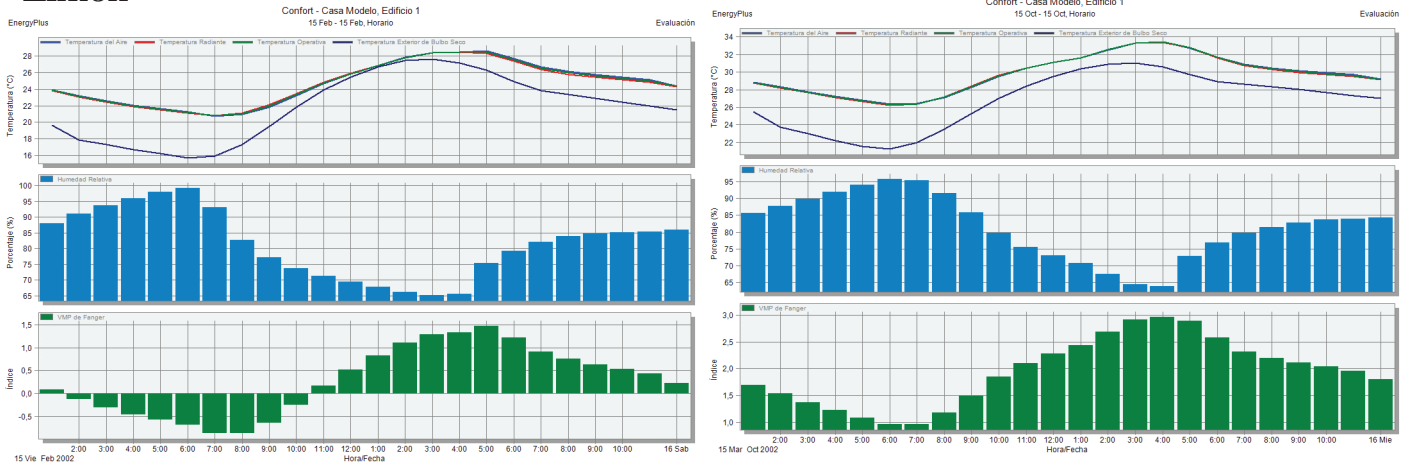


Imagen 67- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Metal -Limón Design builder

Para la zona de limon se observa un comportamiento en la edificación, en la cual durante las horas de la mañana se mantiene fría, pero conforme sube la temperatura exterior, esta empieza a calentarse hasta llegar hasta 28C, totalmente fuera de la zona de confort. Por su parte en la epoca lluviosa, la edificación se mantiene muy caliente, alcanzando temperaturas de hasta 34C, lo cual genera un alto desconfort por parte de los usuarios.

## Liberia

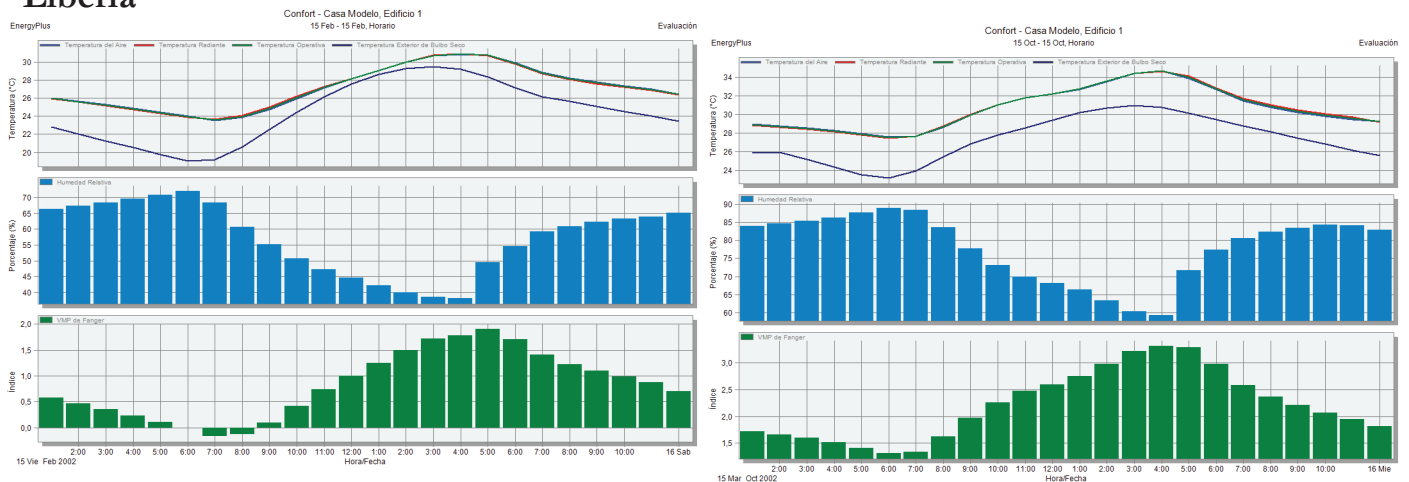


Imagen 68- Simulaciones termodinamicas Prototipo 1 - Febrero y Octubre - Metal -Liberia Design builder

Para Liberia, debido a las altas temperatura de la zona, la edificación se mantiene fresca unicamente en las horas de la madrugada, apartir de la cual empieza a aumentar la temperatura, hasta llegar a un tope de 30C, por lo cual gran parte del dia, la edificación se encuentra fuera de los rangos de confort. En la epoca lluviosa, debido al incremento de las temperaturas, el desconfort incrementa sustancialmente.

## 4.2.9 Resultados y Conclusiones Prototipo 1

### Resultados

Las simulaciones dieron como resultado lo siguiente:

Para la zona de vida 1 (Limón): Las simulaciones dieron como resultado, que aplicando las estrategias pasivas de diseño bioclimático para dicha zona, el sistema constructivo que favorece el confort de los usuarios en el interior de la edificación es el Sistema constructivo #2, en madera.

Para la zona de vida 2 (San José): Las simulaciones dieron como resultado que aplicando las estrategias pasivas de diseño bioclimático para dicha zona, el sistema constructivo que favorece el confort de los usuarios en el interior de la edificación es el sistema constructivo #1 - Concreto

Para la zona de vida 3 (Liberia): Las simulaciones dieron como resultado que aplicando las estrategias pasivas de diseño bioclimático para dicha zona, el sistema constructivo que favorece el confort de los usuarios en el interior de la edificación es el sistema constructivo #1 - Concreto

### Conclusiones

Con los resultados obtenidos de las simulaciones, se comprueba la aplicabilidad de estrategias pasivas para viviendas con características similares en cuanto diseño y ubicación, al Prototipo 1, teniendo en cuenta que para cada una de las zonas en estudio aplica un sistema constructivo que genera mejores resultados a nivel de confort.



**Incomodo**

**Confortable**

- Bosque Húmedo Premontano
- Bosque Seco Tropical - th
- Bosque Húmedo Tropical

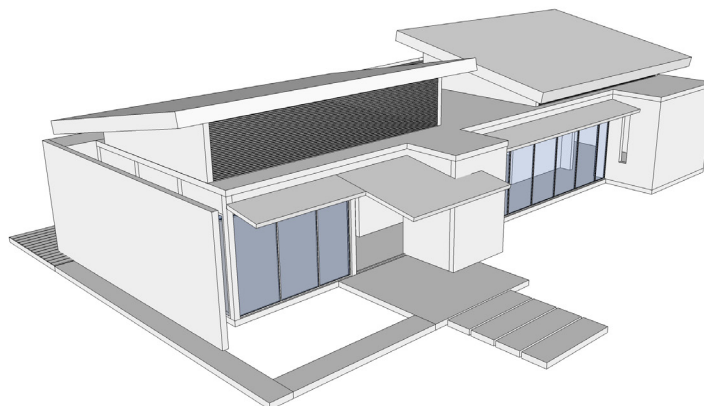


Imagen 69- Perspectiva Prototipo 1 Concreto - NE

- Bosque Húmedo Premontano
- Bosque Seco Tropical - th
- Bosque Húmedo Tropical

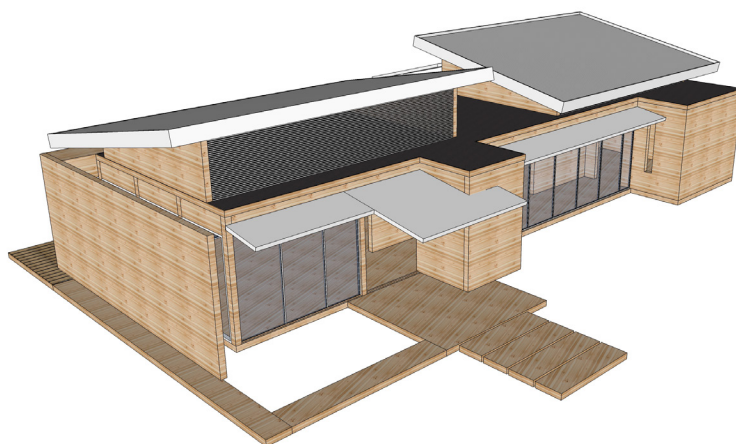


Imagen 70-- Perspectiva Prototipo 1 Madera - NE

- Bosque Húmedo Premontano
- Bosque Seco Tropical - th
- Bosque Húmedo Tropical

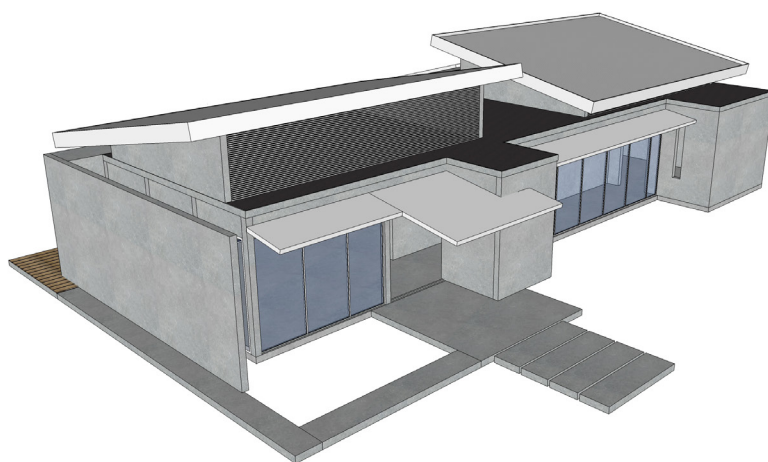


Imagen 71-- Perspectiva Prototipo 1 Metal - NE

## 4.3 Prototipo 2

### 4.3.1 Diseño

#### Diseño General

Se diseñó un prototipo de vivienda con los siguientes espacios para una familia base de 3 personas, en un nivel:

1. Habitación Principal
2. Habitación Secundaria
3. Sala
4. Cocina
5. Comedor
6. Servicio Sanitario Completo
7. Cuarto de Pilas

Este prototipo de vivienda se diseñó para lotes angostos (8m de ancho por 20 de largo, con un solo frente), con edificaciones colindantes en sus laterales, en los cuales la vivienda sufre la incidencia de las variables climáticas sobre la envolvente principalmente sobre su fachada principal y la cubierta. Esta tipología de vivienda es la más común en el área metropolitana. Aún así en los centros de ciudades como Limón y Liberia las viviendas también presentan esta tipología.

#### Análisis de Confort

El objetivo del diseño de este prototipo fue analizar el comportamiento de la edificación en cada una de las zonas, por lo cual se realizaron simulaciones climáticas

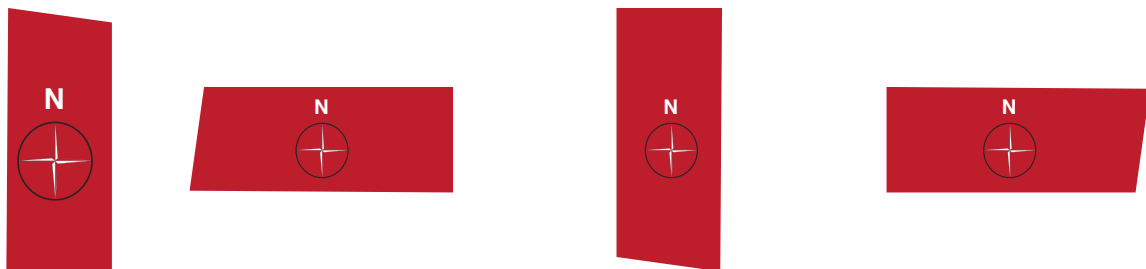
utilizando el Software Design Builder, en las cuales se simuló variando el sistema constructivo entre:

Sistema 1: Paredes en Mampostería de bloques de concreto de 12x20x20cm, con repello y pintura, con estructura de cubierta en Metal con perfiles de acero 4"x2" y cubierta con laminas de hierro ondulado galvanizado, además de cielorraso en gypsum. Para la zona de vida ubicada en Liberia se modificó el cielorraso de gypsum por cielorraso en losa de concreto de 10cm de espesor.

Sistema 2: Paredes livianas con estructura en acero de 3"x3", postes y canales de 3", con cerramientos en durock de 12mm, cubierta en metal y cielorraso en laminas de gypsum.

Sistema 3: Paredes livianas con estructura de postes de madera de 3"x3", con cerramientos en paneles de madera de 1/2" de espesor por ambos lados, estructura de cubierta en madera, cielorraso en tablilla y cubierta de hierro galvanizado ondulado #26.

Dado que para este prototipo la localización del lote es influyente se realizaron 4 simulaciones (NS, EO, OE y SN) para cada uno de los sistemas constructivos en cada una de las zonas, para un total de 12 simulaciones por cada zona en estudio para un total de 36 simulaciones.



### 4.3.2 Planta

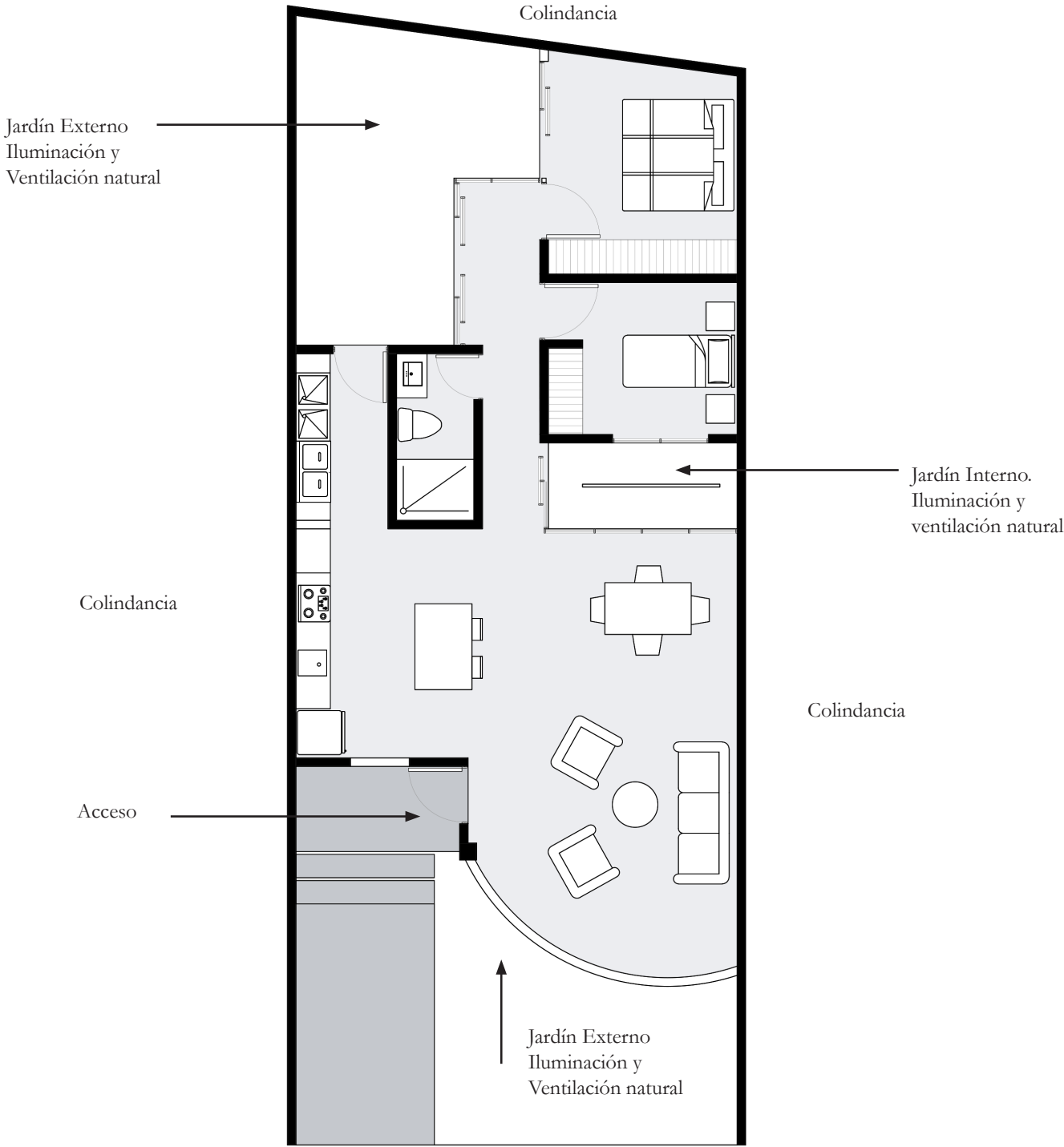


Imagen 72 Planta Prototipo 2

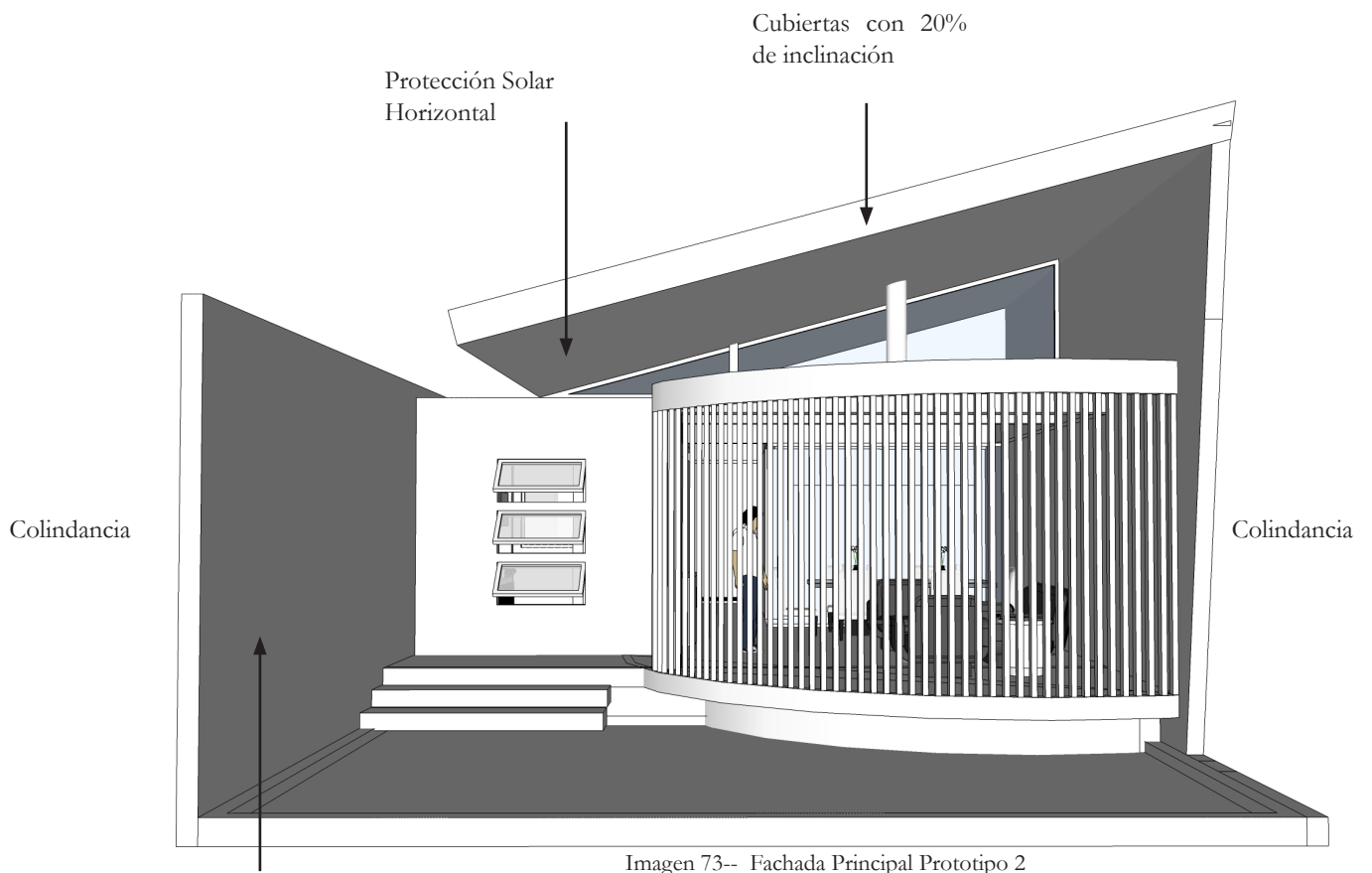


Imagen 73-- Fachada Principal Prototipo 2

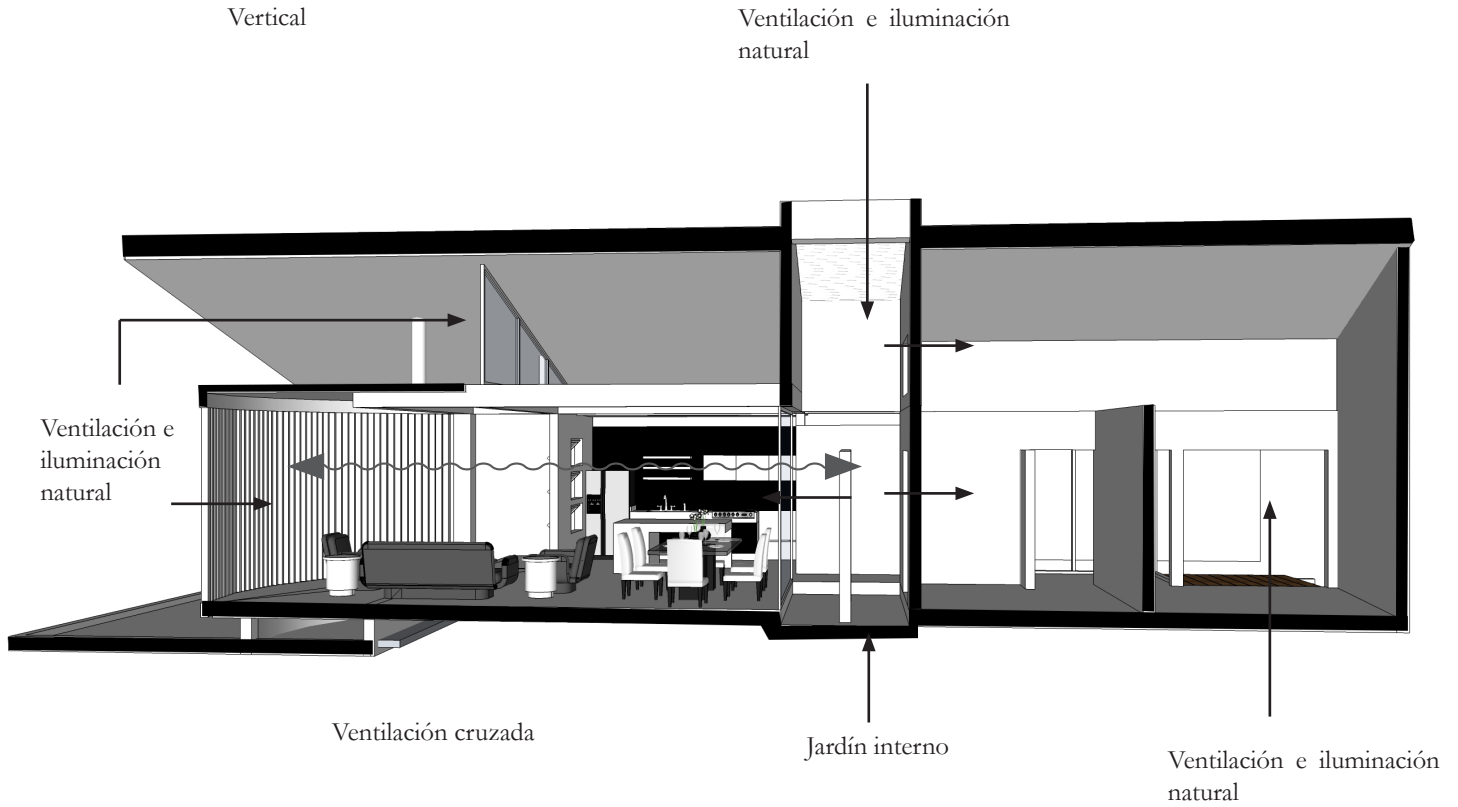


Imagen 74-- Corte Longitudinal Prototipo 2

### 4.3.3 Sistema Constructivo Mampostería de Bloques de Concreto

#### Sistema Constructivo 1: Mampostería en Bloques de Concreto

El sistema #1, es de los sistemas constructivos más utilizados en Costa Rica para la construcción de viviendas. Se compone de Paredes en Mampostería de bloques de concreto de 15x20x40cm, con repello y pintura; estructura de cubierta en Metal con perfiles de acero 100mm x 100mm y 50mm x 50mm y cubierta con laminas de hierro ondulado galvanizado, además de cielorraso en gypsum.

Para la zona de vida ubicada en Liberia se modificó el cielorraso de gypsum por cielorraso en losa de concreto de 10cm de espesor.

Contrapiso es de concreto armado de 15cm de espesor.

Las vigas y columnas se componen de concreto chorreado, con estructura en varilla # 4 en los vértices y # 3 en centros con aros con varilla #3 a cada 15cm.

Para la ventanería se utilizó paños de vidrio de 5mm de espesor, en marco de aluminio natural, con aperturas tipo ventilas.

Las características acá mencionadas fueron utilizadas para las simulaciones.

Además se utilizaron elementos de cerramiento de aluminio y sus dimensiones son de 10cm x 1cm x el largo indicado. Estos elementos fueron utilizados principalmente en la doble cubierta ventilada a modo de protección.



Imagen 75- Bloque de concreto



Imagen 76- Montaje mampostería de concreto

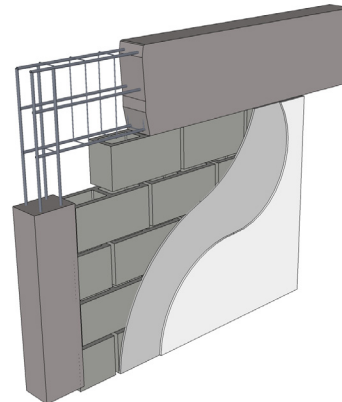


Imagen 77- Estructura Primaria

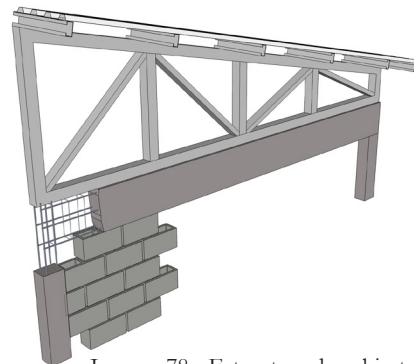


Imagen 78- Estructura de cubierta

## 4.3.4 Simulaciones Mamposteria de Concreto

### Simulaciones

Las simulaciones se realizaron mediante la utilización del software Design Builder, y los datos climáticos fueron obtenidos del software Meteonorm y del Instituto Meteorológico Nacional.

Se simuló en las etapas críticas de la época seca (Febrero) y época lluviosa (Octubre), específicamente el día 15 de dichos meses.

Se realizaron cuatro simulación para cada uno de las zonas de vida en estudio : Limón, San José y Liberia.

### San José

#### 15 DE FEBRERO

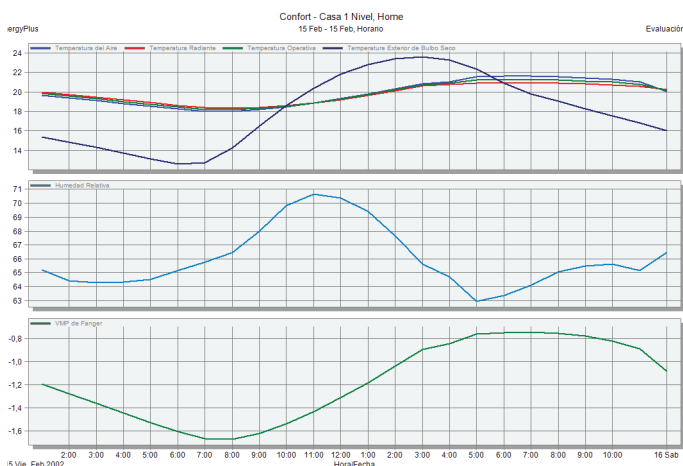


Imagen 80- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Concreto -San José Design builder

#### 15 DE OCTUBRE

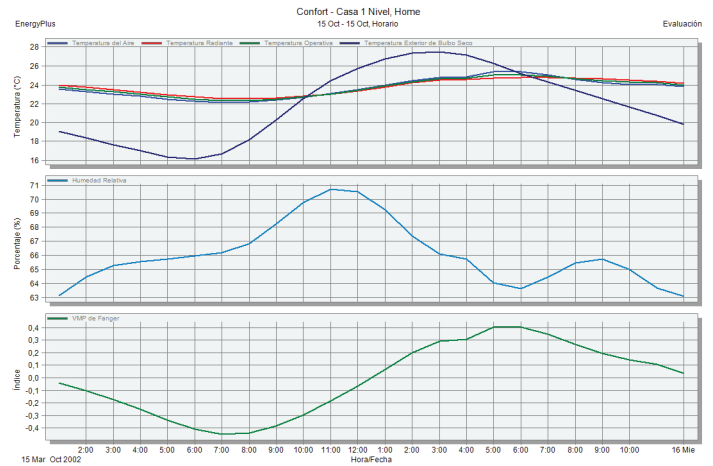


Imagen 79- Modelo Prototipo 2 - Design Builder

El sistema constructivo en mamposteria de concreto para San Jose, presenta para la epoca seca, un rango de temperatura en su interior entre 18 y 22C, lo cual es bastante estable, a pesar de esto, la mayor parte del día, la vivienda se encuentra mas fria de lo deseable, por lo cual sale del rango de confort. Por su parte en la epoca lluviosa, el rango de variación diaria de la temperatura se conserva en tan solo 4C, lo cual debido a las temperaturas un poco mas elevadas, la vivienda permanezca durante todo el día dentro del rango de confort.



## Limón

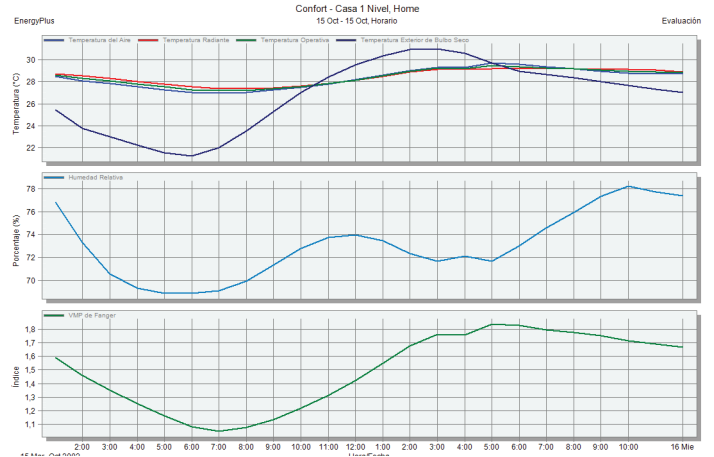
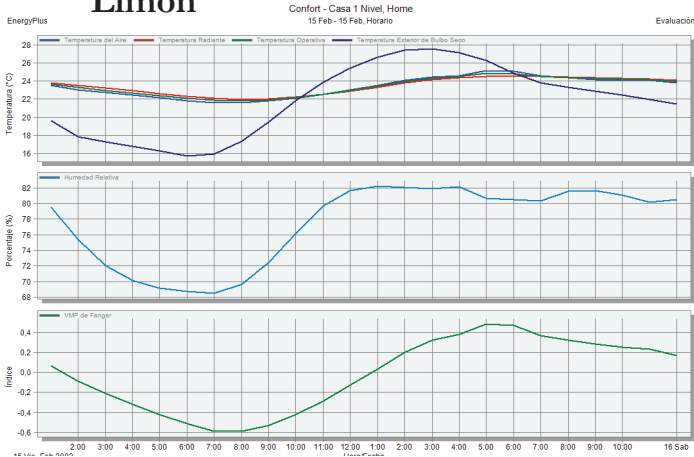


Imagen 81- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Concreto -Limón Design builder

El sistema constructivo en mampostería de concreto para Limón, presenta un comportamiento bastante estable a nivel de temperatura, teniendo un rango de oscilación de menos de 4C tanto durante la época seca como en la lluviosa. Apesar de esto, esta solo se mantiene dentro de los rangos de confort durante la época seca, ya que en la época lluviosa, debido a las altas temperaturas, la edificación se mantiene mas caliente de lo deseado.

## Liberia

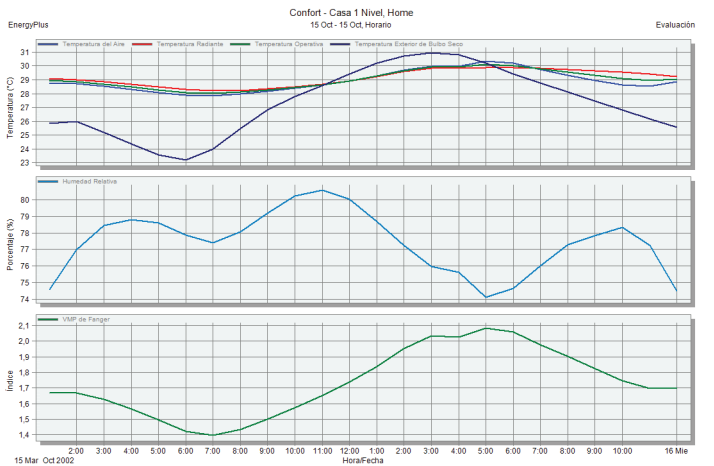
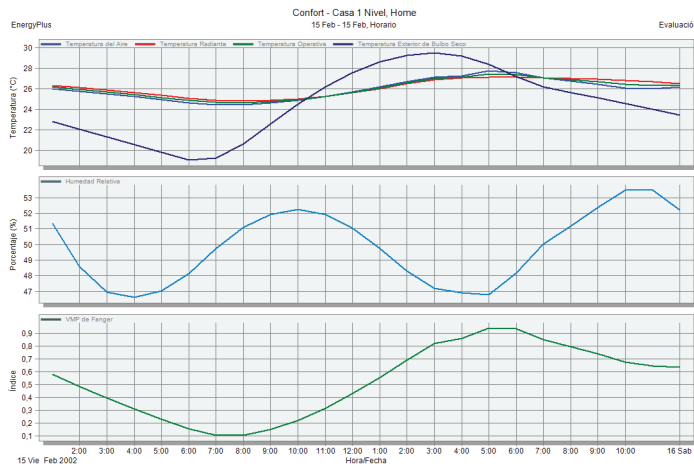


Imagen 82- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Concreto -Liberia Design builder

El sistema constructivo en mampostería de concreto para Liberia, nos presenta un comportamiento bastante estable a nivel de temperatura. A pesar de esto, la edificación en gran parte del día se encuentra un poco mas caliente de lo deseado, volviendose crítico en la época lluviosa donde los parametros de confort se salen del rango deseado debido al calor.

## 4.3.5 Simulaciones Mamposteria de Concreto Ganancias Internas

### Ganancias Internas

Dado que el prototipo posee unicamente una fachada expuesta, y sus otras tres protegidas por las edificaciones colindantes, se realizaron simulaciones colocando esta fachada hacia los distintos puntos cardinales.

Estas simulaciones (Imagen 83 y 84), se realizaron para lo zona de San José, con el sistema constructivo en mamposteria de concreto.

En las distintas simulaciones se encontro que: si la fachada se colocaba hacia el sur o hacia el norte, las ganancias solares internas permacion con niveles muy bajos, menores a 1kw durante la gran parte del día.

Por su parte que las ganancias solares internas se duplicaban (2,5 kW) entre las 3 y 5:30 si la fachada expuesta se colocaba hacia el Oeste, aumentando la temperatura de los espacios internos.

Este efecto se presento con toda abertura colocada hacia el oeste, y hacia el Este en menor medida, si comprobando lo propuesto por la guia de diseño bioclimático.

Dado este principio, se condiciona a todas las viviendas con las características de este prototipo ubicadas con su fachada hacia el oeste a:

1. Sacrificar las aperturas hacia su frente (oeste) o
2. Emplear sistemas de protección especificas para dichas horas. (de 3pm a 6pm)

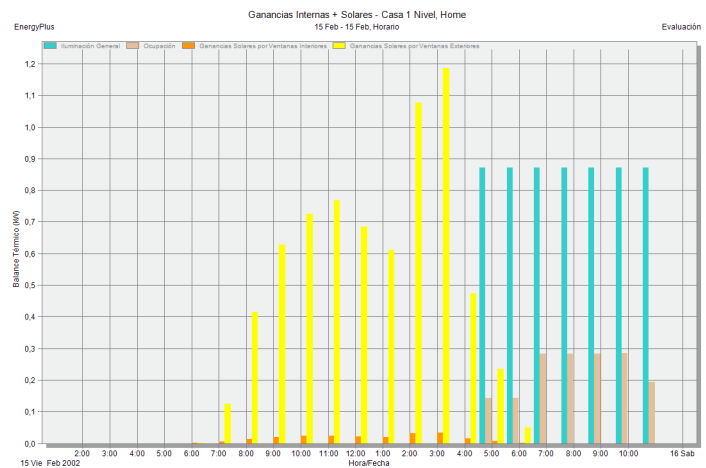


Imagen 83- Simulaciones Ganancias internas Solares - Norte

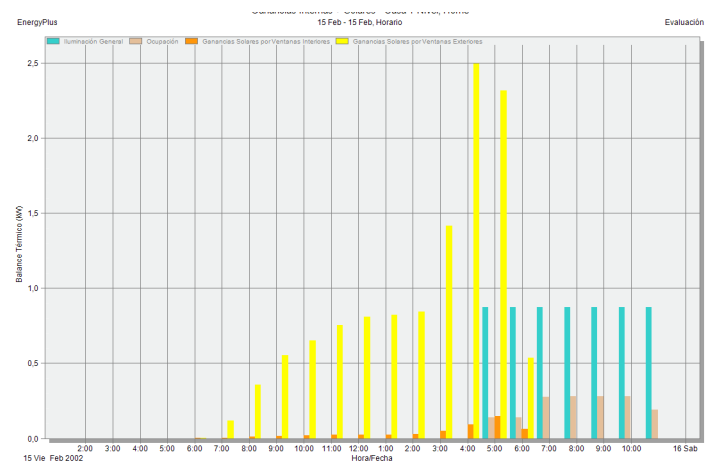


Imagen 84- Simulaciones Ganancias internas Solares - Oeste

## Conclusiones

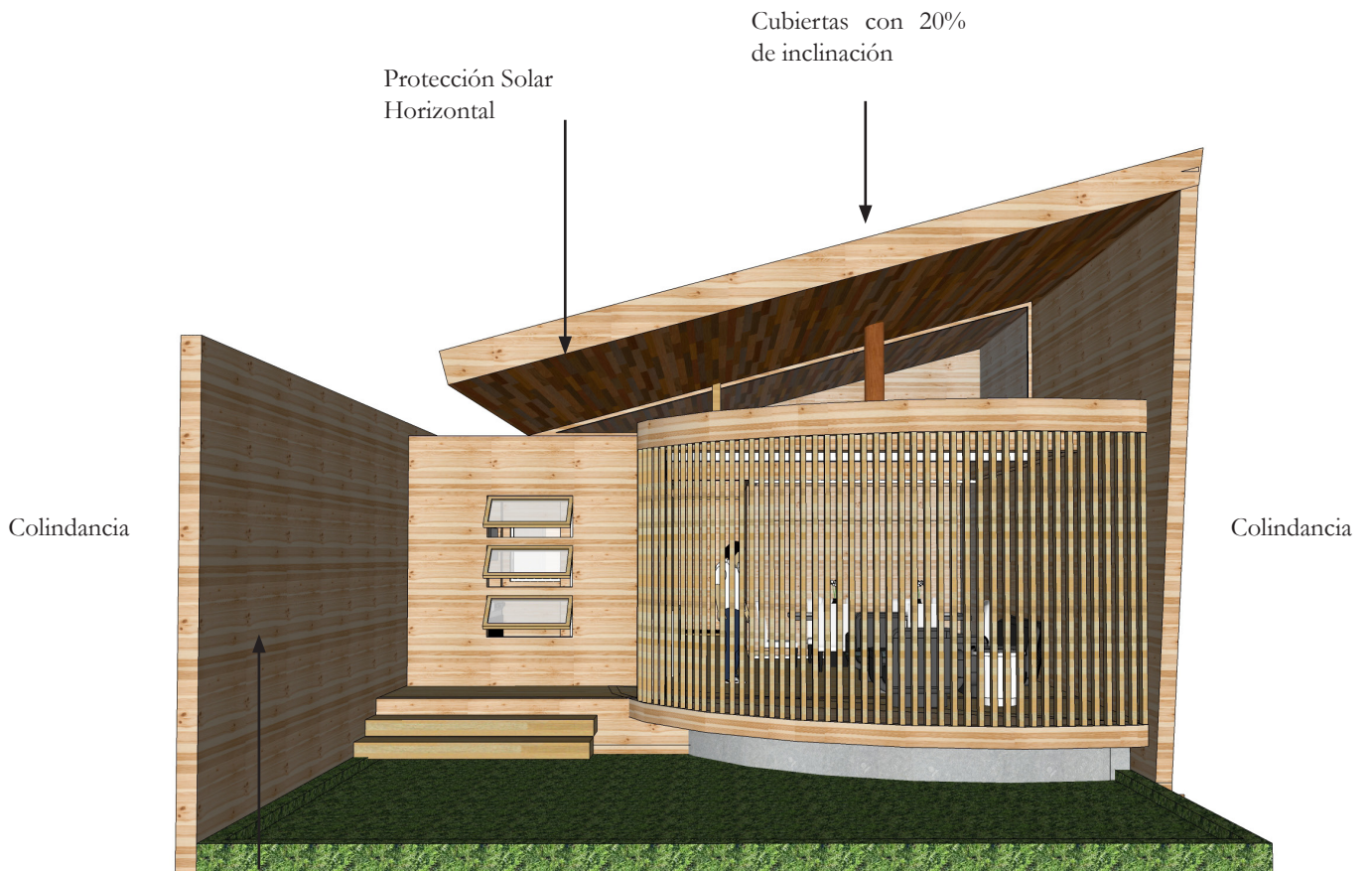
Se determino mediante las distintas simulaciones que el sistema constructivo en mamposteria de bloques de concreto, para el prototipo de diseño dos, es aplicable para la zona de San José, dado que se mantienen condiciones ideales para el confort de los usuarios a lo largo del año.

Para la zona de Limón se presenta que para época lluviosa (octubre) al incrementar las temperaturas y la humedad, las temperaturas en el interior de la edificación, incrementan saliendo de la zona de confort.

Por su parte para la zona de Liberia, dadas las constantes altas temperaturas a lo largo del año, hace que las temperaturas internas se encuentren por encima del rango de confort.

Con las simulaciones colocando la fachada principal hacia los distintos puntos cardinales, se concluye que para toda apertura hacia el oeste, se presenta un incremento en sus ganancias solares internas entre las 3pm y las 6pm, incrementando las temperaturas del espacio interno.

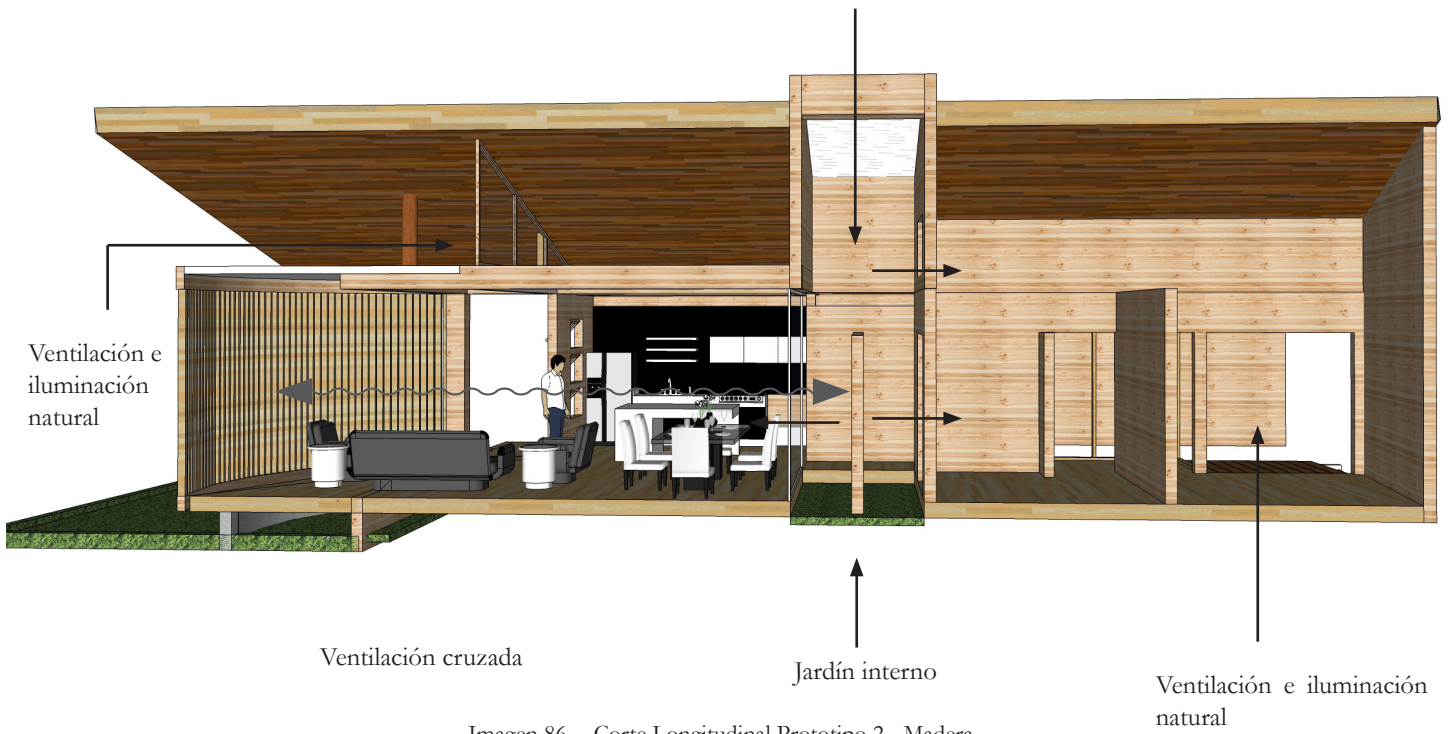
A su vez en comparación con el prototipo 1, se determino que debido a que 3 de sus 4 fachadas se encuentran 100% protegidas por las edificaciones colindantes, se genera una mayor estabilidad dentro de la edificación, por lo cual se vuelve mas confortable en climas calidos como los aca analizados.



Protección Solar Vertical

Imagen 85-- Fachada Principal Prototipo 2 - Madera

Ventilación e iluminación natural



Ventilación cruzada

Jardín interno

Ventilación e iluminación natural

Imagen 86-- Corte Longitudinal Prototipo 2 - Madera

## 4.3.6 Sistema Constructivo Madera

### Sistema Constructivo 2: Madera

El sistema 2 se compone de Paredes livianas con estructura de postes de madera de 75mm x 75mm a cada 50cm, con cerramientos en paneles de madera de 12mm de espesor, por 30cm de ancho por ambos lados, estructura de cubierta en madera, cielorraso en tablilla y cubierta de hierro galvanizado ondulado.

El contrapiso es de concreto armado de 15cm de espesor.

Las uniones de la madera se realizaron mediante pernos.

Para la ventanería se utilizó paños de vidrio de 5mm de espesor, en marco de madera, con aperturas tipo ventilas.

Las características acá mencionadas fueron utilizadas para las simulaciones.

Además se utilizaron reglas de madera a modo de parasoles, cuyas dimensiones son de 7.5 cm x 2.6 cm por el largo del espacio. Estos elementos fueron utilizados principalmente en la doble cubierta ventilada a modo de protección.



Imagen 87 - Sección de madera



Imagen 88 - Sistema de union en madera



Imagen 89 - Estructura de paredes - madera



Imagen 90 - Estructura de cubierta - madera

## 4.3.7 Simulaciones Madera

### Simulaciones

Las simulaciones se realizaron mediante la utilización del software Design Builder, y los datos climáticos fueron obtenidos del software Meteornorm y del Instituto Meteorológico Nacional.

Se simuló en las etapas críticas de la época seca (Febrero) y época lluviosa (Octubre), específicamente el día 15 de dichos meses.

Se realizaron cuatro simulación para cada uno de las zonas de vida en estudio : Limón, San José y Liberia.

### San José



Imagen 91- Modelo Prototipo 2 - Design Builder

### 15 DE FEBRERO

### 15 DE OCTUBRE

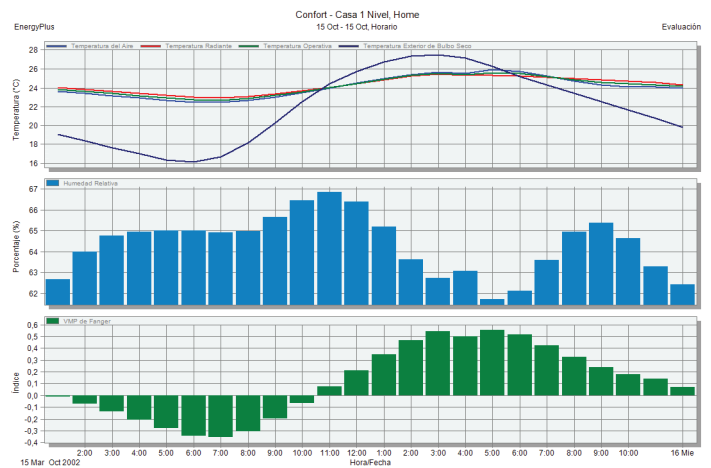
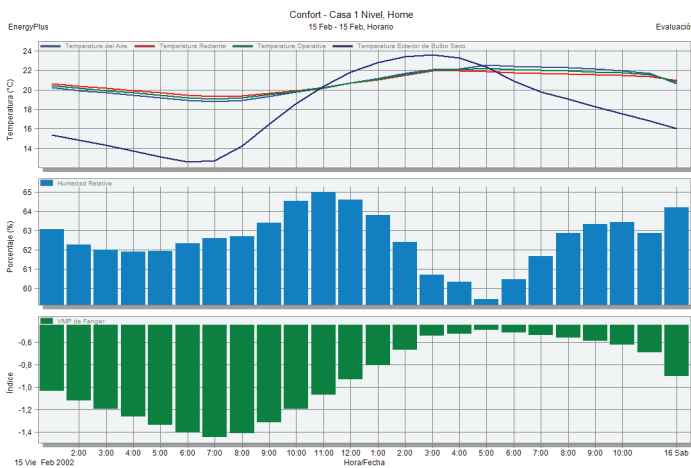


Imagen 92- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Madera -San José Design builder

El sistema constructivo liviano en madera para San José en la época seca, presenta un rango de oscilación en la temperatura de tan solo 3C, pero debido a las bajas temperaturas, la vivienda se mantiene en temperaturas un poco mas bajas de lo deseado. Por su parte en la época lluviosa, durante las mañanas la vivienda es fresca y durante las tardes es cálida, adaptandose de manera óptima, manteniendo el confort de los usuarios durante lo largo del día.

# Limón

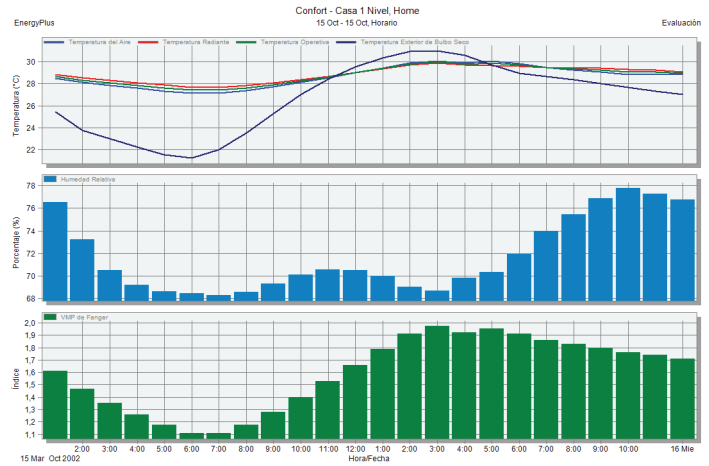
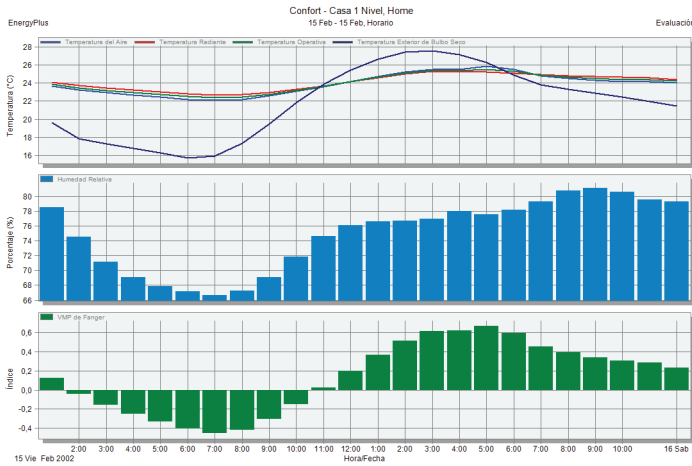


Imagen 93- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Madera -Limón Design builder

El sistema constructivo liviano en madera para Limón durante la época seca se mantiene perfectamente dentro de los rangos deseados de confort durante todo el día, por su parte en la época lluviosa, debido a las altas temperaturas la edificación se mantiene excesivamente caliente, por lo cual se sale del rango de confort.

# Liberia

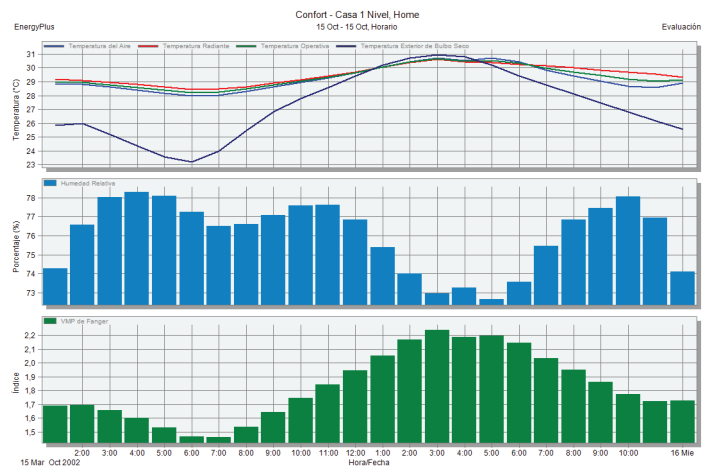
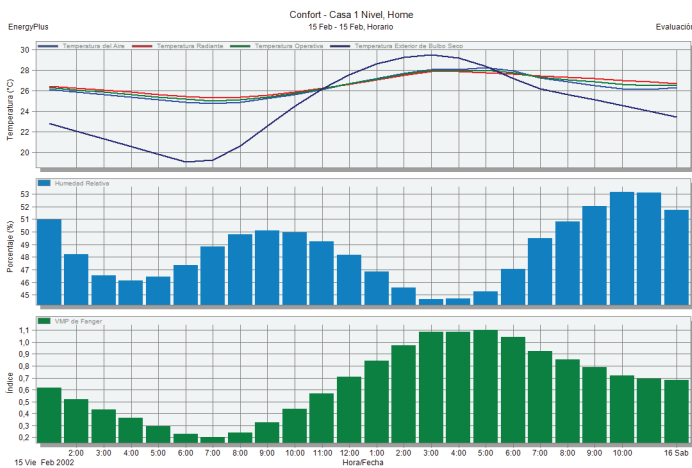


Imagen 94- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Madera -Liberia Design builder

El sistema constructivo liviano en madera para Liberia, durante la época seca se mantiene entre los 25C y los 28C, por lo cual durante las tardes se calienta mas de lo deseado, saliendo ligeramente del rango ideal de confort. A su vez en la época lluviosa, al subir las temperaturas, la vivienda se mantiene entre los 29 y los 31C, lo cual es excesivamente caliente para los usuarios.

## 4.3.8 Simulaciones Madera Ganancias Internas

### Ganancias Internas

Dado que el prototipo posee unicamente una fachada expuesta, y sus otras tres protegidas por las edificaciones colindantes, se realizaron simulaciones colocando esta fachada hacia los distintos puntos cardinales.

Estas simulaciones (Imagen 95 y 96), se realizaron para lo zona de Limón con el sistema constructivo en madera.

En las distintas simulaciones se encontro que: si la fachada se colocaba hacia el sur o hacia el norte, las ganancias solares internas permacian con niveles muy bajos, menores a 1kw durante la gran parte del día.

Por su parte que las ganancias solares internas se duplicaban, hasta superar los 2,5 kW entre las 3 y 5:30 si la fachada expuesta se colocaba hacia el Oeste, aumentando la temperatura de los espacios internos.

Este efecto se presento con toda abertura colocada hacia el oeste, y hacia el Este en menor medida, si comprobando lo propuesto por la guia de diseño bioclimatico.

Dado este principio, se condiciona a todas las viviendas con las características de este prototipo ubicadas con su fachada hacia el oeste.

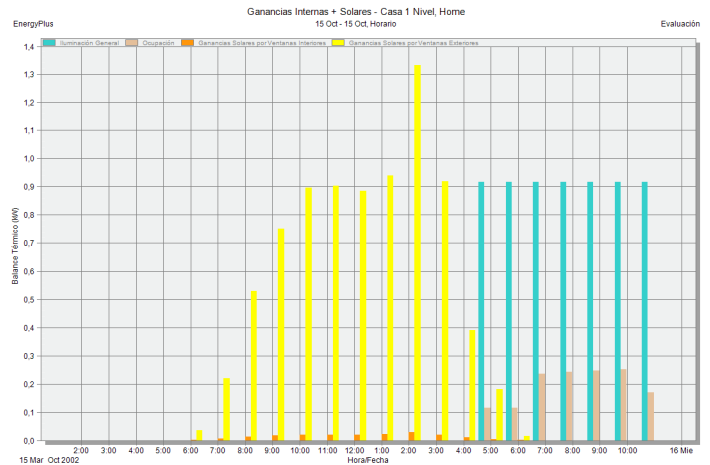


Imagen 95- Simulaciones Ganancias internas Solares - Norte

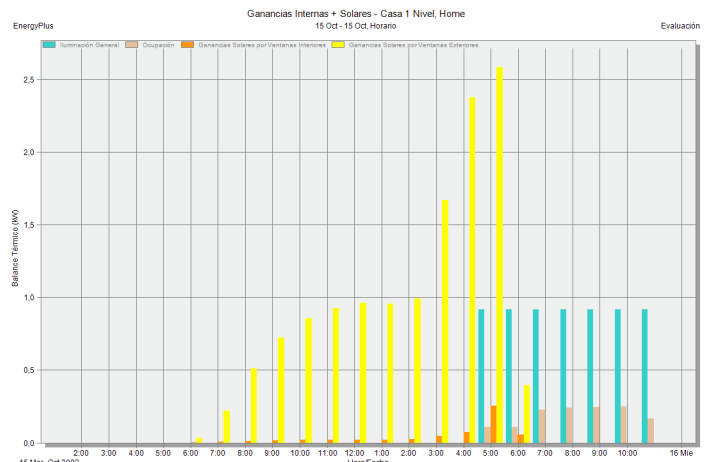


Imagen 96- Simulaciones Ganancias internas Solares - Oeste



## Conclusiones

Se determino mediante las distintas simulaciones que el sistema constructivo en madera, para el prototipo de diseño dos, es aplicable para la zona de Limón, dado que se mantienen condiciones ideales para el confort de los usuarios durante la epoca seca; a pesar de lo anterior, al incrementarse las temperaturas tiende a salirse de la zona de confort, en la epoca lluviosa.

Para la zona de San Jose se presenta que para epoca lluviosa (octubre) al disminuir las temperaturas, los espacios internos se enfrían mas de lo deseado en las horas de la madrugada, saliendo de la zona de confort.

Por su parte para la zona de Liberia, dadas las constantes altas temperaturas a lo largo del año, hace que las temperaturas internas se encuentren muy por encima del rango de confort.

Al igual que con el sistema de mampostería de concreto, con las simulaciones colocando la fachada principal hacia los distintos puntos cardinales, se concluye que para toda apertura hacia el oeste, se presenta un incremento en sus ganancias solares internas entre las 3pm y las 5:30pm, incrementando las temperaturas del espacio interno.

A su vez en comparación con el prototipo 1, se determino que debido a que 3 de sus 4 fachadas se encuentran 100% protegidas por las edificaciones colindantes, se genera una mayor estabilidad dentro de la edificación, por lo cual se vuelve mas confortable en climas calidos como los aca analizados.

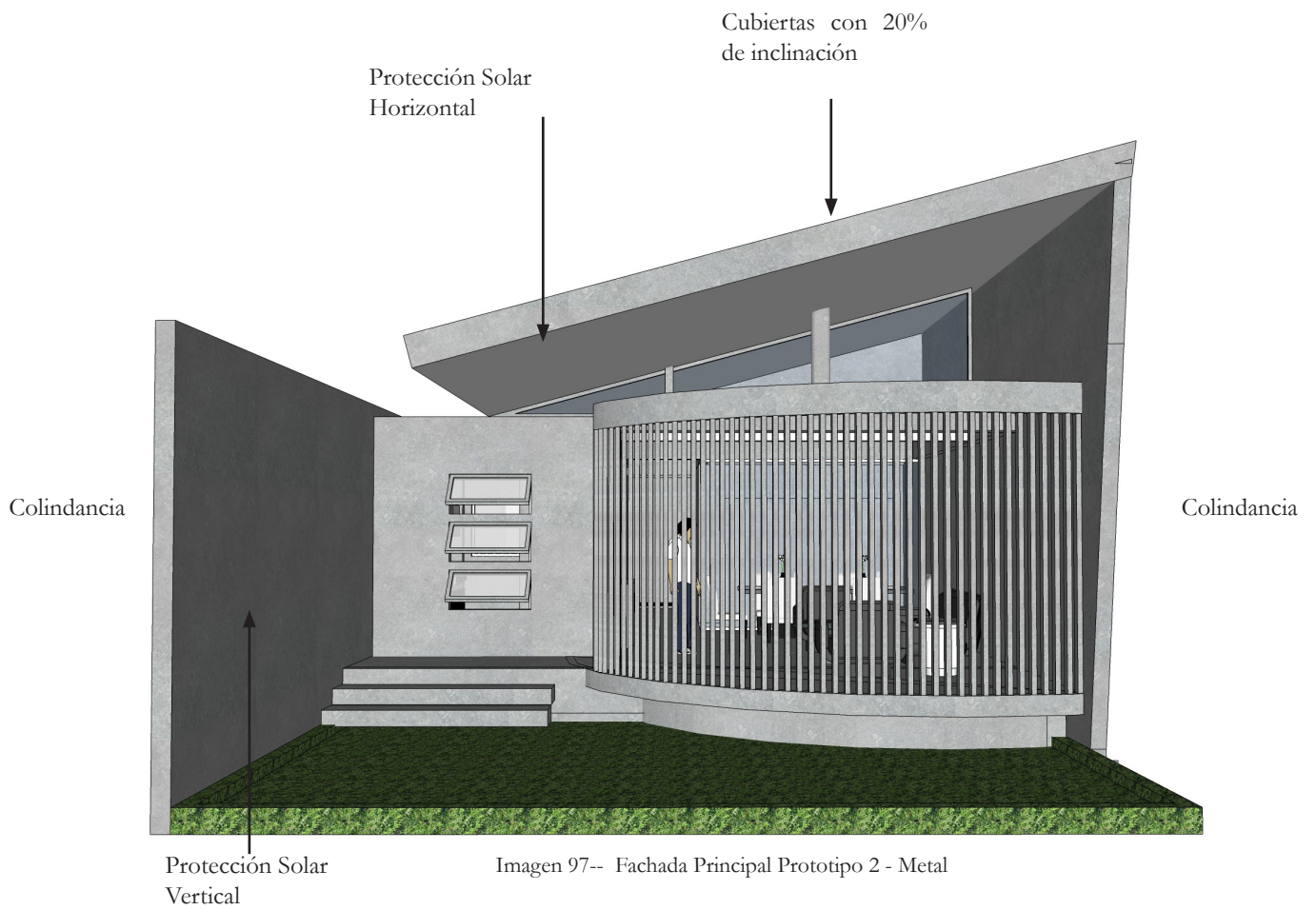


Imagen 97-- Fachada Principal Prototipo 2 - Metal

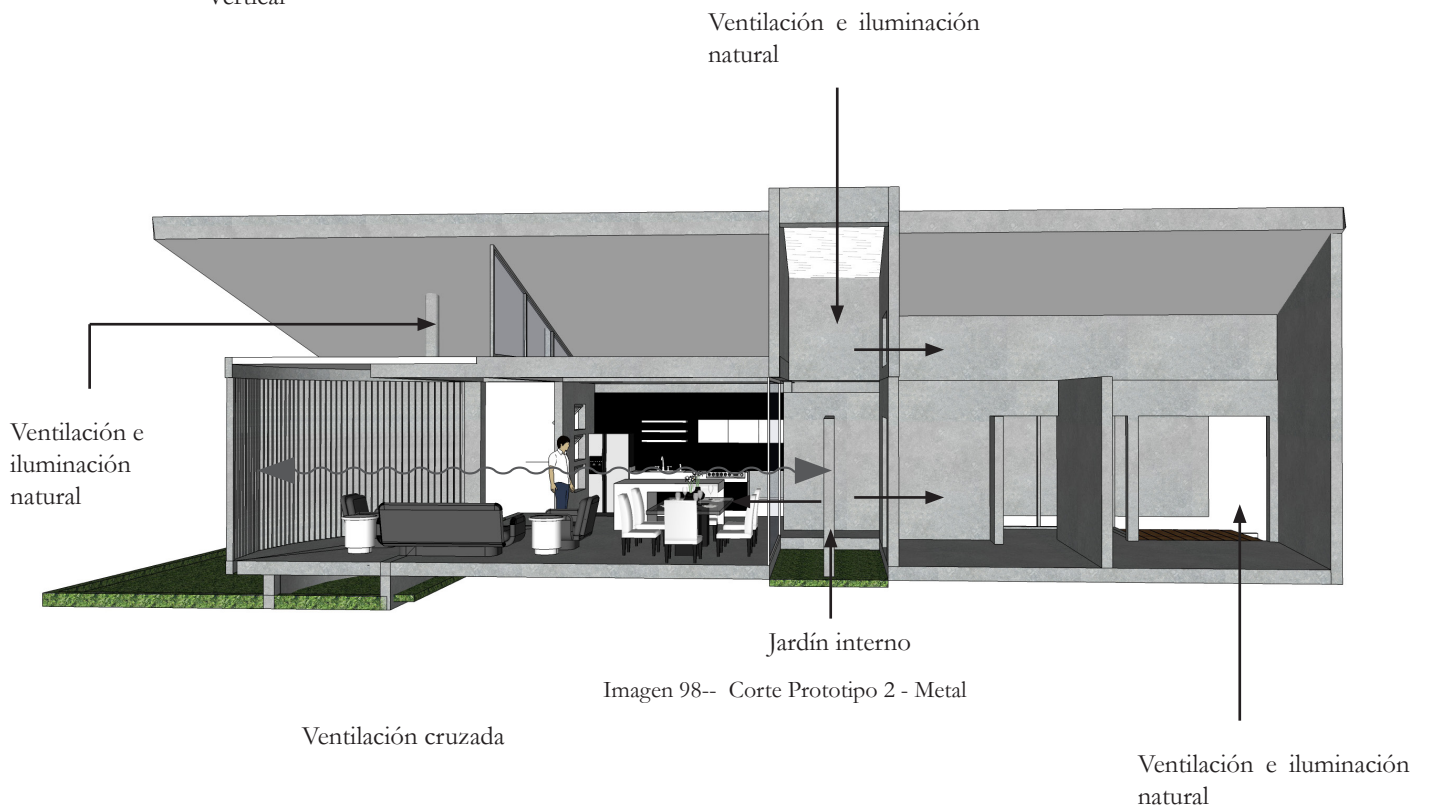


Imagen 98-- Corte Prototipo 2 - Metal

## 4.3.9 Sistema Constructivo Metal

### Sistema Constructivo 3: Estructura de metal mas cerramientos livianos en laminas cementicias.

El sistema 3 se compone de Paredes livianas formadas a partir de marcos compuestos con tubo de acero de 75mm x 75mm x 3.2mm, con elementos diagonales en tubo de acero de 5 x 5 x 0.32 cm, para evitar la deformación.

Los cerramientos poseen estructura liviana en postes y canales de aluminio a cada 40cm, recubiertos con láminas cementicias (durock) de 12 mm espesor, por ambos lados.

La estructura de cubierta en metal, cielorraso en gypsum de 12mm de espesor con cubierta de hierro galvanizado ondulado.

El contrapiso es de concreto armado de 15cm de espesor.

Las las uniones de los tubos se realizaron mediante soldadura.

Para la ventanería se utilizo paños de vidrio de 5mm de espesor, en marco de aluminio natural, con aperturas tipo ventilas.

Las características acá mencionadas fueron utilizadas para las simulaciones.

Además se utilizaron elementos de cerramiento de aluminio (tipo parasol) y sus dimensiones son de 10cm x 1cm x el largo indicado. Estos elementos fueron utilizados principalmente en la doble cubierta ventilada a modo de protección.

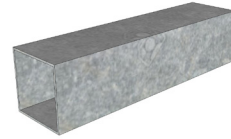


Imagen 99 - Perfil acero cuadrado de 10mm x 10mm



Imagen 100 - Unión soldada

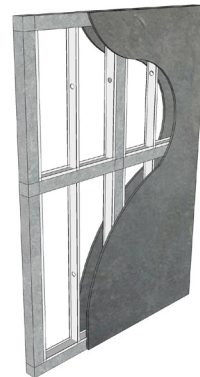


Imagen 101 - Estructura de pared de acero



Imagen 102 - Estructura de cubierta en acero

## 4.3.10 Simulaciones Metal

### Simulaciones

Las simulaciones se realizaron mediante la utilización del software Design Builder, y los datos climáticos fueron obtenidos del software Meteornorm y del Instituto Meteorológico Nacional.

Se simuló en las etapas críticas de la época seca (Febrero) y época lluviosa (Octubre), específicamente el día 15 de dichos meses.

Se realizaron cuatro simulación para cada uno de las zonas de vida en estudio : Limón, San José y Liberia.

### San José

15 DE FEBRERO

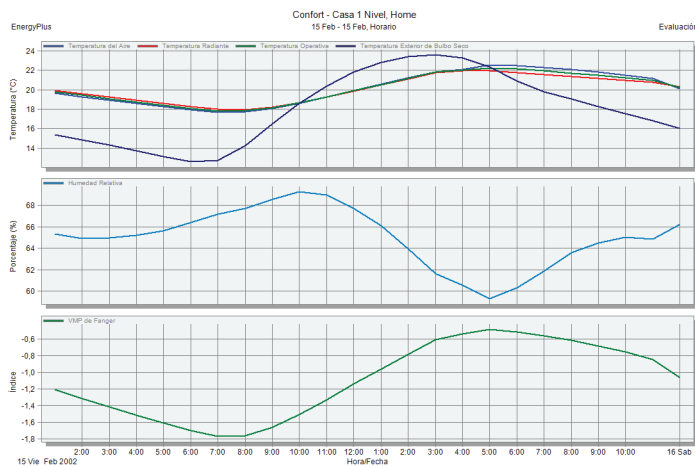


Imagen 104- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Metal -San José Design builder

15 DE OCTUBRE

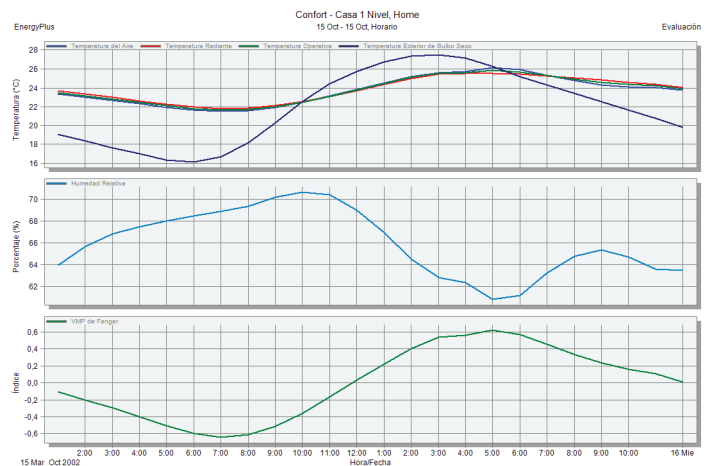


Imagen 103- Modelo Prototipo 2 - Design Builder

El sistema constructivo liviano en metal para San José, para la época seca se vuelve muy frío principalmente en las mañanas, por lo cual durante la gran mayoría del día este se encuentra fuera de los rangos de confort. Al contrario en la época lluviosa presenta una estabilidad de temperatura entre los 22 y 26C, lo cual hace que los parametros de confort se estabilizan dentro del rango ideal, siendo muy comfortable.

## Limón

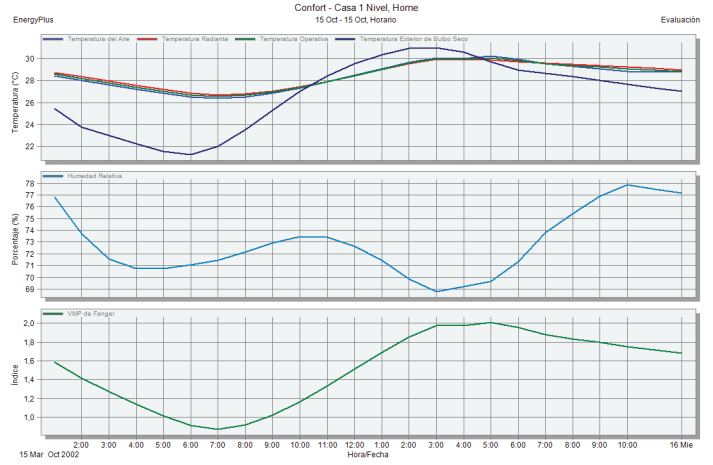
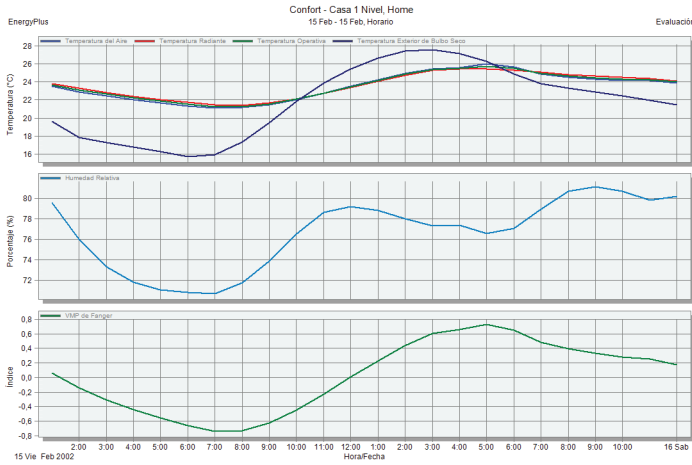


Imagen 105- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Metal -Limón Design builder

El sistema constructivo liviano en metal para Limón durante la época seca, en donde las temperaturas no son muy elevadas, se comporta de manera aceptable, saliendo de los rangos de confort pocas horas al día. Al contrario en la época lluviosa, con el incremento de las temperaturas, la edificación se vuelve muy caliente por lo cual la totalidad del día esta se encuentra fuera de los rangos de confort.

## Liberia

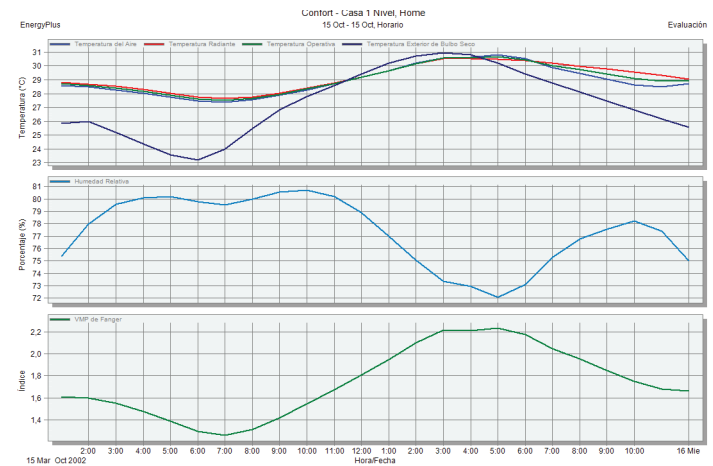
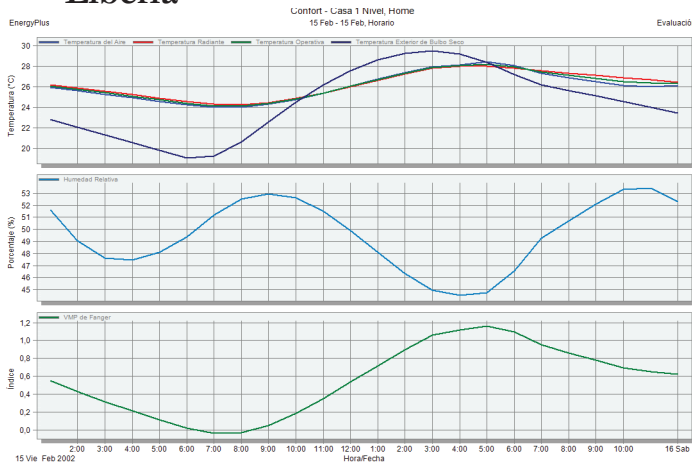


Imagen 106- Simulaciones termodinamicas Prototipo 2 - Febrero y Octubre - Metal -Liberia Design builder

El sistema constructivo liviano en metal para Liberia, en la época seca, ante temperaturas no muy altas, mantiene el confort durante la madrugada y parte de la mañana, debido a que con el aumento de la temperatura del día, la edificación se vuelve cada vez mas caliente. En octubre durante la época lluviosa y con el incremento en las temperaturas, la vivienda mantiene temperaturas muy elevadas durante todo el día, por lo cual el metal con laminas cementicias no es ideal para este tipo de zona.

## 4.3.11 Simulaciones Metal Ganancias Internas

### Ganancias Internas

Dado que el prototipo posee unicamente una fachada expuesta, y sus otras tres protegidas por las edificaciones colindantes, se realizaron simulaciones colocando esta fachada hacia los distintos puntos cardinales.

Estas simulaciones (Imagen 107 y 108), se realizaron para lo zona de Liberia con el sistema constructivo en metal con cerramientos en laminas cementicias.

Al igual que con los otros sistemas constructivos; se encontro que: si la fachada se colocaba hacia el sur o hacia el norte, las ganancias solares internas permacian con niveles muy bajos, menores a 1kw durante la gran parte del día.

Por su parte que las ganancias solares internas se duplicaban, hasta superar los 2,5 kW entre las 3 y 5:30 si la fachada expuesta se colocaba hacia el Oeste, aumentando la temperatura de los espacios internos.

Este efecto se presento con toda abertura colocada hacia el oeste, y hacia el Este en menor medida, si comprobando lo propuesto por la guia de diseño bioclimatico.

Dado este principio, se condiciona a todas las viviendas con las características de este prototipo ubicadas con su fachada hacia el oeste.

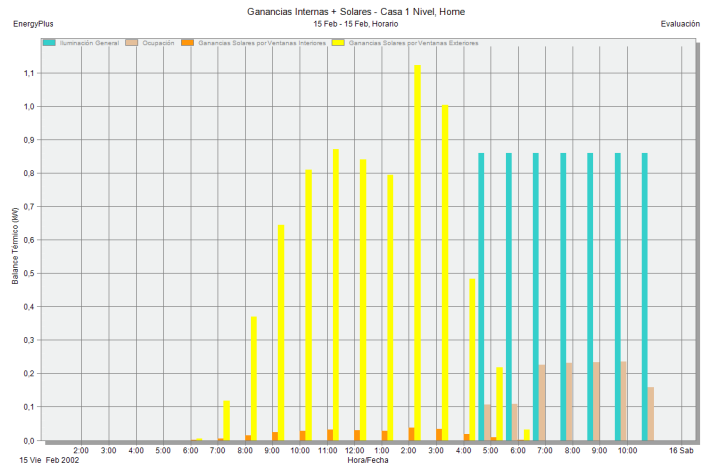


Imagen 107- Simulaciones Ganancias internas Solares - Sur

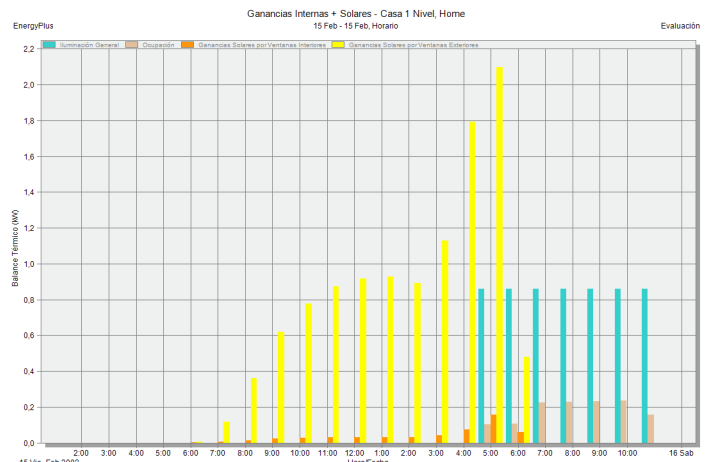


Imagen 108- Simulaciones Ganancias internas Solares - Oeste

## Conclusiones

Se determinó mediante las distintas simulaciones que el sistema constructivo en metal con cerramientos en laminas cementicias, para el prototipo de diseño dos, no es el ideal para ninguna de las zonas en estudio.

No es aplicable para la zonas de Limón, Liberia y San Jose, dado que al incrementarse las temperaturas tiende a salirse de la zona de confort y al disminuirse las temperaturas sucede lo mismo.

Esto se debe a la poca masa térmica presente en este tipo de sistema. Una solución viable es el uso de aislantes térmicos, los cuales mejoran el comportamiento del sistema en gran medida.

Por su parte al igual que con el sistema de mampostería de concreto, con las simulaciones colocando la fachada principal hacia los distintos puntos cardinales, se concluye que para toda apertura hacia el oeste, se presenta un incremento en sus ganancias solares internas entre las 3pm y las 5:30pm, incrementando las temperaturas del espacio interno.

A su vez en comparación con el prototipo 1, se determino que debido a que 3 de sus 4 fachadas se encuentran 100% protegidas por las edificaciones colindantes, se genera una mayor estabilidad dentro de la edificación, pero aún así no se alcanzan los niveles de confort adecuados.

## 4.3.12 Resultados y Conclusiones

### Resultados

Las simulaciones dieron como resultado lo siguiente:

Para la zona de vida 1 (Limón): Las simulaciones dieron como resultado, que aplicando las estrategias pasivas de diseño bioclimático para dicha zona, el sistema constructivo que favorece el confort de los usuarios en el interior de la edificación, es el Sistema constructivo #3, en madera.

A pesar de esto se noto gran diferencia a nivel de confort, sin importar el sistema constructivo utilizado, si el lote se encontraba de Oeste a Este, debido a que según las estrategias pasivas sugeridas por la Guía de Diseño Bioclimático, no se debe crear aperturas en esta fachada; pero al ser la única fachada de la edificación y teniendo en cuenta los requisitos básicos de iluminación y ventilación natural del Código de Construcciones de Costa Rica, esto se complica, por lo cual ingresa radiación directa a la edificación, lo cual incrementa su temperatura interior.

Por su parte las simulaciones en las que el lote estaba de Norte a Sur se obtuvo mejor desempeño en cuanto a confort, superando los resultados obtenidos en las simulaciones del prototipo 1. Esta mejoría se debe a la protección que generan las edificaciones colindantes y a que su fachada frontal se encuentra al Norte, lo que nos permite mayores aperturas sin necesidad de protecciones solares excesivas.

Para la zona de vida 2 (San José): Las simulaciones dieron como resultado que aplicando las estrategias pasivas de diseño bioclimático para dicha zona, el sistema constructivo que favorece el confort de los usuarios en el interior de la edificación es el sistema constructivo #1, en Mampostería de Bloques de Concreto

Al igual que en la anterior zona, se noto gran diferencia a nivel de confort, sin importar el sistema constructivo utilizado, si el lote se encontraba de Oeste a Este, debido a las ganancias térmicas generadas por el ingreso de radiación en las horas de la tarde.

Para la zona de vida 3 (Liberia): Las simulaciones dieron como resultado que aplicando las estrategias pasivas de diseño bioclimático para dicha zona, el sistema constructivo que favorece el confort de los usuarios en el interior de la edificación es el sistema constructivo #1 en Mampostería de Bloques de Concreto.

Al igual que en la anteriores zonas, se noto gran diferencia a nivel de confort, sin importar el sistema constructivo utilizado, si el lote se encontraba de Oeste a Este, debido a las ganancias térmicas generadas por el ingreso de radiación en las horas de la tarde.

Cabe resaltar que las diferencias entre los distintos sistemas constructivos, teniendo en cuenta las edificaciones colindantes, se redujo en comparación a las diferencias mostradas entre los distintos sistemas con el Prototipo 1



## Conclusiones

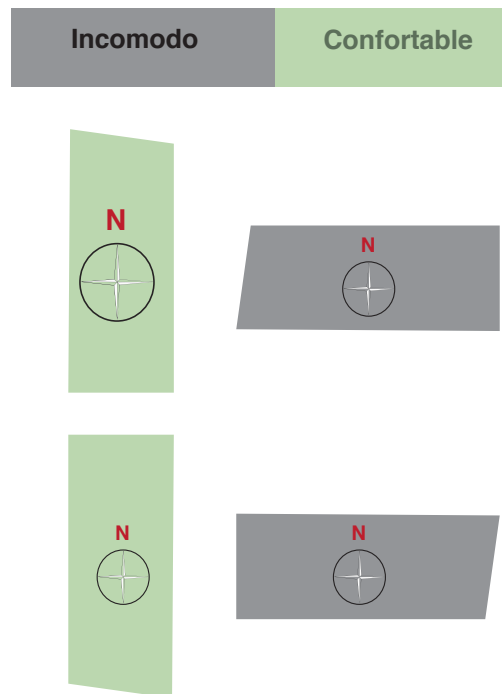
En las simulaciones realizadas para el prototipo dos se generan dos patrones opuestos entre sí.

El primero de ellos muestra que si el prototipo se encuentra posicionado en un lote de Norte a Sur, los niveles de confort dentro del edificio se mantienen muy estables, superando los niveles de confort logrados en el prototipo 1. Esto se genera debido a la protección al Oeste y al Este por parte de las edificaciones Colindantes y a su vez que su fachada principal se encuentra al Norte, la cual es la fachada con menor incidencia solar directa anualmente. Este patrón se repite si el lote se encuentra posicionado de Sur a Norte, siempre y cuando se tomen medidas de protección solar adecuadas.

Por su parte el segundo patrón presente, es un patrón negativo. Este se presenta si el lote se encuentra posicionado de Oeste a Este. En este caso en particular, se genera disconfort en las horas de la tarde, debido principalmente al ingreso de radiación directa a partir de las 3pm; lo cual genera aumento en las temperaturas interiores.

Siguiendo las estrategias propuestas por la Guía de diseño Bioclimático para zonas de vida en Costa Rica, se propone no generar aperturas sobre las fachadas Este y Oeste para evitar estos casos, pero dada que la disposición del lote no nos permite otra cosa. Por lo cual se implementó protección solar hasta cierta hora (3pm), lo que nos genera ingreso de radiación directa hasta que se oculte el sol.

Existen posibilidades de diseño para cumplir con las estrategias pasivas propuestas por la Guía de diseño Bioclimático para zonas de vida en Costa Rica, a pesar de que el lote se encuentre en esta dirección(OE o EO). De igual manera, para toda apertura que se genere hacia el Oeste y Este ,en estas zonas en estudio, se generarían las consecuencias reflejadas por estas simulaciones, sobre el confort de los usuarios.



## 4.4 Prototipo 3

### 4.4.1 Diseño

#### Diseño General

Se diseñó un prototipo de vivienda con los siguientes espacios para una familia base de 3 personas, en dos niveles:

1. Habitación Principal
2. Habitación Secundaria
3. Sala
4. Cocina
5. Comedor
6. Dos Baños Completos
7. Un medio Baño
8. Sala de Televisión
9. Cuarto de Pilas

Este prototipo de vivienda se diseñó para lotes angostos (8m de ancho por 20 de largo, con un solo frente), con edificaciones colindantes en sus laterales, en los cuales la vivienda sufre la incidencia de las variables climáticas sobre la envolvente principalmente sobre su fachada principal y la cubierta.

Este prototipo se diseñó con el objetivo de analizar el comportamiento a nivel de confort en cada uno de sus dos niveles.



#### Análisis de Confort

El objetivo del diseño de este prototipo fue analizar el comportamiento térmico entre el primer nivel y el segundo nivel, por lo cual se realizaron simulaciones climáticas utilizando el Software Design Builder, en las cuales se simuló variando el sistema constructivo entre:

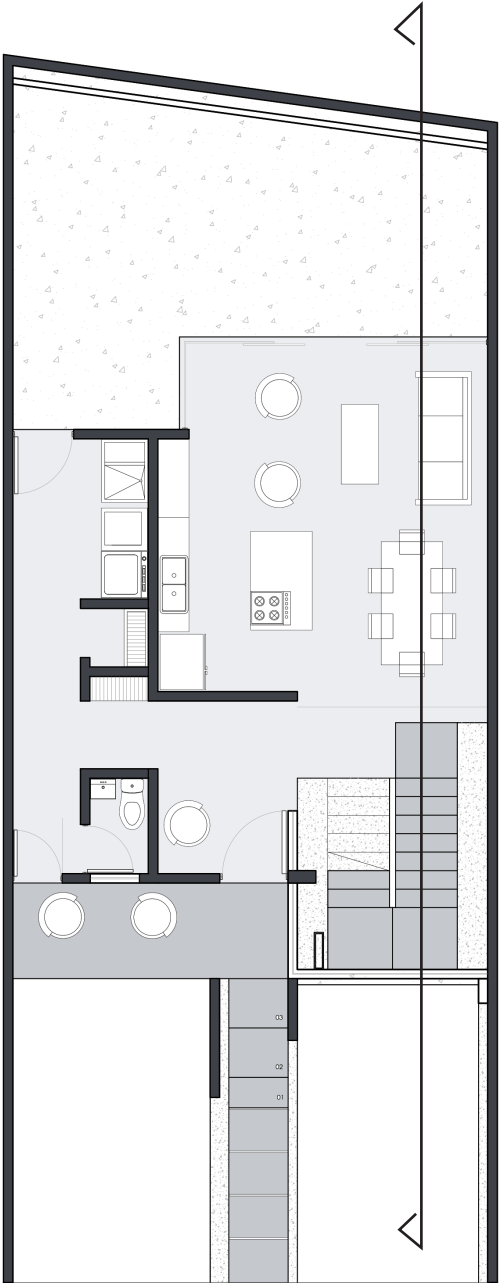
Sistema 1: Paredes en Mampostería de bloques de concreto de 12x20x20cm, con repello y pintura, con estructura de cubierta en Metal con perfiles de acero 100mm x 50mm y cubierta con laminas de hierro ondulado galvanizado, además de cielorraso en gypsum y entrepiso de concreto. Para la zona de vida ubicada en Liberia se modificó el cielorraso de gypsum por cielorraso en losa de concreto de 10cm de espesor.

Sistema 2: Paredes livianas con estructura en acero de 100mmx100mm, postes y canales de 100mm, con cerramientos en durock de 12mm, cubierta en metal y cielorraso en laminas de gypsum. El entrepiso en estructura metálica de 50mm x 100mm @ 40cm, con chorrea de concreto de 5cm de espesor.

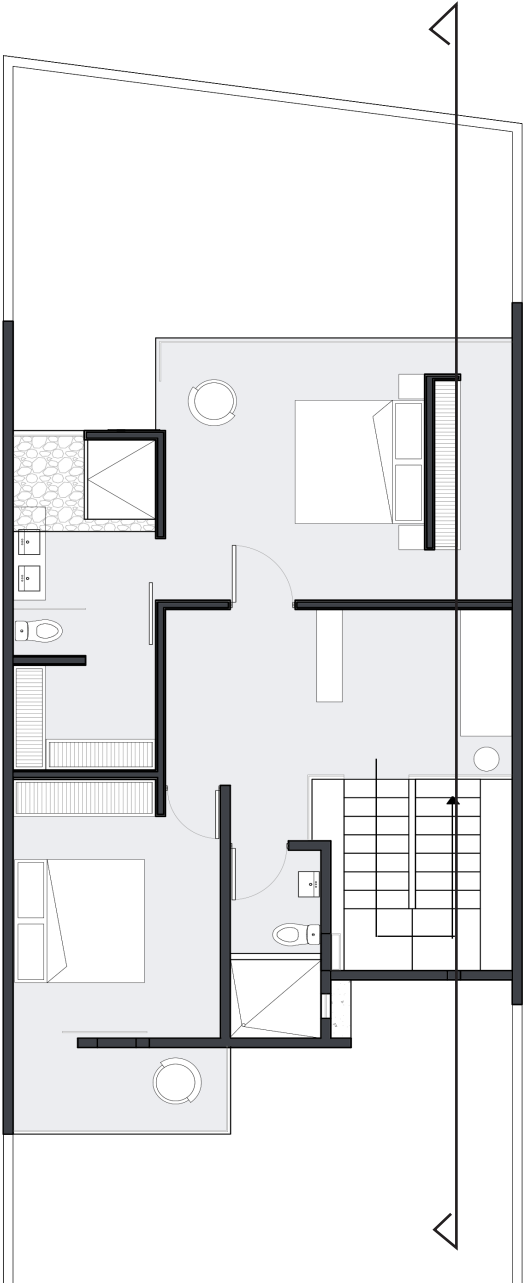
Sistema 3: Paredes livianas con estructura de postes de madera de 100mm x 75 mm, con cerramientos en paneles de madera de 12mm de espesor por ambos lados, estructura de cubierta en madera, cielorraso en tablilla, entrepiso en madera y cubierta de hierro galvanizado ondulado #26.

Dado que para este prototipo la localización del lote es influyente se realizaron 4 simulaciones (NS, EO, OE y SN) para cada uno de los sistemas constructivos en cada una de las zonas, para un total de 12 simulaciones por cada zona en estudio para un total de 36 simulaciones.

# 4.4.2 Planta



Nivel 1



Nivel 2

Imagen 109- Planta 1 nivel y 2do nivel - Prototipo 3

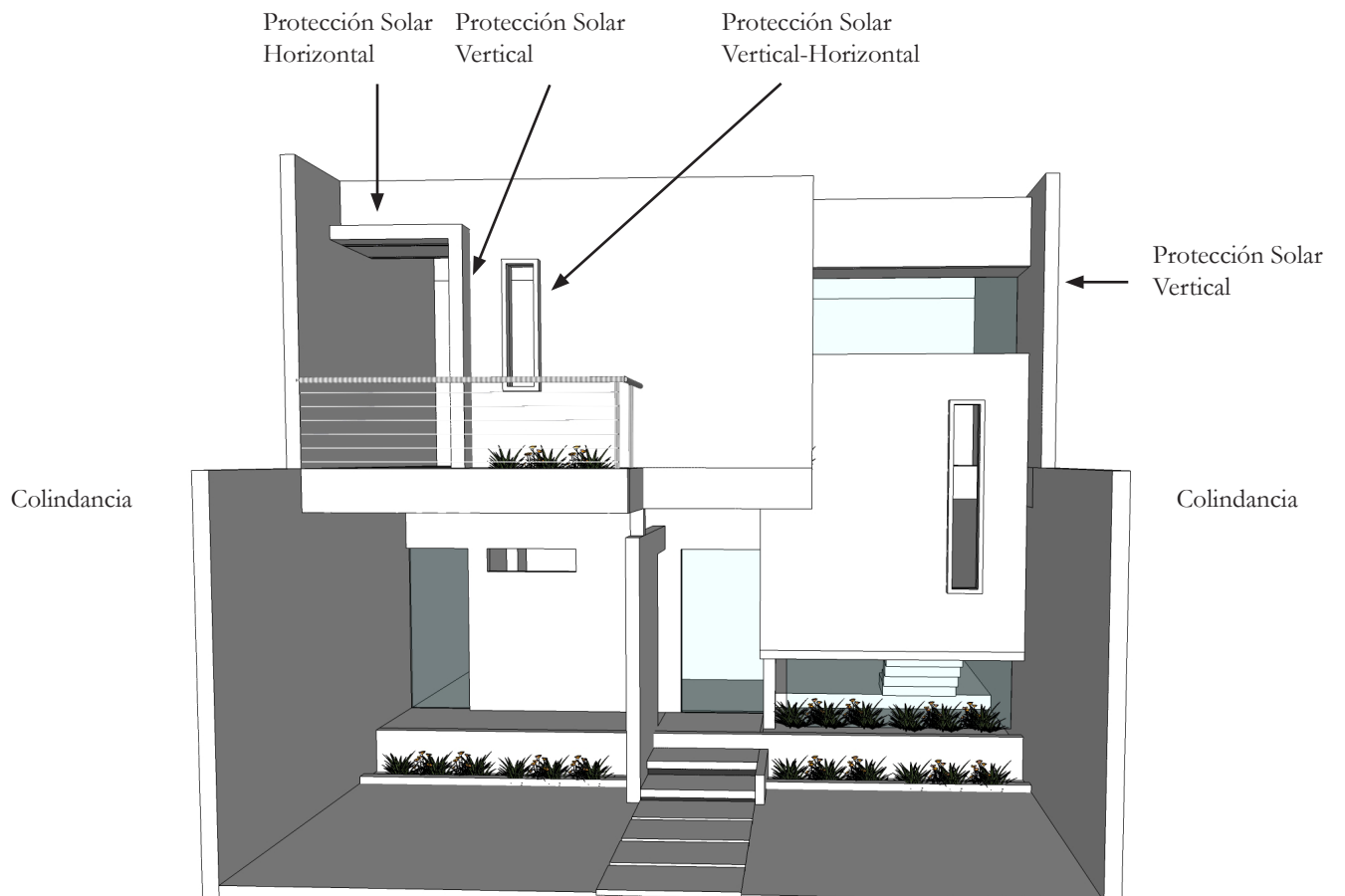


Imagen 110 - Fachada Principal - Prototipo 3

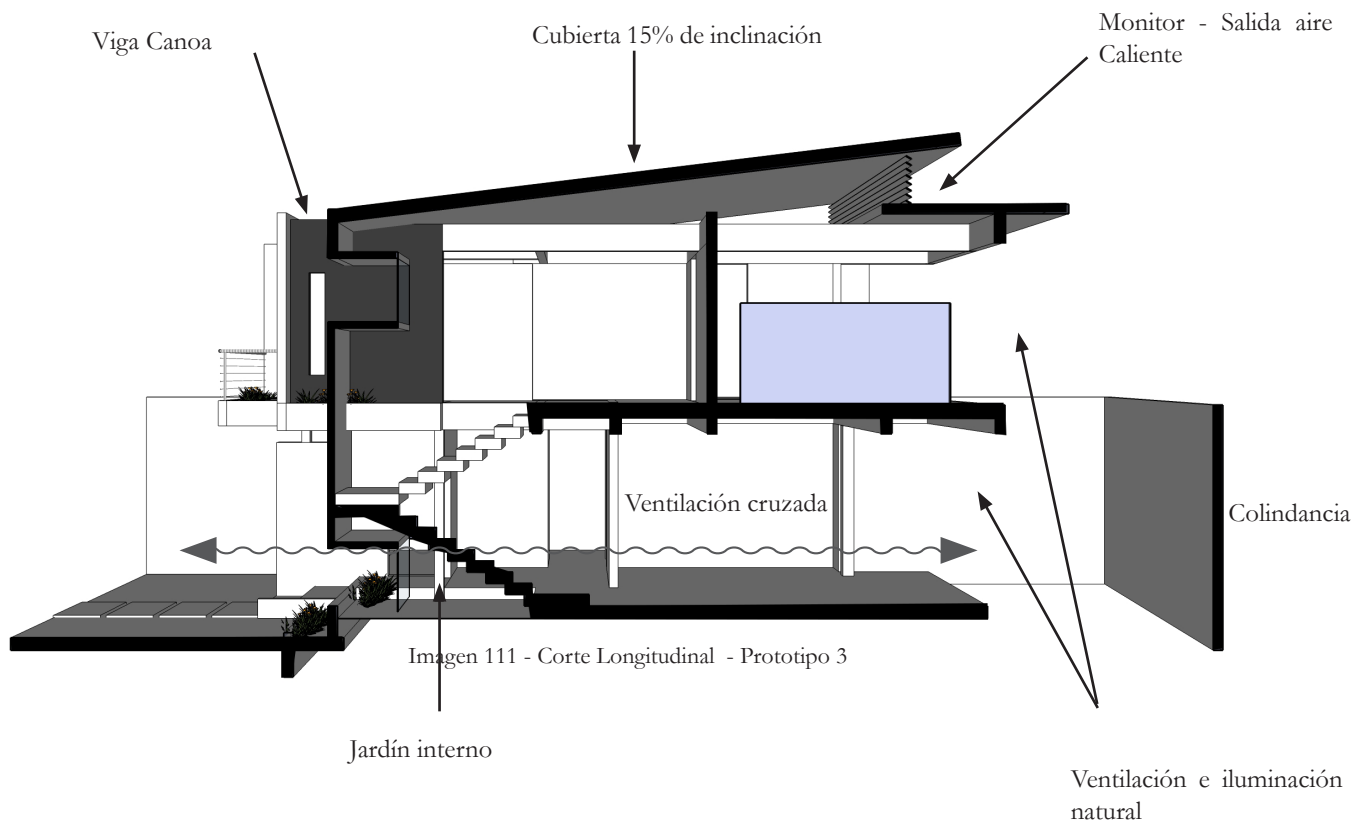


Imagen 111 - Corte Longitudinal - Prototipo 3

### 4.4..3 Sistema Constructivo Mampostería de Concreto

#### Sistema Constructivo 1: Mampostería en Bloques de Concreto

El sistema 1, es de los sistemas constructivos mas utilizados en Costa Rica para la construcción de viviendas. Se compone de Paredes en Mampostería de bloques de concreto de 15x20x40cm, con repello y pintura; estructura de cubierta en Metal con perfiles de acero 100mm x 100mm y 50mm x 50mm y cubierta con láminas de hierro ondulado galvanizado, además de cielorraso en gypsum.

Para la zona de vida ubicada en Liberia se modifico el cielorraso de gypsum por cielorraso en losa de concreto de 10cm de espesor.

El contrapiso es de concreto armado de 15cm de espesor.

Las vigas y columnas se componen de concreto chorreado, con estructura en varilla # 4 en los vértices y # 3 en centros con aros con varilla #3 a cada 15cm.

El entrepiso se desarrolló con viguetas de concreto y una losa chorreada en concreto de 12cm.

Para la ventanería se utilizo paños de vidrio de 5mm de espesor, en marco de aluminio natural, con aperturas tipo ventilas.

Las características acá mencionadas fueron utilizadas para las simulaciones.

Además se utilizaron elementos de cerramiento de aluminio (tipo parasol) y sus dimensiones son de 100mm x 10mm x el largo indicado. Estos elementos fueron utilizados principalmente en la doble cubierta ventilada a modo de protección.



Imagen 112- Montaje mampostería de concreto

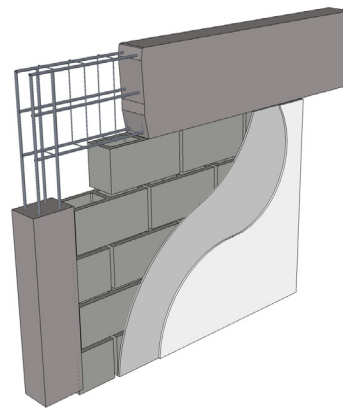


Imagen 113- Estructura Primaria

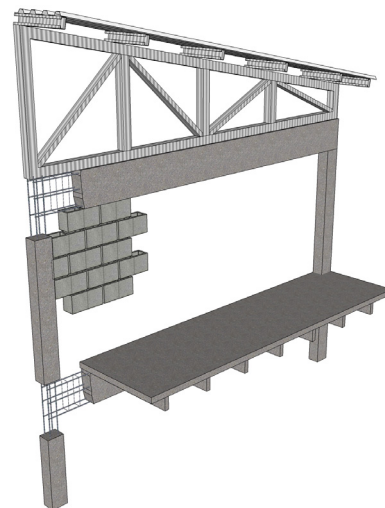


Imagen 114- Estructura de cubierta y entrepiso

## 4.4.4 Simulaciones Mamposteria bloques de concreto

### Simulaciones

Las simulaciones se realizaron mediante la utilización del software Design Builder, y los datos climáticos fueron obtenidos del software Meteonorm y del Instituto Meteorológico Nacional.

Se simuló en las etapas críticas de la época seca (Febrero) con el objetivo de identificar diferencias termicas entre el primer y el segundo nivel de la edificación. Todas las simulaciones se hicieron con los modelos en direccion Norte Sur

Se realizaron cuatro simulación para cada uno de las zonas en estudio : Limón, San José y Liberia.

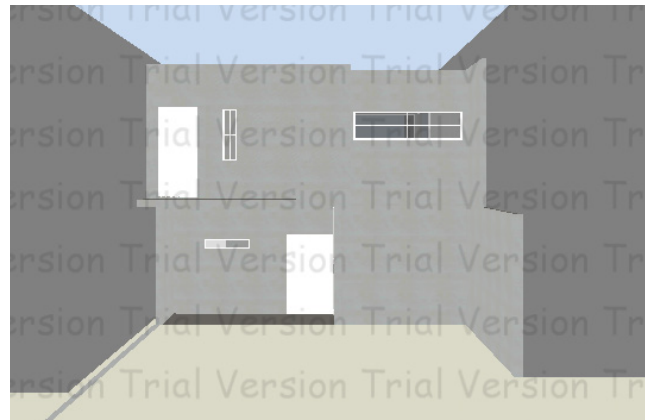


Imagen 115- Modelo Prototipo 3 - Design Builder

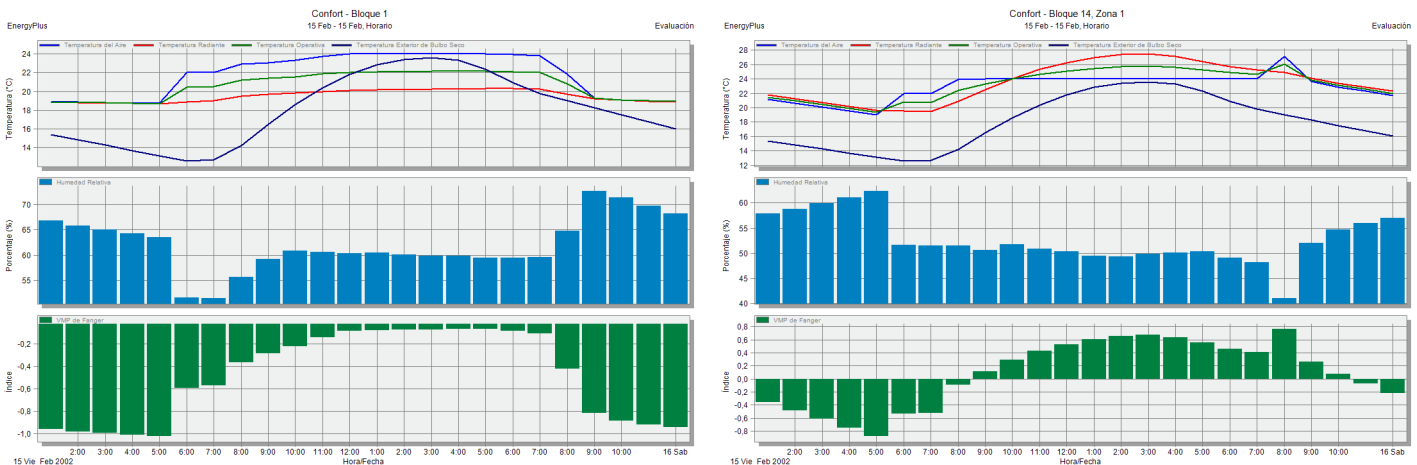


Imagen 116- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre -Concreto -San José Design builder

### San José

La imagen de la izquierda nos muestra el primer nivel de la edificación, en ella podemos observar que la temperatura se presenta de manera constante oscilando entre los 18 y 24 grados centigrados, porcentajes de humedad relativa inferiores al 70%, lo que concluye con un Voto Medio Promediado entre 0 y -1 lo cual es bastante agradable a nivel de confort. En el segundo nivel (imagen derecha) se observa que la temperatura llega hasta los 27 grados a las 2pm, lo cual muestra muy claro las diferencias termicas entre ambos niveles, lo que se refleja en que a nivel de confort el 2do nivel, al ser mas caliente, es menos confortable que su primer nivel.

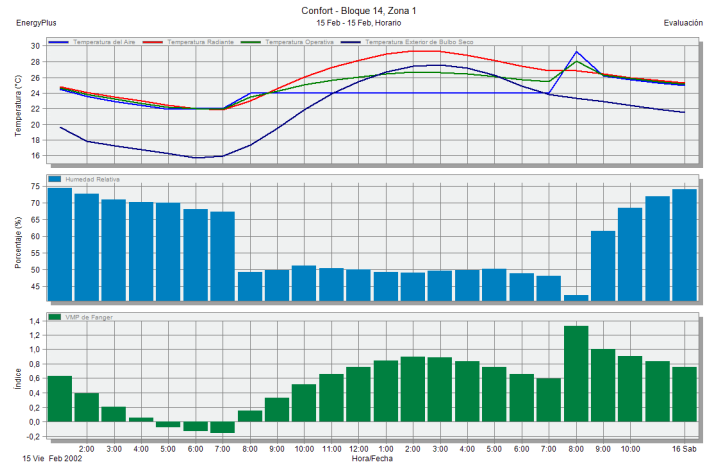
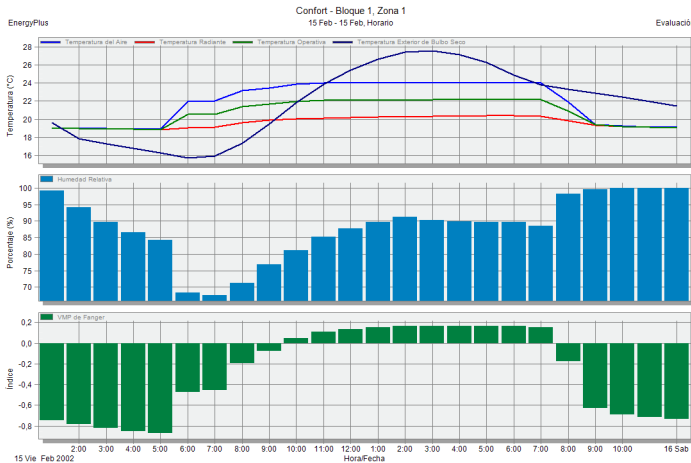


Imagen 117- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Concreto -Limón Design builder

## Limón

La imagen de la izquierda nos muestra el primer nivel de la edificación, en ella podemos observar que la temperatura se presenta de manera constante oscilando entre los 20 y 24 grados centígrados, porcentajes de humedad relativa entre 70% y 100%, lo que concluye con un Voto Medio Promediado entre -1 y +0,2 lo cual es bastante agradable a nivel de confort. En el segundo nivel (imagen derecha) se observa que la temperatura llega hasta los 28 grados a las 2pm, lo cual muestra muy claro las diferencias termicas entre ambos niveles, lo que se refleja en que a nivel de confort el 2do nivel, al ser mas caliente, es menos confortable que su primer nivel, teniendo VPM entre -0,2 y +1,4, lo cual es un poco caliente.

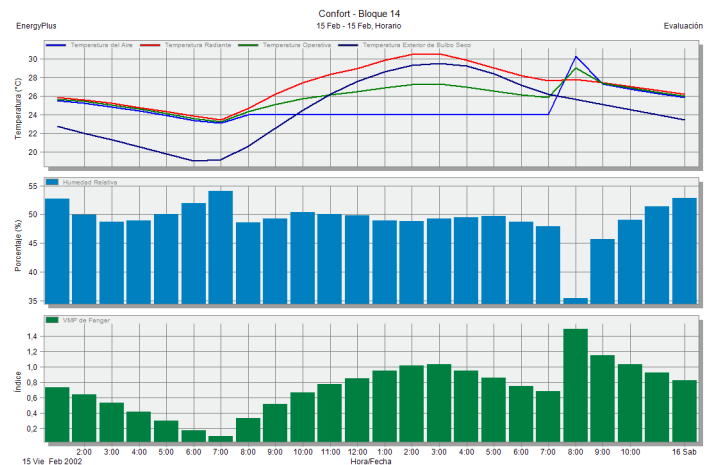
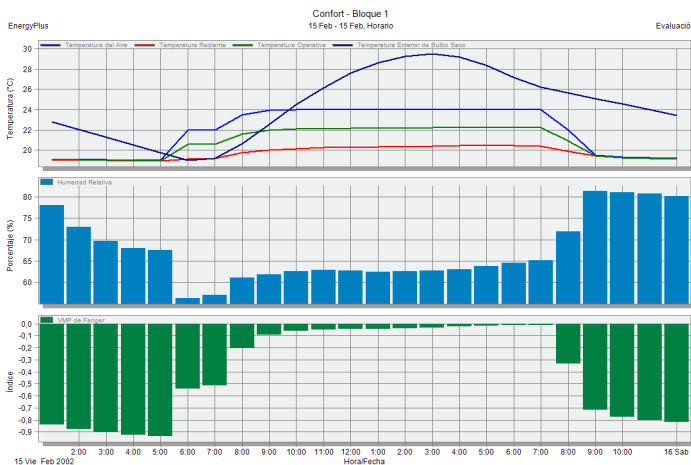


Imagen 117- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Concreto -Liberia Design builder

## Liberia

La imagen de la izquierda nos muestra el primer nivel de la edificación, en ella podemos observar que la temperatura se presenta de manera constante oscilando entre los 20 y 24 grados centígrados, porcentajes de humedad relativa entre 60% y 80%, lo que concluye con un Voto Medio Promediado entre -1 y 0 lo cual es bastante agradable a nivel de confort. En el segundo nivel (imagen derecha) se observa que la temperatura llega hasta los 29 grados a las 2pm, lo cual muestra muy claro las diferencias termicas entre ambos niveles, lo que se refleja en que a nivel de confort el 2do nivel, al ser mas caliente, es menos confortable que su primer nivel, teniendo VPM entre 0,2 y +1,6, lo cual es caliente.

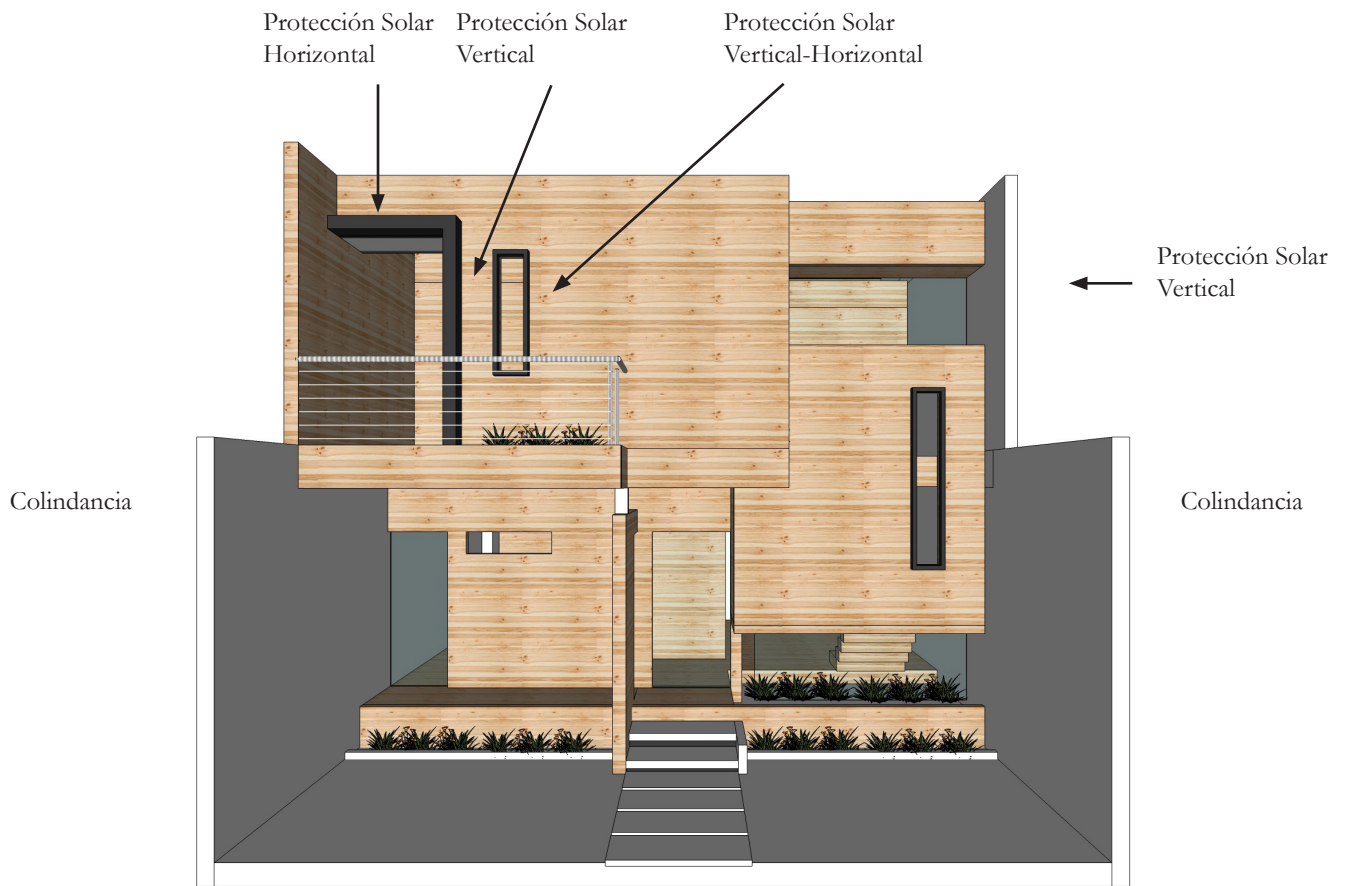


Imagen 118 - Fachada Principal - Prototipo 3 - Madera

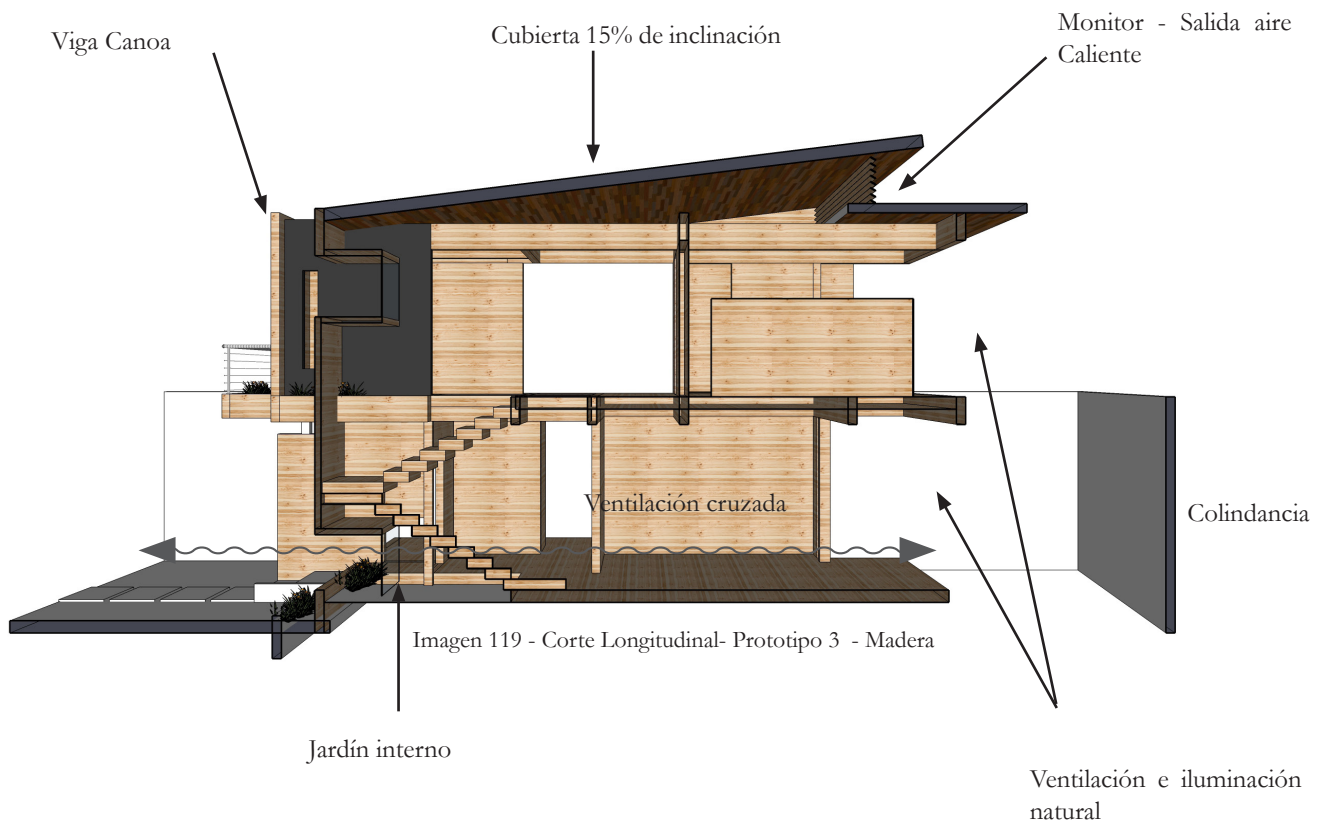


Imagen 119 - Corte Longitudinal- Prototipo 3 - Madera



## 4.4.5 Sistema Constructivo Madera

### Sistema Constructivo 2: Madera

El sistema 2 se compone de Paredes livianas con estructura de postes de madera de 75mm x 75mm a cada 50cm, con cerramientos en paneles de madera de 12mm de espesor, por 30cm de ancho por ambos lados, estructura de cubierta en madera, cielorraso en tablilla y cubierta de hierro galvanizado ondulado.

Las columnas se componen de madera maciza de 15x15, mientras las vigas con piezas de 15x30cm

El piso posee estructura en malla electro-soldada, chorreado en concreto de 15cm de espesor. Por su parte el entrepiso se compone de viguetas de 5x15cm de madera solida, forrado en tablilla.

Las las uniones de la madera se realizaron mediante pernos.

Para la ventanería se utilizo paños de vidrio de 5mm de espesor, en marco de madera, con aperturas tipo ventilas.

Las características acá mencionadas fueron utilizadas para las simulaciones.

Además se utilizaron reglas de madera a modo de parasoles, cuyas dimensiones son de 75 mm x 26 mm por el largo del espacio. Estos elementos fueron utilizados principalmente en la doble cubierta ventilada a modo de protección.



Imagen 120 - Sección de madera



Imagen 121 - Sistema de union en madera



Imagen 122 - Estructura de paredes - madera



Imagen 123 - Estructura de cubierta - madera

## 4.4.6 Simulaciones Madera

### Simulaciones

Las simulaciones se realizaron mediante la utilización del software Design Builder, y los datos climáticos fueron obtenidos del software Meteonorm y del Instituto Meteorológico Nacional.

Se simuló en las etapas críticas de la época seca (Febrero) con el objetivo de identificar diferencias térmicas entre el primer y el segundo nivel de la edificación. Todas las simulaciones se hicieron con los modelos en dirección Norte Sur

Se realizaron cuatro simulación para cada uno de las zonas en estudio : Limón, San José y Liberia.

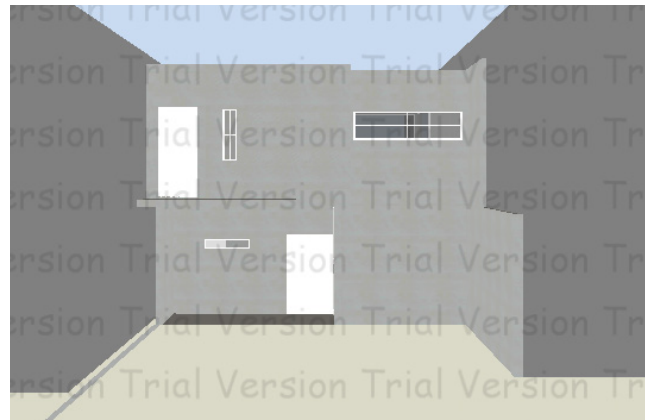


Imagen 124- Modelo Prototipo 3 - Design Builder

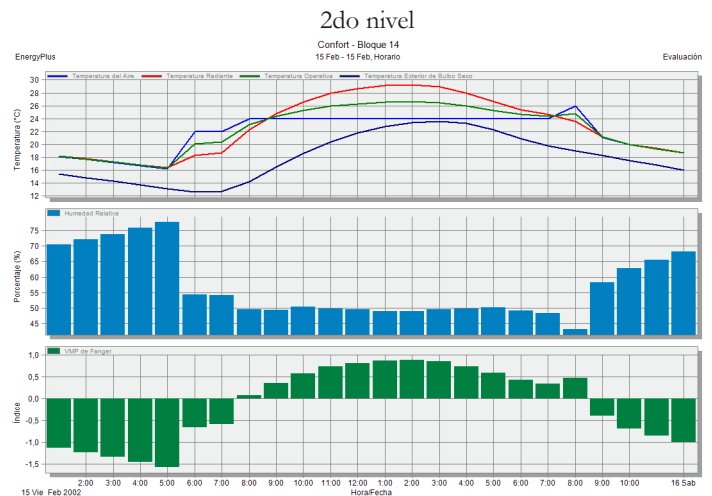
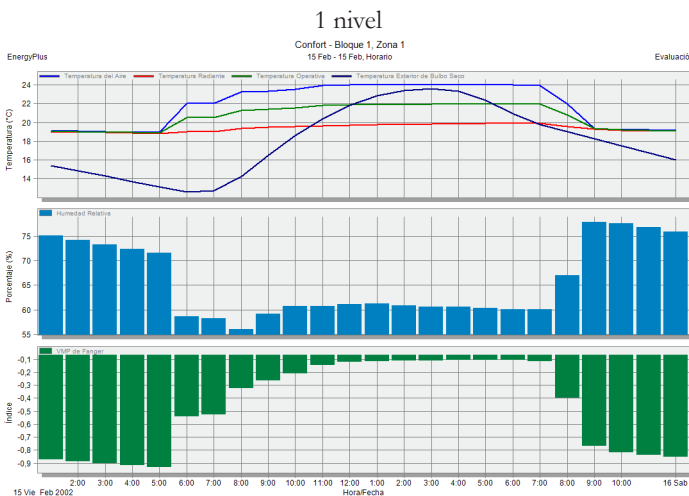


Imagen 125- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -San José Design builder

### San José

La imagen superior muestra dos simulaciones, la de la izquierda corresponde al primer nivel de la vivienda y la de la derecha corresponde al segundo nivel. Dichas simulaciones dieron como resultado que el índice de confort del primer nivel se encuentra entre -0.9 y 0, lo cual es lo ideal, por su parte el segundo nivel se presenta ligeramente más caliente que el primer nivel; aún así su índice de confort se ubica entre -1 y 1.5 lo cual es agradable para los usuarios.

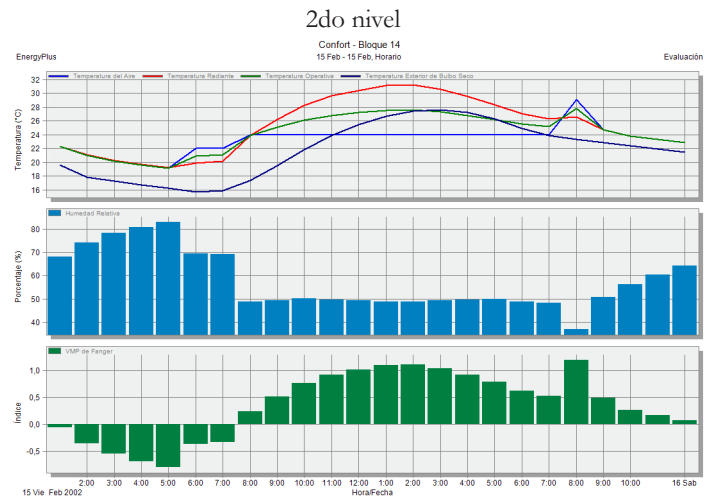
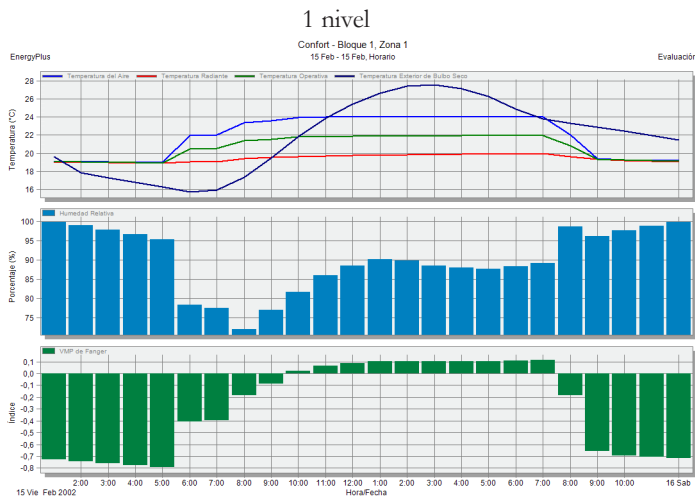


Imagen 126- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -Limón Design builder

## Limón

Para Limón las simulaciones dieron como resultado que para el primer nivel el indice de confort se localiza entre -0.8 y 0.1 lo cual es bastante fresco para la zona, por su parte el segundo nivel se encuentra considerablemente mas caliente, ya que su indice de confort se ubica entre -0.7 y 1.5, lo cual sigue siendo confortable. Dichas simulaciones se realizaron en la época seca, en el mes de Febrero.

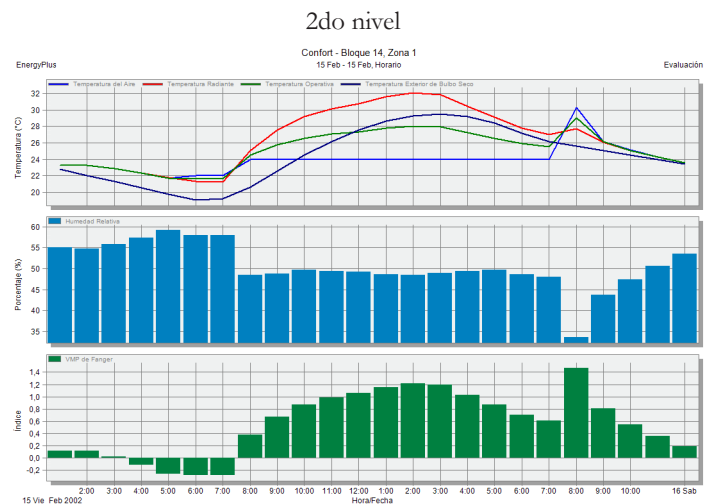
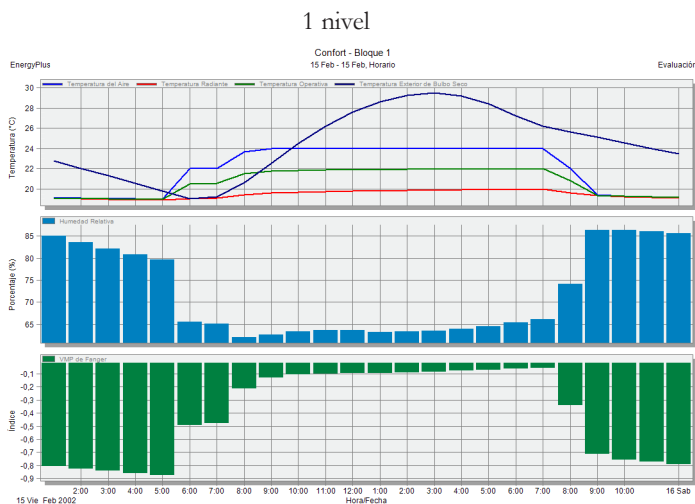
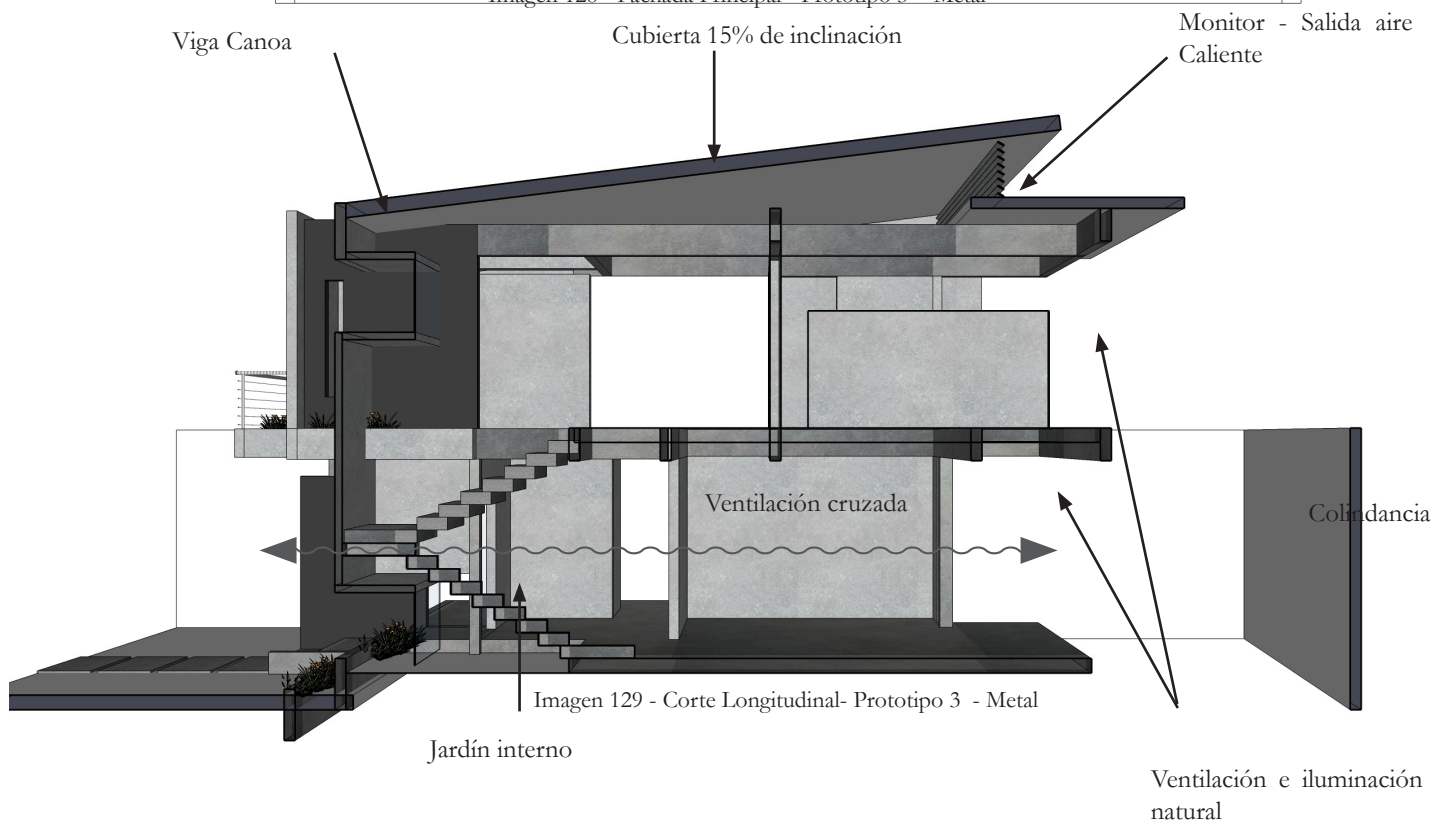


Imagen 127- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -Liberia Design builder

## Liberia

Para la ciudad de Liberia la simulación del primer nivel ució el indice de confort entre -0.9 y -0.1, lo cual dada las altas temperaturas de la zona es muy confortable. Por su parte para el segundo nivel el indice de confort se ubica entre -0.2 y 1.5 lo cual es considerablemente mas caliente que el primer nivel. Sus alcances mas altos en temperatura se presentan a las 2pm y su mas baja a las 4am.



## 4.4.7 Sistema Constructivo Metal

### Sistema Constructivo 3: Estructura de metal mas cerramientos livianos en laminas cementicias.

El sistema 3 se compone de Paredes livianas formadas a partir de marcos compuestos con tubo de acero de 100mm x 100mm x 3.2mm, con elementos diagonales en tubo de acero de 5 x 5 x 0.32 cm, para evitar la deformación.

La estructura del entrepiso esta compuesta de perfiles C de 50mmx 150mm cada 60cm, con una losa de concreto de 10cm,

Los cerramientos poseen estructura liviana en postes y canales de aluminio a cada 40cm, recubiertos con láminas cementicias (durock) de 12 mm espesor, por ambos lados.

La estructura de cubierta en metal, cielorraso en gypsum de 12mm de espesor con cubierta de hierro galvanizado ondulado.

El piso posee estructura en malla electro-soldada, chorreado en concreto de 15cm de espesor.

Las las uniones de los tubos se realizaron mediante soldadura.

Para la ventanería se utilizo paños de vidrio de 5mm de espesor, en marco de aluminio natural, con aperturas tipo ventilas.

Las características acá mencionadas fueron utilizadas para las simulaciones.

Además se utilizaron elementos de cerramiento de aluminio y sus dimensiones son de 10cm x 1cm x el largo indicado. Estos elementos fueron utilizados principalmente en la doble cubierta ventilada a modo de protección.

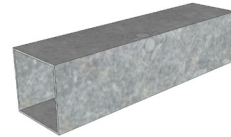


Imagen 130 - Perfil acero cuadrado de 10mm x 10mm



Imagen 131 - Unión soldada

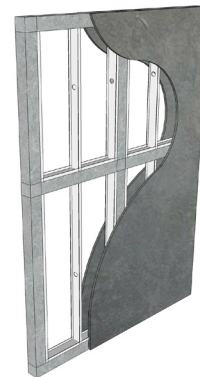


Imagen 132 - Estructura de pared de acero



Imagen 133 - Estructura de cubierta en acero

## 4.4.8 Simulaciones Metal

### Simulaciones

Las simulaciones se realizaron mediante la utilización del software Design Builder, y los datos climáticos fueron obtenidos del software Meteornorm y del Instituto Meteorológico Nacional.

Se simuló en las etapas críticas de la época seca (Febrero) con el objetivo de identificar diferencias térmicas entre el primer y el segundo nivel de la edificación. Todas las simulaciones se hicieron con los modelos en dirección Norte Sur

Se realizaron cuatro simulación para cada uno de las zonas en estudio : Limón, San José y Liberia.

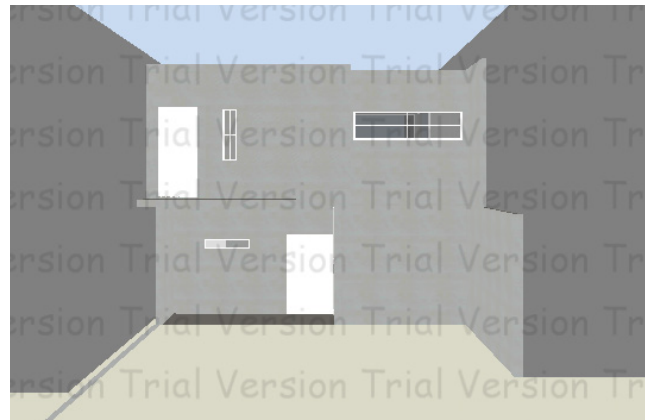


Imagen 134- Modelo Prototipo 3 - Design Builder

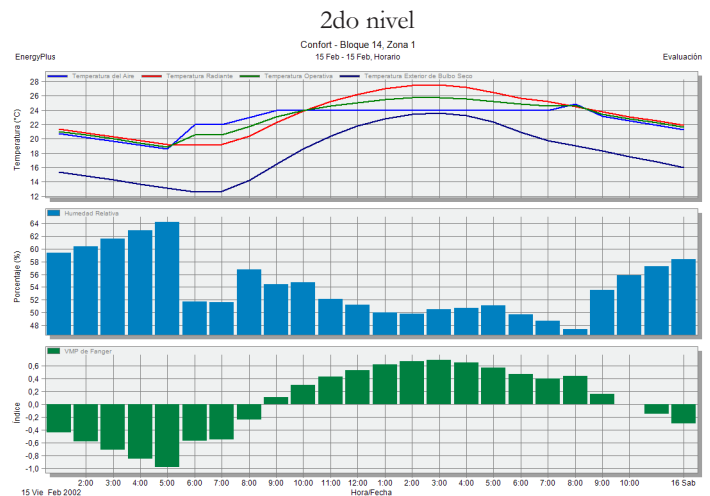
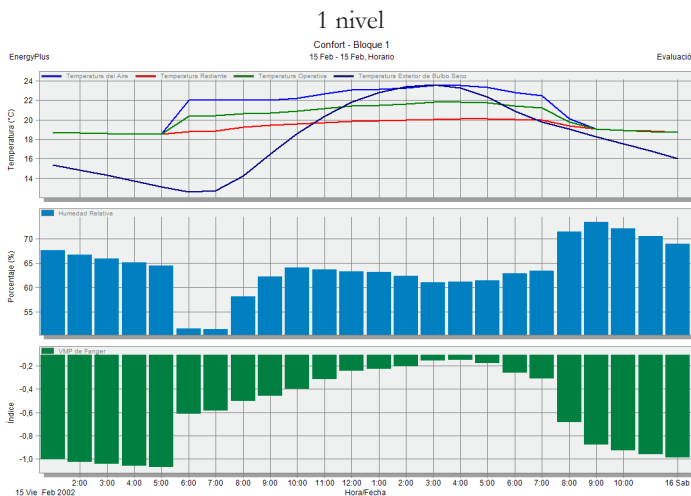


Imagen 135- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -San José Design builder

### San José

Las simulaciones para el prototipo 3 en Metal cubierto con laminas cementicias, se observa que el primer nivel al estar protegido tanto por las colindancias como por el 2do nivel, presenta un indice de confort oscilante entre - 1.2 y 0, lo cual es fresco, con tendencia al frio. Por su parte el 2do nivel se presenta mas caliente con un indice de confort entre -1 y 1, posicionandose sobre los limites inferior y superior de la zona de confort.

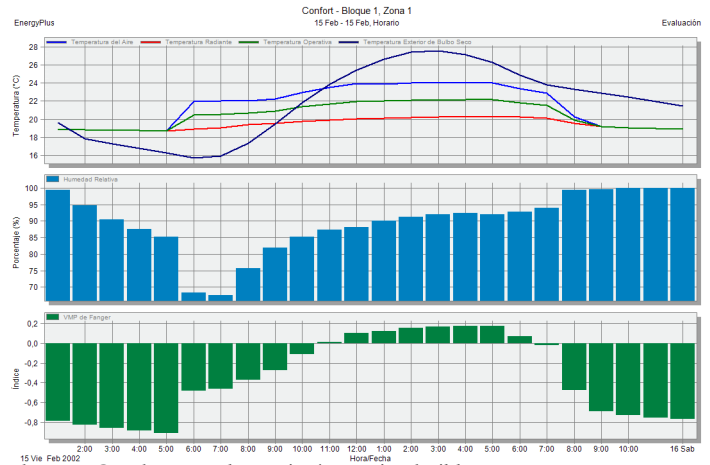
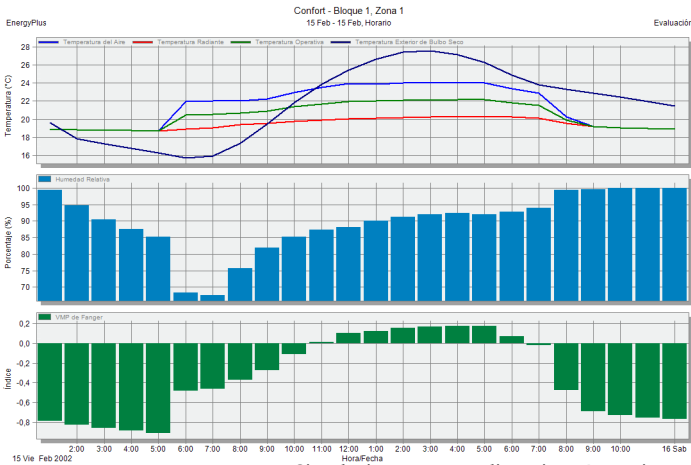


Imagen 136- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -Limón Design builder

## Limón

Para Limón los índices de confort del primer nivel se ubican entre -1 y 0.3, ubicandose dentro de la zona de confort ideal, por su parte el segundo nivel muestra índices de confort entre 0 y 1, como se puede observar se muestran grandes diferencias entre el primer nivel y el segundo nivel, superiores a las presentadas por el mismo modelo en San Jose.

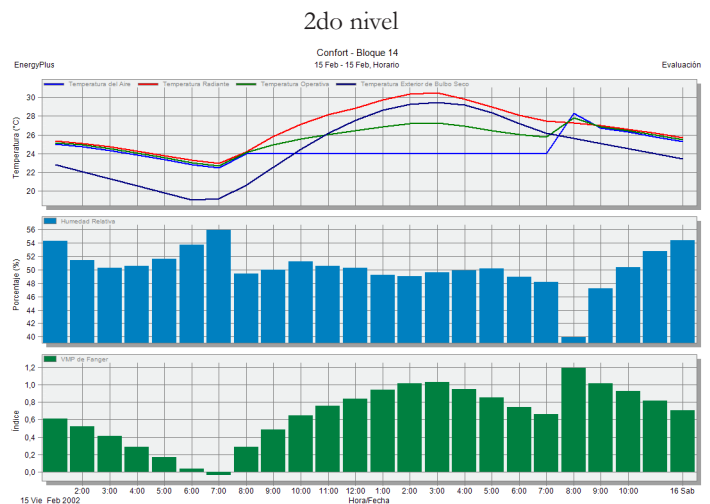
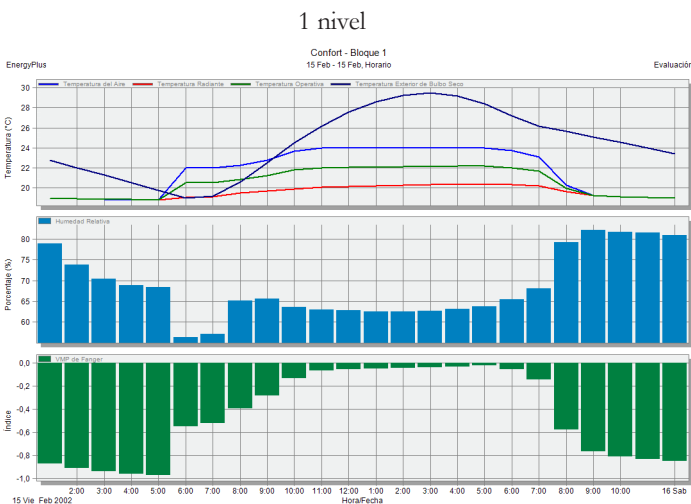


Imagen 137- Simulaciones termodinamicas Prototipo 3 - Febrero y Octubre - Madera -Liberia Design builder

## Liberia

Liberia presenta las temperaturas mas calientes en relación a San Jose y Limón, por consiguiendo los índices de confort tanto del primer nivel como del segundo, tienden a salir de la zona de confort hacia sus rangos mas calientes. De igual manera que las anteriores simulaciones, se presenta gran diferencia entre el primer nivel donde su indice de confort alcanza valores negativos, mientras que el segundo nivel presenta valores positivos, alcanzando un indice de confort de 1.3 en su hora mas caliente (4pm).

## 4.4.9 Resultados y Conclusiones prototipo 3

### Resultados

Las simulaciones realizadas para las 3 zonas de vida en estudio, sobre el prototipo de vivienda de dos niveles en la época seca, ubicando el prototipo de Norte a Sur dio los siguientes resultados:

Para la zona de vida Bosque Humedo premontano, puntualmente para San José, se demostro que indiferentemente del material utilizado, se presenta amplias diferencias en los indices de confort entre un nivel y otro.

Para el primer nivel se presentan resultados similares a los obtenidos con el prototipo 2, mejorando a un poco la sensación de confort. A pesar de esto en las horas mas frias de la madrugada, este nivel tiende a salirse de la zona de confort.

Por su parte el segundo nivel presento resultados similares a los obtenidos por el prototipo 1, debido a su mayor exposición de sus fachadas.

Para la zonas de vida Bosque Seco Transición Humedo (Liberia) y Bosque Humedo Tropical (Limón) se presenta situaciones identicas en las que el segundo nivel se encuentra hasta 3 grados mas caliente que el primer nivel.

### Conclusiones

Se demuestra mediante el conjunto de simulaciones realizadas, el comportamiento de edificaciones de dos niveles, en las que indiferentemente del material seleccionado, se presentan diferencias amplias entre un nivel y otro, siendo el segundo nivel mas calido que el primero.

Dado lo anterior estrategias de protección sobre la radiación solar se deben intencificar en el segundo nivel. Cabe mencionar que la superficie con mayor incidencia de radiación de toda edificación es su cubierta, por lo cual el nivel que se encuentre directamente conectado con ella, presentara niveles de temperatura mas altos.





### Simbología



## 4.5 Resultados Generales - Matriz

### Resultados Generales

Se presenta una matriz con los resultados de las distintas simulaciones realizadas. En la parte superior se ubican las 3 zonas de vida en estudio, y una división horaria ( cada cuatro horas ); en la zona lateral izquierda se ubican los 3 prototipos, los sistemas constructivos y la direccionalidad del lote. En la zona lateral derecha se ubica la época: época lluviosa y época seca.

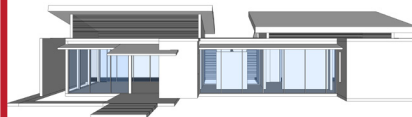
Confortable

Aceptable

Incomodo

Simbología

Prototipo 1

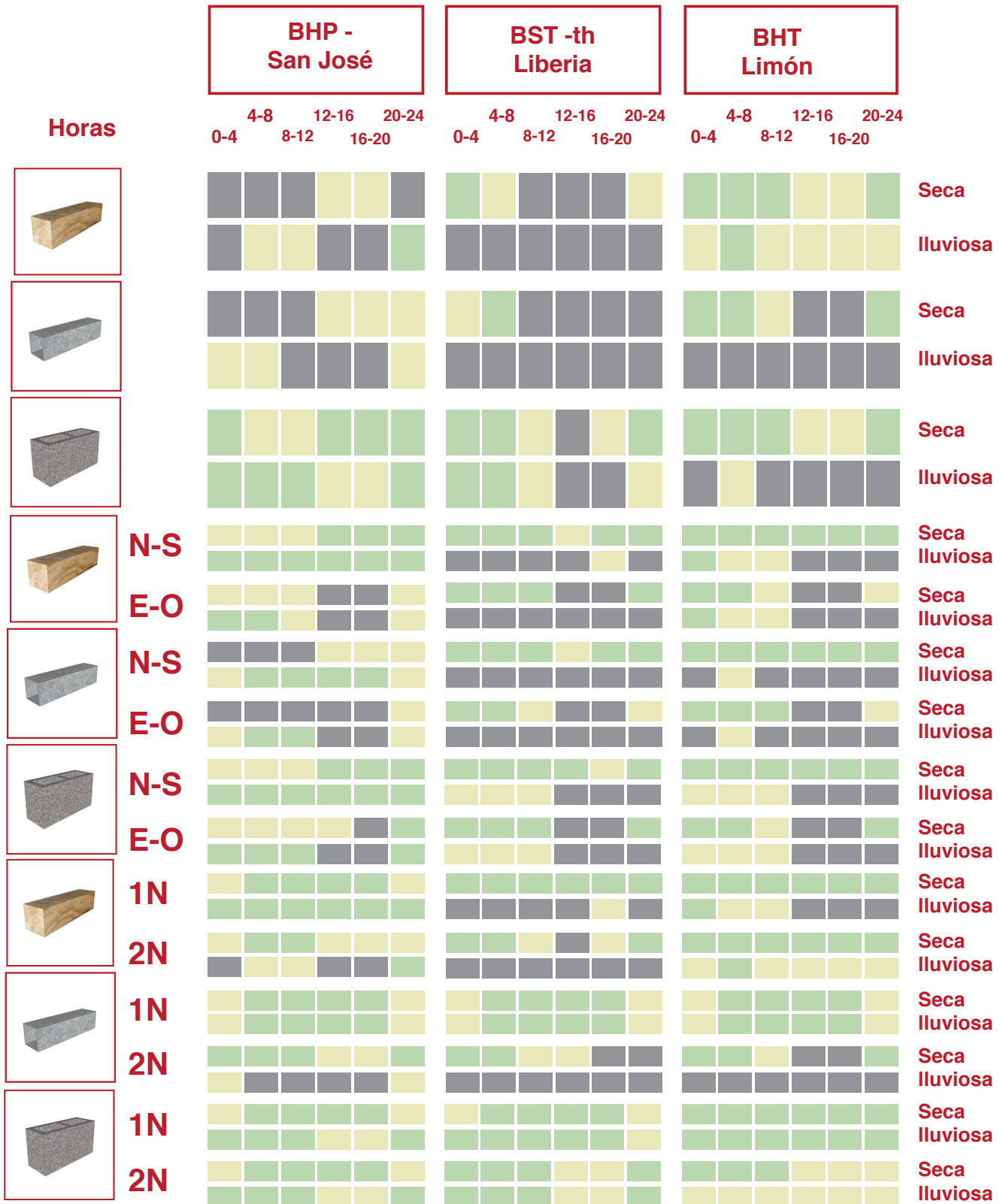


Prototipo 2



Prototipo 3





# 5

## Propuesta



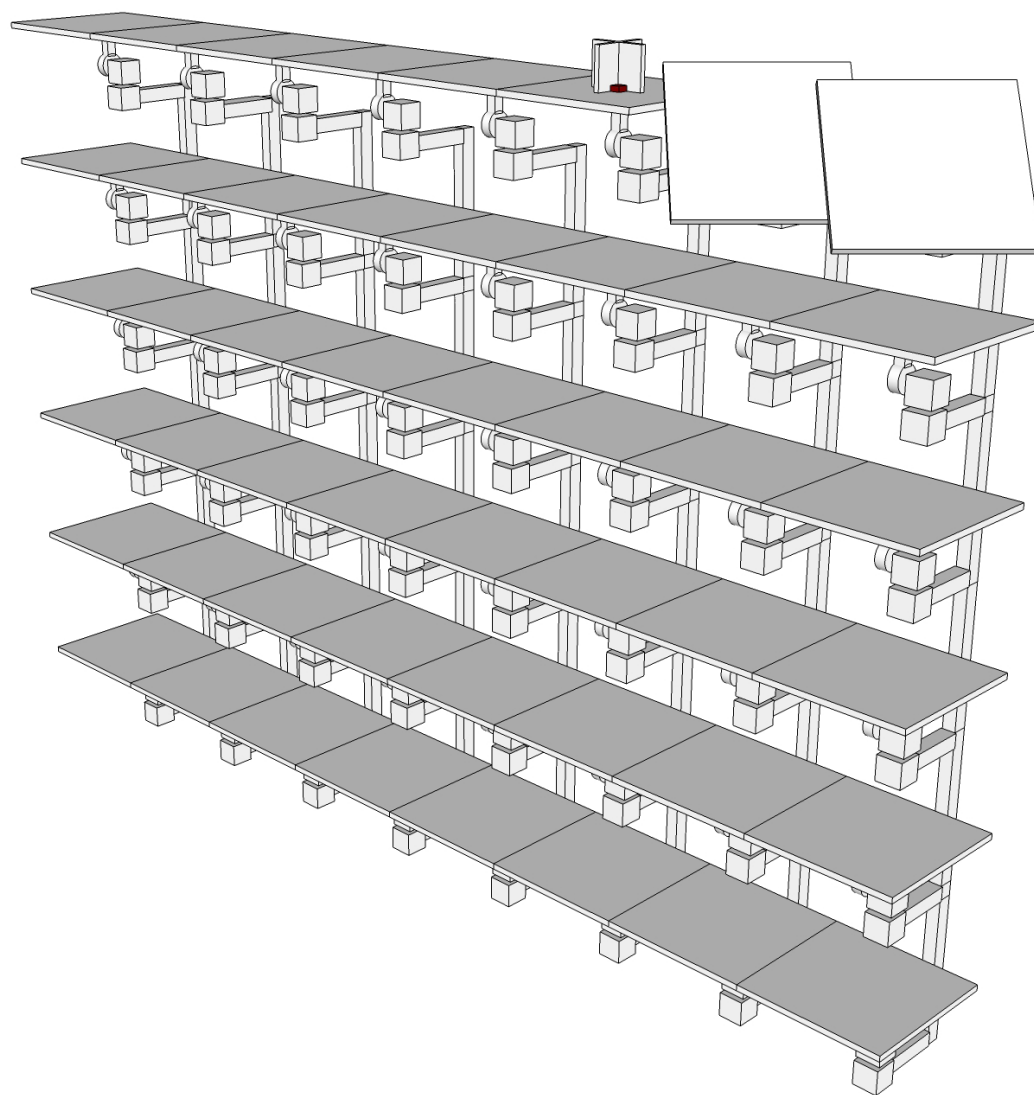


Imagen 138- Prototipo de Envolvente Adaptable - Conjunto 8 x 6

## 5.1 Introducción

### Introducción

Dado la problemática presente en el prototipo 2 y 3 a la hora de colocar la fachada principal al oeste y al este, en las cuales, de no obstruir al 100% el ingreso de radiación directa, las edificaciones se sobre calientan, alejándose de los niveles de confort para los usuarios.

El principal causante de esta consecuencia es el Sol, y las ganancias internas que genera al ingresar directamente por las aperturas de la edificación. Por lo tanto Se propone un prototipo de envolvente adaptable, el cual se ajuste ,de manera automática, a la geometría solar, en cada una de las tres zonas en estudio.

La propuesta de envolvente consta de 2 capas, para mejorar la respuesta de la edificación ante la incidencia de las variables climáticas. La primera capa consta de un perseguidor solar, el cual se adapta geometría solar; la segunda capa consta de paneles de vidrio, con aperturas para controlar la ventilación.

Cabe mencionar que el prototipo de envolvente adaptable responde a la geometría solar de manera autosuficiente, po lo cual genera bajo impacto a diferencia de de aires acondicionados.

Se define envolvente móvil responsiva, a toda aquella envolvente, que recibe determinados estímulos, y responde a ellos adaptando su forma y posición.

Como complemento se propone un prototipo para el control de la ventilación con el onbjetivo de aumentar la eficiencia de las aperrturas a la hora permitir el ingreso de aire a las edificaciones; con el objetivo final de mantener el confort de los usuarios por mas tiempo.



Imagen 139- Prototipo de Envolvente Adaptable - Modulo 1 x 2

## 5.2 Sombras

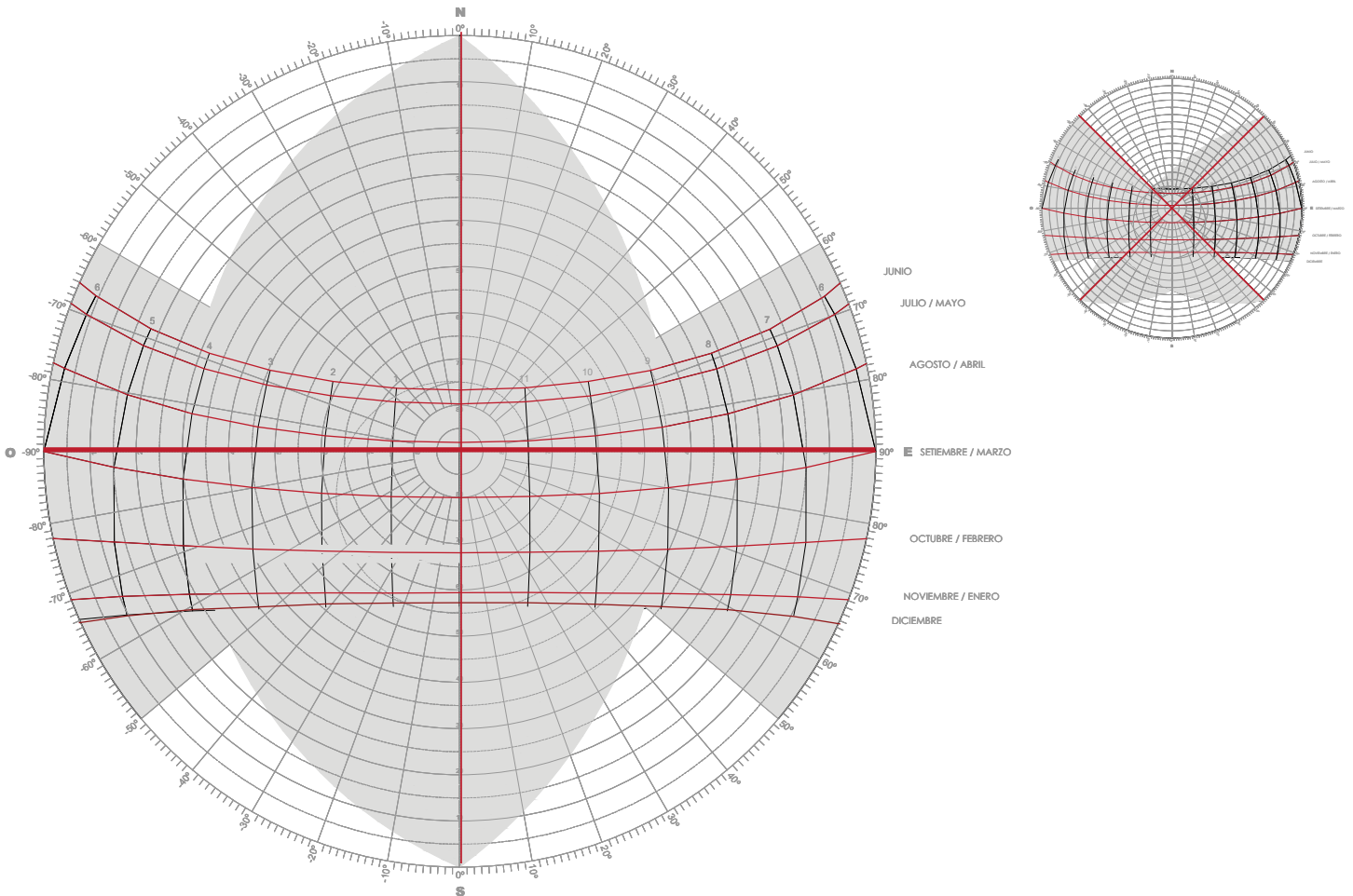


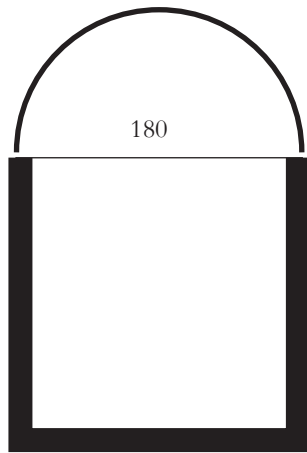
Figura X: Diagrama de Sombras

El primer paso para el diseño de el Prototipo de Envoltura Adaptable, fue hacer las sombras para todas las fachadas tanto a 90 grados: Norte, Sur, Este y Oeste; como a 45 grados: NorEste, SurEste y SurOeste.

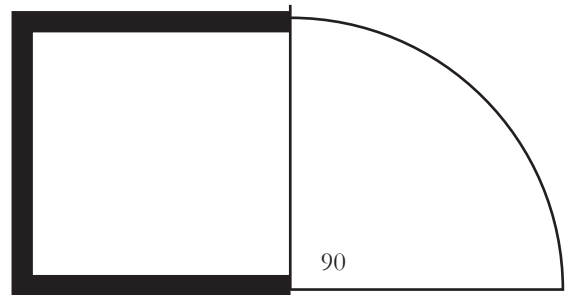
Una vez realizadas las sombras, se calculó los elementos necesarios para proteger al 100% todas las fachadas de una edificación. Y se creó una tabla de ángulos de incidencia solar para cada fachada, tanto de manera horizontal como vertical.



### Horizontal



### Vertical



N	1° a 179°	76° a 90°
S	1° a 179°	57° a 90°
E	50° a 130°	0° a 90°
O	50° a 130°	0° a 90°
NE	100° a 180°	0° a 90°
NO	100° a 180°	0° a 90°
SE	100° a 180°	0° a 90°
SO	100° a 180°	0° a 90°

Figura X: Diagrama de Moimientos

En la tabla se observa que el movimiento horizontal necesario para que el prototipo pueda ser aplicado a todas las fachadas es de 0 a 180, principalmente por las Fachadas ubicadas hacia el Norte y Sur.

Por su parte para el movimiento vertical se determinó que para el funcionamiento del prototipo en todas las fachadas se necesita una movilidad de 0 grados a 90 grados; debido principalmente a las fachadas Este y Oeste que deber permanecer totalmente cerradas o abiertas a ciertas horas del día.

## 5.3 Diseño

### Diseño

El Buscador solar es una envolvente modular, cuyo objetivo es proteger al 100% el interior de la edificación de la radiación solar directa, sin bloquear la visibilidad interior-exterior.

Para lograr lo propuesto se diseñó un modelo el cual cada módulo sigue el recorrido del sol a lo largo del día. Esto se logra mediante un sistema en el cual en uno de los paneles (Panel guía), se coloca un prisma en forma de cruz de 15cm de altura. En cada uno de los 4 espacios divididos por esta cruz, se coloca un sensor de luz. Luego se programa la computadora para que mueva el módulo para que los 4 sensores reciban la misma cantidad de luz siempre. De esta manera se asegura que el panel del módulo se encuentra perpendicular a los rayos solares.

Para lograr el movimiento requerido, 180 grados horizontales y 90 grados verticales, se utilizaron dos brazos mecánicos, uno unido al otro. Cada uno de estos brazos posee un motor de rotación el cual le permite girar y acomodarse según sea necesario.

Dado que el sol posee un movimiento aproximado a 180 grados durante todo el día, el módulo se mueve aproximadamente 15 grados por hora, lo cual hace necesario que este se mueva un grado cada 4 minutos. Aproximadamente se tarda 3 segundos para alcanzar la posición necesaria. Esto quiere decir que diariamente los motores de movimiento están funcionando por tan solo 10 minutos al día. Teniendo en cuenta que permanecen estáticos durante las horas de la noche, en la posición seleccionada por el usuario.

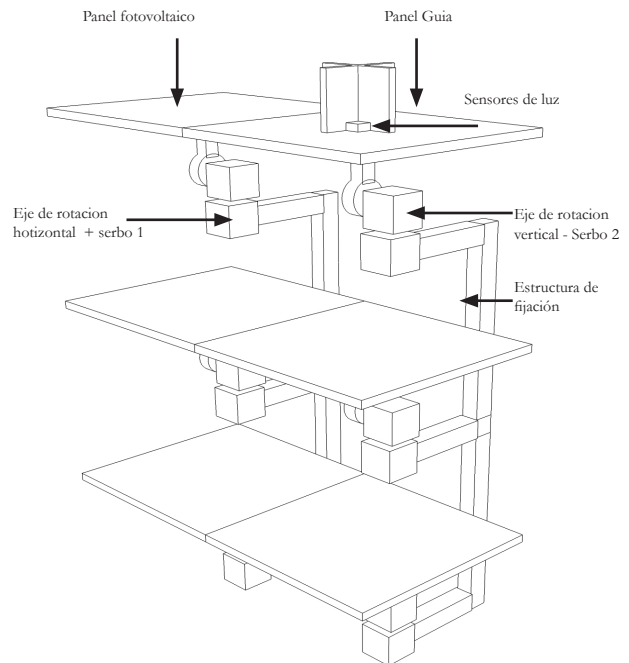


Imagen 140- Prototipo de Envolvente Adaptable - Composición

### Programación

El prototipo se programó utilizando Rhino 3D, con el Plugin Grasshopper. Se diseñó la programación para que el prototipo se moviera según el recorrido solar.

La programación se configura de la siguiente manera. Se divide la geometría total del prototipo en cuatro secciones. La primera sección se compone del panel fotovoltaico y su brazo de amarre. Esta sección tiene la capacidad de rotar de manera vertical de 0 a 90 grados, teniendo como eje de rotación el punto A.

La sección 2, se compone de la sección 1 más el servo 2. Esta sección tiene la capacidad de rotar 180 grados sobre el eje en el punto B

La sección 3 y 4 son el Servo 1 y la estructura de fijación del modulo respectivamente. Estas secciones son fijas.

Una vez establecida la geometría, y su rotaciones, se introdujo la cruz de sensores. Esta cruz de sensores se compone por una cruz de 10x10cm extruida 10cm en el eje z. En cada espacio definido por la cruz se ubica un sensor de luz, para un total de 4 sensores. El objetivo es que los 4 sensores, divididos por la cruz extruida, reciban la misma cantidad de luz; de esta manera nos aseguramos que el panel se encuentra perpendicular a los rayos de sol.

Dadas los anteriores parametros, se le indica al computador que haga girar el servo 1 o el servo 2 , hacia el sensor que este recibiendo mas iluminación hasta que los 4 sensores reciban la misma cantidad de luz.

A continuación se muestra el código completo para arduino uno.

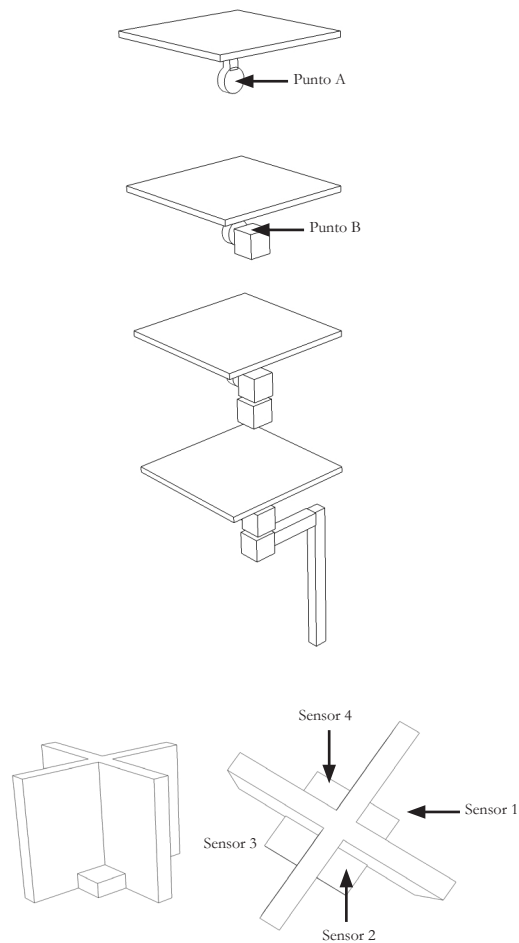


Imagen 141- Prototipo de Envolvente Adaptable - Cruz de sombreado

## 5.4 Código

Codigo - Arduino 1.

archivo .ino

```
#include <Servo.h> // include Servo library
```

```
// 180 horizontal MAX
```

```
Servo horizontal; // horizontal servo
```

```
int servoh = 180; // 90; // stand horizontal servo
```

```
int servohLimitHigh = 180;
```

```
int servohLimitLow = 65;
```

```
// 65 degrees MAX
```

```
Servo vertical; // vertical servo
```

```
int servov = 45; // 90; // stand vertical servo
```

```
int servovLimitHigh = 80;
```

```
int servovLimitLow = 15;
```

```
// LDR pin connections
```

```
// name = analogpin;
```

```
int ldrlt = 0; //LDR top left - BOTTOM LEFT
```

```
int ldrrt = 1; //LDR top right - BOTTOM RIGHT
```

```
int ldrl = 2; //LDR down left - TOP LEFT
```

```
int ldrr = 3; //ldr down right - TOP RIGHT
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  // servo connections
```

```
  // name.attach(pin);
```

```
  horizontal.attach(9);
```

```
  vertical.attach(10);
```

```
  horizontal.write(180);
```

```
  vertical.write(45);
```

```
  delay(3000);
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
  int lt = analogRead(ldrlt); // top left
```

```
  int rt = analogRead(ldrrt); // top right
```

```
  int ld = analogRead(ldrl); // down left
```

```
  int rd = analogRead(ldrr); // down right
```

```
  // int dtime = analogRead(4)/20; // read potentiometers
```

```
  // int tol = analogRead(5)/4;
```

```
  int dtime = 10;
```

```
  int tol = 50;
```

```
  int avt = (lt + rt) / 2; // average value top
```

```
  int avd = (ld + rd) / 2; // average value down
```

```
  int avl = (lt + ld) / 2; // average value left
```

```
  int avr = (rt + rd) / 2; // average value right
```

```
  int dvert = avt - avd; // check the difference of up and down
```

```
  int dhoriz = avl - avr; // check the difference of left and right
```

```
  Serial.print(avt);
```

```
  Serial.print(" ");
```

```
  Serial.print(avd);
```

```
  Serial.print(" ");
```

```
  Serial.print(avl);
```

```
  Serial.print(" ");
```

```
  Serial.print(avr);
```

```
  Serial.print(" ");
```

```
  Serial.print(dtime);
```

```
  Serial.print(" ");
```

```
  Serial.print(tol);
```

```
  Serial.println(" ");
```

```

    if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // check if the diffi-
    rence is in the tolerance else change vertical angle
    {
    if (avt > avd)
    {
    servov = ++servov;
    if (servov > servovLimitHigh)
    {
    servov = servovLimitHigh;
    }
    }
    else if (avt < avd)
    {
    servov = --servov;
    if (servov < servovLimitLow)
    {
    servov = servovLimitLow;
    }
    }
    vertical.write(servov);
    }

```

```

    if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // check if the diffi-
    rence is in the tolerance else change horizontal angle
    {
    if (avl > avr)
    {
    servoh = --servoh;
    if (servoh < servohLimitLow)
    {
    servoh = servohLimitLow;
    }
    }
    else if (avl < avr)
    {
    servoh = ++servoh;
    if (servoh > servohLimitHigh)
    {
    servoh = servohLimitHigh;
    }
    }
    else if (avl = avr)
    {
    // nothing
    }
    horizontal.write(servoh);
    }
    delay(dtime);
}

```

## 5.5 Potencial Visual

### Escala - Potencial Visual

Una vez en funcionamiento el prototipo se hizo un pequeño análisis del tamaño adecuado que debe tener cada módulo.

Como se puede ver en las imágenes adjuntas, entre más grande mayor porcentaje de visibilidad se logra desde interior, pero esto a su vez trae algunas consecuencias tanto positivas como negativas.

Positivas:

Entre más grande el prototipo menos módulos se requieren para cubrir una apertura. Por lo cual se requieren menos servos, y menos conexiones.

Se debe dar mantenimiento a menos módulos.

Negativas

Entre más grande el prototipo, mayor fuerza y tamaño deben tener los servos, por lo que aumenta su costo.

Entre más grande sea el módulo ocupan más espacio a la hora de que los paneles se encuentren en posición horizontal.

Dado lo anterior, en cada proyecto se debe valorar el tamaño adecuado de los módulos según sea necesario.



Imagen 142- Prototipo de Envolverte Adaptable - Potencial Visual

## 5.6 Sistema Constructivo

### Materialidad - Sistema Constructivo

Como se describió anteriormente, el prototipo de envolvente adaptable se compone de 3 secciones, por lo que a continuación se profundiza en la materialidad y constructividad de cada una de las secciones hasta formar la envolvente en su totalidad.

Sección 1 - Panel Fotovoltaico + brazo de amarre

La sección 1 consta de panel fotovoltaico de silicio monocristalino de 18cmx22cm, resistente al agua, fijado mediante una estructura en aluminio.

Se utiliza aluminio debido a su bajo peso y alta resistencia; características necesarias dado que el peso del panel debe ser soportado por un pequeño servo. Además de esto este material es de bajo mantenimiento y gran belleza.

Esta estructura de aluminio posee un brazo perpendicular al panel para su posterior fijación con la sección 2.

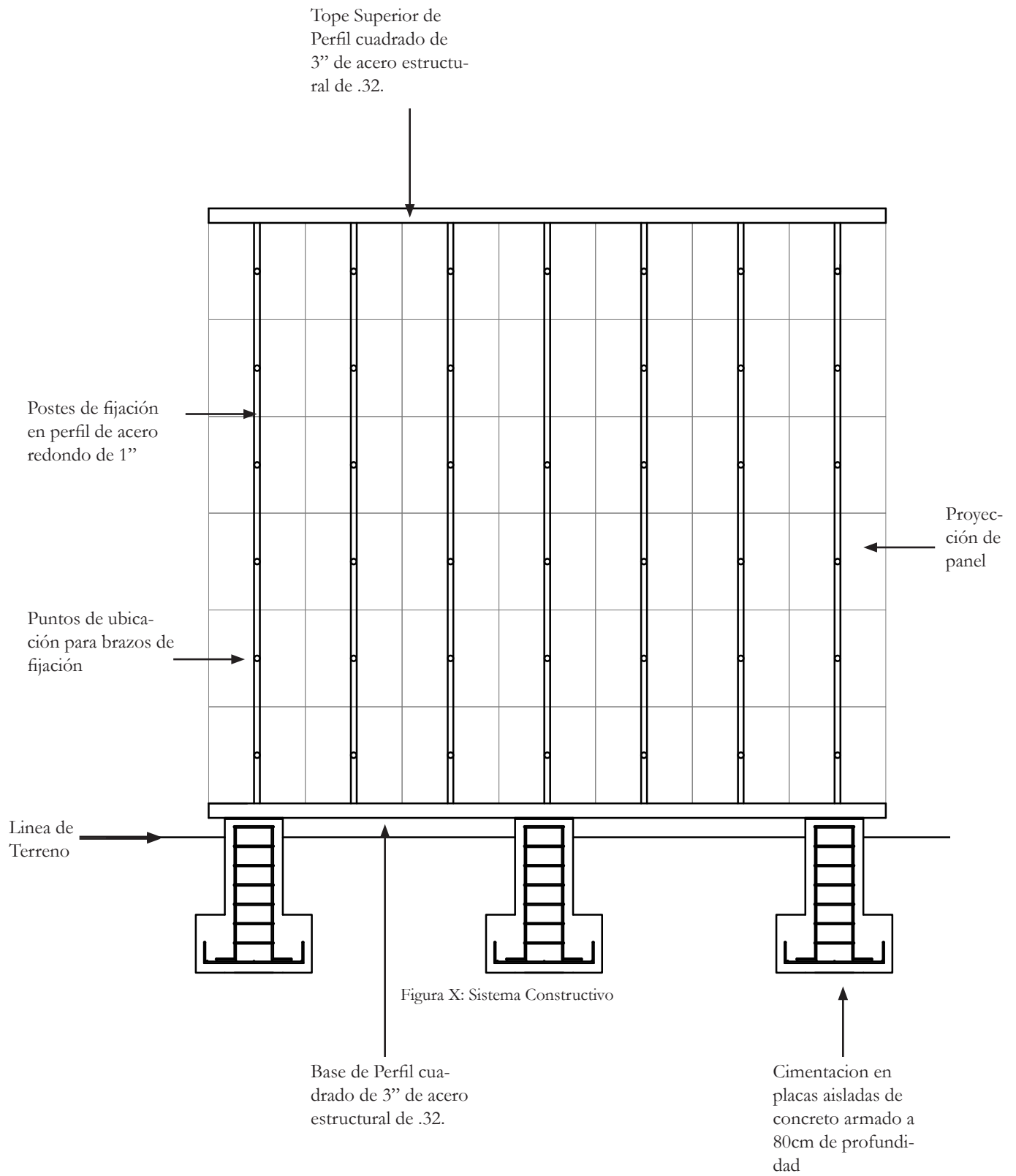
Sección 2: La Sección dos consta de un contenedor del servo 2. Por lo cual es un prisma rectangular de aluminio, el cual se conecta tanto a la sección 1 como con la sección 3.

Sección 3: Esta sección consiste en la estructura soportante, la cual se separa de la estructura primaria de la edificación. Se subdivide en: cimentación, columnas o postes y en los brazos de fijación.

La cimentación consta de placas aisladas a cada 1.5m en concreto armado con varilla corrugada # 3 y #4. Los postes son de tubo redondo de 1 pulgada en 25mm a cada 50 cm. A estos postes se ancha la sección 1 y 2, mediante unos brazos de fijación de 27cm de largo, que salen de manera perpendicular a los postes. El objeto de este brazo de fijación es brindar espacio de separación para que el panel gire sin obstáculo alguno.

La envolvente se adosa a la estructura primaria de la edificación únicamente en sus vigas, ya sea de entrepiso o viga corona. Dicha unión es móvil para asimilar cualquier movimiento en caso de sismo.





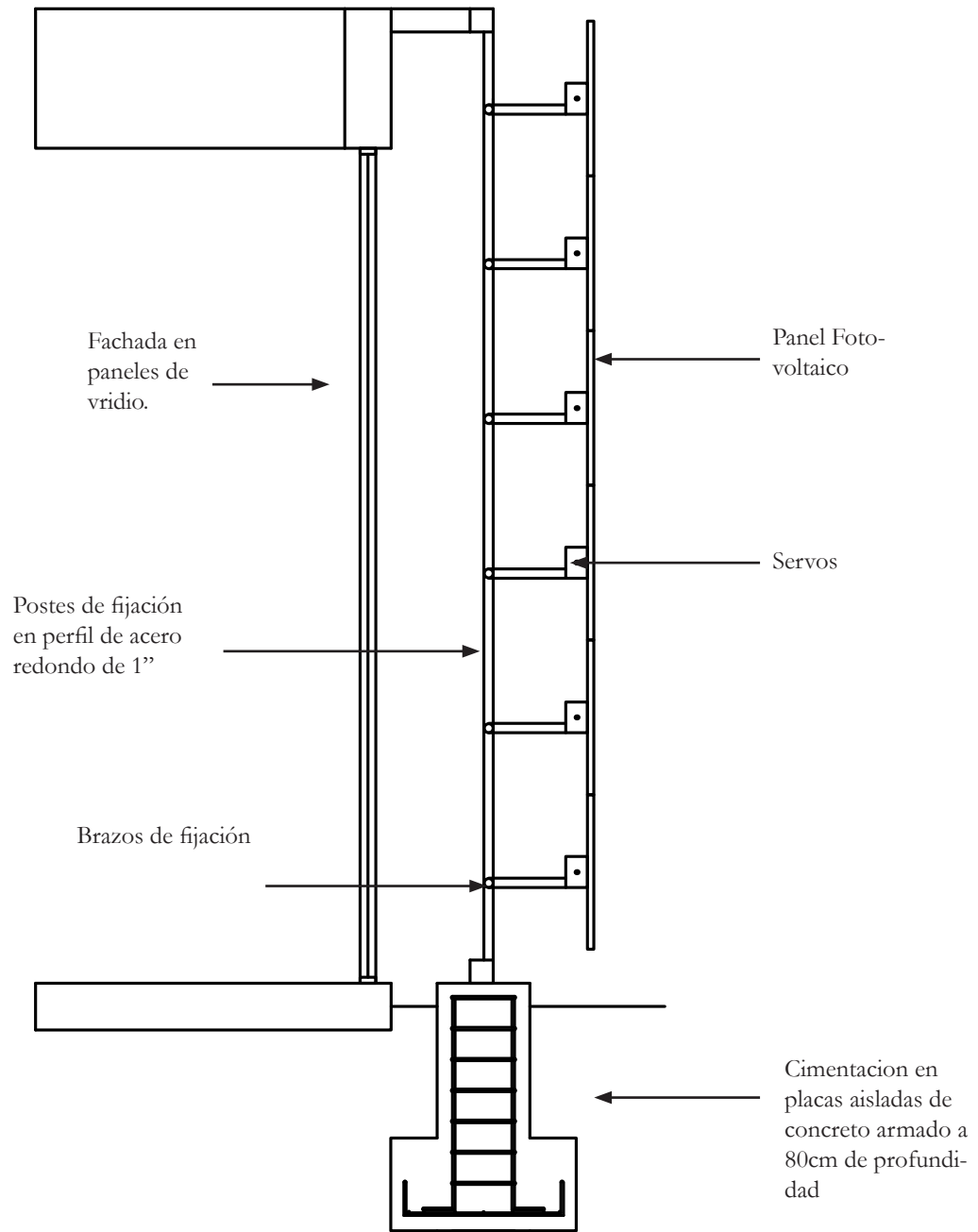


Figura X: Sistema Constructivo - lateral

## 5.7 Simulaciones - Ganancias Internas

### Simulación

Las simulaciones se realizaron en Design Builder. Bloqueando al 100% la radiación solar directa sobre el interior del edificio. Para esto se colocó un panel sólido simulando el prototipo de envolvente adaptable, bloqueando así la radiación solar directa.

Como se observa en la imagen, las ganancias internas debido a la radiación se redujeron considerablemente, inclusive se alcanzan puntos de cercanos a 0 de ganancias solares.

Cabe mencionar que como se diseñaron los prototipos de manera tal que utilizaran en su gran mayoría luz natural, es imposible reducir las ganancias internas totalmente a 0, dado que al ingresar luz de manera indirecta, a su vez se está ingresando calor a la edificación, aunque en menores cantidades si la comparamos con el ingreso directo de la luz solar.

Esta disminución en las ganancias solares internas se presentó en los 3 prototipos de vivienda, reduciendo la temperatura interna de las edificaciones de manera considerable.

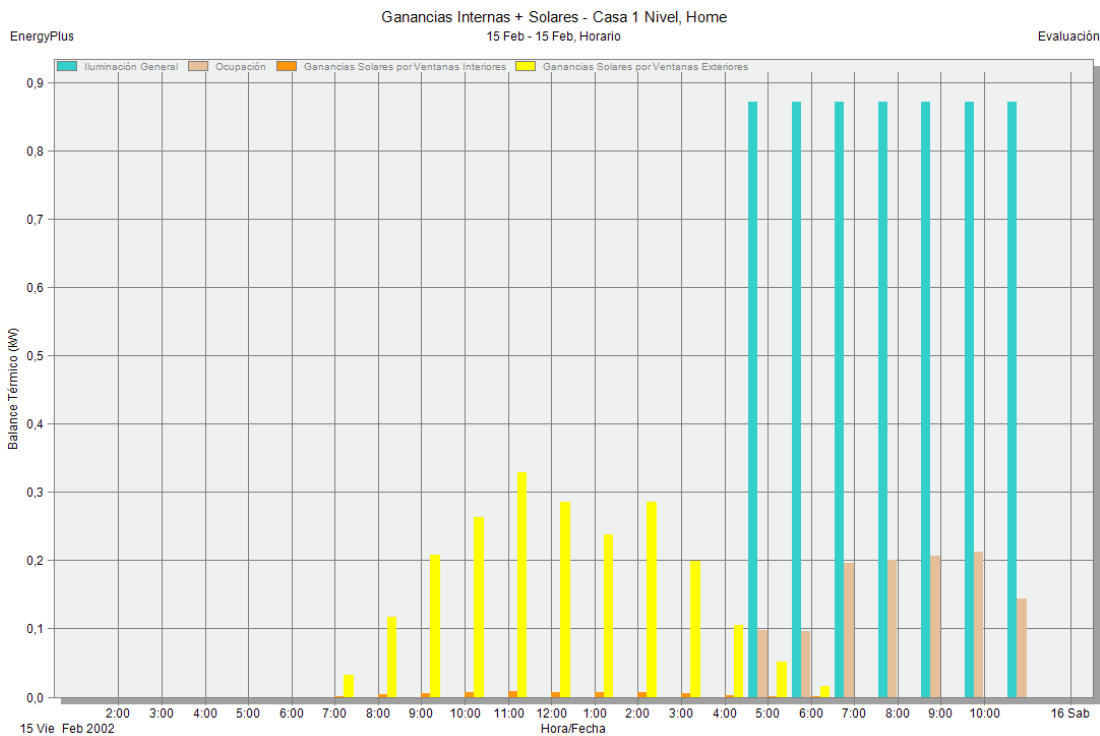


Imagen 143- Ganancias Internas - simulación 1

## 5.8 Configuraciones

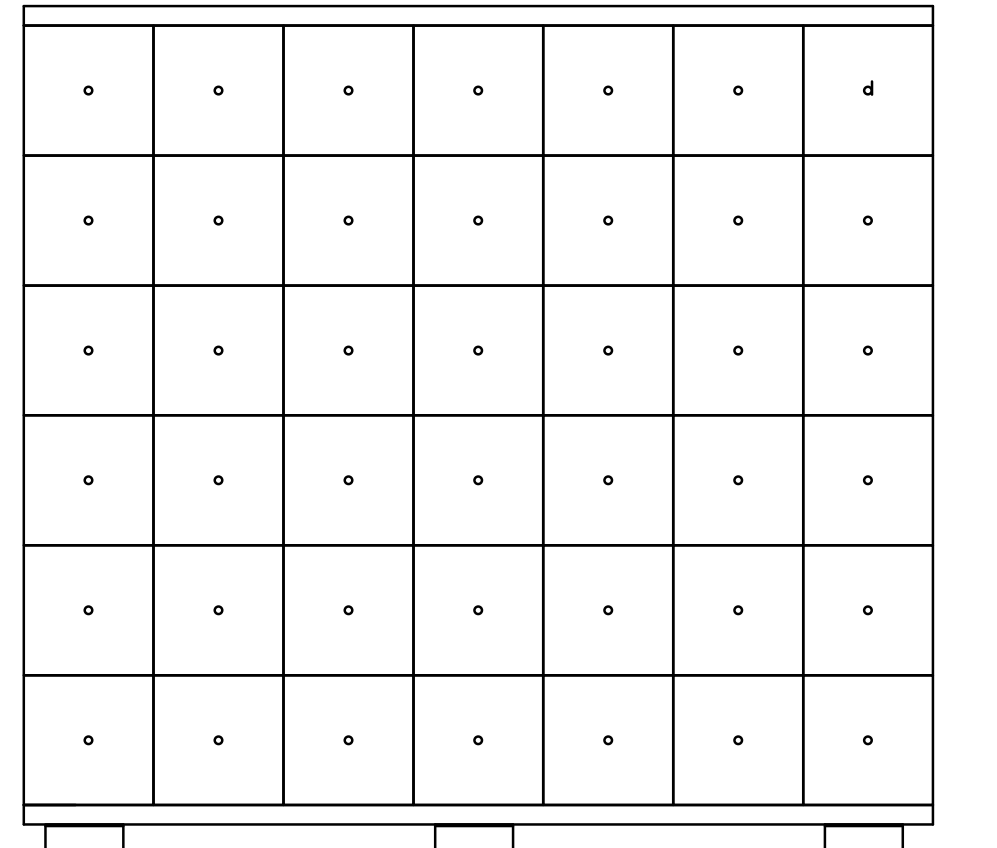
### Configuraciones

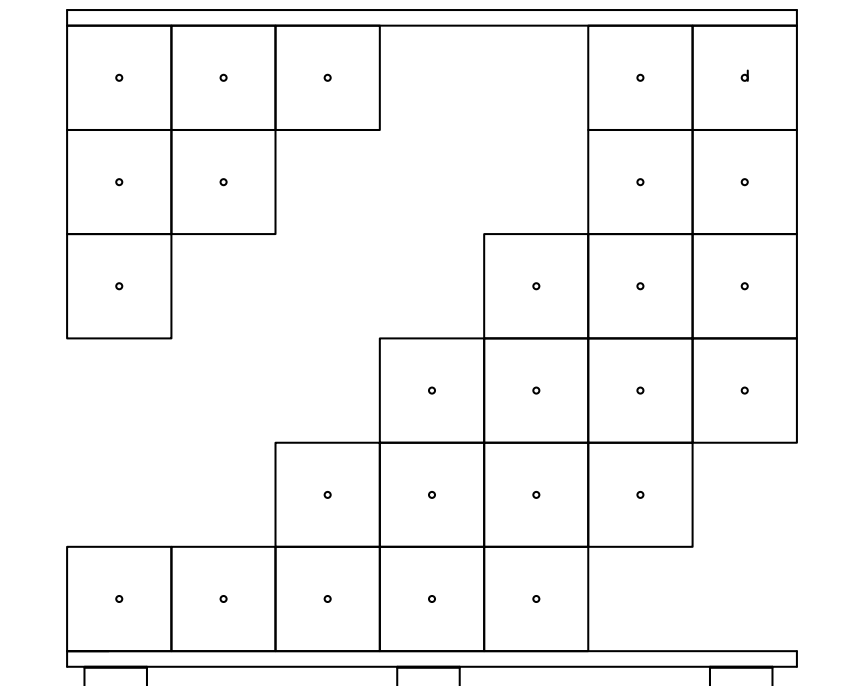
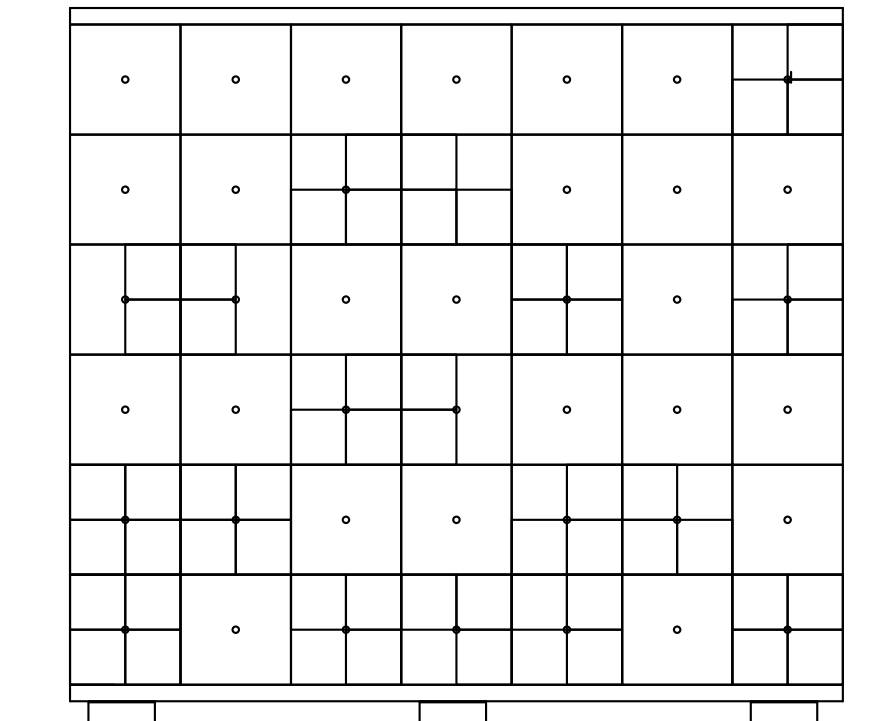
Dada la geometría cuadrada, y or consiguiente, modular, del panel del Prototipo de Envolverte Adaptable se pueden establecer diversas configuraciones.

La primera de ellas, la mas tradicional, es la colocación de todos los paneles del mismo tamaño, generando simetría y simplicidad.

La segunda, es jugar con paneles de distintos tamaños, creando así una asimetría y generando una percepción de mayor complejidad.

Ademas se puede establecer paneles estaticos para Secciones del programa en los cuales se requiera mas privacidad y no se quiera cambiar la modulación generada por este prototipo de envolvente.





## 5.9 Aplicabilidad

### Aplicabilidad

Se realizó un análisis de confort para la Casa del Cuño, de la Antigua Aduana en San José, con el objetivo de demostrar la aplicabilidad del Prototipo de envoltente adaptable a proyectos ya construidos.

Luego se le aplicó el prototipo de envoltente adaptable, y se le realizaron nuevas simulaciones obteniendo nuevos resultados de confort.

La casa del cuño es un espacio multiuso, dedicado a albergar ferias y exposiciones, ubicado en el complejo Centro para las artes y la tecnología La Aduana. Se ubica en San Jose, sobre la calle 25, entre las avenidas 7 y 3. Cuenta con 855m<sup>2</sup> de construcción. Su estructura principal consta de columnas de acero de 50cm x 50cm de 10m de altura a cada 9m. Sus cerramientos se componen de 292 paneles de vidrio de 2m x 2m, 16 parrillas de celosías fijas en la parte superior y un monitor para la circulación del aire en el interior.



Imagen 147 - Casa del Cuño -Vista Externa

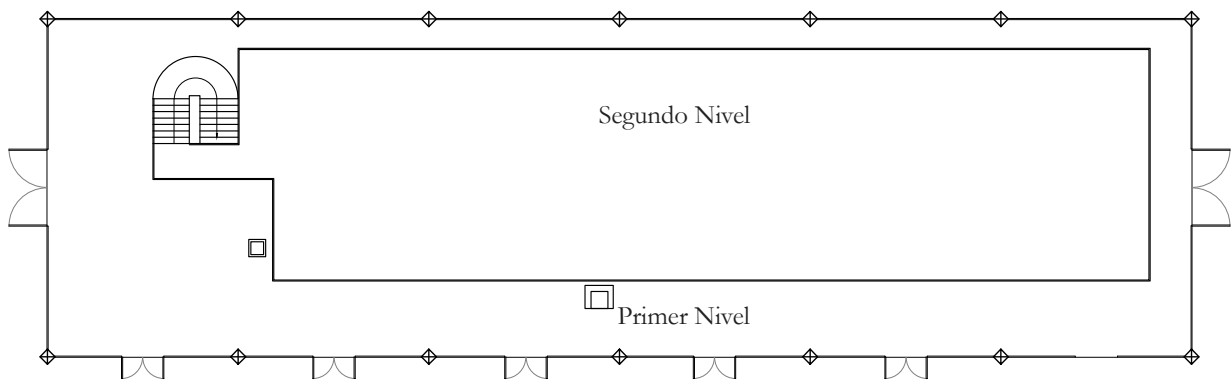
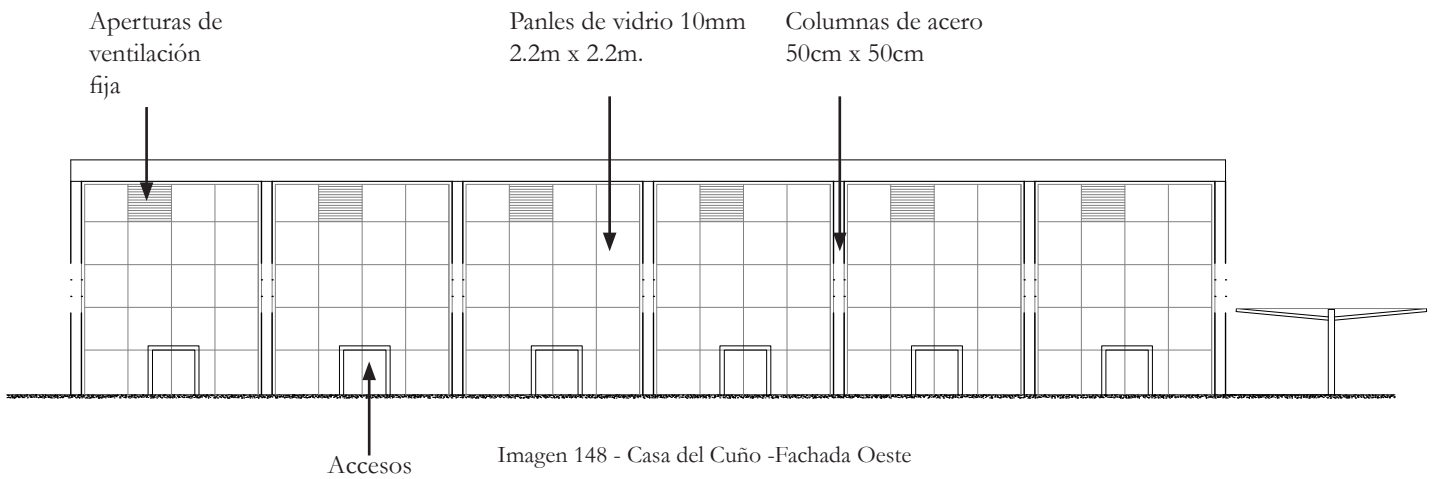


Imagen 149 - Casa del Cuño -Planta

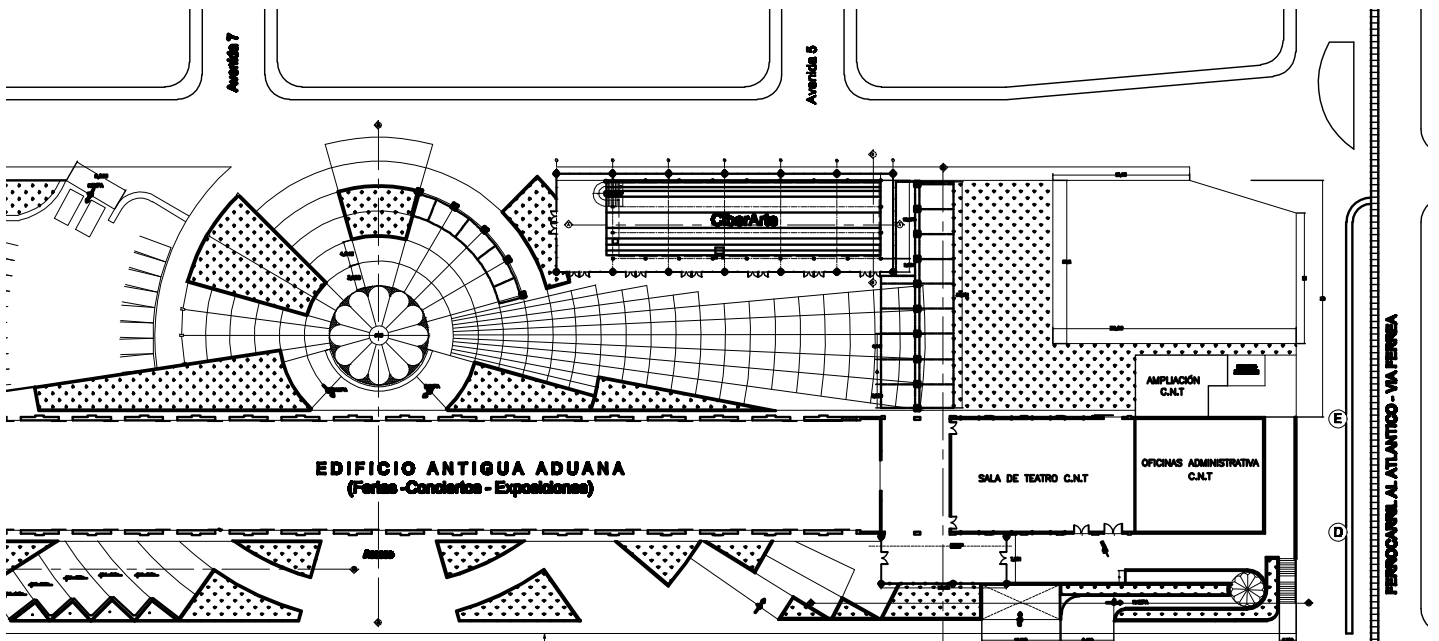
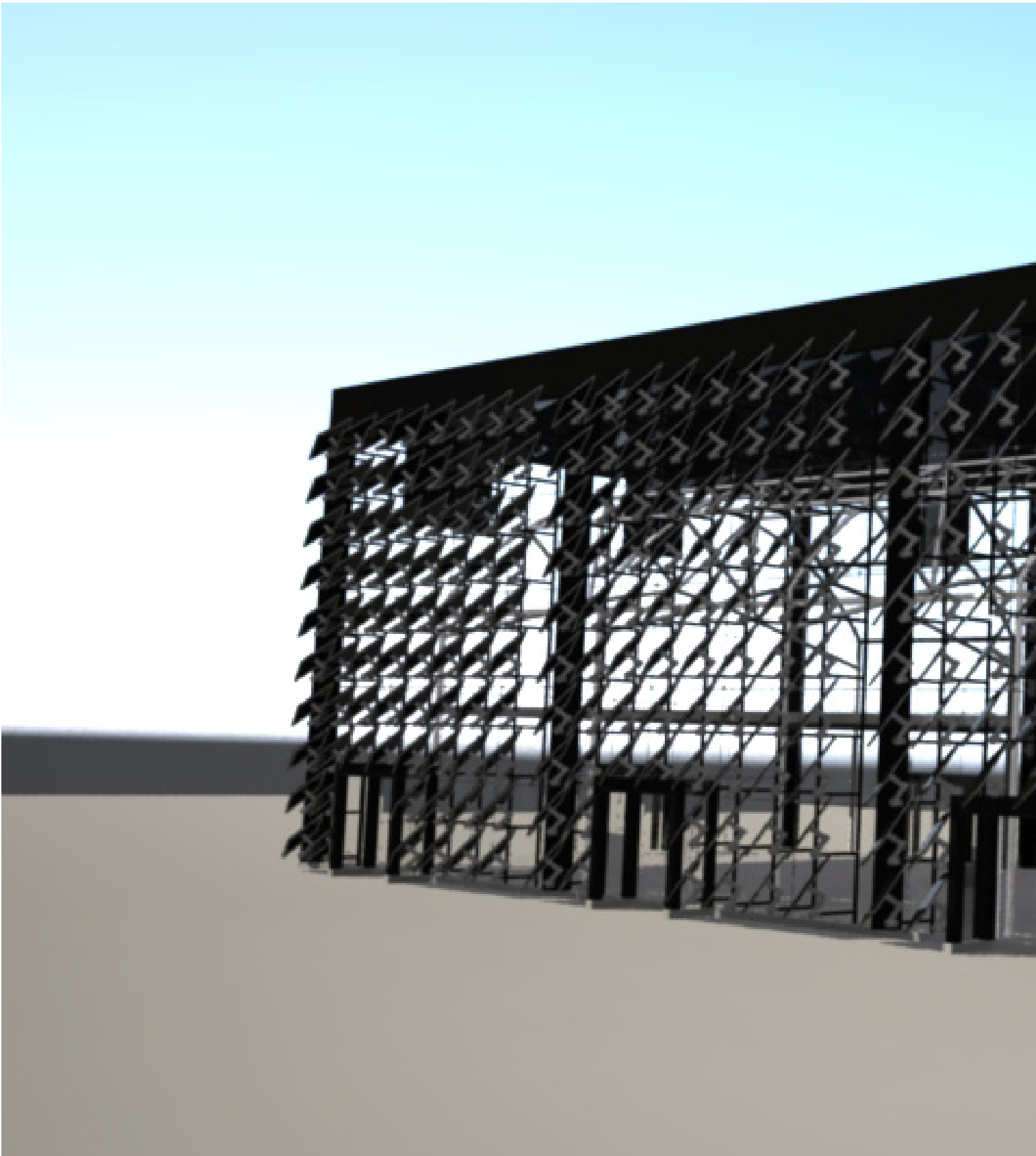


Imagen 150 - Casa del Cuño -Planta Conjunto





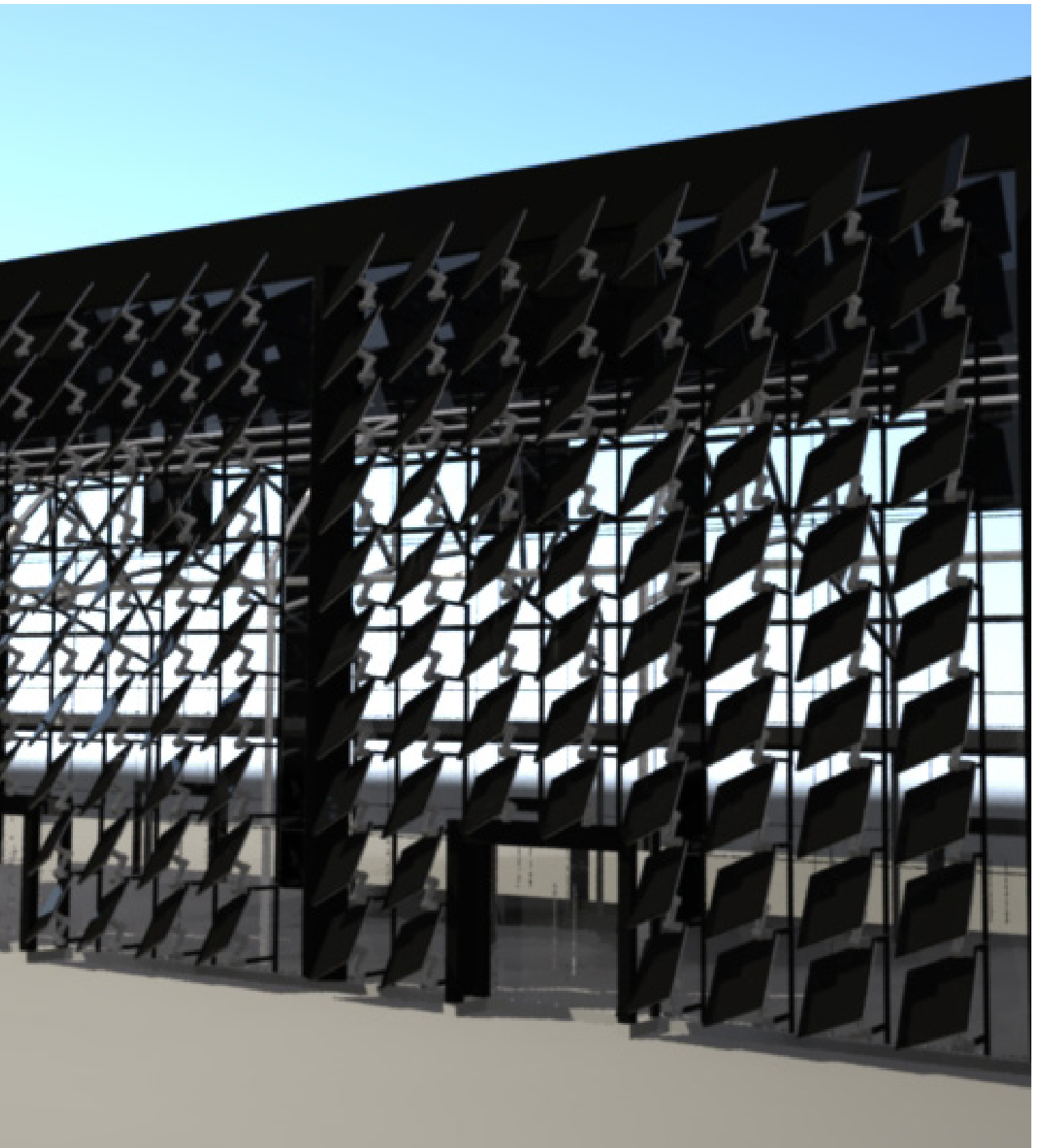
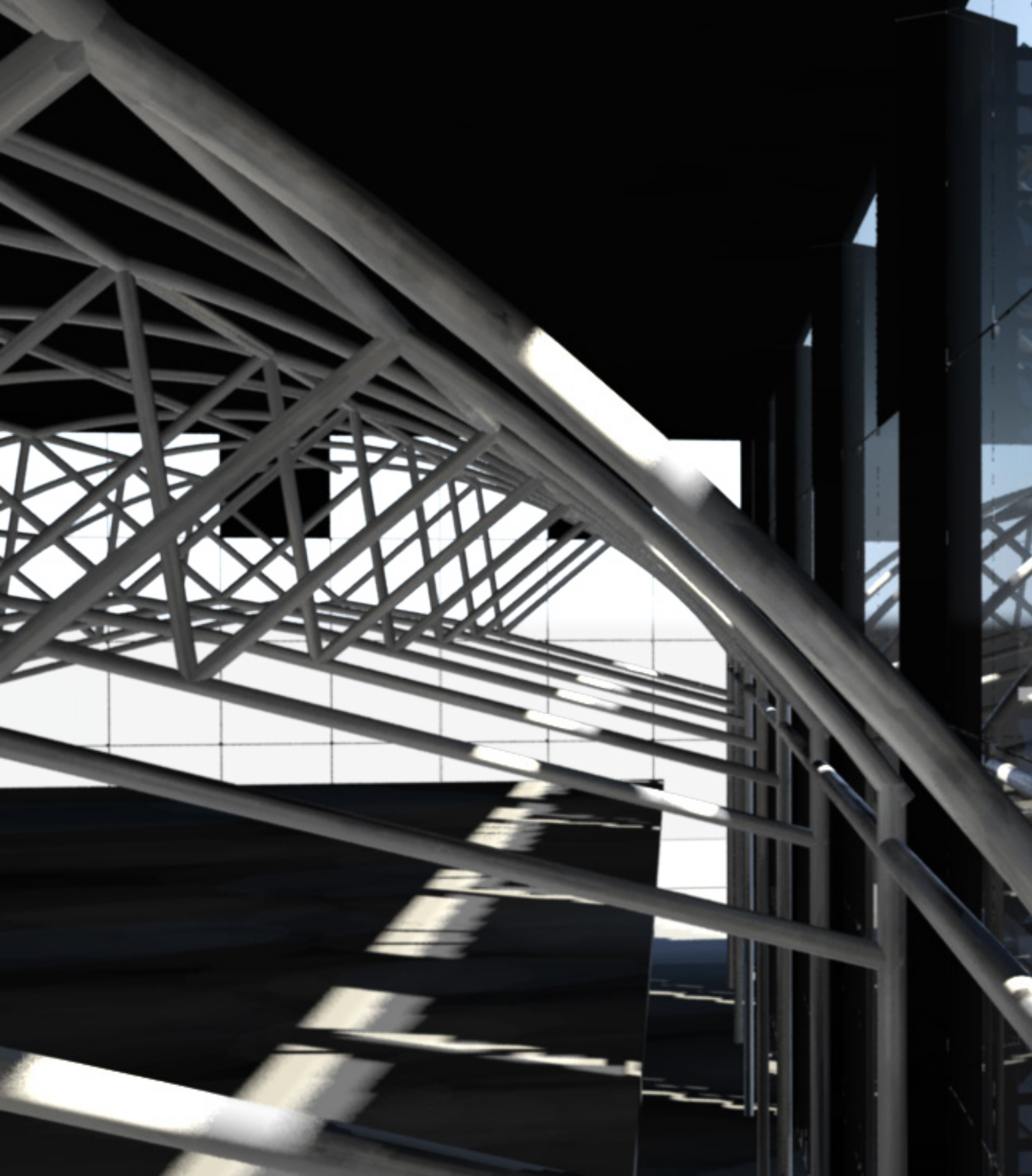


Imagen 151- Propuesta - Casa del Cuño -Vista Externa



Luis C. Gutiérrez Morales

---

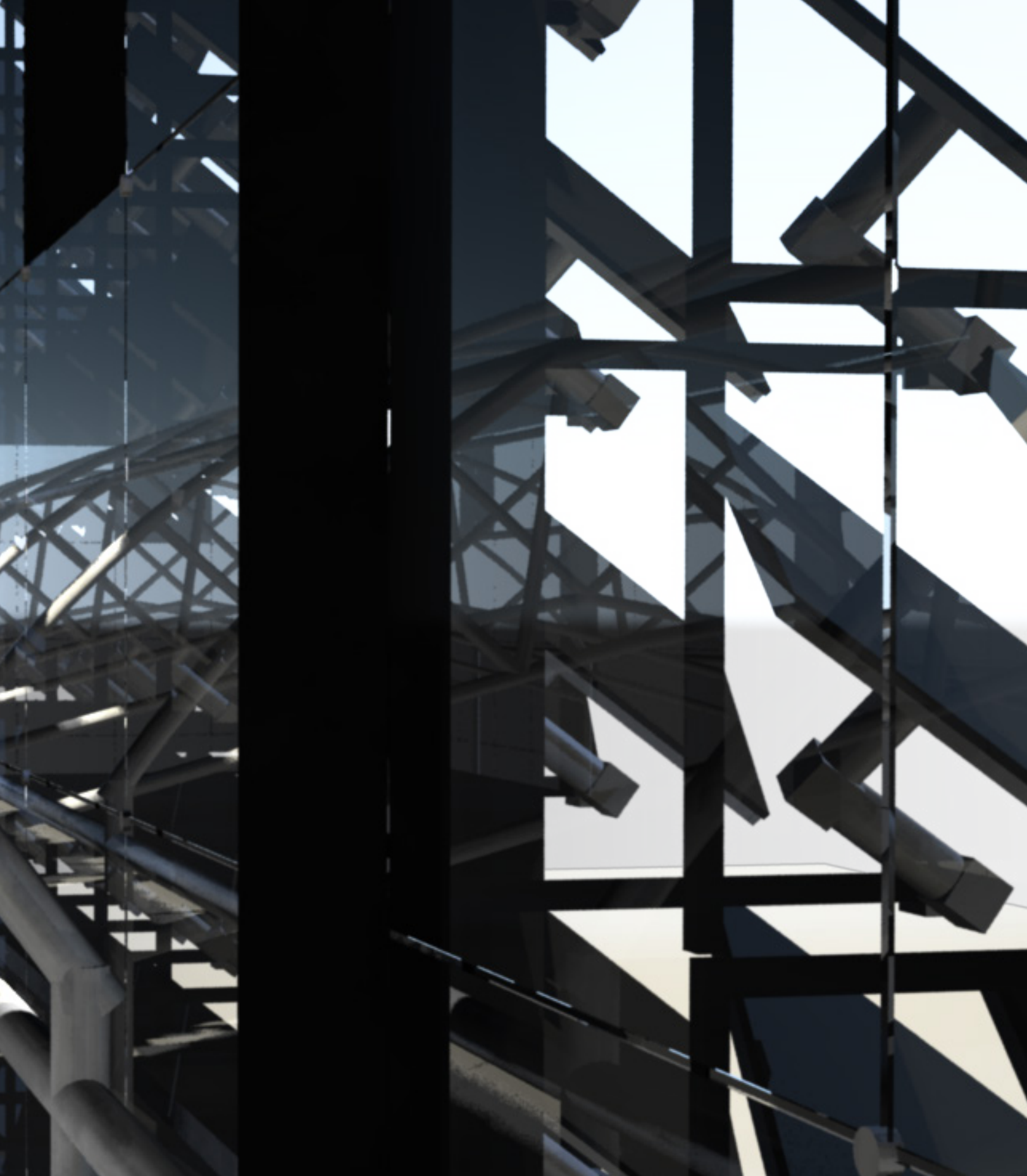


Imagen 152- Propuesta - Casa del Cuño -Vista Interna

## 5.10 Simulaciones Aplicabilidad

### Simulaciones

Se realizaron simulaciones en Design Builder, con y sin el prototipo de envoltente adaptable. Sin el prototipo, las simulaciones nos indican que el índice de confort se ubica entre 0.3 y 2.5. Teniendo en cuenta que para el confort humano este índice debe ubicarse entre -1 y 1, claramente se identifica que las condiciones de la edificación son más calientes que lo ideal. Su hora crítica, en la cual se presentan las más altas temperaturas en su interior es las 3pm.

Por su parte a la hora de colocar el prototipo de envoltente adaptable se observó una amplia mejora en las condiciones internas. Para dicha simulación el índice de confort se ubicó entre -0.2 y 1.4, lo cual lo acerca considerablemente a la zona ideal de confort. Apesar de esto, de 2pm a 5pm, las temperaturas en el interior son altas, por lo cual además de la aplicación del prototipo de envoltente adaptable, se debe mejorar el diseño de la ventilación, principalmente para el segundo nivel, el cual presenta las temperaturas más altas.



Imagen 153- Propuesta - Casa del Cuño -Modelo - Design Builder

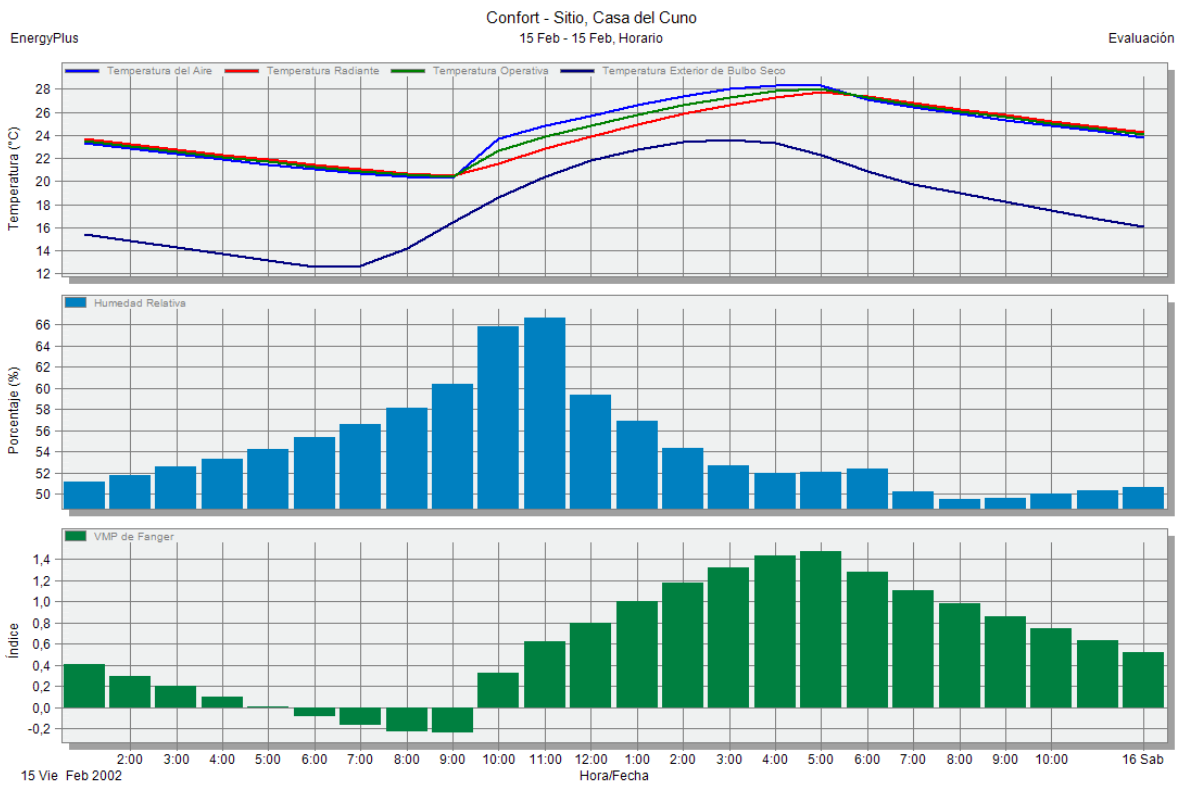
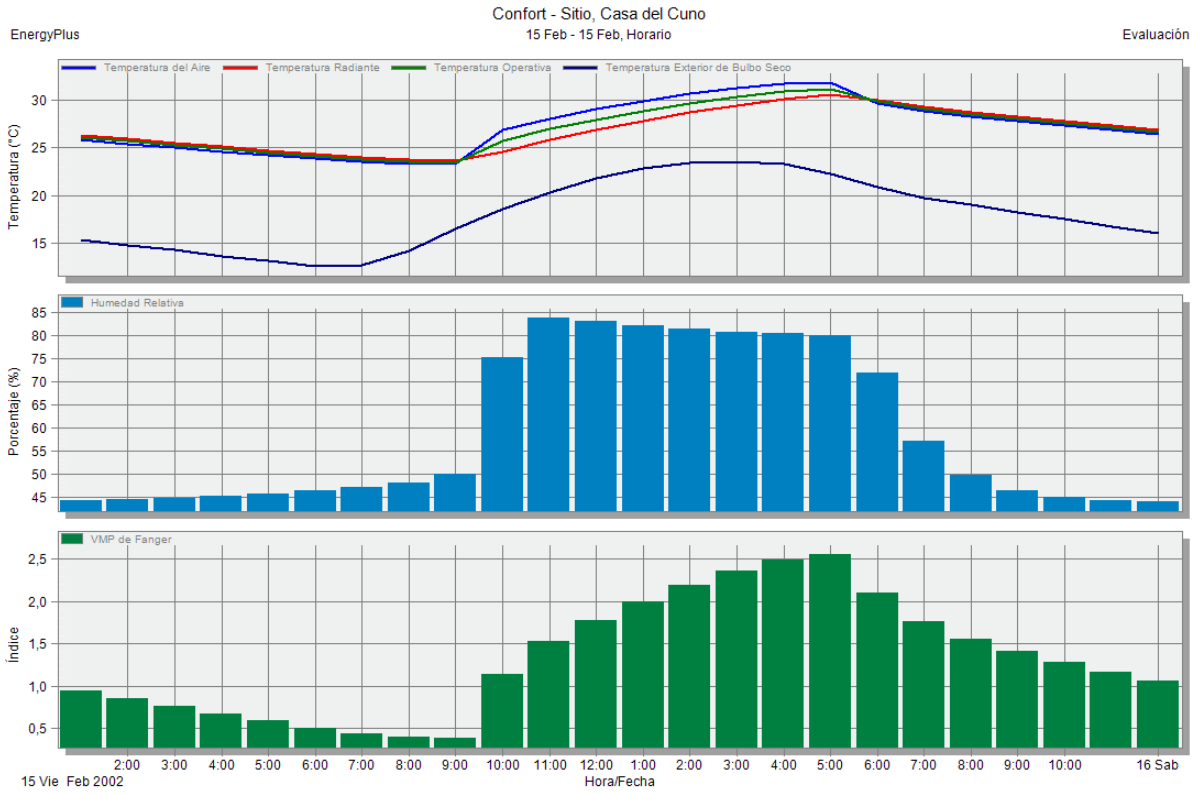


Imagen 154- Propuesta - Casa del Cuño -Modelo - Simulaciones

## 5.11 Conclusiones

### Resultados y Conclusiones

Como se muestra en las simulaciones, los resultados obtenidos mediante la utilización del prototipo de envolvente adaptable, mejora considerablemente las condiciones en el interior de los espacios, reduciendo considerablemente las ganancias solares internas, responsables de un alto porcentaje del calentamiento de las edificaciones.

A su vez se logra solucionar la problemática encontrada en los prototipos 2 y 3 cuando su configuración de lote sea de Este a Oeste o viceversa. Pudiendo así bloquear totalmente la radiación directa generada en sus fachadas principales, cuando el sol se encuentra horizontalmente entre 3pm, hasta anochecer.

Además se logra una mayor eficiencia de los elementos de protección solar, reduciendo considerablemente su condición de elementos residuales, dado que el mismo elemento, al moverse siguiendo el sol, esta en funcionamiento a lo largo del día.

Por su parte, se logra lo anterior sin sacrificar insumos de valor como es la visual interior-exterior desde el edificio y la iluminación natural, lo cual le da un valor de confort psicológico extra a la edificación.

A nivel geométrico y de composición se logra una geometría modular muy versátil la cual puede ser colocada en diversas formas, permitiendo la evolución de las mismas.

Por último, la envolvente aporta un valor estético importante, que lo diferencia notablemente de las envolventes típicas, dándole vida al edificio a través de la movilidad de su envolvente.

Además, con el uso de paneles fotovoltaicos, incorporados a los paneles móviles del prototipo de envolvente adaptable, no se incrementa el consumo energético de las edificaciones.

Teniendo esto en cuenta, se ejemplifica que el uso de tecnologías autosuficientes o de bajo impacto pueden ayudar a mejorar la eficiencia térmica de nuestros edificios, sin generar un alto costo para el ambiente ni para los usuarios.



Mejora las condiciones térmicas en el interior de los espacios



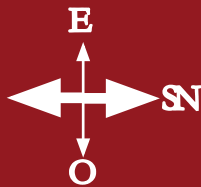
No elementos residuales



Reduce las ganancias internas solare  
Bloquea 100% la radiación directa



Autosuficiencia energética



Se puede colocar en aperturas hacia cualquier dirección



Bajo impacto Ambiental



No se sacrifica el potencial visual



Valor Estético



Geometría Modular - Versatil





# 6 Bibliografía

---

## 6.1 Libros

Neila Gonzales, J, ARQUITECTURA BIOCLIMATICA EN UN ENTORNO SOSTENIBLE, 2004, Munilla Leria, Madrid, España

Wilbert Herrera. CLIMA DE COSTA RICA, 1994, Editorial Guayacan, San Jose, Costa Rica.

Rafael Serra, ARQUITECTURA Y CLIMAS, 1999. Gustavo Gil, Barcelona, España.

Leslie R. Holdridge, “Distribution of Costa Rican epiphytic bromeliads and the Holdridge Life Zone System “, 1996, UNED, San Jose, Costa Rica.

Leslie R. Holdridge, ECOLOGÍA BASADA EN ZONAS DE VIDA, 2000, quinta reimpresión por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José Costa Rica

Szokolay, Steven V. INTRODUCTION TO ARCHITECTURAL SCIENCE, THE BASIS OF SUSTAINABLE DESIGN . Segunda Edición, Editorial Elsevier, Reino Unido, 2008.

Llorka Llorka Rafael, PRACTICAS DE ATMOSFERA,SUELO Y AGUA, 2006, Editorial de la UPV, Valencia, España.

Olgay Victor, ARQUITECTURA Y CLIMA, 1963, Gustavo Gill, Barcelona España.

Givoni, B, MAN, CLIMATE AND ARCHITECTURE, second edition, 1981, Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA.

## 6.2 Tesis e Investigaciones

Andrea Sancho Salas, RE+ADAPTAR, (2013), Licenciatura en Arquitectura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Ana Alfaro, Nancy Aymerich, Gina Blanco, Laura Bolaños, Andres Campos, Rolando Matarrita, (2013) GUIA DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO, Seminario de Graduación, Licenciatura en Arquitectura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Viquez Álvaro, Mora Felipe, Flor Jan, Gonzales Marcela, Obando Moisés, Rodríguez Valeza (2011), DISEÑO DE LA ENVOLVENTE Y SUS IMPLICACIONES EN EL CON FORTHIGROT ÉRMICO, Seminario de graduación, Licenciatura en Arquitectura, San José, Costa Rica.

Mildred Jimenez, (2009) RESILENCIA DE LOS ECOSISTEMAS NATURALES TERRESTRES DE COSTA RICA AL CAMBIO CLIMÁTICO, Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y biodiversidad, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

## 6.3 Infografía

<http://www.sol-arq.com/index.php/confort-humano/vestimenta>

<http://www.healthyheating.com/solutions.htm#.Vlsz1oSi7Qd>

<http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>

<https://coisasdaarquitectura.wordpress.com/2010/06/21/categorias-da-forma-arquitetonica/>

[http://www.energiaadebate.com/Articulos/febrero\\_2006/armando\\_paez\\_garcia.htm](http://www.energiaadebate.com/Articulos/febrero_2006/armando_paez_garcia.htm)

<http://pedrojhernandez.com/2014/03/01/antecedentes-historicos-de-la-arquitectura-bioclimatica/>

<http://www.sustainotect.com/2010/02/creating-a-high-quality-ecotect-weather-file-from-meteorology/comment-page-1/>

<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-299979/teoria-de-la-arquitectura-unificada-capitulo-1>

[http://arq.clarin.com/arquitectura/Paradigma-digital\\_0\\_700130203.html](http://arq.clarin.com/arquitectura/Paradigma-digital_0_700130203.html)