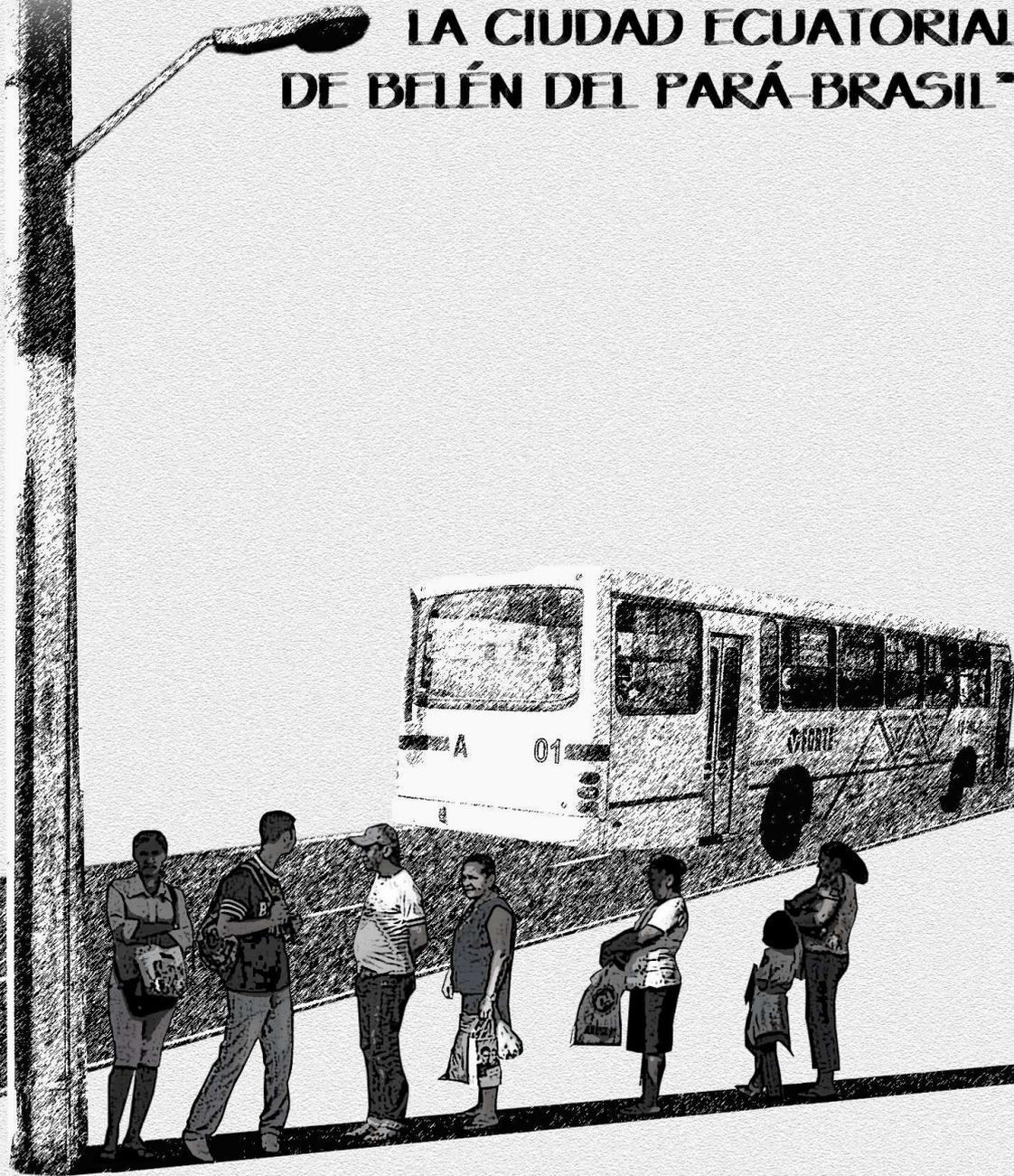


# "ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN DEL PARÁ-BRASIL"



**Adailson Oliveira Bartolomeu**

**“Análisis bioclimático en la ciudad ecuatorial de Belén  
del Pará - Brasil”**

Trabajo Final del Programa de Postgrado del Master en Arquitectura Medio Ambiental: Integración de Energías Renovables en la Arquitectura. Tesina presentada en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona de la Universidad Politécnica de Catalunya para la obtención del título de Master en Arquitectura y Medio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Benoit Beckers.

**Barcelona**

**2007**



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA  
CENTRO DE POLÍTICA DEL SUELO Y VALORACIONES  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA I  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA  
TRABAJO FINAL DEL MASTER**

Alumno:

Adailson Oliveira Bartolomeu

**“Análisis bioclimático en la ciudad ecuatorial de Belén del Pará - Brasil”**  
Barcelona, 18 de octubre de 2007.

**Tribunal:**

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Benoit Beckers (Orientador)  
ETSAB/UPC

---

---

---

---

---

## HOMENAJE

Primero, dedico esta Tesina a **TODA MI FAMILIA**, principalmente mis padres (**Pedro Bartolomeu y Nazaré O. Bartolomeu**), que siempre están juntos conmigo en los peores y mejores momentos de mi vida.

Segundo, a “**VIDA**”.

Y por último, la dedico al **BRASIL** y principalmente, a mi región, **AMAZONÍA**.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a **Dios**, que es nuestra luz mayor y nuestra fuente de inspiración por ser el Arquitecto del Universo.

Segundo, al Programa Internacional de Becas de Postgrado de la **Fundación Ford - IFP**, representado en Brasil por la Fundación Carlos Chagas – **FCC (Fulvia, Ida, Maria Luisa, Meire, Márcia y todo el equipo)**, por proponerme toda esa magnífica experiencia académica, profesional, cultural, geográfica, arquitectónica y de vida en Barcelona.

Agradezco a mi familia, que incluso desde el otro lado del océano, me ha dado mucho apoyo, fuerza y confianza durante todo el tiempo en que estuve estudiando en España.

No puedo dejar de reconocer y agradecer la gran ayuda que he tenido del Profesor Brasileño **Edson Lino** y de la ex – becaria Ford del Chile **Andrea** en el momento en que más necesité en Barcelona, para ellos queda mi eterno “*Obrigado*”.

También subrayo la ayuda de mis amigos que viven en Amazonia, que fueron importantes para la realización de este trabajo (Elvislley, Dhefson, Léo, Fernando Santos, Fernando Mesquita, Ebenezer, Rafael, Eronilson, Reginaldo, Roberto y Joao Bosco).

Agradezco a los grandes amigos que conocí en Barcelona, que me ayudaron durante estos dos años de estudios y experiencias de vida. Entre ellos, subrayo: **Tannya** (Ecuador); **Ruther** (Perú); **Alejandro** y **Leonel** (Colombia); **Edson, Mac, Tereza, Elvira** y **Dena** (Brasil); **Vicente, Rafael, Quimi, Mario** (México), **Martins** (Guatemala), **Carlos** (Islas Canarias) y **Rodrigo** (Chile). Y principalmente, **Dorotea** (Grecia) por la gran ayuda en la Tesina, como el desarrollo de la portada y contraportada.

Agradezco también, la continua ayuda y confianza de las profesoras “*Amazônidas*” **Ana Claudia Cardoso** (UFPA) y **Elcione Lobato de Moraes** (UNAMA).

Por ultimo, quiero agradecer **Benoit Beckers**, mi orientador, por todos los momentos que tuve de cambio de información, conocimiento, experiencia, orientación y amistad.

*...Cuando hago arquitectura en Amazônia, pienso siempre que “no soy un hombre de los trópicos, yo soy un hombre del ecuador”.*

*Arquitecto “Amazônida” Milton Monte, agosto de 2006.*

# *Análisis climático en la ciudad ecuatorial de Belén del Pará - Brasil*

## **RESUMEN**

Los estudios realizados en torno a la energía solar y a su comportamiento sobre la tierra son muy antiguos y siempre fueron muy estimulantes, porque se sabe que casi todo lo que existe en nuestro planeta depende directa o indirectamente del Sol, principalmente las configuraciones de nuestros climas. Sin embargo, no son muchos los estudios que analizan el asoleo en zonas climáticas ecuatoriales como la Amazonía, principalmente en ciudades con climas cálido-húmedo y de gran incidencia solar directa, como es el caso de Belén del Pará.

Por eso, se eligió aquí investigar específicamente las particularidades de la ciudad de Belén. El análisis empieza con el estudio de las varias formas de ver y entender el sol, a través de sus impactos e influencias en los seres humanos, en el clima, en la arquitectura, en la cultura, etc., o sea, al planeta Tierra. Sigue con el análisis de las características generales del lugar del estudio (Belén), como su historia, sus condiciones climáticas y sus particularidades relacionadas al clima, cultura y arquitectura. Luego se analiza el comportamiento de los dos principales condicionantes, la incidencia solar y la ventilación, que influyen en la orientación de los edificios en la latitud de Belén. Además se investiga, aplicando todos los conocimientos obtenidos anteriormente, el comportamiento climático en espacios ubicados en tres barrios de distintas características, históricas y de diseño, dentro de Belén. Por último, como ejercicio de aplicación de todo lo que fue estudiado, se presenta una manera sencilla de cómo se puede jugar con las formas arquitectónicas juntamente con la estereografía del lugar, con el objetivo de ofrecer un mejor confort climático para las personas.

Por fin, como síntesis de las conclusiones de ese trabajo, se subraya el reconocimiento de que es necesario, al hacer arquitectura y urbanismo, pensar primero en el clima y en la necesidad de bienestar de la gente del lugar.

Palabras claves: Adaptabilidad, Arquitectura, Bienestar, Clima, el Sol, Estereografía, Trayecto solar, Variables climáticas y las personas.

# *“Climate Analysis in the city of Belen of Para – Brazil”*

## **ABSTRACT**

Human studies about the solar energy and its behaviour upon the earth, date back in time and are always stimulating, and that's because we know that almost everything that exists in our planet depends, directly or not, on the Sun, principally our climate. However, there are a few studies analysing the sun behaviour in equatorial regions, such as Amazon, and mainly in cities with extremely – humid climate, and with a great direct solar incidence, such as Belen of Para.

Therefore, the city of Belen of Para was chosen for the investigation of its particulate climate. The analysis procedure begins with the study of the sun behaviour and its understanding, through its influences on the human, the climate, the architecture, the culture, etc., in other words on the planet Earth. It continues with the examination of the general features of the study case (Belen), its history, its culture and architecture. Afterwards it is being analysing the behaviour of the determining factors, the solar incidence and the ventilation, that influence the building orientation in Belen's latitude. Furthermore, all the mentioned procedure it contributes to investigate the climate behaviour of urban spaces in three neighbourhoods of Belen, each one with different characteristics, history and design. Finally, as an application of all the studies above, it is presented an example of how we can “play” simply with the architectural forms and always considering the stereography of the place, in order to offer better climate comfort for the people.

At last, as the conclusion of this work, it is underlined the acknowledgement of making architecture and urbanism after taking under consideration the climate and the necessity of the well being of the inhabitants.

**KEYWORDS:** Adaptability, Architecture, Well-being, Climate, Sun, Stereography, Sunpath, Climate conditions and the people.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN</b> .....	16
1.1 – EL PROBLEMA .....	17
1. 2 – LA PREGUNTA DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1. 3 – LA BASE TEÓRICA.....	17
1. 4 – LA HIPÓTESIS.....	22
1. 5 – LOS OBJETIVOS.....	23
1.5.1 – Objetivo general.....	23
1.5.2 – Objetivo específico.....	23
1. 6 – LA METODOLOGÍA.....	23
1.6.1 – “El Estado del Arte”.....	23
1.6.2 – “La identificación del lugar del estudio”.....	23
1. 6.3 – “Incidencia solar en las fachadas”.....	24
1.6.4 – “Análisis de tres sitios en la ciudad de Belén”.....	24
1.6.5 – “El epílogo”.....	24
1. 7 – LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.....	24
<b>CAPÍTULO 2 - EL SOL</b> .....	<b>25</b>
2.1 - LA ESTRELLA LLAMADA SOL.....	25
2.2 - LA ENERGÍA DEL SOL.....	27
2.3 - LA ATMÓSFERA TERRESTRE Y EL SOL.....	30
2.4 - RADIACIÓN Y MATERIA.....	32
2.5 - HOLA SOLAR Y HORA LOCAL.....	36
2.6 - LA GEOMETRÍA DEL SOL Y LA TIERRA.....	37
2.6.1 - La Bóveda Celeste.....	37
2.6.2 - Coordenadas horizontales.....	37
2.6.3 - Coordenadas ecuatoriales u horarias.....	39
2.6.4 - La Tierra.....	40
2.6.5 - Movimientos de la Tierra.....	41
2.6.6- El Sol en la Bóveda.....	42
2.6.7 - Recorrido aparente del Sol y sus proyecciones en la Tierra.....	46
2.6.7.1- Mapas y proyecciones Solares.....	48
2.6.7.2- Cartas Solares Estereográficas, ortográficas, cilíndricas y gnomónicas.....	49
2.7 - EL CLIMA Y LA ARQUITECTURA.....	55
2.7.1 - El Clima y la Arquitectura.....	55
2.7.2 - Clasificación climática mundial según Köppen.....	59
2.7.3 - Efecto del clima en el hombre.....	62
2.7.4 - La Carta Bioclimática de Olgyay.....	63
2.7.5 - Carta Bioclimática de Givoni.....	64
2.7.6 - Diagrama de Temperatura Efectiva de Houghten y Yaglou.....	64

2.8 – LA ARQUITECTURA Y EL SOL.....	65
<b>CAPITULO 3 - ÁREA OBJETO DE ESTUDIOS: BELÉN – BRASIL.....</b>	<b>69</b>
3.1 – HISTÓRICO, EVOLUCIÓN Y CONTEXTO SOCIAL.....	69
3.2 – ASPECTOS CLIMÁTICOS DE BELÉN Y CERCANÍA.....	75
3.3 – CLIMA, ARQUITECTURA Y CULTURA.....	86
<b>CAPÍTULO 4 - ESTUDIOS DE ORIENTACIÓN DE FACHADAS.....</b>	<b>96</b>
4.1 - ANÁLISIS DE CONDICIONES DE VIENTOS Y DE RADIACIÓN.....	94
4.1.1 - Orientación de fachadas Norte - N (eje: Norte-Sur).....	94
4.1.1.1 - Ocurrencia de Vientos.....	94
4.1.1.2 - Radiación Solar.....	94
4.1.2 - Orientación de fachadas Noreste - NE (eje: Noreste-Suroeste).....	98
4.1.2.1 - Ocurrencia de Vientos.....	98
4.1.2.2 - Radiación Solar.....	98
4.1.3 - Orientación de fachadas Este - E (eje: Este-Oeste).....	101
4.1.3.1 - Ocurrencia de Vientos.....	101
4.1.3.2 - Radiación Solar.....	101
4.1.4 - Orientación de fachadas Sureste - SE (eje: Sureste-Noroeste).....	104
4.1.4.1 - Ocurrencia de Vientos.....	104
4.1.4.2 - Radiación Solar.....	104
4.1.5 - Orientación de fachadas Sur - S (eje: Sur-Norte).....	107
4.1.5.1 - Ocurrencia de Vientos.....	107
4.1.5.2 - Radiación Solar.....	107
4.1.6 - Orientación de fachadas Suroeste - SW (eje: Suroeste - Noreste).....	110
4.1.6.1 - Ocurrencia de Vientos.....	110
4.1.6.2 - Radiación Solar.....	110
4.1.7 - Orientación de fachadas Oeste - W (eje: Oeste - Este).....	113
4.1.7.1 - Ocurrencia de Vientos.....	113
4.1.7.2 - Radiación Solar.....	113
4.1.8 - Orientación de fachadas Noroeste - NW (eje: Noroeste - Sureste).....	116
4.1.8.1 - Ocurrencia de Vientos.....	116
4.1.8.2 - Radiación Solar.....	116
4.2 - ASPECTOS GENERALES DEL ANÁLISIS .....	119
4.2.1 - En relación a los vientos.....	119
4.2.2 - En relación a la radiación solar.....	121
<b>CAPÍTULO 5 - ANÁLISIS EN LOS BARRIOS .....</b>	<b>123</b>
5.1 – ORGANIZACIÓN DEL CAPITULO.....	123
5.1.1 - Objetivos específicos.....	123

5.1.2 - Importancia.....	123
5.1.3 - El porqué.....	124
5.1.4 - Qué se hará.....	124
5.1.5 - Cómo se hará.....	124
5.2 – ANÁLISIS DE UN SITIO EN EL BARRIO “CIUDAD VIEJA” .....	125
5.2.1 – El barrio.....	125
5.2.2 – El sitio en análisis.....	129
5.2.3 – Análisis del sitio elegido.....	131
5.2.3.1 – Análisis 01.....	131
5.2.3.1.1 - Punto 01.....	131
5.2.3.1.2 - Punto 02.....	132
5.2.3.1.3 - Punto 03.....	132
5.2.3.1.4 - Punto 04.....	133
5.2.3.2 - Análisis 02.....	133
5.2.3.2.1 - Punto 01 de la Estereografía – Solsticio de verano.....	134
5.2.3.2.2 - Punto 02 de la Estereografía – Equinoccio.....	134
5.2.3.2.3 - Punto 03 de la Estereografía – Solsticio de invierno.....	135
5.2.3.3 – Análisis 03.....	135
5.2.3.3.1 – Orientación de las fachadas en la Plaza Juan Baptista.....	136
5.2.3.4 – Análisis 04.....	136
5.3 – ANÁLISIS DE UN SITIO EN EL BARRIO “UMARIZAL” .....	138
5.3.1 - El barrio.....	138
5.3.2 – El sitio en análisis.....	141
5.3.3 – Análisis del sitio elegido.....	143
5.3.3.1 – Análisis 01.....	143
5.3.3.1.1 - Punto 01.....	143
5.3.3.1.2 - Punto 02.....	144
5.3.3.1.3 - Punto 03.....	144
5.3.3.1.3 - Punto 04.....	145
5.3.3.2 – Análisis 02.....	145
5.3.3.2.1 - Punto 01 de la Estereografía – Solsticio de verano.....	146
5.3.3.2.2 - Punto 02 de la Estereografía – Equinoccio.....	146
5.3.3.2.3 - Punto 03 de la Estereografía – Solsticio de invierno.....	147
5.3.3.3 - Análisis 03.....	148
5.3.3.3.1 - Orientación de las fachadas en la manzana.....	148
5.3.3.4 - Análisis 04.....	149
5.3.3.4.1 - Comportamiento de la ventilación .....	149
5.4 - ANÁLISIS DE UN SITIO EN EL BARRIO DEL “MARCO” .....	150
5.4.1 – El barrio.....	150
5.4.2 – El sitio en análisis.....	153

5.4.3 – Análisis del sitio elegido.....	155
5.4.3.1 – Análisis 01.....	155
5.4.3.1.1 - Punto 01.....	155
5.4.3.1.2 - Punto 02.....	156
5.4.3.1.3 - Punto 03.....	156
5.4.3.2 - Análisis 02.....	157
5.4.3.2.1 - Punto 01 en la Estereografía – Solsticio de verano.....	157
5.4.3.2.2 - Punto 02 en la Estereografía – Equinoccio.....	158
5.4.3.2.3 - Punto 03 en la Estereografía – Solsticio de invierno.....	158
5.4.3.3 – Análisis 03.....	159
5.4.3.3.1 – Orientación de las fachadas en la manzana.....	159
5.4.3.4 – Análisis 04.....	160
5.4.3.4.1 – Comportamiento de la ventilación .....	160
5.5- ANÁLISIS GENERAL DE ESTE CAPITULO.....	161
5.5.1 – Ubicación de los espacios.....	161
5.5.1.1 - Barrió Ciudad Vieja.....	161
5.5.1.2 - Barrió Umarizal.....	161
5.5.1.3 - Barrió del Marco.....	162
5.5.2 - Sobre las conclusiones generales.....	162
<b>CAPÍTULO 6 – EPILOGO.....</b>	<b>163</b>
6.1 – PRIMER PROTOTIPO.....	164
6.2 – SEGUNDO PROTOTIPO.....	165
6.3 – TERCER PROTOTIPO.....	167
6.4 – CUARTO PROTOTIPO.....	168
<b>CAPÍTULO 7 - CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	<b>171</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>176</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>179</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>180</b>

## FIGURAS

FIGURA 1.1 Sol y vientos .....	18
FIGURA 1.2 Diagrama de las orientaciones .....	19
FIGURA 1.3 Esquema de ventilación urbana en climas húmedos .....	21
FIGURA 1.4 Esquema de orientación de calles y sombras .....	22
FIGURA 2.1 Simulación del sol.....	25
FIGURA 2.2 Diagrama del sol.....	26
FIGURA 2.3 Espectro de la radiación solar .....	28
FIGURA 2.4 Capa de la atmósfera terrestre.....	30

FIGURA 2.5	Balace de energía entre la tierra y atmósfera .....	31
FIGURA 2.6	Angulo de incidencia de intensidad de energía.....	33
FIGURA 2.7	Masa de intensidad de radiación directa .....	33
FIGURA 2.8	Tipo de reflexión.....	34
FIGURA 2.9	Bóveda Celeste .....	37
FIGURA 2.10	Coordenadas horizontales .....	38
FIGURA 2.11	Coordenadas ecuatoriales .....	39
FIGURA 2.12	Formato de la Tierra .....	40
FIGURA 2.13	Latitud y longitud .....	41
FIGURA 2.14	Declinación del sol y las estaciones.....	43
FIGURA 2.15	Trayectorias solares en la bóveda .....	44
FIGURA 2.16	Movimiento del sol.....	45
FIGURA 2.17	Proyección estereográfica del punto P.....	47
FIGURA 2.18	Sistemas de proyección solar.....	48
FIGURA 2.19	Carta solar estereográfica.....	49
FIGURA 2.20	Cartas solares estereográficas para diferentes latitudes .....	50
FIGURA 2.21	Construcción de la carta de Fisher .....	51
FIGURA 2.22	Ejemplos de cartas de Fisher .....	52
FIGURA 2.23	Cartas solares cilíndricas .....	54
FIGURA 2.24	Diagramas de los vientos en el globo terrestre .....	58
FIGURA 2.25	Clasificación climática mundial de Köppen .....	61
FIGURA 2.26	Relación entre cuerpo humano y elementos climáticos .....	63
FIGURA 2.27	Índice esquemático del bioclima.....	63
FIGURA 2.28	Ábaco psicrométrico de Givoni .....	64
FIGURA 2.29	Monograma de temperatura efectiva .....	64
FIGURA 2.30	Ejemplo de estudios de proyecciones de sombras .....	67
FIGURA 2.31	Ejemplo de estudios de incidencia solar en edificios.....	68
FIGURA 3.1	Localización de Belén del Pará.....	69
FIGURA 3.2	Localización y foto de la baya del guayará.....	70
FIGURA 3.3	RMB y sus islas .....	72
FIGURA 3.4	Localización geográfica de Belén.....	75
FIGURA 3.5	Clasificación climática de amazonia según Köppen.....	76
FIGURA 3.6	Esquema de ventilación que llega en Belén.....	78
FIGURA 3.7	Carta solar/Estereografía de Belén.....	79
FIGURA 3.8	Esquema de predominancia de los vientos en Belén .....	80
FIGURA 3.9	Intervalo de temperaturas anuales de Belén.....	83
FIGURA 3.10	Esquema detallado del recorrido solar en Belén .....	85
FIGURA 4.1	Sentido y orientación de las fachadas estudiadas.....	93
FIGURA 4.2	Estereografía de una fachada al Norte .....	95
FIGURA 4.3	Penetración solar en el solsticio de verano a las 06:03h .....	97

FIGURA 4.4	Penetración solar en el solsticio de verano a las 12:00h .....	97
FIGURA 4.5	Penetración solar en el solsticio de verano a las 17:57h .....	97
FIGURA 4.6	Estereografía de una fachada el Noreste .....	99
FIGURA 4.7	Penetración solar en el solsticio de verano a las 06:03h .....	100
FIGURA 4.8	Penetración solar en el equinoccio a las 06:00h .....	100
FIGURA 4.9	Penetración solar en el solsticio de invierno a las 05:57h.....	100
FIGURA 4.10	Estereografía de una fachada al Este .....	101
FIGURA 4.11	Penetración solar en el solsticio de verano a las 06:03h .....	103
FIGURA 4.12	Penetración solar en el equinoccio a las 06:00h .....	103
FIGURA 4.13	Penetración solar en el solsticio de invierno a las 05:57h.....	103
FIGURA 4.14	Estereografía de una fachada al Sureste.....	104
FIGURA 4.15	Penetración solar en el solsticio de verano a las 06:03h .....	105
FIGURA 4.16	Penetración solar en el equinoccio a las 06:00h .....	105
FIGURA 4.17	Penetración solar en el solsticio de invierno a las 05:57h.....	105
FIGURA 4.18	Estereografía de una fachada al Sur.....	107
FIGURA 4.19	Penetración solar en el solsticio de invierno a las 05:57h.....	108
FIGURA 4.20	Penetración solar en el solsticio de invierno a las 12:00h.....	108
FIGURA 4.21	Penetración solar en el solsticio de invierno a las 18:03h.....	108
FIGURA 4.22	Estereografía de una fachada al Suroeste.....	110
FIGURA 4.23	Penetración solar en el solsticio de verano a las 17:57h .....	111
FIGURA 4.24	Penetración solar en el equinoccio a las 18:00h .....	111
FIGURA 4.25	Penetración solar en el solsticio de invierno a las 18:03h.....	111
FIGURA 4.26	Estereografía de una fachada al Oeste .....	113
FIGURA 4.27	Penetración solar en el solsticio de verano a las 17:57h .....	114
FIGURA 4.28	Penetración solar en el equinoccio a las 18:00h .....	114
FIGURA 4.29	Penetración solar en el solsticio de invierno a las 18:03h.....	114
FIGURA 4.30	Estereografía de una fachada al Noroeste .....	116
FIGURA 4.31	Penetración solar en el solsticio de verano a las 17:57h .....	117
FIGURA 4.32	Penetración solar en el equinoccio a las 18:00h .....	117
FIGURA 4.33	Penetración solar en el solsticio de invierno a las 18:03h.....	117
FIGURA 4.34	Zonas de ventilación de Belén .....	119
FIGURA 4.35	Restaurante Universitario de la UFPA.....	121
FIGURA 4.36	Esquema de la máxima penetración solar al Norte y al Sur en Belén.....	122
FIGURA 5.1	Localización del Barrio Ciudad Vieja.....	126
FIGURA 5.2	Formato del lote en el barrio ciudad vieja .....	127
FIGURA 5.3	Elevación y uso del suelo .....	128
FIGURA 5.4	Localización de la plaza San Juan Bautista .....	129
FIGURA 5.5	Fachadas orientadas al Este .....	130
FIGURA 5.6	Fachadas orientadas al Norte .....	130
FIGURA 5.7	Fachadas orientadas al Sur-oeste .....	130

FIGURA 5.8 El camino del observador .....	131
FIGURA 5.9 Estereografía del punto 01 .....	131
FIGURA 5.10 Estereografía del punto 02 .....	132
FIGURA 5.11 Estereografía del punto 03 .....	132
FIGURA 5.12 Estereografía del punto 04 .....	133
FIGURA 5.13 Estereografía con las épocas del año .....	133
FIGURA 5.14 La plaza durante el solsticio de verano .....	134
FIGURA 5.15 La plaza durante el equinoccio .....	134
FIGURA 5.16 La plaza durante el solsticio de invierno.....	135
FIGURA 5.17 Sentido de la orientación de las fachadas.....	135
FIGURA 5.18 Comportamiento de la ventilación en la plaza .....	137
FIGURA 5.19 Localización del barrio Umarizal.....	138
FIGURA 5.20 Elevación y uso del suelo.....	139
FIGURA 5.21 Localización de la manzana en estudio.....	141
FIGURA 5.22 Perspectiva de la manzana .....	141
FIGURA 5.23 Fachada NW/N .....	142
FIGURA 5.24 Fachada SE/S .....	142
FIGURA 5.25 Fachada SW .....	142
FIGURA 5.26 El camino del observador .....	143
FIGURA 5.27 Estereografía del punto 01 .....	143
FIGURA 5.28 Estereografía del punto 02 .....	144
FIGURA 5.29 Estereografía del punto 03 .....	144
FIGURA 5.30 Estereografía del punto 04 .....	145
FIGURA 5.31 Estereografía con las épocas del año .....	145
FIGURA 5.32 La manzana durante el solsticio de verano .....	146
FIGURA 5.33 La manzana durante el equinoccio.....	146
FIGURA 5.34 La manzana durante el solsticio de invierno.....	147
FIGURA 5.35 Sentido de la orientación de las fachadas.....	148
FIGURA 5.36 Comportamiento de la ventilación en la manzana .....	149
FIGURA 5.37 Localización del Barrio del Marco .....	150
FIGURA 5.38 Elevación y uso del suelo.....	151
FIGURA 5.39 Detalle de la manzana.....	152
FIGURA 5.40 Ubicación de la manzana en el barrio .....	153
FIGURA 5.41 Perspectiva de la manzana en estudios .....	154
FIGURA 5.42 El camino del observador .....	155
FIGURA 5.43 Estereografía del punto 01 .....	155
FIGURA 5.44 Estereografía del punto 02 .....	156
FIGURA 5.45 Estereografía del punto 03 .....	156
FIGURA 5.46 Estereografía con las épocas del año .....	157
FIGURA 5.47 La manzana durante el solsticio de verano .....	157

FIGURA 5.48	La manzana durante el equinoccio.....	158
FIGURA 5.49	La manzana durante el solsticio de invierno.....	158
FIGURA 5.50	Sentido de la orientación de las fachadas.....	159
FIGURA 5.51	Comportamiento de la ventilación en la manzana .....	160
FIGURA 6.1	Estereografía del primero prototipo .....	164
FIGURA 6.2	Imagen del primero prototipo .....	164
FIGURA 6.3	Estereografía del segundo prototipo .....	165
FIGURA 6.4	Imagen del segundo prototipo.....	165
FIGURA 6.5	Segundo prototipo al lado de edificios y el recorrido solar .....	166
FIGURA 6.6	Segundo prototipo al lado de árboles y el recorrido solar.....	166
FIGURA 6.7	Estereografía del tercer prototipo .....	167
FIGURA 6.8	Ubicación del tercer prototipo .....	167
FIGURA 6.9	Estereografía del cuarto prototipo.....	168
FIGURA 6.10	Ubicación e imagen del cuarto prototipo.....	168
FIGURA 6.11	Esquema bioclimático del cuarto prototipo al largo del año.....	169

## FOTOS

FOTO	3. 1	Teatro de la Paz y mercado del Ver –el-Peso.....	71
FOTO	3. 2	Palacete Bolonia.....	73
FOTO	3. 3	Av. Nazaré y Av. Almirante Barroso .....	74
FOTO	3. 4	Zona Clara y zona de sombra 01 .....	86
FOTO	3. 5	Túnel para paseo con vegetación y sombra.....	87
FOTO	3. 6	Zona Clara y zona de sombra 02.....	87
FOTO	3. 7	Equipamiento y el clima.....	88
FOTO	3. 8	Equipamiento urbano y el clima.....	88
FOTO	3. 9	Recorrido peatonales y el clima .....	89
FOTO	3. 10	Adaptación de la cultura al clima .....	90
FOTO	3. 11	Diseño urbano y el clima.....	90
FOTO	3. 12	Arquitectura y el clima.....	91
FOTO	3. 13	Latitud y el sol.....	91
FOTO	3. 14	Arquitectura, clima y cultura.....	92
FOTO	5. 1	Foto del ayuntamiento, de la Catedral y del museo del Estado .....	126
FOTO	5. 2	Fuerte del Castillo hoy .....	127
FOTO	5. 3	Vista general del barrio del Umarizal.....	140
FOTO	5. 4	Vista superficial del barrio del Umarizal .....	140
FOTO	5.5	Entrada del Bosque Rodrigues Alves .....	151
FOTO	5.6	Vista aérea de parte del barrio del Marco.....	152

## GRAFICOS

QUADRO 3.1	Distribución mensual de la humedad relativa del aire en Belén .....	77
QUADRO 3.2	Frecuencia anual de los vientos en Belén .....	81
QUADRO 3.3	Distribución mensual entre la insolación y la intensidad radiación solar .....	82
QUADRO 3.4	Ábaco de Mahoney para Belén del mes de noviembre.....	84
QUADRO 3.5	Ábaco anual de Givoni para Belén.....	84
QUADRO 4.1	Distribución de la radiación solar en la orientación Norte .....	96
QUADRO 4.2	Distribución de la radiación solar en la orientación Este.....	102
QUADRO 4.3	Distribución de la radiación solar en la orientación Sureste.....	106
QUADRO 4.4	Distribución de la radiación solar en la orientación Sur .....	109
QUADRO 4.5	Distribución de la radiación solar en la orientación Suroeste.....	112
QUADRO 4.6	Distribución de la radiación solar en la orientación Oeste .....	115
QUADRO 4.7	Distribución de la radiación solar en la orientación Noroeste .....	118

## TABLAS

TABLA 2.1	Porcentaje de radiación en una superficie .....	35
TABLA 3.1	Dados meteorológicos medio y extremos de Belén.....	67
TABLA 3.2	Altura del sol, radiación solar, insolación y fotoperíodo en Belén.....	82
TABLA 4.1	Horario del sol en la fachada Norte.....	96
TABLA 4.2	Horario del sol en la fachada Noreste.....	99
TABLA 4.3	Horario del sol en la fachada Este .....	102
TABLA 4.4	Horario del sol en la fachada Sureste .....	106
TABLA 4.5	Horario del sol en la fachada Sur .....	109
TABLA 4.6	Horario del sol en la fachada Suroeste .....	112
TABLA 4.7	Horario del sol en la fachada Oeste.....	115
TABLA 4.8	Horario del sol en la fachada Noroeste.....	118
TABLA 4.10	Dados meteorológicos medio y extremos de Belén.....	120

## ACRÓNIMOS

**BNH** – Banco Nacional de Viviendas;

**CODEM** – Compañía de Desarrollo y Administración de la Área Metropolitana de Belén;

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria;

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística;

**IPHAN** – Instituto del Patrimonio Histórico y Artístico Nacional;

**ITCZ** – Zona de Convergencia Intertropical;

**PMB** – Prefectura Municipal de Belém;

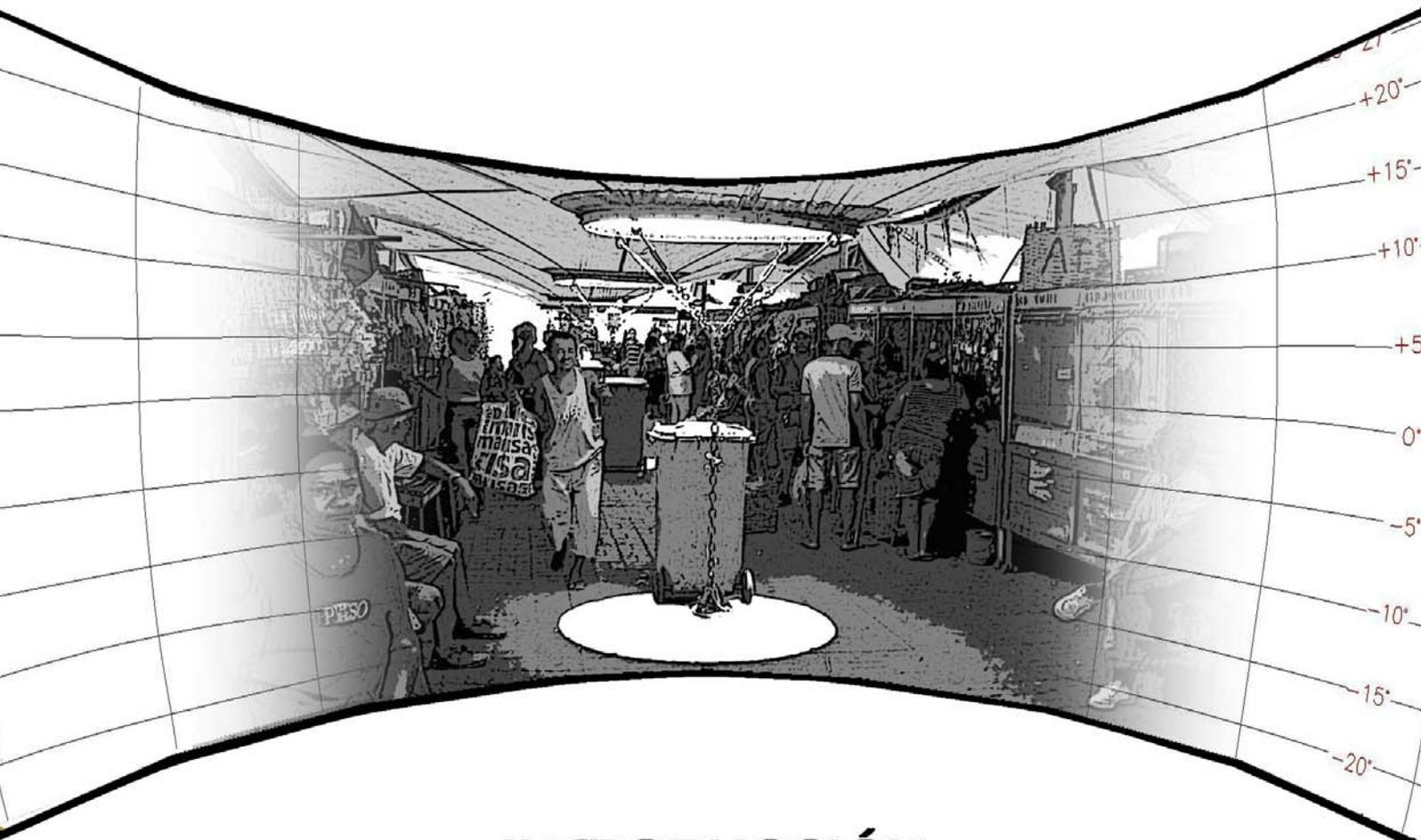
**RMB** – Región Metropolitana de Belén;

**SFH** – Sistema Financiero de Viviendas;

**UFPA** – Universidad Federal del Pará;

“ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN/BRASIL”

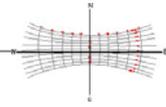
# CAPÍTULO I



## INTRODUCCIÓN

ADAILSON OLIVEIRA BARTOLOMEU  
BARCELONA 2007

TESINA DEL MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL - UPC/ESPAÑA



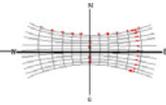
## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

*“La arquitectura debe servir al hombre y a su confort térmico. El hombre tiene mejores condiciones de vida y de salud cuando su organismo puede funcionar sin ser expuesto a las fatigas y/o al cansancio, principalmente térmico. La arquitectura, como una de sus funciones, debe ofrecer condiciones térmicas compatibles al confort térmico humano en el interior de los edificios, independiente de las condiciones climáticas externas” – Anésia Barros.*

El trabajo que presentamos aquí fue realizado, principalmente, por la identificación que tenemos con las cuestiones que abordan la realidad de la Amazonía Brasileña y también por el hecho de entender que aun hay mucha carencia de investigaciones/investigadores dirigidos a las especificidades climáticas, culturales, arquitectónicas y urbanísticas de la región, en nuestro caso en particular, la ciudad de Belén del Pará. Y por todo eso, creemos que contribuir con trabajos como este es una manera de estimular nuevos investigadores y también de dejar un buen contenido bibliográfico para futuras averiguaciones de estudiantes, arquitectos y otros profesionales de la ciudad y región, y también para investigadores de otros lugares que quieran saber más sobre las peculiaridades de esta ciudad.

Una de las singularidades de Belén es su ubicación, muy cerca de la línea del ecuador (1.27° S), donde subrayamos la presencia de altas y regulares temperaturas diarias, la alta humedad, las lluvias regulares, los vientos débiles y la fuerte incidencia solar directa anual. Y todo eso genera un gran desconfort climático para los ciudadanos (más de 90% de las horas del año). Pensando en esas características de la ciudad, nuestro trabajo viene para colaborar con ideas y estudios que proponen soluciones, dentro del espacio urbano construido, para disminuir ese porcentaje de desconfort.

Entonces, para lograr proponer estas formas de disminuir el desconfort climático, principalmente tenemos que estudiar el comportamiento del asoleo en Belén y sus características climáticas y culturales, conectándolos con la arquitectura existente o nueva, para después tener claro cómo desarrollar ideas básicas y específicas.



## 1.1 – EL PROBLEMA

La falta del entendimiento de las especificidades de la ciudad, como el comportamiento del sol y las condiciones climáticas del lugar, es el problema principal. En consecuencia de eso, la gente de la ciudad convive diariamente con mucho desconfort climático, tanto dentro de las edificaciones como en espacios abiertos (calles, plazas y paseos). Porque la ciudad, con su arquitectura y urbanismo existentes, no está lista para adecuarse a la realidad de la ciudad. Tampoco la mayoría de los profesionales que piensan el espacio construido, porque piensan de manera muy rígida y casi nunca consideran en sus estudios el bienestar de la gente. Y cuando esa ausencia es sentida por la gente en este momento, las personas desarrollan estrategias y se adaptan.

## 1.2 – LA PREGUNTA DE LA INVESTIGACIÓN

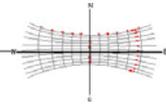
¿De qué manera las variaciones solares ocurridas en ciudades de clima ecuatorial, como Belén del Pará, si bien estudiadas y analizadas, pueden ayudar a proyectar una mejor arquitectura y urbanismo para este sitio?

## 1.3 – LA BASE TEÓRICA

Este trabajo tiene, como base teórica principal, los estudios de Benoit Beckers sobre trayectos solares y su relación con la arquitectura; el trabajo sobre morfología urbana de Nascimento en la ciudad de Belén; los estudios sobre clima y arquitectura realizados por Lucia Mascaró y también Anésia Barros. Y por último los estudios realizados por Olgyay sobre la incidencia solar en fachadas diversamente orientadas.

La vida del hombre primitivo estaba sujeta al ciclo solar y muchos grupos rendían honores a la salida de este astro beneficioso orientando sus edificios más importantes hacia sus rayos. En Egipto, se estudiaban los movimientos del sol, y se ha descubierto que los templos y las tumbas se orientaban de una forma precisa, en dirección a los puntos cardinales o sus subdivisiones.

Posteriormente, el hombre dejó de actuar respecto al sol como símbolo, interesándose más por sus efectos terapéuticos y psicológicos (Olgyay, 1963). En su tratado *De Arquitectura* (Olgyay, 1957), Vitrubio reconoce el emplazamiento salubre como el principal atributo de una ciudad, y proporciona diversas reglas para una



correcta distribución. Entre sus preceptos destaca uno que afirma que “si se orientan hacia el mediodía o hacia occidente no serán salubres porque durante el verano la sección meridional del cielo se calienta al amanecer y arde al mediodía; de la misma forma, aquellas que miran hacia occidente se calientan al mediodía y arden por la tarde. Además, en estos lugares, los elementos se deterioran, debido a la continua alternancia de calor y frío”. Vitrubio estaba muy interesado tanto en la calidad como en la regularidad del asoleo. La interpretación de la orientación desde el punto de vista urbanístico, según Olgyay (1963), se acerca a la definición biológica: “cambio de posición producido por ciertos componentes protoplasmáticos dentro de la célula como respuesta a estímulos tales como luz, calor, etc.”

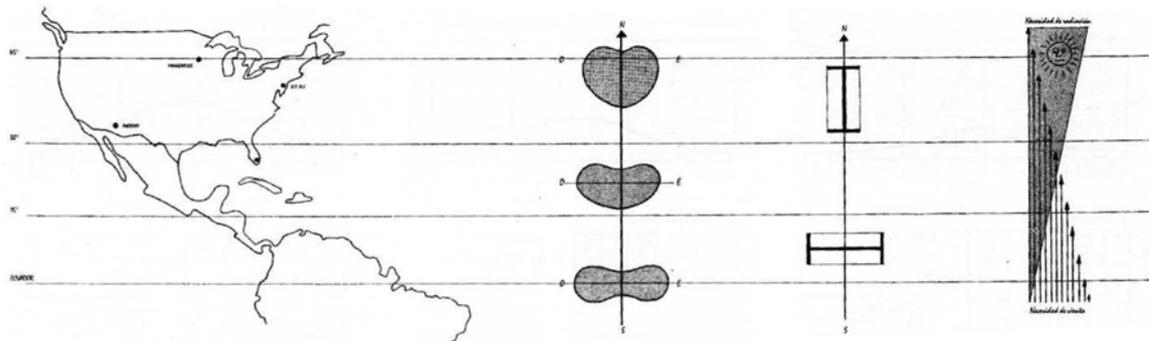
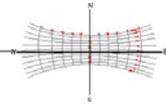


Figura 1.1: Sol y viento, los dos principales condicionantes de la orientación, según Olgyay.  
Fuente: Olgyay, 1963.

Para Olgyay (1963), el problema de la orientación en las edificaciones abarca numerosos factores: la topografía local, las exigencias de privacidad, los placeres que proporcionan las vistas, la reducción del ruido y los factores climáticos referentes al viento y a la radiación solar. Una parte muy importante de la labor arquitectónica consiste en la determinación de la posición del edificio para el aprovechamiento máximo de los beneficios térmicos, higiénicos y psicológicos que brinda la radiación solar y también la ventilación.

De la misma forma que las estaciones se encuentran muy diferenciadas por la inclinación del eje terrestre, la orientación de un edificio, junto con la latitud del lugar, determina la cantidad de radiación térmica que incide en los distintos lados en diferentes momentos del año. Todavía, para el clima calido-húmedo, la orientación de los edificios, en función de los vientos dominantes favorables, es fundamental para la obtención del confort por medios naturales.



Sin embargo, Olgay en la década de los sesenta presentaba nuevas técnicas para medir la radiación y la acumulación, donde la determinación de la orientación, que era decisiva, se podría realizar en base a cálculos. Él abordaba el tema de la orientación partiendo de la conjunción “Sol-aire”, que implica reconocer que la temperatura del aire y la radiación solar actúan conjuntamente para producir la sensación única de calor en el cuerpo humano. Y al utilizar radiación solar, deben considerarse sus impactos térmicos en relación a la convección del calor y al efecto total según la capacidad de que se disponga para mantener los niveles de temperatura cercanas a la “zona de confort”.

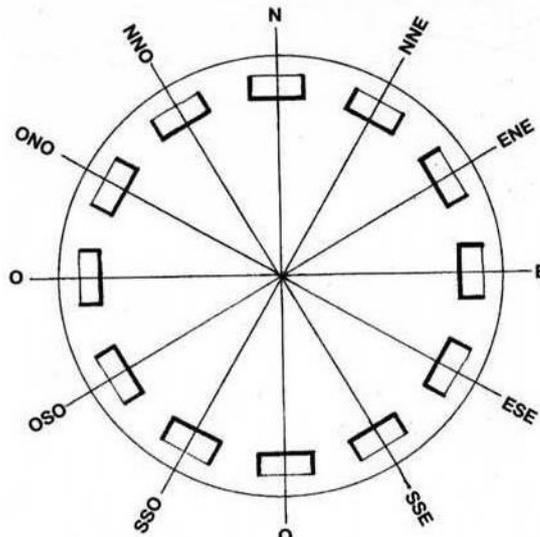
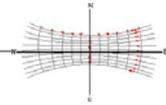


Figura 1.2: Diagrama explicativo de las orientaciones utilizadas en las evaluaciones de Olgay.  
Fuente: Olgay, 1963.

En la ilustración (figura 01), Olgay indica, en forma de diagrama, la variedad de orientaciones en función de los requisitos regionales. En las latitudes más septentrionales generalmente el aire es frío y existe una gran necesidad de calor precedente del sol. Como consecuencia, las edificaciones deben orientarse para recibir una cantidad de radiación máxima durante todo el año. No obstante, el mismo edificio situado más al sur, donde el aire es más caliente, deberá girar su eje para evitar la radiación solar directa, más desfavorable, y acoger en su lugar las brisas refrescantes.

Para Olgay, la importancia del calor proveniente del sol variará, según las regiones y las estaciones. En condiciones frías, la radiación solar adicional es favorable y, como consecuencia, es preciso colocar los edificios en la orientación más conveniente para que pueda recibir la mayor radiación posible; mientras bajo unas condiciones de calor excesivo, la orientación de los edificios debe proporcionar una disminución de los impactos solares desfavorables. Entonces, para él, una orientación óptima en un



emplazamiento dado será aquella que proporcione la máxima radiación durante el período frío y la mínima durante el cálido.

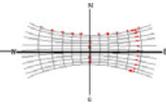
Entender y percibir las mejores orientaciones o formas arquitectónicas adecuadas en un sitio específico no es fácil, pues depende de muchas variables. Y por eso Beckers (2006) recomienda, como una estrategia, siempre entender bien el recorrido solar de cada sitio usando, como una buena herramienta de trabajo, los estudios en las estereografías solares del lugar, paralelamente con el desarrollo de la ciudad y de sus espacios construidos.

Según Nascimento (1995), la intensidad de la radiación solar depende principalmente de la latitud del lugar y de las estaciones del año. Donde la radiación incidente en las ciudades, en alta latitudes, son mayores en las superficies verticales, mientras que en las bajas latitudes las superficies horizontales reciben más radiación.

Por ejemplo, para los climas cálidos húmedos, según Oliveira (1988), el posicionamiento de las masas edificadas, masas arbustivas, relevos y masas hídricas deben ser pensados en relación al movimiento de los vientos y del recorrido aparente del sol. Y que la dimensión de las edificaciones horizontales debe ser alargada y perpendicular a los vientos dominantes, objetivando la maximización de las pérdidas de calor por convección. En relación a las elevaciones más significativas del suelo, las masas edificadas deben quedar siempre en orientación a barlavientos y, en relación a las masas arbustivas y líquidas a sotavento. En cuanto al recorrido aparente del sol, evitar las declividades ubicadas para oeste.

En relación a las ciudades, Nascimento (1995) señaló que las características de la forma urbana, condicionante del clima urbana, son definidas por la geomorfología (características del suelo/ paisajes) y por las características de la forma urbana (morfología). Actúan igualmente influenciando el desempeño de esas morfologías, las propiedades termodinámicas de los materiales de construcción y de los pavimentos. Las principales características de la forma urbana, condicionante climático, es la conformación espacial, la rugosidad, la porosidad, la densidad de construcción, el tamaño, el uso y ocupación del suelo, la orientación, la permeabilidad del suelo urbano y las propiedades termodinámicas de los materiales.

Como nuestro estudio en este trabajo fue específico para la ciudad de Belén del Pará, de clima calido-húmedo, es necesario subrayar que en estos tipos de clima los cambios en la temperatura nocturna no son muy significativos para hacer sensación de frío, pero lo suficiente para provocar alivio térmico, donde la ventilación nocturna es



muy necesaria. También es necesario, según Barros (2003), planear en las edificaciones aberturas adecuadamente grandes para permitir la ventilación en las horas del día en que la temperatura externa está más baja que la interna. Entretanto, es necesario proteger las aberturas de la radiación solar directa, pero no hacer de estas protecciones obstáculos a los vientos. En cuanto a vegetación, ella no debe frenar el pasaje de los vientos, lo que dará limitaciones cuanto a la altura mínimas de las árboles, de forma que produzcan sombras, pero que no sean barreras para la circulación del aire.

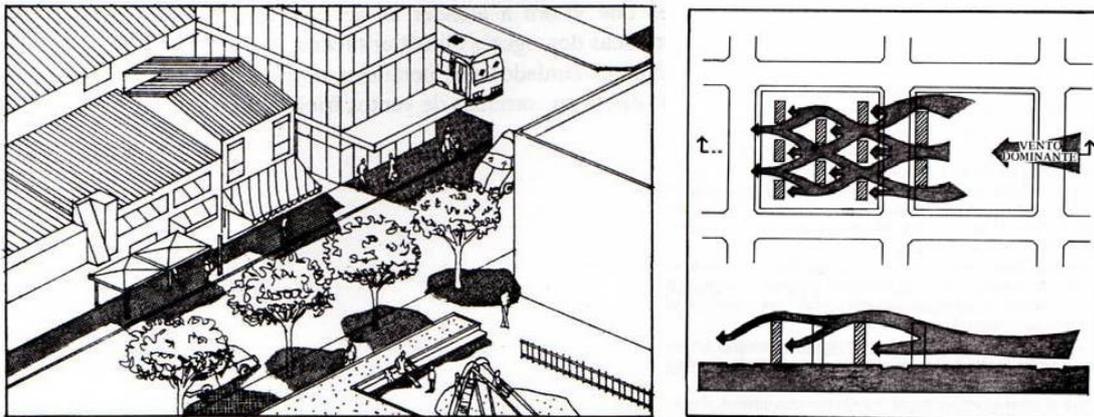


Figura 1.3: Esquema de ventilación urbana en climas húmedos y de sombras para la protección de las personas.  
Fuente: Barros, 2003.

También según Barros (2003), en los climas cálido – húmedo las construcciones no deben tener una grande inercia térmica, para no dificultar la retirada del calor interno acumulado durante al día, obstruyendo el resfriamiento de la construcción cuando la temperatura externa nocturna está más agradable que la interna. En ese sentido, se debe proponer una inercia de tipo media o leve, todavía con elementos aislante en el cerramiento, para impedir que gran parte del calor de la radiación solar recibida pase y genere demasiado calor interno. En cuanto a las edificaciones en los terrenos, deben estar ubicadas para permitir que la ventilación llegue a todos los edificios y posibilite la ventilación cruzada en sus interiores.

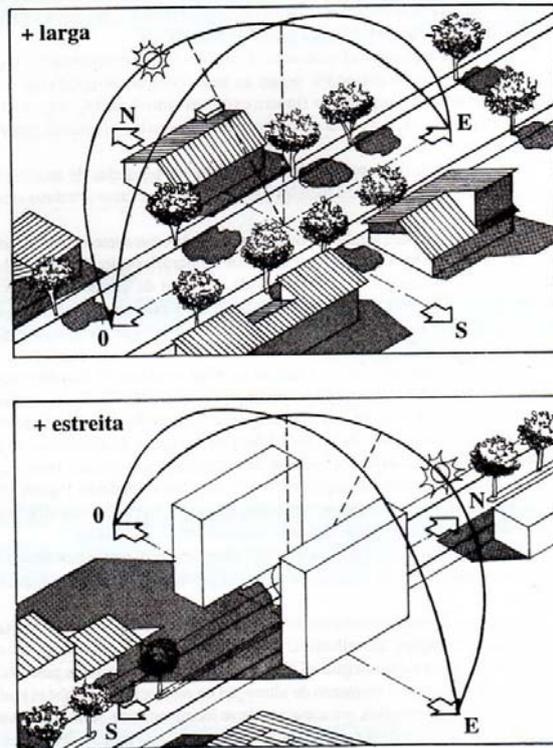
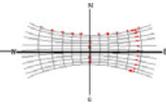


Figura 1.4: Esquema de orientación propuesto por Barros de calles y sombreado de las construcciones.  
Fuente: Barros, 2003.

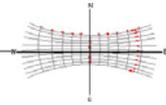
Sobre las dimensiones y sentidos de las calles, Barros señala que las que estuvieren ubicadas perpendicularmente a la dirección de los vientos dominantes deben tener dimensiones mayores, para evitar que construcciones situadas en lados opuestos de las calles funcionen como obstáculos a los vientos. Y la organización de las manzanas debe tener preocupaciones en cuanto a las distancias entre las edificaciones para que no sean como barreras a los vientos de los vecinos. Sobre la circulación de las personas, deben pensarse espacios protegidos de la radiación solar directa. Y para eso, la vegetación es muy importante, porque puede ser pensada de modo a crear caminos sombreados.

#### 1. 4 – LA HIPÓTESIS

La primera y más importante es: ¿pueden las pocas variaciones, en los trayectos solares, que ocurren en Belén producir cambios suficientes e importantes dentro de la arquitectura local? y si pueden ¿cómo debemos pensar soluciones mejores y más adaptadas a esas variaciones?

Otra hipótesis: si el uso de las proyecciones solares (las estereografías) puede, a través de su entendimiento, ayudarnos a planear mejor la arquitectura y el urbanismo dentro de la ciudad.

La última es: si la consideración de variables climáticas del lugar, como la ventilación, aparte del estudio del asoleo, nos pueden ayudar en la mejoría del confort climático para la gente de Belén del Pará.



## 1.5 – LOS OBJETIVOS

**1.5.1 – Objetivo general:** Entender cómo se comportan las diferentes ubicaciones y construcciones urbanas y sus estereografías en la ciudad de Belén, en relación con la energía solar (el asoleo) del clima ecuatorial.

### 1.5.2 – Objetivo específico:

**A** – Proponer un análisis próximo a la mejor interpretación de las relaciones existentes entre la arquitectura y la geometría solar en la latitud del ecuador (Belén - Amazonia);

**B** – Hacer análisis de las estereografías de las diferentes configuraciones urbanas de la ciudad de Belén del Pará, a través de programas de informática, como por ejemplo Heliodon 2;

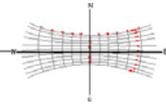
**C** – Analizar las distintas formas de distribución (orientación) de las caras /fachadas ubicadas en Belén en relación con la incidencia de la energía solar directa;

**D** – Descubrir una forma sintética, sencilla y clara para exponer los resultados de los estudios hechos en la investigación.

## 1.6 – LA METODOLOGÍA

Esa investigación es de carácter analítico y específico para la ciudad de Belén, en Amazonia, pero puede ser usada también para ciudades con características climáticas semejantes. La investigación obedeció a los puntos metodológicos expuestos a continuación:

**1.6.1 – “El Estado del Arte”:** Analizar la física de sol, su origen y su importancia; verificar las formas de interpretación de la geometría del sol, como trayectos, latitud, longitud, gráficos, etc.; estudiar y comprender el funcionamiento de los diferentes climas existentes en el mundo; y por último averiguar la relación existente entre la arquitectura y el urbanismo con el sol.



**1.6.2 – “La identificación del lugar del estudio”:** el análisis de ese trabajo se realizó sobre la ciudad de Belén del Pará ubicada en el extremo norte de Brasil. Ha sido estudiado su historia, su economía, su clima, su arquitectura y cultura.

**1. 6.3 – “Incidencia solar en las fachadas”:** Se analizó, a partir de los estudios desarrollados por Victor Olgyai en 1963, el comportamiento de la radiación solar directa en las caras/fachadas de los edificios ubicados en distintas orientaciones (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW) para la latitud de Belén del Pará;

**1.6.4 – “Análisis de tres sitios en la ciudad de Belén”:** se realizaron un análisis y estudios del comportamiento de la incidencia solar y de las variables climáticas de la ciudad, en relación con la arquitectura y el urbanismo de tres lugares ubicados en tres barrios de diferentes características;

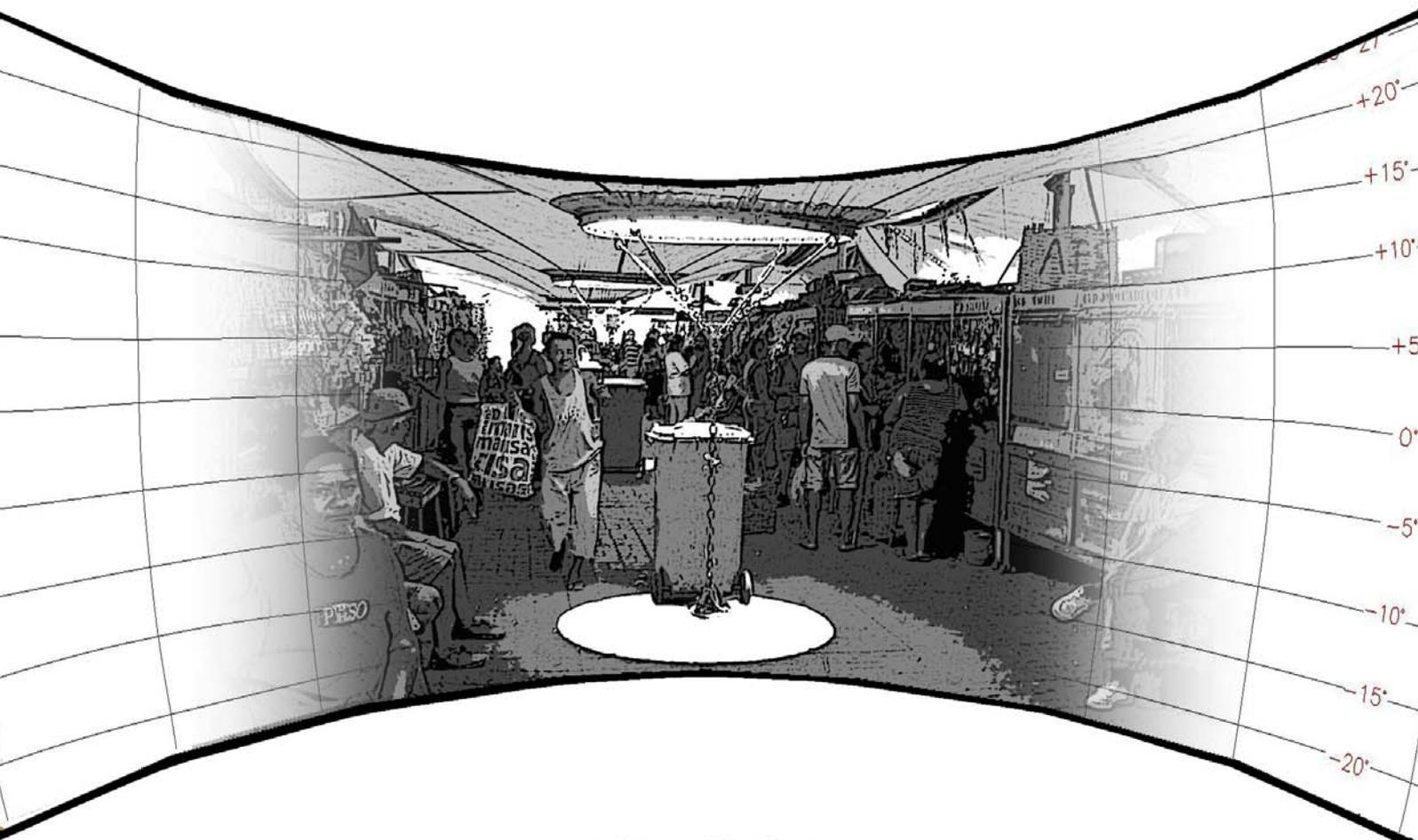
**1.6.5 – “El epílogo”:** se realizó un epílogo con la presentación de un pequeño experimento (una parada de autobuses para Belén), en forma de juego, donde se expone de manera básica y sencilla cómo aplicar toda esa metodología, jugando con las formas y la estereografía del lugar.

## **1. 7 – LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

Se cree que todo el trabajo desarrollado aquí tiene como puntos principales de importancia, primero la audacia en intentar, enseñar que hay una manera equivocada de hacer arquitectura en Belén, donde no es considerado, generalmente en elaboraciones de proyectos, tanto arquitectónicos como urbanísticos, todos los principios estudiados y analizados en ese trabajo. Por eso, también se cree, como segundo y último punto de importancia, que se está dejando una buena contribución, de forma teórica, para la sociedad de Belén del Pará.

“ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN/BRASIL”

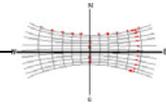
## CAPÍTULO 2



## EL SOL

ADAILSON OLIVEIRA BARTOLOMEU  
BARCELONA 2007

TESINA DEL MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL - UPC/ESPAÑA



## CAPÍTULO 2

### EL SOL

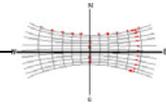
#### 2.1 - LA ESTRELLA LLAMADA SOL

La vida sobre la tierra, la temperatura que disfrutamos, la humedad que nos rodea y cualquiera de los fenómenos meteorológicos que conforman los diferentes climas y el tiempo atmosférico de cada momento, están provocados por el Sol. Pero también todas las formas de energías naturales renovables que podamos utilizar tienen su origen en el Sol y la radiación que nos envía. La energía eólica es la consecuencia del desigual calentamiento de la superficie de la Tierra, lo que provoca su desplazamiento. La energía hidráulica es el resultado de la energía potencial que alcanza el agua una vez evaporada por el calor solar y depositada en forma de lluvias o nieve en lo alto de las montañas. La energía de las olas y, en parte, la de las mareas también tienen su origen en el Sol. Igualmente, la más aprovechada en la actualidad de las energías renovables, la biomasa, en cualquiera de sus etapas, primaria, secundaria o residual, es el resultado de la fotosíntesis generada gracias a la absorción de la radiación solar.

El Sol (ver imagen 2.1) es el elemento más importante y el objeto más grande de nuestro sistema solar. Contiene aproximadamente el 98% de la masa total del sistema. Se requerirían ciento nueve Tierras para completar el disco solar, y su interior podría contener más de 1.3 millones de Tierras. La capa exterior visible del Sol se llama la fotosfera y tiene una temperatura de 6,000°C. Esta capa tiene una apariencia manchada debido a las turbulentas erupciones de energía en la superficie (Referencia Internet 01)



Figura 2.1: Imagen de la simulación en 3D del Sol  
Fuente: Ref. Internet 01.



La energía solar se crea en el interior del Sol (figura 2.2). Es aquí donde la temperatura ( $15,000,000^{\circ}\text{C}$ ;  $27,000,000^{\circ}\text{F}$ ) y la presión (340 millardos de veces la presión del aire en la Tierra al nivel del mar) son tan intensas que se llevan a cabo las reacciones nucleares. Estas reacciones causan núcleos de cuatro protones ó hidrógeno para fundirse juntos y formar una partícula alfa ó núcleo de helio. La partícula alfa tiene cerca de .7% menos masa que los cuatro protones. La diferencia en la masa es expulsada como energía y es llevada a la superficie del Sol, a través de un proceso conocido como convección, donde se liberan luz y calor. La energía generada en el centro del Sol tarda un millón de años para alcanzar la superficie solar. Cada segundo se convierten 700 millones de toneladas de hidrógeno en cenizas de helio. En el proceso se liberan 5 millones de toneladas de energía pura; por lo cual el Sol cada vez se vuelve más ligero (Mazria, 1983).

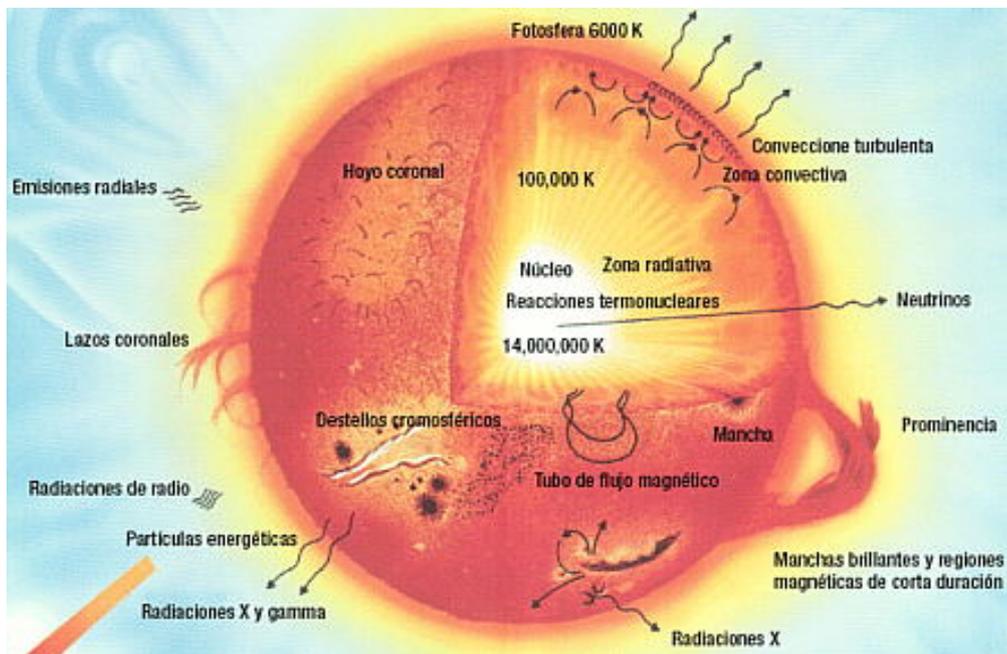
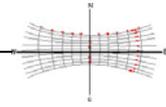


Figura 2.2: Diagrama del Sol  
Fuente: Ref. Internet 01.

La cromosfera está sobre la fotosfera. La energía solar pasa a través de ésta región en su trayectoria de salida del Sol. Las Fácúlas y destellos se levantan a la cromosfera. Las Fácúlas son nubes de hidrógeno brillantes y luminosas que se forman sobre las regiones donde se forman las manchas solares. Los destellos son filamentos brillantes de gas caliente y emergen de las regiones de manchas solares. Las manchas solares son depresiones oscuras en la fotosfera con una temperatura promedio de  $4,000^{\circ}\text{C}$  ( $7,000^{\circ}\text{F}$ ). Y la región de la corona, que es la parte exterior de la atmósfera del Sol, es donde aparecen las *erupciones solares*. Las erupciones solares son inmensas



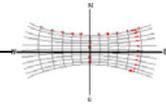
nubes de gas resplandeciente que se forman en la parte superior de la cromosfera. Las regiones externas de la corona se estiran hacia el espacio y consisten en partículas que viajan lentamente alejándose del Sol. La corona se puede ver sólo durante los eclipses totales de Sol (Mazria, 1983).

El sol aparentemente ha estado activo por 4,600 millones de años y tiene suficiente combustible para permanecer activo por otros cinco mil millones de años más. Al fin de su vida, el Sol comenzará a fundir helio con sus elementos más pesados y comenzará a hincharse, por último será tan grande que absorberá a la Tierra. Después de mil millones de años como gigante rojo, de pronto se colapsará en una enana blanca, y será el final de la estrella que conocemos. Puede tomarle un trillón de años para enfriarse completamente.

## 2.2 - LA ENERGÍA DEL SOL

El origen de la energía que el Sol produce e irradia está en las reacciones nucleares que ininterrumpidamente se realizan en su interior. Los átomos de hidrógeno, se combinan entre sí para formar átomos de helio y, al mismo tiempo una pequeña parte de la masa de dichos átomos se convierte en energía, de acuerdo con la famosa fórmula de Einstein  $E = m.c^2$ , la cual fluye desde el interior hasta la superficie (fotosfera) y desde allí es irradiada al espacio en todas direcciones. La mayor parte de la energía irradiada es transportada en forma de ondas electromagnéticas en una amplia gama de longitudes de onda, las cuales se desplazan en el espacio a una velocidad de 300.000 km/s. Cada segundo el sol irradia en todas las direcciones una energía de  $4.10^{26}$  julios, esto es, genera una potencia de  $4.10^{23}$  kilovatios (Rey e Casal, 2006).

Las fusiones termonucleares que se producen en el núcleo del Sol liberan energía en forma de radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia. La teoría más corrientemente aceptada representa las radiaciones electromagnéticas como una vibración ondulatoria de campos (u ondas) eléctricos y magnéticos o como un flujo de partículas de energía llamadas fotones. Esta definición de radiación solar es de difícil comprensión y visualización, pero la teoría que comporta nos permite describir y predecir cómo actuará esta radiación. La energía radiante nace en el núcleo del Sol a temperaturas del orden de  $10,10^6$  °C a  $14,10^6$  °C. En la superficie del Sol, la temperatura media sólo es de unos 5500 °C (Rey e Casal, 2006).



La energía que atraviesa el espacio se compone de radiaciones de diferentes longitudes de onda. La radiación electromagnética se clasifica según su longitud de onda y la más energética es la de menor longitud de onda. La radiación se emite desde la superficie del Sol comprendiendo todas las longitudes de onda, desde las más largas, las ondas de radio, hasta las más cortas, las de rayos X y gamma.

Aunque el Sol radia energía en muchas longitudes de onda (ver figura 2.3), proporcionalmente radia más energía en algunas de ellas. Para una temperatura media de 5500 °C, el Sol radia la mayor parte de su energía a frecuencias muy altas (cortas longitudes de onda). La luz visible, a cuyas longitudes de onda es sensible el ojo humano, se extiende desde 0,35 a 0,75 micras (una mira es igual a la millonésima parte de un metro). Está compuesta de todos los colores familiares, que van desde las cortas longitudes de onda violetas (0,35 micras) pasando por las azules, verdes, amarillas, naranjas y las largas longitudes de onda rojas (0,75 micras). El 49% de la radiación emitida por el Sol, que se acusa en forma de calor, es una radiación de onda más larga que el rojo del espectro visible (mayor de 0,75 micras). El pequeño remanente de la radiación solar se emite en la banda del ultravioleta con longitudes de onda menores que la del violeta al final del espectro visible (menor de 0,35 micras). Toda la radiación electromagnética abandona el Sol hacia el espacio con un flujo uniforme, en forma de rayos divergentes, viajando a la velocidad de la luz de 300 000 km por segundo. La Tierra, que es un cuerpo pequeño comparada con el Sol, intercepta una pequeña parte de esta radiación solar, cuando los rayos solares ya pueden considerarse paralelos. A una distancia de 150 000 000 de km del Sol, la Tierra intercepta aproximadamente dos billonésimas partes de la radiación que emite el Sol, el equivalente de cerca de treinta y cinco mil veces la energía total utilizada por la humanidad al año (Rey e Casal, 2006).

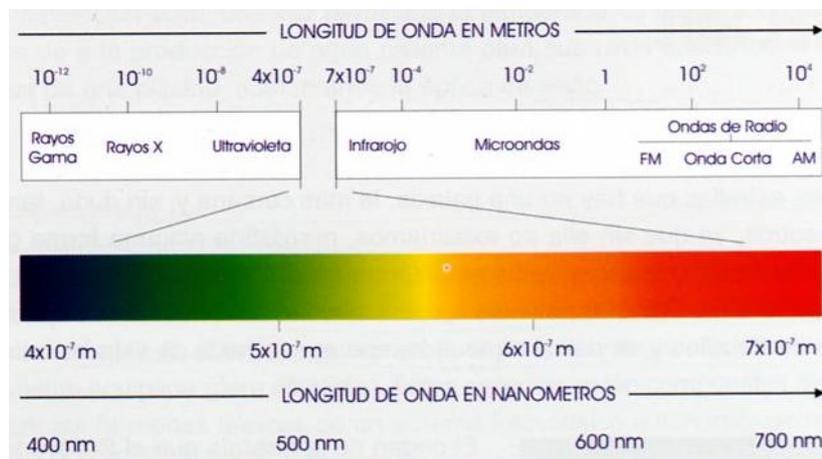
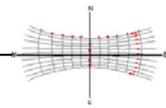


Figura 2.3: Espectro de la radiación solar.  
Fuente: Rey e Casal, 2006.



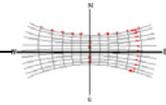
La energía solar es la energía obtenida directamente del Sol. La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse por su capacidad para calentar o directamente a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es superior a los 1000 W/m<sup>2</sup> en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia (Referencia Internet 02).

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones.

La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares), fuera de la atmósfera recibe el nombre de constante solar, es ella que define el total de radiación o de energía calorífica que incide en el exterior de la atmósfera terrestre, es de 1164 kcal por metro cuadrado y por hora (1400 w aproximadamente). En otras palabras, si situamos un metro cuadrado de un material justo al exterior de la atmósfera terrestre, perpendicularmente a la radiación solar, podremos interceptar 1164 kcal de energía cada hora. Existen pequeñas variaciones en el valor numérico de la Constante Solar debido a que siendo la órbita de la Tierra alrededor del Sol casi perfectamente circular, en esta órbita el Sol no está exactamente en el centro. Esta diferencia es importante para los científicos que realizan cálculos detallados fuera, en el espacio, pero en la superficie terrestre esta variación es demasiado pequeña y tiene un pequeño efecto en la calefacción solar de los edificios.

El valor medio de la que se conoce como Constante Solar es de  $1353 \text{ W/m}^2 = 1168 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2 = 4871 \text{ kJ/h}\cdot\text{m}^2$  (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de  $1395 \text{ W/m}^2$  y un valor mínimo en el afelio de  $1308 \text{ W/m}^2$ ). La Constante Solar sufre ligeras variaciones debido a que la distancia entre la Tierra y el Sol no es rigurosamente constante, ya que la órbita terrestre no es perfecta sino elíptica, siendo un poco mayor durante los meses de Diciembre y Enero, en que la distancia Sol – Tierra es algo más



pequeña, y menos durante los meses de junio y julio, en los que dicha distancia es máxima (Mazria, 1983).

### 2.3 - LA ATMÓSFERA TERRESTRE Y EL SOL

La atmósfera terrestre, junto con la presencia del Sol y de su radiación, son los artífices de la vida sobre la Tierra. La atmósfera, que es un conjunto de gases entre los que predominan el oxígeno y el nitrógeno, actúa de filtro de parte de la radiación solar. Al tiempo, una vez recibida, y tras ser absorbida por la superficie de la Tierra, evita que se pierda en su totalidad por reirradiación; de ese modo se consigue una temperatura relativamente estable sobre la Tierra. La parte habitable de la atmósfera es la troposfera, una capa con una altura entre 10 y 12 km, en la que se mantiene una composición estable de gases y donde la temperatura desciende regularmente, aproximadamente 0,6 °C cada 100m. A continuación se sitúa la estratosfera, una capa entre 30 y 40 km, que es donde se crea el ozono estratosférico, filtro del ultravioleta, y cuya temperatura es casi constante. Y por fin, se sitúan otras capas de menor interés, como la mesosfera, la ionosfera, la metasfera y la protosfera (ver figura 2.4).

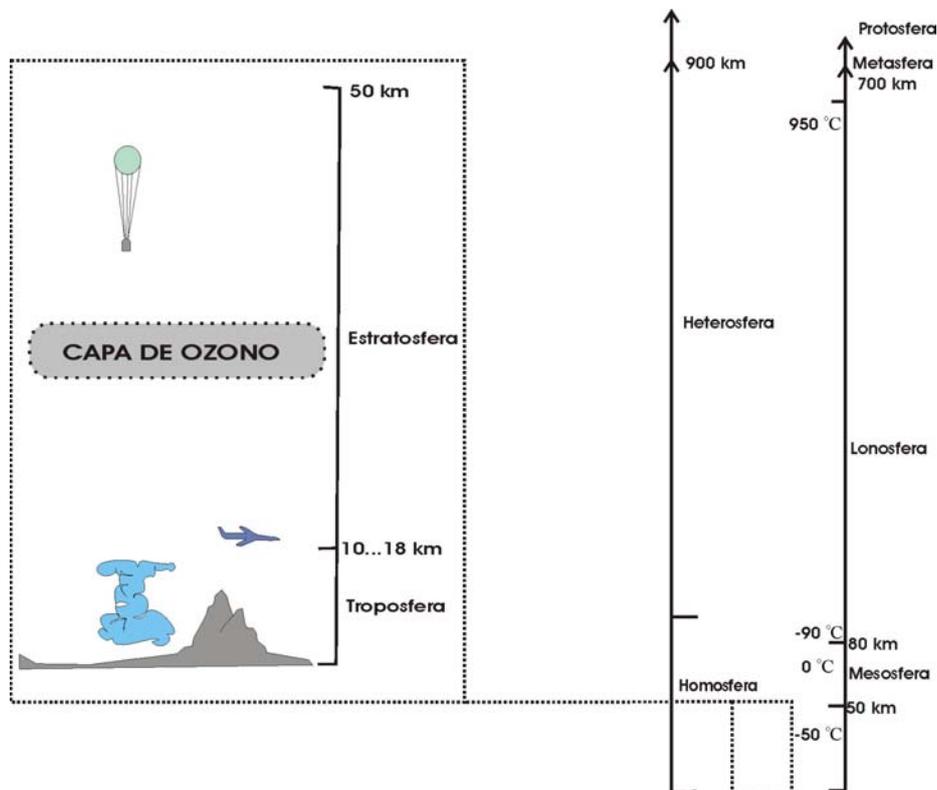
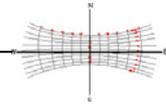


Figura 2.4: Capas de la atmósfera terrestre.  
Fuente: González, 2004.



Toda la radiación solar interceptada por la Tierra (incluida la atmósfera) llega como máximo al 35% de la reflejada al espacio. La reflexión de energía por una superficie es llamada albedo de esta superficie. El albedo de la Tierra en conjunto es del 35 al 40%. La mayor parte de esta energía es reflejada hacia el espacio por las nubes y la suciedad atmosférica, pero también se presentan reflexiones en la superficie de la Tierra en superficies como el agua, nieve o arena.

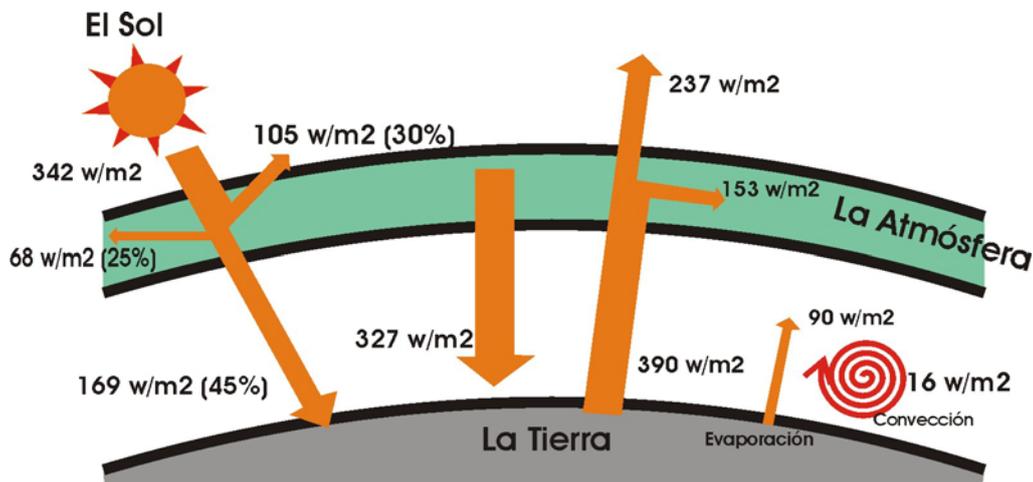
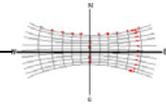


Figura 2.5: Balance anual medio global de energía entre la Tierra y la Atmósfera. Fuente: González, 2004.

Parte de la radiación que queda después de atravesar la atmósfera terrestre es difractada en todas direcciones por su interacción con las moléculas de aire y las partículas de suciedad. Como resultado, parte de esta radiación difractada o difundida llega a la Tierra desde todas las direcciones de la bóveda celeste. La radiación difractada primariamente en la zona azul del espectro visible es responsable del color azul del cielo despejado.

Después de que las nubes y la suciedad han refractado y reflejado aproximadamente un tercio de la energía incidente, el vapor de agua, anhídrido carbónico y el ozono de la atmósfera absorben otro 10-15%. En la atmósfera superior, el ozono elimina toda la radiación ultravioleta de alta frecuencia que incide sobre la Tierra. Esto resulta esencial debido a que la radiación ultravioleta puede causar quemaduras y perjudicar a la vista e incluso puede resultar letal por encima de dosis moderadas. El vapor de agua y el anhídrido carbónico de la atmósfera inferior absorben parte de la radiación, preferentemente en la banda de infrarrojos.

Además de la composición atmosférica, el factor más importante para determinar el total de radiación solar que alcanza la superficie de la Tierra es el espesor de atmósfera que debe atravesar la radiación. Durante el día, cuando el Sol incide



verticalmente, la radiación atraviesa el mínimo espesor de atmósfera en su camino hacia la superficie terrestre. Cuando el Sol se pone en el horizonte (atardecer), el trayecto de la radiación a través de atmósfera aumenta. Cuanto mayor es el espesor de atmósfera que debe atravesar la radiación, menor es su contenido energético a causa de la absorción del rayo solar es lo suficientemente bajo como para permitir la observación directa del Sol. Cuando aumenta la altura sobre el nivel del mar, el espesor de atmósfera que debe atravesar la radiación solar decrece. De esta forma, el contenido de energía de la radiación solar en localidades a gran altura puede ser mayor.

Debido a la traslación y a la rotación de la Tierra, el espesor de la atmósfera que debe atravesar la radiación solar varía según la hora del día y el mes del año. El trayecto de la Tierra alrededor del Sol es ligeramente elíptico, difícilmente distinguible de un círculo.

La inclinación del eje de la Tierra es la responsable de la variación estacional del clima. La inclinación es constante alrededor de la órbita solar y por ello en los meses de verano el Hemisferio Norte está inclinado hacia el Sol. Durante este período el Hemisferio Norte recibe más horas de asoleo y la radiación incide más perpendicularmente a la superficie de la Tierra. Durante los meses de invierno la situación es la contraria y el Hemisferio Norte recibe menos horas de asoleo, a un ángulo menor, mientras que es verano en el Hemisferio Sur.

## 2.4 - RADIACIÓN Y MATERIA

La intensidad de radiación (energía) que incide sobre una superficie dependerá del ángulo de incidencia de los rayos del sol, y eso determinará la cantidad de energía que recibe la superficie. Como la radiación solar incide sobre la tierra en rayos prácticamente paralelos, una superficie perpendicular a los mismos será la que interceptará la mayor proporción de energía. Si los rayos se desvían de la perpendicular disminuirá la energía interceptada por la superficie (ver figura 2.6). El ángulo de incidencia es el ángulo que los rayos del sol forman con una perpendicular a la superficie, que determinará el porcentaje del asoleo directo que interceptará la superficie. La tabla 2.1 relaciona los porcentajes de asoleo interceptados por una superficie para distintos ángulos de incidencia.

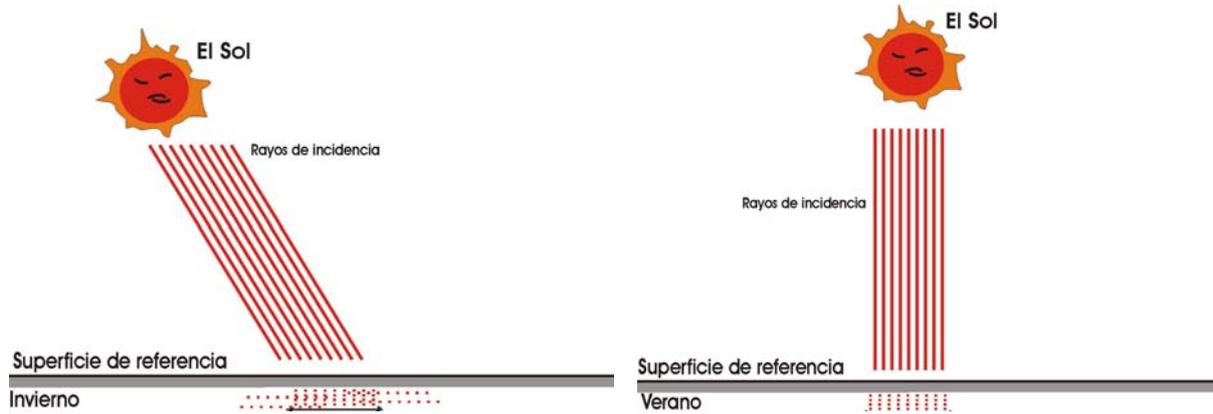
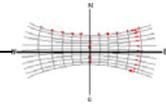


Figura 2.6: El ángulo de incidencia determina la intensidad de energía.  
Fuente: adaptado por el autor de Mazria, 1983.

La cantidad total de energía interceptada por una superficie no sólo comprende la radiación directa, sino también la difusa y reflejada (ver figura 2.8). La radiación solar absorbida por una superficie se convierte inmediatamente en energía térmica o calor. Las moléculas de la superficie del material acelerarán su movimiento al absorber la radiación solar. Al incrementarse el movimiento vibratorio de las moléculas, aumenta el contenido de calor del material.

Cuando se añade calor a un material sólido, su temperatura se eleva. De esta forma la temperatura es una medida del nivel de calor que se define por el movimiento de sus moléculas; cuanto mayor es este movimiento, mayor es su temperatura. Sin embargo, según Mazria (1983), una superficie que se separe hasta  $25^\circ$  de la perpendicular respecto al Sol, todavía intercepta más del 90% de la radiación directa.

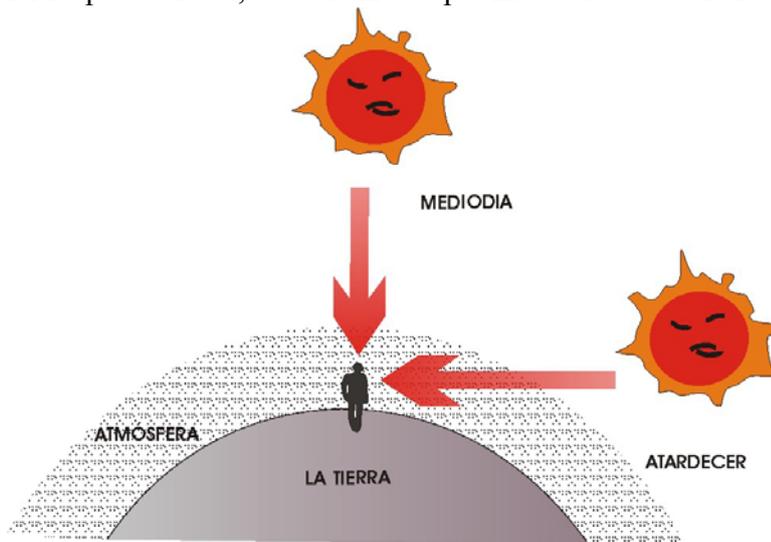
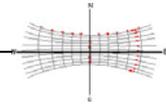


Figura 2.7: La masa de aire determina la intensidad de la radiación directa.  
Fuente: Adaptado por el autor de Mazria, 1983.



El Sol nos emite una energía llamada Energía radiante, que es la que poseen las ondas electromagnéticas como la luz visible, las ondas de radio, los rayos ultravioleta (UV), los rayos infrarrojo (IR), etc. La característica principal de esta energía es que se puede propagar en el vacío, sin necesidad de soporte material alguno. Ej.: La energía que proporciona el Sol y que llega a la Tierra en forma de luz y calor.

La cantidad total de energía interceptada por una superficie (ver tabla 2.1), no sólo comprende la radiación directa, sino también la difusa y reflejada. La cantidad total de energía radiante que recoge una superficie es mayor que la contenida únicamente en la radiación directa. La radiación difusa, o sea la difractada por la atmósfera y redirigida hacia la superficie terrestre, puede llegar a valer el 50% de la total cuando el Sol está bajo en el horizonte y el 100% para un cielo enteramente cubierto. Sin embargo, en días despejados la radiación difusa sólo representa una pequeña parte del total. La intensidad de la radiación que se refleja sobre una superficie de material reflectante depende de la calidad del acabado, del material de la superficie y del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el reflector (ver figura 2.8). Cuanto mayor es el ángulo de incidencia, mayor es la proporción de radiación que se reflejará.

Cuando la radiación solar incide sobre la superficie de un material, pueden suceder tres cosas. La radiación puede reflejarse, transmitirse y/o absorberse.

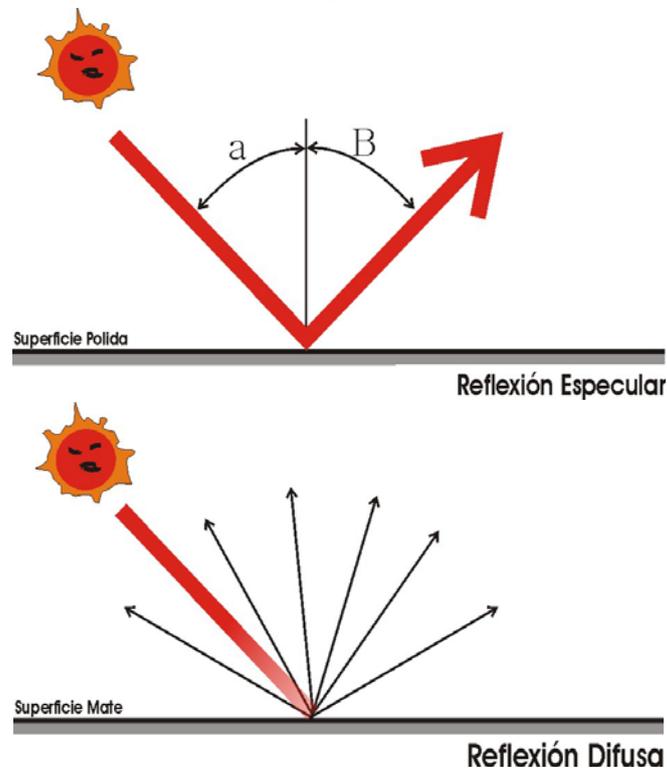
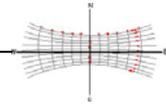


Figura 2.8: El acabado superficial determina el tipo de reflexión.  
Fuente: adaptado por el autor de Mazria, 1983.



Es importante comprender que la captación de radiación depende del área de las superficies captadoras. El contenido energético de la radiación solar está fijado por la posición del Sol. Para captar una determinada cantidad de energía solar será necesario disponer de un área suficiente. Esta observación se aplica a todos los sistemas de calentamiento solar, desde la superficie vidriada a Sur de una vivienda a los captadores de concentración. El área que intercepta la radiación solar es la que determinará la cantidad máxima de energía radiante que podrá captarse (Mazria, 1983).

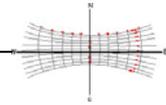
Tabla 2.1: Porcentaje de radiación en una superficie en función del ángulo de incidencia.

Ángulo de incidencia (grados)	Radiación solar interceptada (tanto por ciento)
0	100,0
5	99,6
10	98,5
15	96,5
20	94,0
25	90,6
30	86,6
35	81,9
40	76,6
45	70,7
50	64,3
55	57,4
60	50,0
65	42,3
70	34,2
75	25,8
80	17,4
85	8,7
90	0,0

Fuente: adaptado de Mazria, 1983.

En cuanto al intercambio térmico que ocurre en los materiales en función de la radiación, donde un material se calienta y que intenta encontrar su equilibrio con el entorno a través de tres procesos básicos de transferencia de calor: Conducción, Convección y Radiación.

1. Conducción: cuando un cuerpo absorbe la radiación solar, la energía absorbida se distribuirá por sí misma dentro del material desplazándose por Conducción de molécula a molécula, o sea, es el proceso por el que la energía se intercambia entre moléculas a través de una sustancia, o entre dos sustancias en contacto físico, por interacción molecular directa.



2. Convección: es la transferencia de calor entre una superficie y un fluido (líquido o gas) móvil, teniendo el transporte de calor en un fluido por movimiento de sus moléculas de un punto a otro, siendo una Convección Natural y/o Forzada.

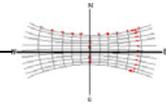
3. Radiación: todos los materiales radian energía continuamente. Y la radiación térmica terrestre que notamos como intercambio radiante de calor, consiste en una radiación infrarroja de onda larga emitida a una temperatura mucho más baja.

## 2.5 - HOLA SOLAR Y HORA LOCAL

Al orbitar la tierra alrededor del Sol, su velocidad cambia según su distancia respecto al mismo. Cuando se acerca al Sol se mueve más lentamente y cuando se aleja lo hace más rápidamente. Esta diferencia en la velocidad de la tierra es la causante de la divergencia entre la hora verdadera y la hora solar media, ya que un reloj normal mide el tiempo uniformemente y no tiene en cuenta esta variación de velocidad de la Tierra.

Para todos los cálculos solares se debe considerar siempre la hora solar. Las horas oficiales o locales, que son las horas del reloj, pueden variar 1 ó 2 horas con respecto a la solar, según acuerdos internacionales que tienen por objeto el mejor aprovechamiento de la luz y, por tanto, el ahorro energético. Sin embargo, según González (2004) no deben tenerse en cuenta en cualquier cálculo científico, por ser absolutamente coyunturales y poder ser modificadas en cualquier momento, por otros motivos igualmente de interés. No obstante, existen otras pequeñas correcciones a la hora solar que pueden realizarse cuando se quiere trabajar con mucha precisión. Esas dos correcciones son debidas a: (1) Meridiano real del lugar y, (2) Perturbaciones en el desplazamiento de la Tierra.

Dado que generalmente se asigna la misma hora a todas las localidades que se encuentran en el mismo huso horario, para las localidades que no coincidan exactamente con él se puede hacer una primera corrección. Los husos horarios se establecen cada  $15^\circ$ , partiendo del meridiano  $0^\circ$ . Por cada grado que se aleje una localidad está al este del meridiano del lugar y disminuirla en 4 minutos si está al oeste. La segunda alteración se produce por la diferencia entre el tiempo solar medio de un lugar (posición solar media) y el tiempo solar verdadero de ese mismo lugar en ese mismo momento (posición solar real); es debida a las irregularidades del movimiento de la Tierra. Se obtiene con la ecuación del tiempo ( $E_T$ ) enunciada por Spencer.



## 2.6 - LA GEOMETRÍA DEL SOL Y LA TIERRA

### 2.6.1 - La Bóveda Celeste

Cuando se habla de geometría solar, pronto pensamos primero en todo lo que la astronomía nos puede enseñar sobre el movimiento del sol en la bóveda, y para ello tenemos que enfrentarnos con el problema geométrico que supone definir los puntos de la misma. Para nosotros la bóveda celeste es una esfera que rodea al observador situado en el centro, y en ella se encuentran aparentemente todos los astros que se puedan observar.

El observador sólo contempla media bóveda porque el plano del horizonte le impide ver la parte que éste oculta, pero la bóveda está ahí completa (ver figura 2.9). En línea recta sobre la cabeza del observador se define un punto fundamental de la bóveda: El zenit (Z); y bajo los pies del mismo y en el polo opuesto al zenit se encuentra el nadir (Na).

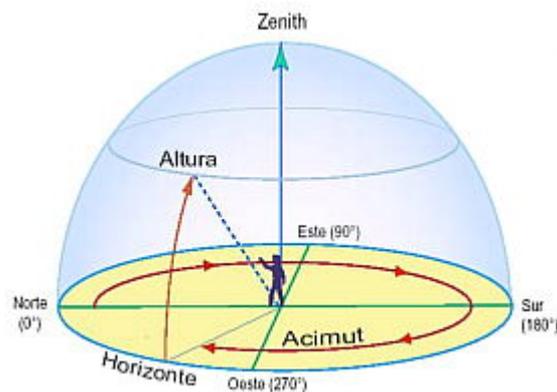
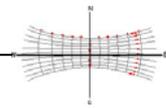


Figura 2.9: Media bóveda con un observador en el centro.  
Fuente: Ref. Internet 03.

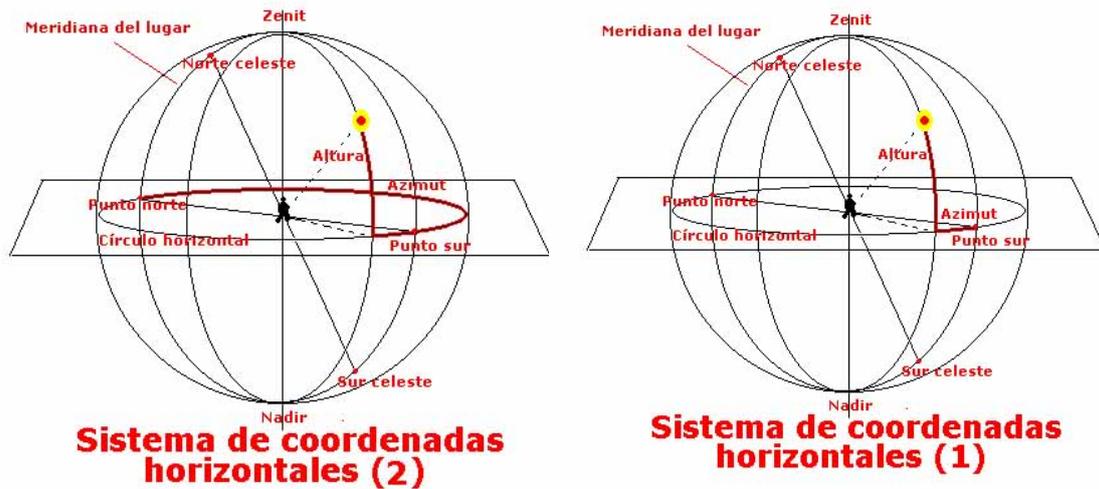
### 2.6.2 - Coordenadas horizontales

Estas coordenadas toman como plano de referencia el del horizonte, que corta ecuatorialmente a la bóveda, y por tanto es perpendicular al eje que va del zenit al nadir. Aparte de este plano, que llamamos de horizonte, podremos definir los planos que pasan por el zenit y el nadir, que son los coluros, y que cortan a la bóveda como círculos máximos, entendiendo por tales aquéllos cuyos planos pasan por la posición central en que se encuentra el observador; y también otros planos paralelos al horizonte, que definen círculos que no son máximos y que los árabes denominaron ya almicanaradas (Golás y Bilbao, 1993).



Si damos por supuesto que la bóveda gira diariamente sobre un eje, éste cortará a la esfera en dos puntos que denominaremos polo norte (P.N.) y polo sur (P.S.). Al coluro que contiene a los polos norte y sur lo llamaremos meridiano, que viene del latín meridies, mediodía, porque en principio debe ser el plano en el que se encuentra el sol en la bóveda cuando los humanos hablamos de mediodía.

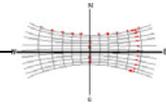
Figura 2.10: Sistemas de coordenadas horizontales con distintos Azimut (1) y (2).



Fuente: Ref. Internet 03.

Un paso más: si el radio de la esfera celeste lo consideramos la unidad, entonces la Geometría nos dice que nos bastan dos ángulos para tener las coordenadas que definen todos los puntos de la bóveda. Al ángulo determinado en el plano del horizonte, a partir del meridiano por ejemplo, se le llama azimut ( $A$ ), y al ángulo que se traza elevándose desde el horizonte hasta el zenit se le denominará altura ( $h$ ). El azimut podría valer desde  $0^\circ$  hasta  $-180^\circ$  comenzando en el punto Sur (S) del horizonte hacia el Este (E) y terminando en el punto Norte (N) del mismo; y desde  $0^\circ$  hasta  $+180^\circ$ , comenzando en el Sur y dirigiéndose al Norte por el Oeste (W). La altura será positiva desde el horizonte, de altura  $0^\circ$ , hasta el zenit, de altura  $+90^\circ$ , y reservaremos la altura negativa para definir sucesos cuya posición esté por debajo de nuestro horizonte.

Es evidente que la bóveda celeste es diferente según el punto de la Tierra en que se encuentre el observador. Para nosotros el Polo Norte se encuentra en un punto fijo de la bóveda, como es evidente por el hecho de pasar por él el eje del giro diario de la esfera. En el hemisferio sur de la Tierra sucede lo mismo con el P.S. y allí habrá que definir de modo distinto los signos del azimut y de la altura.



Con el movimiento diario de la bóveda, todos los astros, incluso las estrellas fijas, dan una vuelta diurna de forma que muchos de ellos aparecen por la parte del horizonte que está cercana al Este (orto del astro), y se ocultan por la parte del horizonte que está hacia el Oeste (ocaso del mismo). Hay algunas excepciones, porque aquellos astros que están cercanos al polo, no desaparecen nunca bajo el horizonte y los llamamos circumpolares. Pero en todo caso tenemos el problema de que ningún astro tiene azimut y altura fijos, pues ambos están cambiando continuamente. Por ello se requiere definir unas coordenadas que obvien dicho problema, y que tengan valor universal.

### 2.6.3 - Coordenadas ecuatoriales u horarias.

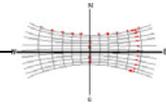
Prescindimos en principio del horizonte y tomamos como plano de referencia el círculo máximo que es perpendicular al eje Polo Norte – Polo Sur. Este plano es el Ecuador celeste y no es más que la proyección en la bóveda del Ecuador terrestre.

Las coordenadas ecuatoriales u horarias son la declinación y el ángulo horario. Al ángulo medido en este plano lo vamos a llamar ángulo horario ( $\omega$ ), y puede ir desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$  si lo medimos en grados, o de 0 a 24 si lo medimos en horas, ya que en principio cada hora corresponde a un giro de la bóveda de  $15^\circ$ . Se suele tomar origen en el plano del meridiano del lugar, que recordemos es el plano que contiene al zenit, al nadir y a los dos polos, y el ángulo se cuenta positivamente partiendo del meridiano en sentido retrógrado o de las manillas del reloj.

Al otro ángulo, que se mide en el meridiano que pasa por el astro concreto, y que en el hemisferio norte positivamente de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , y negativamente en el hemisferio sur, lo llamaremos declinación ( $\delta$ ).



Figura 2.11: Coordenadas ecuatoriales y los ángulos horizontales y verticales.  
Fuente: Ref. Internet 03.



Al girar la bóveda, la declinación de un astro permanece invariable, mientras que su ángulo horario varía continuamente, por lo que para lograr las coordenadas universales que buscamos, es preciso tomar como origen un punto que en principio esté fijo en el ecuador y que gire con la bóveda celeste. A este punto lo llamaremos punto vernal o punto Aries ( $\gamma$ ). Al ángulo medido en el plano del ecuador a partir de  $\gamma$  se llama ascensión recta ( $\alpha$ ), y va desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$ , o también de 0 a 24 horas, siendo positiva si se mide en sentido directo, es decir contrario al de las agujas del reloj.

#### 2.6.4 - La Tierra.

En el siglo XVII es Newton quien afirma un ligero achatamiento de la Tierra. Es cierto que existió la opinión contraria que suponía más bien un alargamiento del eje polar, pero sabemos que las expediciones del siglo XVIII confirmaron, mediante la medida terrestre del grado del meridiano en puntos cercanos a los polos y en puntos cercanos al Ecuador que el achatamiento polar era un hecho.

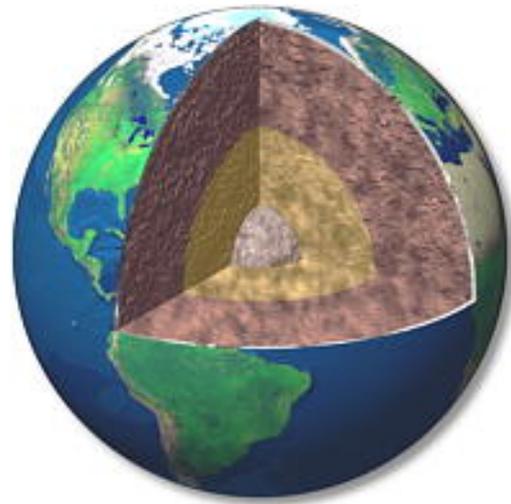
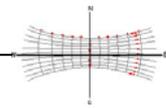


Figura 2.12: Formato de la Tierra.  
Fuente: Ref. Internet 03.

En cuanto a lo que se refiere al tamaño, Erastóstenes dio una medida muy aproximada a la que hoy sostenemos. Pero todos sabemos que con el paso del tiempo la medida del radio terrestre se consideró algo menor, lo que dio origen a la confusión de Colón al creer que eran las Indias el mundo recién descubierto. Prescindiendo de las irregularidades (montañas, valles, mares), se define una figura geométrica consistente en un elipsoide de revolución, que llamaremos geoide y que es una buena aproximación de la verdadera figura de nuestro planeta (Golás y Bilbao, 1993).

Para ciertas descripciones, basta con suponer que la Tierra es esférica, y sobre su superficie se definen dos coordenadas angulares para la localización de los puntos de la misma. Se llamará latitud al ángulo central que subtiende el arco trazado desde el ecuador, perpendicularmente a éste, hasta el punto en cuestión. Toma los valores de  $0^\circ$  a  $+90^\circ$ , si el punto es del hemisferio norte, y de  $0^\circ$  a  $-90^\circ$  si pertenece al hemisferio sur.



La otra coordenada se llama longitud y se suele medir de  $0^{\circ}$  a  $+180^{\circ}$ , denominada longitud Este, o de  $0^{\circ}$  a  $-180^{\circ}$ , longitud Oeste. Cuando no hay confusión posible, se prescinde del signo, o sólo se indica su carácter Norte o Sur si se trata de latitud, y Este u Oeste si se trata de longitudes (ver figura 2.13). El acuerdo universal para la determinación del meridiano  $0^{\circ}$  ha fijado como referencia el meridiano que pasa por Greenwich.

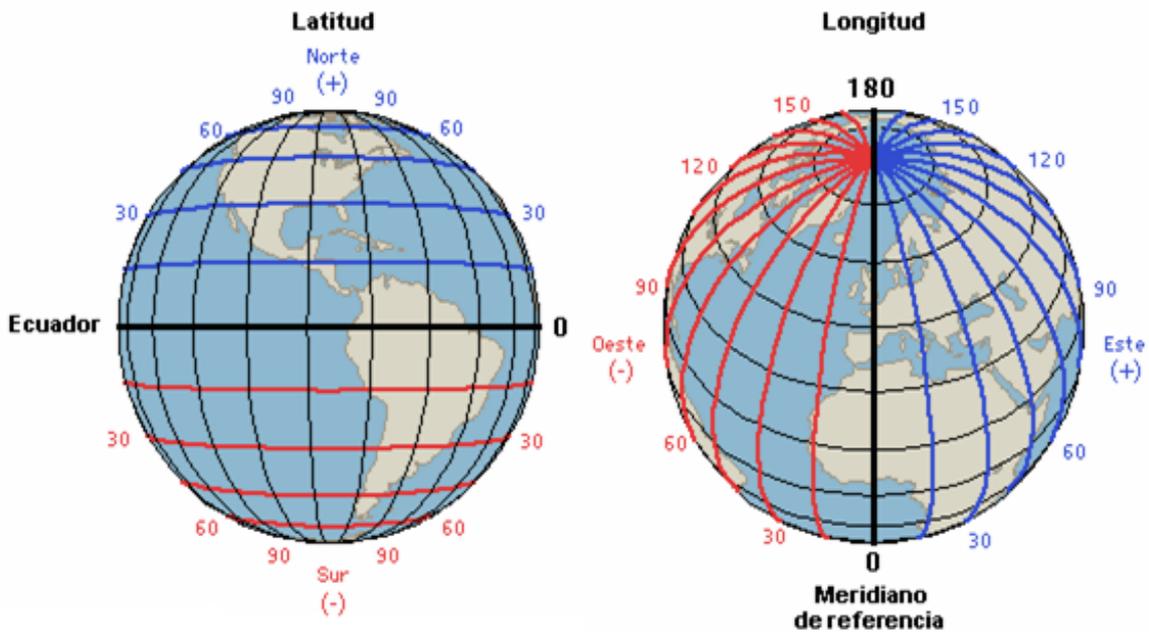
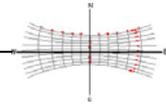


Figura 2.13: líneas de la Latitud y Longitud en la Tierra.  
Fuente: Ref. Internet 04.

### 2.6.5 - Movimientos de la Tierra

Los movimientos de la Tierra no son evidentes. Los hemos conocido a través de los tiempos gracias a la observación de los movimientos relativos a ella de otros cuerpos celestes, y después de admitir un cierto modelo de configuración del sistema solar. Pero para cerrar de alguna manera lo que estamos diciendo de la Tierra debemos, para fijar ideas, hablar de estos movimientos, que son fundamentalmente cuatro: rotación, traslación, precesión y nutación. Los astrónomos nos hablan también de otros movimientos menos perceptibles, e incluso de algunos que a diferencia de esos cuatro carecen de la cualidad de ser periódicos, pero no son relevantes a la hora de entender la posición del Sol en la bóveda celeste.

**Rotación:** Es el movimiento de giro del geoide sobre un eje que va desde el polo norte al polo sur. Y que tiene una duración aproximada de 24 horas. Este movimiento es el que da origen a los días y las noches.



**Traslación:** En la órbita en que se mueve la Tierra, ésta se traslada con un movimiento periódico que dura lo que hemos acordado en llamar un año. Por tanto este movimiento da origen al cómputo de los años.

**Precesión:** El eje de la tierra, que define sobre el geode ambos polos, y sobre la bóveda celeste los puntos P.N y P.S., no apunta en dicha bóveda siempre en la misma dirección. O sea que en la bóveda ambos puntos son variables. El movimiento del eje describe sobre ella una especie de círculo de  $23^{\circ}27'$  de radio, realizándose una vuelta completa en unos 26000 años. Este movimiento es menos perceptible, y es responsable de que el punto vernal, que hubiésemos querido fijo en la bóveda, se mueva por el ecuador a razón de unos  $50''$  por año. Al movimiento del punto vernal se le llama en Astronomía procesión de los equinoccios.

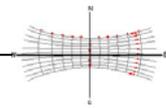
**Nutación:** Avanzando un poco más en la determinación de los movimientos tendríamos que decir que la traza del eje de la tierra sobre la bóveda celeste no es un sencillo círculo, sino que es un círculo festoneado, es decir la composición de dos movimientos, uno más amplio que responde del círculo y otro menos amplio que constituye una elipse y que responderá del festoneo. A éste segundo movimiento lo llamaremos nutación.

### 2.6.6 - El Sol en la Bóveda

Según Golás (1993), si introducimos el sol lo hemos de hacer considerándolo como un cuerpo astral más de entre los que aparecen en nuestra bóveda celeste. Y si hacemos un pequeño esfuerzo de imaginación no nos será difícil imaginarlo como muy poco luminoso, de forma que no nos impida ver los demás astros y por tanto su posición relativa respecto a ellos.

Como sucede con los planeta, observamos en la bóveda celeste un movimiento diurno del sol bastante rápido, de forma que todos nos apercibimos claramente de este movimiento, desde que aparece por la zona oriental de nuestro horizonte, y esto constituye el orto solar, hasta que desaparece en el atardecer por la zona del oeste en el horizonte, y se trata entonces del ocaso. Este movimiento es de toda la bóveda celeste, de modo que veíamos girar conjuntamente a todos los astros conservando en apariencia sus posiciones relativas. El Sol en un día concreto tiene una declinación y una ascensión recta prácticamente constantes.

Cada vez que el Sol cruza el meridiano del lugar por la parte que está bajo el horizonte (culminación inferior) se ha determinado que comience un nuevo día solar.



Cuando lo cruza por la parte que está sobre el horizonte, llamamos a este fenómeno culminación superior, y es prácticamente el mediodía. El tiempo que transcurre desde una a otra culminación es de 12 horas, y el día solar se dice que tiene una duración de 24 horas solares. En principio conviene saber que este día solar no coincide con el día sidéreo, es decir con el que se mide a partir de la vuelta en la bóveda de cualquier estrella fija, ni tampoco con el día civil.

Aunque no se aprecia tan fácilmente, es observable que el Sol tiene además otro movimiento, de forma que todos sabemos que no aparece todos los días por el mismo punto del horizonte, y que la altura que alcanza en su culminación es muy distinta en verano que en invierno. Y si nos fijamos en las constelaciones que cruzan el meridiano al empezar cada nueve días, podemos inferir que el Sol tiene un movimiento anual de modo que realiza una vuelta a toda la bóveda cada año, con movimiento contrario al diurno, que por acuerdo hemos dado en llamar sentido retrógrado.

En consecuencia el Sol no tiene las mismas coordenadas ecuatoriales en todo instante, sino que sufre una constante variación en declinación y en ascensión recta, que es aparente al paso de los días. Su declinación varía desde  $-23^{\circ}27'$  hasta  $+23^{\circ}27'$ , mientras que su ascensión recta varía desde  $0^{\circ}$  hasta  $360^{\circ}$ , o también de 0 a 24 horas, lo cual quiere decir que realiza un giro completo a lo largo del año (ver figura 2.14).

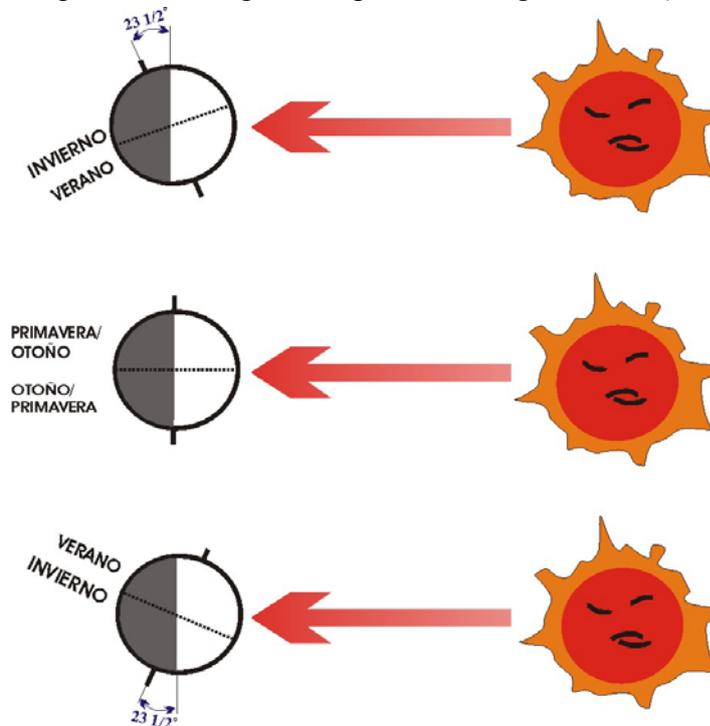
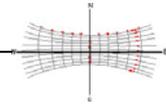


Figura 2.14: La declinación determina las Estaciones y la intensidad de radiación  
Fuente: adaptado por el autor de Mazria, 2007.



La Tierra está escorada en el plano de la órbita, que llamamos plano de la eclíptica, precisamente esos  $23^{\circ}27'$  grado, que es el ángulo que forman los planos del ecuador y de la eclíptica. Por eso en su traslación anual hay una época en la que el Polo Norte terrestre queda continuamente en zona a pesar del giro de rotación, y otras en que ello le sucede al Polo Sur. Esto todo explica las estaciones desde este otro punto de vista (ver figura 2.14).

Este movimiento anular del Sol es perceptible por el hecho de que cada día se levanta por un punto distinto del horizonte, estando en consecuencia cada día en el cielo en un paralelo diferente, de modo que un par de veces al año ese paralelo es precisamente el ecuador.

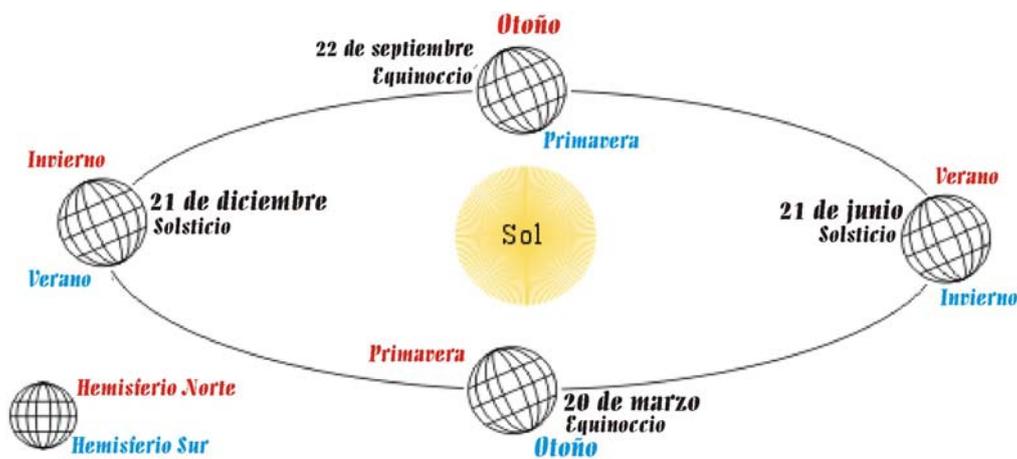
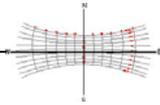


Figura 2.15: Dibujo de la trayectorias solares en la bóveda, en los solsticios y equinoccios

Fuente: Ref. Internet 03.

Así podemos decir que el movimiento del Sol en el horizonte recorre en él un arco que va desde el paralelo  $-23^{\circ}27'$  hasta  $+23^{\circ}27'$  (ver figura 2.15). Cuando llega a stos el movimiento se invierte, volviendo hacia atrás, y por tanto detiene su carrera en dos puntos extremos. Se dice que el Sol está quieto, estático, en el horizonte. Las dos veces que pasa por el paralelo  $0^{\circ}$ , que es el ecuador, se dice que está en los equinoccios porque el arco que recorre por encima del horizonte en su movimiento diurno, es igual al que recorre bajo el mismo. Equinoccio es una palabra que deriva del latín (*aequinoctium*) y significa “noche igual”, refiere al momento del año en que la duración del día es igual al de la noche en toda la Tierra. Astronómicamente esto se pasa cuando la Tierra alcanza una posición en su órbita donde el Sol parece estar ubicado exactamente en la intersección del círculo del Ecuador Celeste con el círculo de la Eclíptica, o sea, momento en que el Sol en su movimiento anual aparente por la Eclíptica, corta el Ecuador Celeste, presentando declinación de  $0^{\circ}$  (ver figura 2.16).



La palabra Solsticio, viene del latín, Sol + Sistere (solstitium), que significa parado, fijo y está asociada a la idea de que el Sol estaría como estacionario. Marca la época del año en que el Sol, en su movimiento aparente en la esfera celeste, llegando al máximo alejamiento angular del Ecuador.

Es considerado Solsticio de Verano (22/06) en el hemisferio Norte y de invierno en el hemisferio Sur, cuando el Sol ingresa a 0° del Signo de Cáncer, cuando el Sol tiene su máxima declinación norte, +23°27'. En este momento, el Sol “inmoviliza” su movimiento gradual para el sentido sur y cambia en dirección al polo norte.

En el Solsticio de Invierno (21/12) en el hemisferio norte y de verano en el hemisferio sur, cuando marca la entrada del Sol en el Signo de Capricornio, cuando el Sol alcanza su máxima declinación sur, 23°27'. El Sol “inmoviliza” su movimiento para el sentido Norte y empieza a cambiar en el sentido del hemisferio sur.

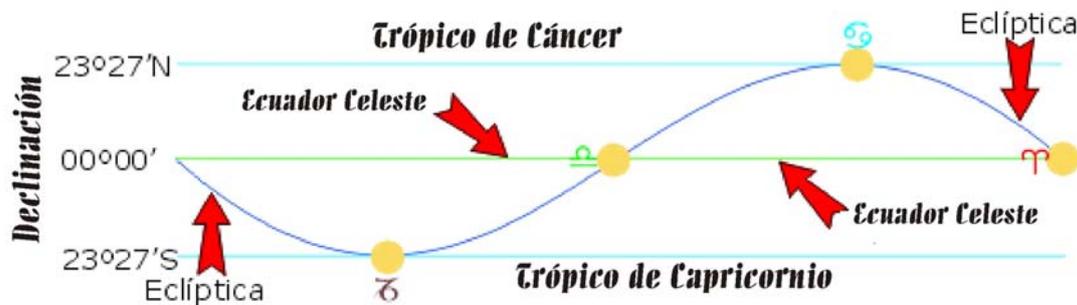
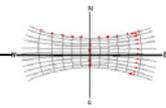


Figura 2.16: Planos anual del movimiento del Sol por la Eclíptica y el Ecuador Celeste.  
Fuente: Ref. Internet 03.

Ambos plano del ecuador y de la eclíptica se cortan en una recta que llamamos línea de los nodos, y que prolongada nos determina los puntos Aries y Libra de la esfera celeste. A consecuencia del movimiento de la Tierra, que hemos llamado de precesión, estos puntos no permanecen fijos. La línea de los nodos realiza una revolución completa en unos 26.000 años, o mejor 50,25” por año, por lo que los equinoccios no se realizan siempre en los mismos puntos geométricos de la esfera celeste, sino que los puntos Aries y Libra van pasando por todas las constelaciones del Zodiaco. De aquí que el fenómeno de precesión del eje de la Tierra se convierte en Astronomía en el de precesión de los equinoccios, y en la época actual esos puntos no se encuentran en esas constelaciones, sino en la de Pises y Virgo respectivamente (Bilbao, 1993).



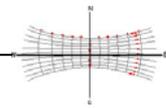
### 2.6.7 - Recorrido aparente del Sol y sus proyecciones en la Tierra.

El movimiento aparente del Sol a lo largo del día y del año, como consecuencia de los movimientos de rotación y translación de la Tierra, es similar al de una espiral casi paralela. En la Tierra, este recorrido solar corresponderá a la zona ubicada entre los Trópicos de Cáncer y de Capricornio, demorando 6 meses en cada dirección. Para quedar más claro, para un determinado observador en la Tierra, el movimiento aparente del Sol es descrito como una serie consecutivas de circunferencia en la esfera celeste, paralelas al ecuador celeste, con inclinación sobre el plano del horizonte cambiando en función de la latitud de este observador (Barros y Shiffer, 2003).

Ese movimiento diario del Sol percibido en la esfera celeste como circunferencia es denominado trayectoria aparente del Sol. Entonces, podemos determinar una trayectoria aparente del Sol para cada día del año, en función de cada latitud diversa de la Tierra. De estas trayectorias, frecuentemente, tres son indicadas gráficamente: las de los solsticios, que son las extremas del recorrido, y la del equinoccio (ver figura 2.15 en la parte 2.6.6).

Para entender mejor las proyecciones solares, es necesario ver primero cómo funciona una proyección geográfica, que es un sistema ordenado que traslada desde la superficie curva de la Tierra la red de meridianos y paralelos sobre una superficie plana. Se representa gráficamente en forma de malla. La única forma de evitar los problemas de proyección es usar un globo, pero en la mayoría de las ocasiones sería demasiado grande para que resultase útil.

Una buena proyección debe tener dos características, que conserve las áreas y que conserve los ángulos. Desgraciadamente eso no es posible, sería como hallar la cuadratura del círculo, por lo que hay que buscar soluciones intermedias. Cuando una proyección conserva los ángulos de los contornos se dice que es ortomórfica o conforme, pero estas proyecciones no conservan las áreas. Dependiendo de cuál sea el punto que se considere como centro del mapa, se distingue entre proyecciones polares, cuyo centro es uno de los polos; ecuatoriales, cuyo centro es la intersección entre la línea del Ecuador y un meridiano; y oblicuas o inclinadas, cuyo centro es cualquier otro punto.



Hay muchas formas de proyección cartográfica que pueden ser utilizadas para representar las trayectorias aparentes del Sol, entre ellas hay el ortográfico, el equidistante y el estereográfico. En todos los métodos la bóveda celeste es representada por un círculo donde el centro es la proyección del zenit del observador en el plano del horizonte. Los acimutes solares son representados por líneas irradiadas del centro, y las alturas solares son indicadas por círculos concéntricos para todos los métodos. Sin embargo, muchos métodos gráficos están en desuso cuando se los quiere utilizar para determinar con cierta precisión la posición solar o, simplemente alguna de las coordenadas solares. Pero, según González (2004), su uso es dudoso si se quiere utilizarlos para la determinación de sombras y soleamiento. En la actualidad los precisos métodos analíticos y las técnicas informáticas vinculadas a ellos nos facilitan la tarea y nos proporcionan una información mucho más precisa. Sin embargo, la utilización de las representaciones gráficas sigue siendo interesante si queremos tener una representación rápida y sencilla de los movimientos del Sol y de su posición en un momento dado.

Para Barros (2003), el plano donde se proyecta las trayectorias aparentes del Sol es el plano del horizonte del observador. El centro de proyección (C) coincide con el Nadir del observador, según muestra la figura 2.17. Entonces, la proyección de los puntos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$  de la bóveda celeste, en el plano del observador es, respectivamente,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ .

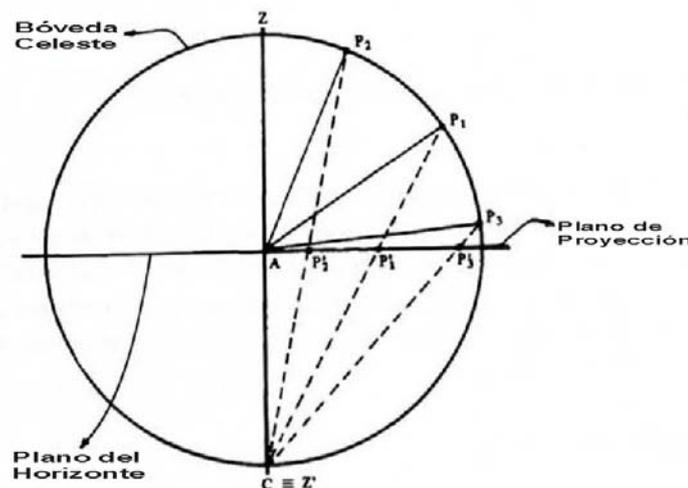
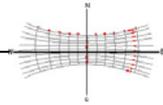


Figura 2.17: Proyección estereográfica del Punto P, en tres posiciones distintas.  
Fuente: Barros y Schiffer, 2003.



### 2.6.7.1 - Mapas y proyecciones Solares.

Cómo se construyen los mapas o cartas solares. Es decir cómo se indica sobre el papel la trayectoria del sol en la bóveda a lo largo del día en las diferentes épocas del año. En el fondo se trata de representar sobre un plano figuras espaciales. Y por ello vamos a hablar primero de los diferentes tipos de proyección, que permiten una variada gama de mapas, con diferentes utilidades.

Las proyecciones son diferentes según el punto de vista V desde el que se realizan y según esté colocado el plano de proyección. En astronomía se trata de proyectar los puntos principales de los diversos sistemas de coordenadas, por ejemplo, el horizonte, un meridiano, el ecuador, o la eclíptica.

Los mapas solares se clasifican del mismo modo que las proyecciones. A nosotros nos interesa conocer los más utilizados, y que nos resultan más prácticos, y por eso hablaremos de las proyecciones ortogonal, cilíndrica, gnomónica y estereográfica, como vemos en la figura 2.18 abajo.

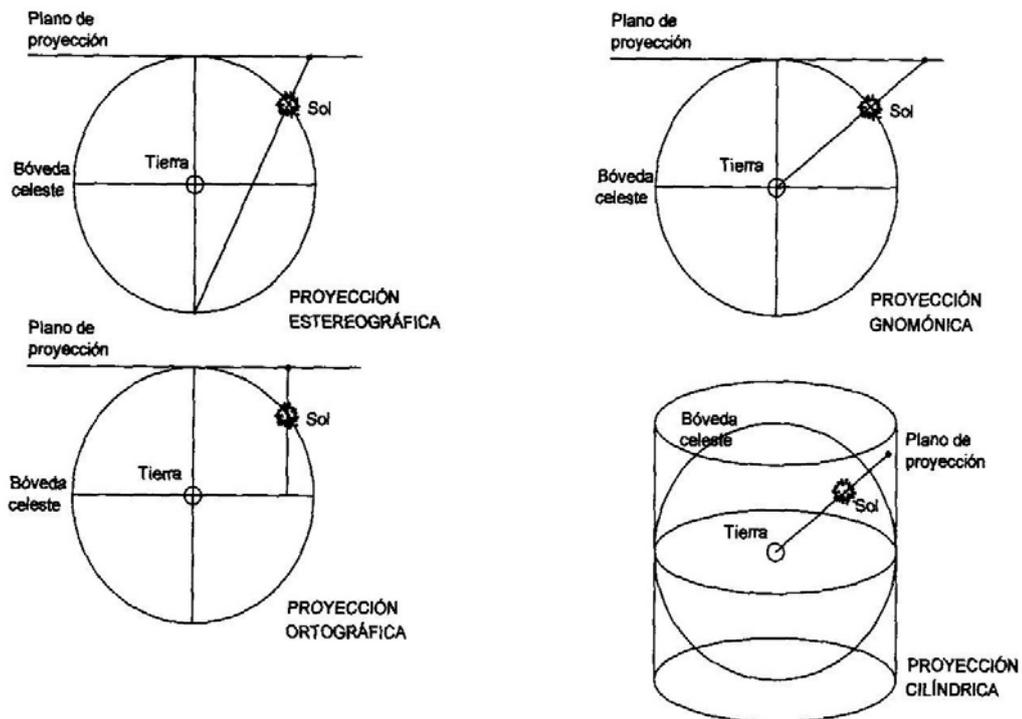
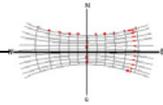


Figura 2.18: Diferentes sistemas de proyección solar para la obtención de cartas.  
Fuente: González, 2004.



### 2.6.7.2 - Cartas Solares Estereográficas, ortográficas, cilíndricas y gnomónicas.

En las cartas estereográficas, según González (2004), se proyecta la posición del Sol sobre un plano tangente a la bóveda celeste en el polo norte celeste (PNC) y paralelo al ecuador celeste, tomando como referencia el polo sur celeste (PSC). Tiene como propiedad que conserva los ángulos y, por tanto, se puede utilizar para dibujar sobre ella sombras.

En la estereográfica, consideramos que el foco de luz está en los antípodas. La superficie que puede representar es mayor que un hemisferio. El rasgo más característico es que la escala aumenta a medida que nos alejamos del centro. En su proyección polar los meridianos son líneas rectas. En la proyección ecuatorial sólo son líneas rectas el ecuador y el meridiano central. Las formas cristalinas se proyectan de manera que se conserven las relaciones angulares entre las caras y que la proyección permita ver claramente la simetría del cristal. Por esto se utiliza la PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA, que consiste en proyectar los elementos sobre una esfera, y proyectar la esfera sobre su círculo ecuatorial (ver figura 2.19). Las caras se proyectan alargando el vector perpendicular a cada cara (el vector del retículo recíproco). De esta forma, las caras se representan por puntos, llamados polos (González, 2004).

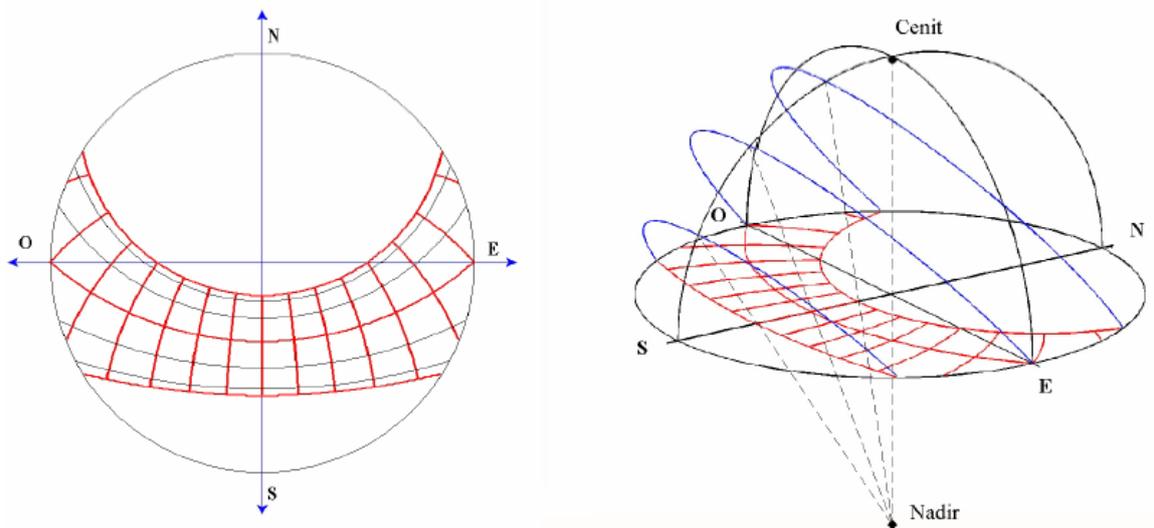


Figura 2.19 Carta solar estereográfica (Ubicación: 41:18:07 N 2:05:31 E).  
Fuente: Beckers, 2006.

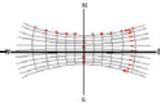
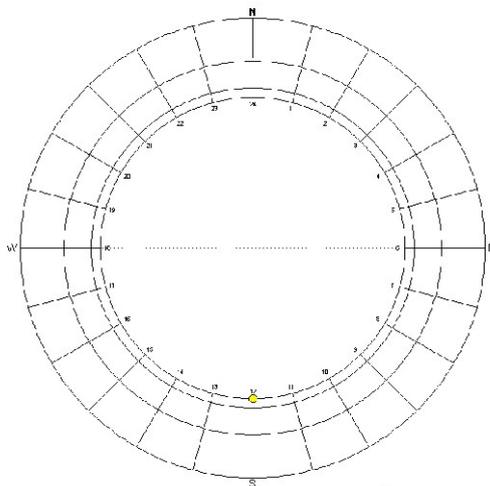
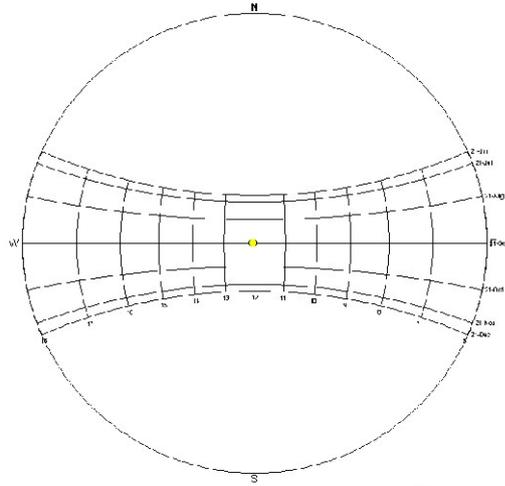


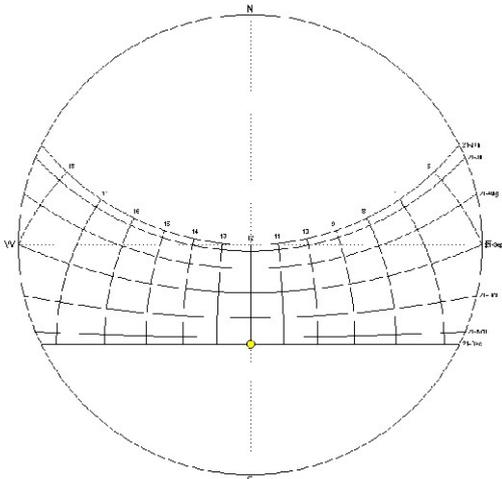
Figura 2.20: Cartas Solares Estereográficas para diferentes latitudes.



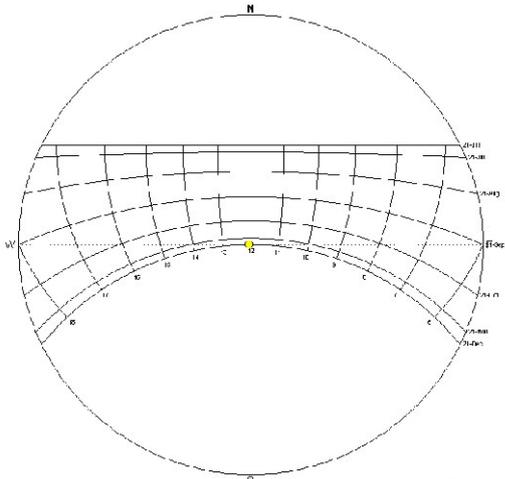
**Polo Norte - 90° N**



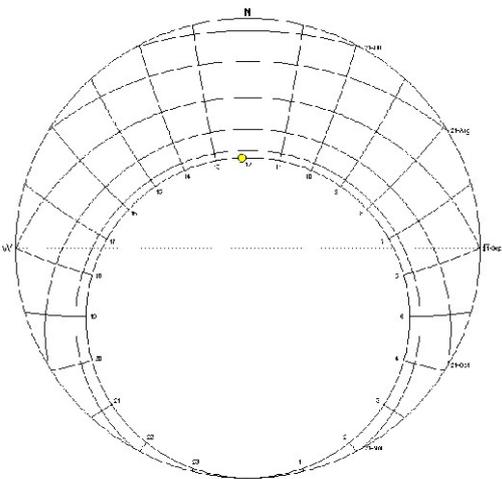
**Ecuador - 0°**



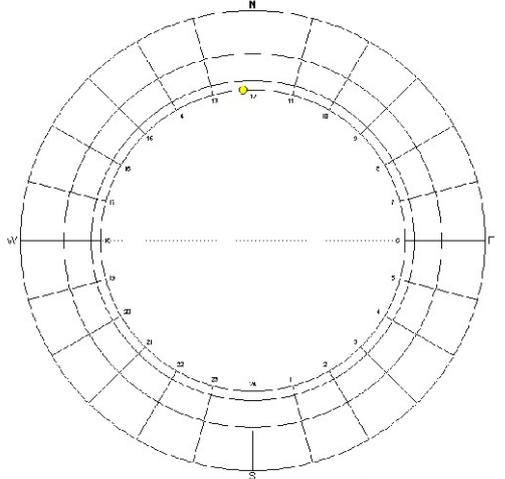
**Trópico de Cáncer - 23.5° N**



**Trópico de Capricornio - 23.5° S**

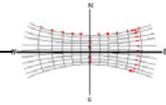


**Circulo Polar Ártico - 66° 30' N**



**Polo Sur - 90° S**

Fuente: Heliodon 2.



En las cartas solares estereográficas, las curvas que recorren el dibujo de izquierda a derecha representan las trayectorias solares según los meses (ver figura 2.20), siendo la curva superior la correspondiente al solsticio de verano, la inferior la del solsticio de invierno y las intermedias las parejas de meses entre esas fechas. Las curvas que cortan a estas trayectorias de arriba abajo representan las horas del día, siendo la vertical del centro la de las 12:00, hacia la derecha las horas de la mañana de una en una y hacia la izquierda las de la tarde. Una vez ubicado el momento del año y del día en la gráfica, los círculos concéntricos proporcionan la altura solar y los radios los acimutes. Las gráficas en la figura 2.21 abajo, son cartas estereográficas de proyecciones solares para diferentes latitudes en la Tierra.

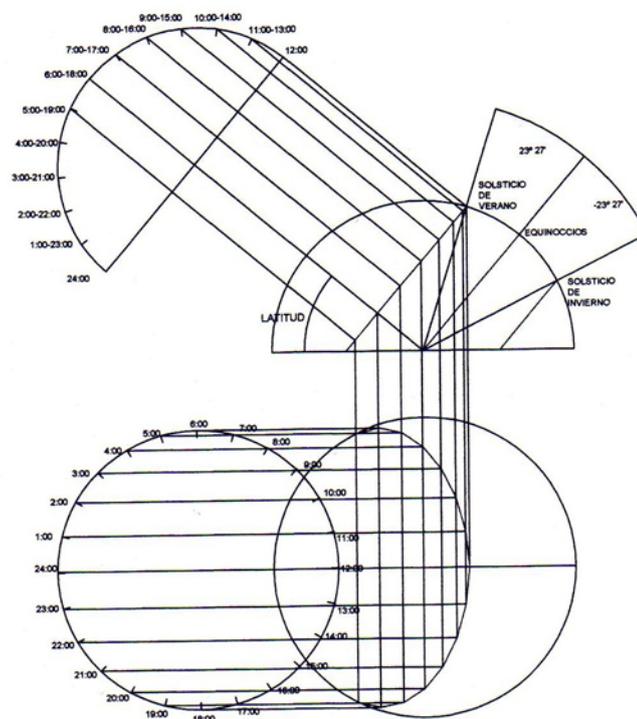
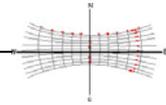


Figura 2.21 Construcción de la carta solar ortográfica de Fisher.  
Fuente: González, 2004.

En las cartas ortográficas u ortogonales se proyecta la posición del Sol perpendicularmente sobre un plano paralelo al ecuador celeste. Tiene como propiedad que mantiene correctamente las formas en la superficie cerca del ecuador pero las falsea si están lejos del ecuador.

Las cartas ortogonales son las más fáciles de reproducir y, aunque no permitan su empleo en el sombreado permiten dibujar la trayectoria solar en cualquier latitud con gran facilidad y representarla en un diedro. La más conocida es la carta de Fisher. Para construir-la hay que dibujar un semicírculo y desde su centro una recta con una inclinación igual a la latitud del lugar. Una perpendicular a esa recta por el centro del



semicírculo dará la trayectoria solar en los equinoccios mostrada en proyección lateral. Para dibujar la trayectoria solar de cualquier otro día del año basta dibujar el ángulo de la declinación del día a partir de la trayectoria del equinoccio, que tiene una declinación de cero, y con los puntos obtenidos trazar paralelas a las trayectorias ya conocida.

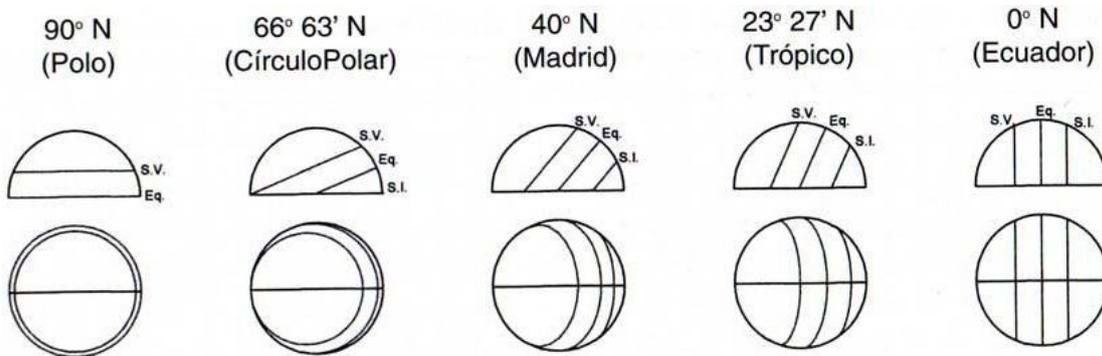
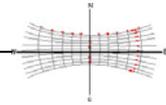


Figura 2.22: Ejemplos de cartas de Fisher para distintas latitudes.  
Fuente: González, 2004.

En la figura 2.22 arriba, se pueden ver varias trayectorias en proyección lateral para diferentes latitudes, destacando, por su singularidad, la que corresponde al ecuador, líneas verticales, y en la que se aprecia que la altura máxima del Sol no se obtiene en ningún solsticio sino en los equinoccios, y la de los polos, que son círculos paralelos al horizonte, uno por arriba del horizonte, seis meses de día, otro por debajo, seis meses de noche, y dos coincidiendo con el horizonte en los equinoccios, crepúsculo perpetuo (González, 2004).

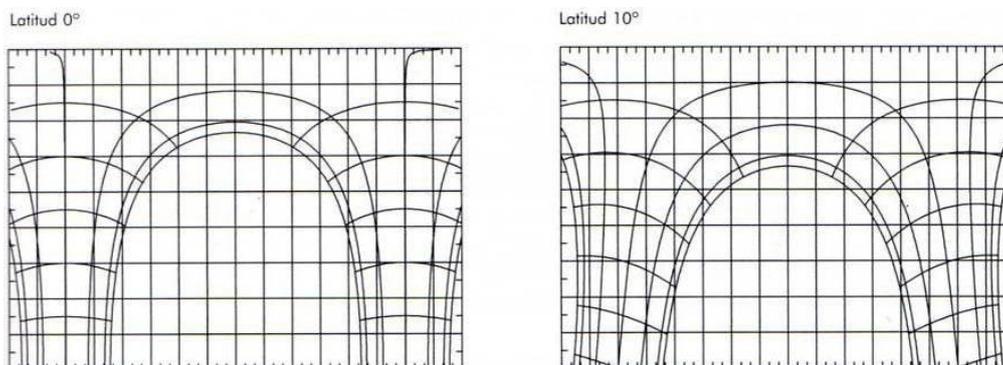
En las cartas gnomónicas se proyecta la posición del Sol sobre un plano tangente a la bóveda celeste en el cenit y paralelo al ecuador celeste y tomando como referencia al centro. Tiene como aplicación la construcción de relojes solares. Ella resulta de colocar el foco de luz en el centro de la Tierra. La escala aumenta rápidamente del centro al exterior. Esta proyección se caracteriza por que toda línea recta es un círculo máximo, y por lo tanto el camino más corto entre dos puntos de la Tierra. Se usa en la navegación aeronáutica para trazar los rumbos verdaderos. Con este sistema no se puede representar un hemisferio completo.



Las cartas cilíndricas, que es la proyección de Mercator que revolucionó a la cartografía, en ella se proyecta el globo terrestre sobre un cilindro. Es una de las más utilizadas aun cuando por lo general en forma modificada, debido a las grandes distorsiones que ofrece en las zonas de latitud elevada, cosa que impide apreciar en sus verdaderas proporciones a las regiones polares. En efecto, se trata de proyectar la esfera celeste sobre el cilindro circular circunscrito a ella, de aristas paralelas al eje x. Después se desarrolla el cilindro para conseguir el mapa plano, pero este desarrollo no es una proyección (Ref. Internet 02.).

En las cartas cilíndricas se proyecta la posición del Sol sobre un plano que rodea a la bóveda celeste tangente a ella a la altura de ecuador celeste y tomando como referencia el centro. Para González (2004), las cartas cilíndricas tienen como inconveniente que en todas aquellas localidades en las que el Sol alcanza el cenit, es decir aquellas con latitudes de menos de  $23^{\circ}27'$ , no se puede dibujar completa la trayectoria solar. En ellas las curvas que recorren el dibujo formando campanas representan las trayectorias solares según los meses, siendo la curva superior la correspondiente al solsticio de verano, la inferior la del solsticio de invierno y las intermedias las parejas de meses entre esas fechas.

Las curvas de esta carta (ver figura 2.23), que cortan a estas trayectorias representan las horas del día, siendo la vertical del centro la de las 12:00, hacia la derecha las horas de la mañana, de una en una, y hacia la izquierda las de la tarde. Una vez ubicado el momento del año y del día en la gráfica, la escala del eje de abscisas proporciona el acimut y las escala de eje de ordenadas la altura solar.



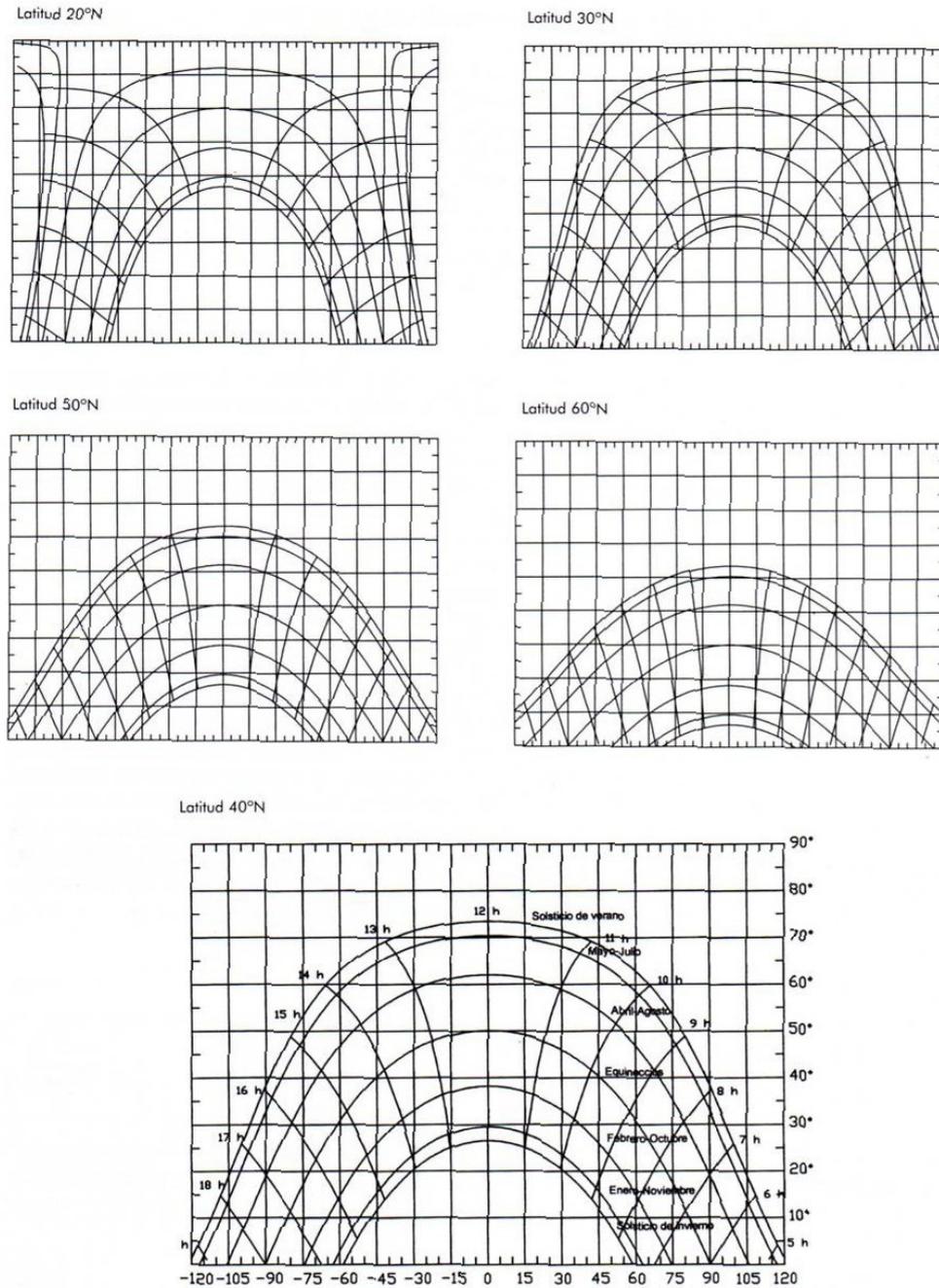
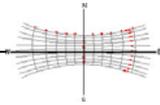
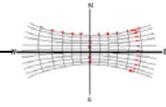


Figura 2.23: Cartas solares cilíndricas para diferentes latitudes.  
Fuente: González, 2004.

Todavía, en nuestro trabajo de Tesina, será utilizado en los estudios posteriores, solamente las proyecciones estereográficas, por la facilidad que tiene en representar las proyecciones de las trayectorias aparentes del Sol en la Tierra.



## 2.7 - EL CLIMA Y LA ARQUITECTURA

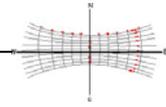
### 2.7.1 - El Clima y la Arquitectura.

A lo largo de la Historia, la relación entre el clima y la arquitectura ha sido siempre íntima, estableciéndose una dependencia de los materiales, las técnicas, los sistemas constructivos y el diseño de los edificios, con el clima del lugar. La arquitectura representa la adecuación perfecta entre el clima, las necesidades humanas y la construcción sostenible, y por ello se podría decir que es la primigenia arquitectura bioclimática (González, 2004).

Para Barros (2003), adecuar la arquitectura al clima de un determinado lugar significa construir espacios que posibiliten al hombre condiciones de confort. Pues, es obligación de la arquitectura disminuir la sensación de desconfort encontrada en los climas, principalmente en los climas más extremos, como el exceso de calor, frío o viento, y también ofrecer ambientes que sean tan comfortable como en los espacios al aire libre en climas amenos. Pero, antes de intentar adaptar la arquitectura, necesitamos primero conocer bien a todos los tipos de clima existentes en el mundo.

El clima de un lugar es la combinación compleja de distintos elementos, parámetros y factores determinantes. De todos ellos, la radiación solar es el factor fundamental, al fin y al cabo el clima viene del griego “klima” que quiere decir “inclinación”, haciendo referencia a la inclinación de los rayos solares. La radiación solar, una vez absorbida por la superficie de la Tierra, calienta el aire a mayor o menor temperatura. Por otro lado, al incidir sobre las superficies de agua las evapora en parte, provocando distintos grados de humedad, nubosidad y pluviometría. Finalmente, debido al calentamiento desigual de la superficie de la Tierra, se producen movimientos desequilibrados de masas de aire, dando lugar a los vientos. En menor medida también influye en la composición atmosférica, provocando reacciones químicas en los gases que componen o contaminan la atmósfera (González, 2004).

El clima de un lugar, que es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera, queda determinado por los denominados factores climáticos. Los factores climáticos, que se pueden resumir en seis, son características inalterables del lugar, propias de su ubicación, que darán lugar a los elementos climáticos más evidentes, como la temperatura, la humedad, la pluviosidad,



la latitud y altitud, la distribución de las tierras y mares, etc. Y para hablar un poco de estos factores, separamos los más importantes, según González (2004) y Barros (2003):

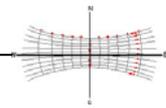
- **La latitud del lugar:** es por lo tanto su ubicación con relación a la posición aparente del Sol (ver figura 2.13, parte 2.6.4). Las latitudes bajas corresponden a zonas de la Tierra donde los rayos solares inciden de una forma muy uniforme y muy perpendicular en cualquier época del año. Las latitudes medias tienen claramente diferenciadas las épocas de verano, en las que el día dura mucho y los rayos inciden con suficiente inclinación como para provocar altas temperaturas. Finalmente, en las latitudes altas, a partir del círculo polar, hay días, incluso meses, en los que no llega a amanecer, aunque, por el contrario, en verano no llega a anochecer, lo que no representa gran cantidad de radiación solar dado que los rayos solares inciden con un ángulo muy bajo.

La latitud también señala la posición del lugar con relación a la circulación general de la atmósfera. La circulación general de atmósfera es el movimiento generalizado y estable a nivel global de las masas de aire que rodean la Tierra.

- **La temperatura de la superficie del mar:** la temperatura superficial, ya sea del agua o de la tierra es la que provoca la temperatura del aire una vez que se ponen en contacto. Sobre la tierra, el calentamiento es siempre más elevado que sobre el mar, donde en general la temperatura suele ser menor y más estable. Por algunas circunstancias, ciertas zonas de la tierra tienen masas marinas con temperaturas mucho más altas o bajas que el resto. Esto da lugar a microclimas singulares en su entorno.

Otra singularidad en el clima provocada por la temperatura del mar es el que se da en la costa suramericana del Pacífico, donde aparece el efecto del Niño.

- **La altitud sobre el nivel del mar:** la altitud es otro de los factores que tiene influencia sobre la temperatura y el clima del lugar. el gradiente vertical de la temperatura de la atmósfera puede ser de varios grados por metro, debido al alejamiento del elemento que lo tiente que calentar, que es el suelo. De igual modo, al aumentar la altitud, la atmósfera se vuelve más nítida, por lo que el calentamiento directo del aire que se produce a través de sus partículas en suspensión es menor. Sin embargo, por el contrario, el ser menor la capa de aire atmosférico, aumenta el porcentaje de radiación directa. Como resultado de la combinación de estos efectos, se puede evaluar que la temperatura del aire próxima al terreno, por término medio, sufre una disminución de medio grado por cada cien metros de aumento en la altitud sobre el nivel del mar, si el aire está saturado, y de hasta un grado si está seco.



- **La naturaleza de la superficie de la Tierra:** El terreno, su color, composición y estructura, influye en el calentamiento de la tierra. El hecho de tratarse de superficies de cultivo, bosques y zonas arboladas o superficies artificiales de asfalto o edificadas, provoca fenómenos de calentamiento distintos. Si las superficies son inorgánicas, ya estén edificadas o sea la tierra expuesta, el calentamiento y enfriamiento será intenso, la absorción del agua de lluvias será lenta, y las escorrentías superficiales, en el caso de tierra, irán alterando lenta pero inexorablemente su constitución. La diferencia de colar de estas superficies también influirá en su mayor o menor calentamiento.

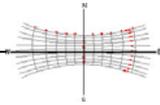
En las zonas cubiertas de vegetación, debido a la capacidad de la vegetación para mantener estable su temperatura, las variaciones día y noche serán mucho menores, se producirá una absorción correcta del agua de lluvia para su acumulación en los acuíferos subterráneos y habrá un equilibrio hídrico permanente.

- **Propiedades físicas de la atmósfera:** a este grupo pertenecen la temperatura del aire, la humedad, la presión atmosférica, la radiación solar y el viento. Todos estos datos se determinan por sus valores instantáneos, agrupados en periodos de tiempo más o menos amplios. Es habitual, aunque insuficiente, contar sólo con los valores máximos y mínimos de cada día, y con ellos obtener el valor medio como promedio de los anteriores. Con estos datos diarios se establece el modelo de día tipo mensual con sus valores, igualmente promedio.

Algunos de los datos exigen un tratamiento especial. Por ejemplo, el viento es preciso estudiarlo analizando, tanto su velocidad como su dirección, y estableciendo frecuencias de vientos según la velocidad y la dirección para diferentes horas del día. Y para la radiación solar, hay que considerar los valores de las irradiancias recibidas por diferentes superficies, horizontal, vertical o inclinada, y con diferentes orientaciones.

- **Fenómenos meteorológicos:** son las precipitaciones, donde se incluye la cantidad y duración de lluvia o nieve, las tormentas, las nubes y las nieblas. El índice meteorológico que permite cuantificar la existencia o ausencia de nubes es el factor o índice de nubosidad, o fracción de la bóveda celeste cubierta por las nubes. Si el promedio de nubosidad para un día es igual o inferior a 0,2, se considera un día despejado; si es igual o superior a 0,8 se considera un día cubierto, y si está comprendido entre 0,2 y 0,8 se considera un día nublado.

- **Punto de orvallo:** la Humedad relativa cambia con la temperatura del aire, disminuyendo con el aumento de esta. Cuando el aire conteniendo una cierta cantidad de agua es enfriado, su capacidad de retener agua es reducida, aumentando la humedad



relativa hasta quedar saturado, con humedad 100%. El momento en que la temperatura del aire está saturada se llama *Punto de Orvallo*.

- **Los vientos:** a nivel del globo terrestre, el determinante principal de las direcciones y características de los vientos es la distribución estacional de las presiones atmosféricas. Los cambios de las presiones atmosféricas pueden ser explicados, entre otros factores, por el calentamiento y enfriamiento de las tierras y mares, por el gradiente de temperatura en el globo y por el movimiento de rotación de la Tierra.

Sobre cada hemisferio existen cinturones de alta y baja presión atmosférica, permanentes o cíclicos. El cinturón ecuatorial es la principal región de baja presión, y se mantiene así durante todo el año. En las latitudes tropicales de ambos hemisferios, hay cinturones de alta presión que cambian en el verano en el sentido de los polos y en el invierno para el Ecuador. Las regiones polares son regiones de alta presión, permanentes, pero menores que los cinturones subtropicales. Como resultado de todo, existen tres cinturones globales de vientos en cada hemisferio: los alisios, los de oeste y los polares (ver figura 2.24 abajo).

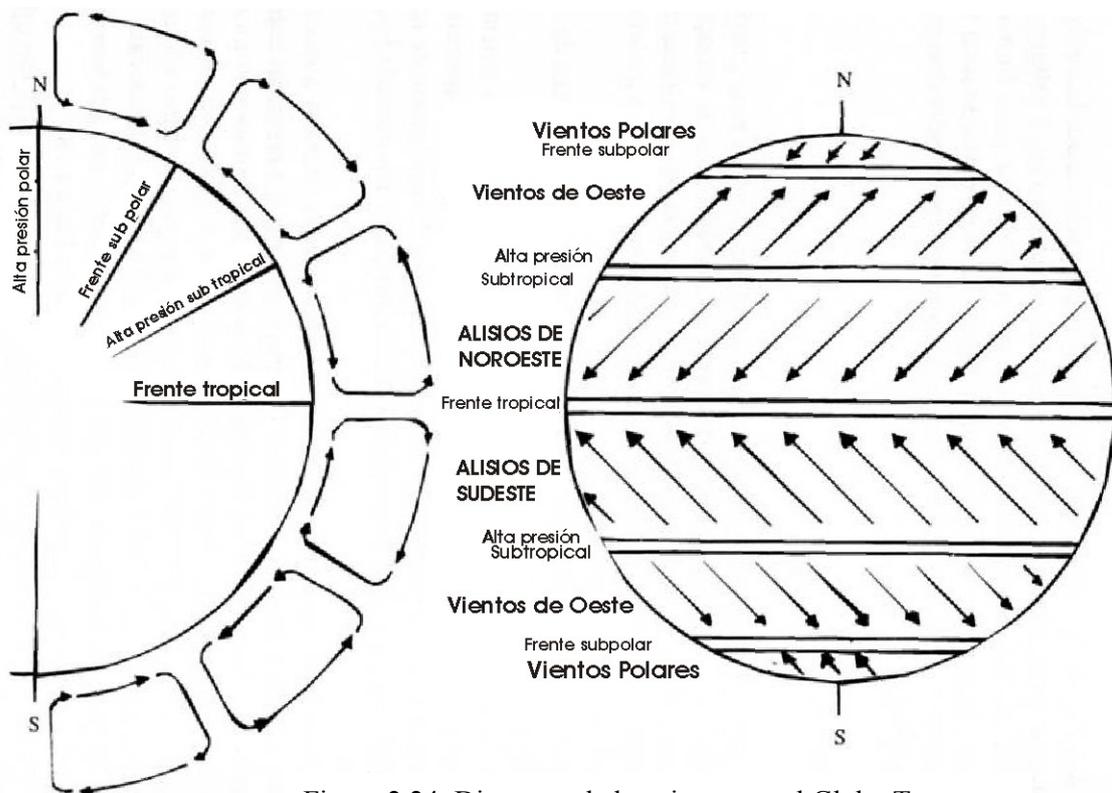
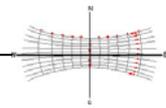


Figura 2.24: Diagrama de los vientos en el Globo Terrestre.  
Fuente: Barros, de Koenigsberger et alii, 2003.



### 2.7.2 - Clasificación climática mundial según Köppen.

Entre los varios sistemas de clasificación de climas, los más conocidos son los de Köppen, Atkinsons, Thornthwaite, Mahoney, entre otros. En este trabajo, hemos elegido hablar solamente de la clasificación de Köppen, pues es la clasificación climática más conocida y de mayor aplicación por los geógrafos y arquitectos. Según Larocca (Ref. Internet 05.), su punto de partida consiste en que la vegetación natural constituye un indicador del clima, y algunas de sus categorías se apoyan en los límites climáticos de ciertas formas de vegetales. Los climas son definidos por los valores medios anuales y mensuales de temperatura y precipitación. Con estos criterios quedan definidos cinco grandes grupos, reconocidos por las letras mayúsculas:

A - Clima tropical lluvioso. Todos los meses la temperatura media es superior a 18°C. No existe estación invernal y las lluvias son abundantes.

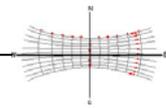
B - Climas secos. La evaporación es superior a la precipitación. No hay excedente hídrico.

C - Climas templados y húmedos. El mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre 18°C y -3°C, y la media del mes más cálido supera los 10°C.

D - Climas templados de invierno frío. La temperatura media del mes más frío es inferior a -3°C y la del mes más cálido está por encima de 10°C.

E - Climas polares. No tienen estación cálida y el promedio mensual de las temperaturas es siempre inferior a 10°C. Cuando el mes más cálido oscila entre 0 y 10°C de temperatura media Köppen diferencia el grupo ET (Clima de tundra) y en el caso de que ningún mes supere los 0°C de temperatura media el grupo EF.

El tipo B designa los climas en los cuales el factor determinante de la vegetación es la sequedad (más que las bajas temperaturas). La aridez no es un asunto sólo de precipitaciones sino que está definido por la relación entre las precipitaciones que penetran en el suelo en el que las plantas crecen y la evaporación que hace que se pierda esa humedad. Mientras que la evaporación es difícil de evaluar y no es una medida convencional en las estaciones meteorológicas, Köppen se vio forzado a sustituir la fórmula que identifica aridez en términos de índice de temperatura-precipitaciones. Los climas secos se subdividen a su vez en áridos (BW) y semiáridos (BS), y cada uno puede diferenciarse aún más añadiéndole un tercer código, h para cálido y k para frío.



Los otros cuatro grandes tipos climáticos, tienen como factor determinante a la temperatura. Los climas del tipo E (los más fríos) son convencionalmente separados en tundra (ET) e Glacial (EF).

Quedan definidos entonces los siguientes tipos de Clima (ver figura 29):

**Af - Ecuatorial:** Se da en las zonas de calmas ecuatoriales, entre 5° S y 10° N. La temperatura todos los meses está entre 20 y 27°C. La amplitud térmica anual es inferior a los 3°. La humedad relativa es muy alta. Más de 2000 mm anuales, con un máximo en los equinoccios y un mínimo en los solsticios.

**Aw - Tropical:** Se da entre la zona ecuatorial y los desiertos cálidos (entre 10 y 25° de latitud Norte y Sur). Estación seca invernal que aumenta a medida que nos alejamos del Ecuador. Precipitación mínima superior a 100 mm.

**Am – Monzónico:** Se da en el sudeste asiático. Clima más húmedo del planeta, aunque tiene estación seca invernal. Contraste estacional muy fuerte. Verano cálido y húmedo e invierno seco. Precipitación mínima entre 60 y 100 mm.

**BSh - Estepas Cálidas (semiárido):** En los límites de los grandes desiertos cálidos. Sus precipitaciones son escasas e irregulares, en forma de chaparrones. Las temperaturas son elevadas durante todo el año. Gran amplitud térmica diaria.

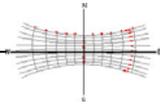
**BSk - Estepas frías (semiáridos):** En el interior de los continentes más grandes. Sus precipitaciones son muy escasas/irregulares, en forma de chaparrones. Las temperaturas similares a las continentales. Inviernos fríos y fuerte amplitud térmica anual.

**BWh - Desiertos cálidos (árido):** Desiertos sobre áreas interiores entre los 15° y los 35° de latitud. Aridez extrema. Precipitaciones escasas/irregulares, sequedad extrema del aire. Humedad relativa baja. Excepto en Europa, se presentan en todos los continentes.

**BWk - Desiertos fríos (árido):** inviernos fríos y oscilación térmica anual muy elevada. Ligados a factores geográficos: continentalidad, abrigo orográfico, altitud. Son degradaciones del clima continental, mediterráneo o de vertientes a sotavento.

**Cf - Clima oceánico (Templado húmedo):** Se extiende entre los 40 y 60° de latitud norte, en la zona de influencia de las borrascas ciclónicas. Carecen de estación seca propiamente dicha, aunque tienen un mínimo estival. Las estaciones vienen marcadas por las temperaturas. Hacia el interior de los continentes y hacia el N y el S.

**Cw - Clima Chino (Templado húmedo):** Clima subtropical de las fachadas orientales de los continentes en la zona templada. Clima de transición entre el tropical lluvioso y el templado continental. La influencia continental se manifiesta en las olas de frío



invernales. Su verano es cálido y húmedo de tipo tropical, el invierno suave y lluvioso, de tipo mediterráneo.

**Cs - Clima mediterráneo** (Templado húmedo de verano seco): Clima subtropical de la zona templada, entre los 30 y los 45° de latitud norte y sur. Caracterizado por una marcada sequía estival. Se encuentra en la zona de transición entre los climas húmedos y secos. La sequía estival está motivada por la permanencia del anticiclón subtropical.

**Df - Continental húmedo:** Ocupa la mayor parte de la zona templada propiamente dicha. Climas muy contrastados. A un invierno muy frío y seco se opone un verano cálido y lluvioso. La oscilación térmica anual es muy elevada. En los bordes del clima continental las precipitaciones aunque no muy abundantes son regulares.

**Dw - Continental suave:** A diferencia del anterior, tiene una estación seca en invierno.

**ET - Tundra:** Zona de altas presiones polares entre el polo y la isoterma de los 10°C estivales. Frío intenso y constante, ningún mes supera los 10°C debido a la oblicuidad de los rayos solares. Precipitaciones escasas y disminuyendo a medida que nos acercamos a los polos. En forma de nieve. Temperatura más caliente superior a 0° C.

**EF – Glacial:** Zona de altas presiones polares entre el polo y la isoterma de los 10°C estivales. Frío intenso y constante, ningún mes supera los 10°C debido a la oblicuidad de los rayos solares. Precipitaciones escasas y disminuyendo a medida que nos acercamos a los polos. En forma de nieve. Temperatura más caliente inferior a 0° C.

**H - De alta montaña:** En las montañas la temperatura disminuye con la altitud, mientras que aumentan las precipitaciones, al menos hasta un cierto nivel altimétrico.

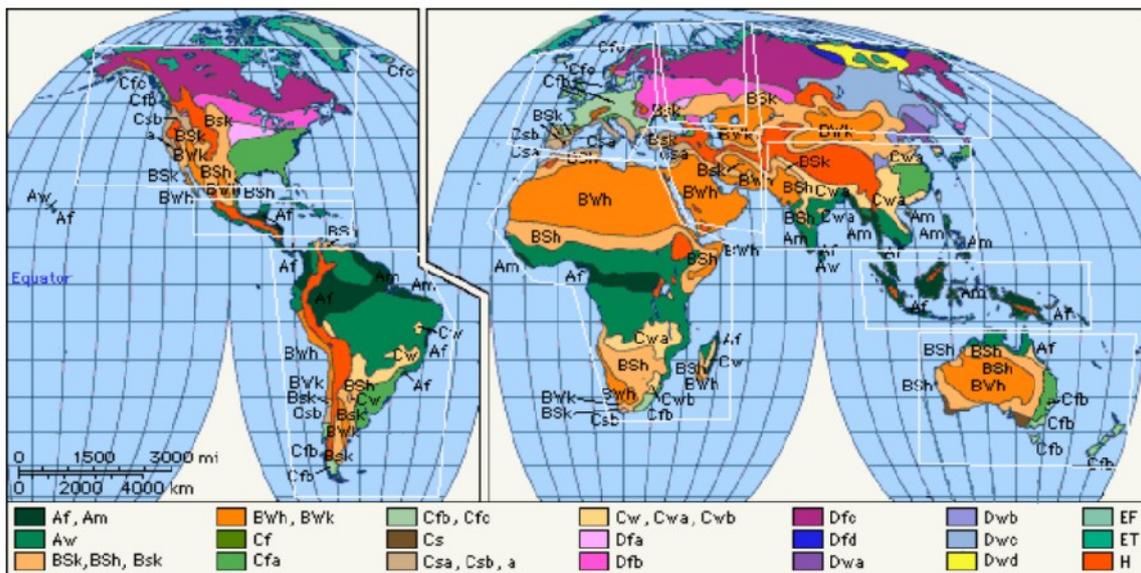
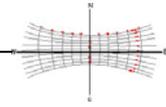


Figura 2.25: Clasificación climática mundial según Köppen.

Fuente: Ref. Internet 05.



Según Serra (2001), para hacer un estudio de la arquitectura en relación al clima debemos, antes que nada, aclarar cómo podemos clasificar los diferentes tipos de climas presentes en nuestro planeta (ver clasificación climática mundial, figura 2.25) , partiendo de las características más influyentes de los mismos sobre el análisis ambiental. Si se analiza globalmente el tipo de clima, el parámetro más representativo es el de las temperaturas, con sus valores medios y sus variaciones, siendo estas últimas un indicador indirecto de la humedad del clima (más variación supone más continentalidad y, por lo tanto, menos humedad). Y los factores más directamente influyentes serán: para la temperatura media la latitud; para la oscilación de temperatura, la continentalidad. Pues, cuanto mayor latitud más fría y cuanto mayor continentalidad, mayores oscilaciones de las temperaturas y menos humedad.

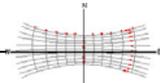
### **2.7.3 - Efecto del clima en el hombre**

Después de conocer los diferentes tipos de climas existentes, ahora vamos a ver un poco los efectos del clima en el hombre, pues, según Boas (1982), “...en el estudio del sistema en el cual el organismo humana y el medio ambiente atmosférico integran, buscando satisfacer las exigencias y necesidades fisiológicas del hombre”. Y por lo tanto, si la arquitectura logra ofrecer todo eso, el ser humano tendrá buenas condiciones de confort para vivir mejor.

Los estudios de condiciones físico-ambientales que satisfagan las exigencias humanas, en cuanto a un ambiente atmosférico saludable y confortable, son hecho hoy con ayuda de la Biometeorología o Blioclimatología Humana, que es la parte de la Ecología que estudia las interacciones de los factores químicos y físicos del ambiente atmosférico y el hombre (Boas, 1982).

El efecto del medioambiente incide directamente tanto en la energía como en la salud del hombre. Es muy común la experiencia de que ciertos días las condiciones atmosféricas estimulan y vigorizan nuestras actividades mientras que otros deprimen los esfuerzos físicos y mentales. También es muy conocido que en las zonas climáticas donde prevalece un calor o frío excesivos, el esfuerzo biológico de adaptación a dichas condiciones disminuye nuestra energía (Olgay, 1963).

La medida en que los factores climáticos afectan al ser humano es una tema que se ha estudiado de muchas formas, pues es el enfoque bioclimático en arquitectura, a través del cual busca asociar biología, climatología, sociología y arquitectura.



Sin embargo, para Nascimento (1995), el equilibrio térmico del hombre es función de su perfecta interacción con el medio ambiente físico, todavía, la sensación de confort térmico viene de las múltiples variables climáticas y de las propias condiciones del hombre. Y para ver mejor como funciona todo esto, hay que verificar los modelos biometeorológico, o índices de confort, que fueron desarrollados, combinado en ecuaciones y diagramas datos biológicos del hombre y datos meteorológicos, buscando definir qué variables del clima reaccionan con el organismo humano y afectan su sensación de confort térmico, bienestar y salud (UNB, 1986).

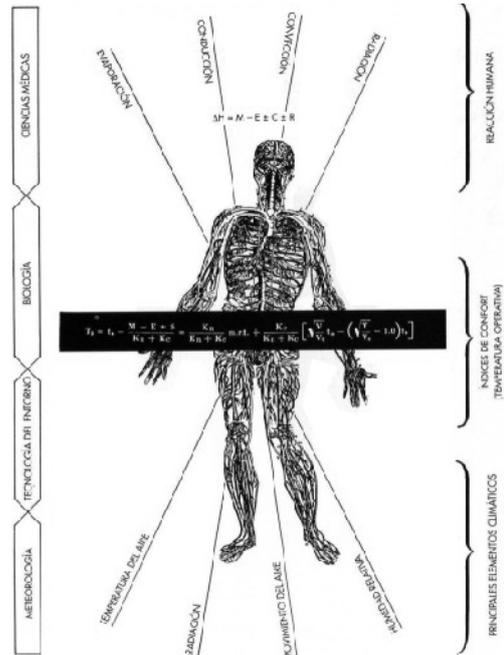
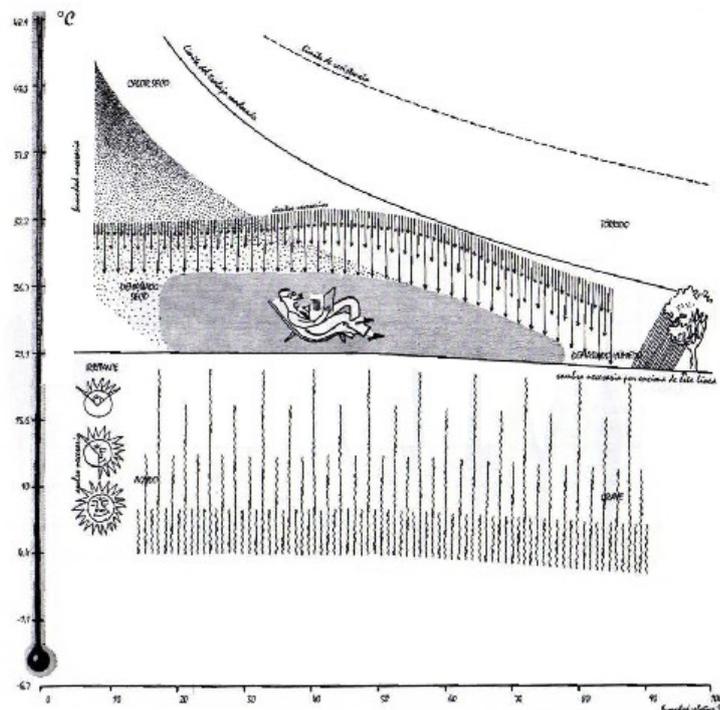


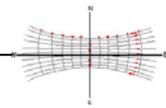
Fig. 2.26: Relación entre el cuerpo humano y los elementos climáticos.  
Fuente: Olgay, 1963.

Entre los estudios hechos sobre ese tema, los más importantes, según Nascimento (1995), son:

**2.7.4 - La Carta Bioclimática de Olgay (1957):** que mezcla temperatura del aire y humedad, definiendo zonas de confort con base a estudios biometeorológicos, mostrando como estas zonas pueden modificarse ante de la ventilación y de la radiación térmica (ver figura 2.27).

Figura 2.27: Índice esquemático del bioclima. Indicando la zona de confort y criterios de corrección en caso de desconfort.  
Fuente: Olgay, 1963.





**2.7.5 - Carta Bioclimática de Givoni,** desarrollada en función de su índice de tensión térmica mezclado a temperatura del aire seco, temperatura humedad y ventilación, y como en la de Olgyay definiendo zonas de confort térmico. Por no considerar la radiación, la carta de Givonni es más para evaluar ambientes a la sombra.

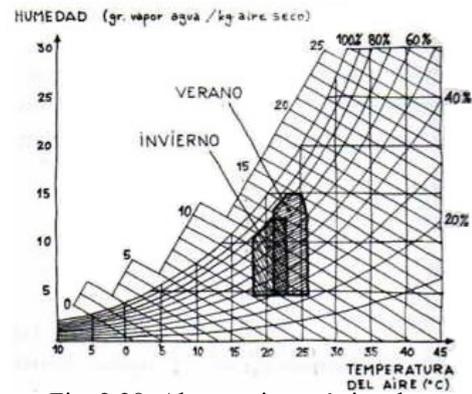


Fig. 2.28: Abaco psicrométrico de Givoni (Fuente: Serra, 2001).

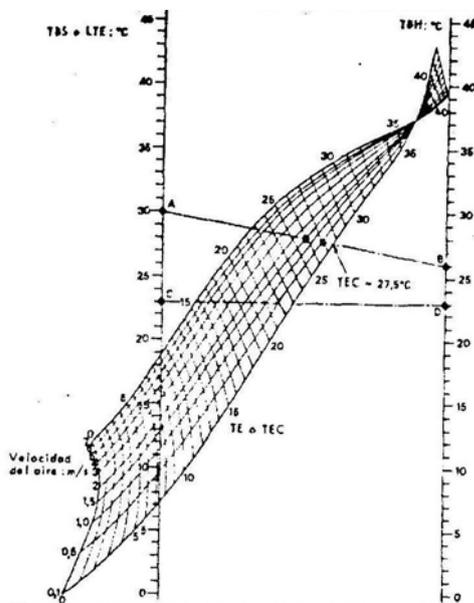


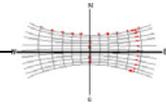
Fig. 2.29: Monograma de temperatura efectiva para personas normalmente vestidas en trabajo leve. Fuente: Nascimento, 1995.

**2.7.6 - Diagrama de Temperatura Efectiva de Houghten y Yaglou (1923)**

con base en condiciones de confort térmico definidas en la carta psicrométrica, combina temperatura, humedad y movimiento del aire. Después mejora para el diagrama de Temperatura Efectiva. Corregida, incluyendo el efecto de la radiación, teniendo, todavía, todos los elementos del clima relacionados con la percepción térmica, que son la temperatura, la humedad, el viento y la radiación media.

Todavía, considerando las regiones y el pueblo por quienes han sido desarrollados, sería conveniente la realización de estudios para las

regiones tropicales para que haga una consideración, no solamente las variables del medio, pero también las variables del individuo adaptado a su región, estas con influencia de los usos y costumbres de la población (Nascimento, 1995).



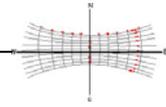
## 2.8 – LA ARQUITECTURA Y EL SOL

En el mundo de la arquitectura, el aprovechamiento de las condiciones climáticas y de los recursos naturales existentes, en especial la energía solar, para minimizar el consumo energético de un edificio y ofrecer confort a sus habitantes, es y siempre fue muy importante. Ahora, todo eso se conoce como “Arquitectura Bioclimática”, o “arquitectura solar pasiva”, que se refiere a las aplicaciones en que la energía solar se capta, se guarda y se distribuye de forma directa y homogénea, es decir, sin mediación de elementos mecánicos. Se trata de diseñar y aportar soluciones constructivas, que permitan que un edificio determinado capte o rechace energía solar, según la época del año, a fin de regularla de acuerdo a las necesidades del confort humano, de la calefacción, de la refrigeración o de la luz. En estos casos, el aprovechamiento o la protección de la radiación que llega al edificio se basa en la optimización de la orientación, la definición de volúmenes, las obstrucciones y aberturas de los edificios, la selección de materiales apropiados, y la utilización de elementos de diseño específicos y adecuados (Nascimento, 1995).

En la década de los 50, Victor y Aladar Olgyay han sido unos de los primeros en preocuparse por las relaciones que mantiene un edificio con el medio exterior, y en crear unos instrumentos teóricos destinados a una concepción arquitectónica que optimice las radiaciones y los intercambios térmicos; sus dos principales obras son: *Design With Climate* y *Solar Control and Shading Devices*, y parece que son los creadores del concepto Bioclimático. Los hermanos Olgyay han sido cronológicamente los primeros en profundizar sobre la noción de confort térmico y en intentar establecer relaciones con los ambientes interiores de los edificios.

Actualmente, según Serra (2001), tenemos la idea de que cualquier edificio diseñado puede resolver sus problemas de control ambiental mediante el uso de sistemas energéticos, lo cual hace que habitualmente se prescinda del clima donde está situado. Los constructores primitivos y los de las culturas actuales con pocos recursos técnicos no podían ni pueden tomar esta actitud, por lo que sus edificios mantienen una estrecha relación con el clima que los rodea. Y como sabemos que el clima está directamente relacionado con el Sol, percibimos que para hacer la llamada “buena arquitectura” es necesario conocer bien el sol, su movimiento y sus energías.

Para hacer un estudio de la arquitectura en relación al clima, antes que nada, es necesario aclarar cómo podemos clasificar los diferentes tipos de clima presentes en

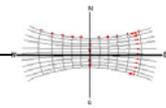


nuestro planeta (ver clasificación de clima, figura 2.25), partiendo de las características más influyentes de los mismos sobre el análisis ambiental. Si se analiza globalmente el tipo de clima (en función de la incidencia solar), el parámetro más representativo es el de las temperaturas, con sus valores medios y sus variaciones, siendo estas últimas un indicador indirecto de la humedad del clima, pues más variación supone más continentalidad, por lo tanto, menos humedad (Serra, 2001).

Asociar los datos climáticos a las formas arquitectónicas y a los materiales constructivos es relativamente sencillo para algunos tipos de clima. Por ejemplo, las diferencias de temperatura entre el día y la noche, usualmente llamadas “variación diurna” (V.D.) nos informan sobre aspectos específicos que rodean el edificio. Una V.D. grande indica tiempo seco y cielo claro; una V.D. pequeña, una estación húmeda, o por lo menos un cielo parcialmente cubierto.

Para que un proyecto de arquitectura tenga un buen estudio solar, una de las cosas más importante es el análisis de la orientación, en función de la radiación térmica asociada a latitud del lugar donde se ubica el edificio, pues el sentido del edificio influye mucho en la cantidad de calor recibida. Se verifica que, a medida que nos acerquemos al Ecuador, la orientación en función de la radiación solar va perdiendo importancia, siendo un factor secundario en las medidas de racionalización del uso de la energía. Ya la orientación del edificio en función de los vientos dominantes favorables es fundamental para la obtención de confort con medios naturales, principalmente en los climas cálidos-húmedos, donde es necesario quitar la humedad.

Juntamente con la orientación, la forma del edificio también influye en la carga térmica recibida por él. Por ejemplo, en un día de cielo claro, cuando el sol está cerca del zenit; o sea, en las latitudes entre 30°N y 30°S, al mediodía en la estación apropiada, la incidencia de radiación solar en la superficie horizontal tendrá un valor de 870 Kcal/m<sup>2</sup>h, proporcionando demasiado desconfort para el ser humano. Aun sobre la forma, Olgyay en la década de los 50 empleó, para una mejor adaptación de la arquitectura, la llamada “*forma óptima*” y también el criterio de “*flexibilidad*”, con objeto de permitir un cierto grado de libertad en las proporciones de la planta y protegerse de los impactos caloríficos que llegan de la radiación directa y/o reflejada.



El Sol es una fuente de luz primaria, de gran intensidad, puntual y dinámica. Solamente la mitad de su energía radiante recibida por la superficie de la tierra es visible. Él es la principal fuente de luz durante el día y da tanto iluminación directa como difusa a través de la bóveda celeste, siendo más o menos clara, según sus características.

Llamamos luz natural la luz resultante del Sol, sea en forma directa, a través de los rayos solares, o indirecta, debida a la reflexión de la atmósfera con o sin nubes (luz difusa), de la vegetación, de los edificios u otros objetos existentes en la superficie de la tierra (luz reflejada). Formando, todavía, la iluminación diurna o natural, característica de cada región y fundamental para su aplicación en la arquitectura interna.

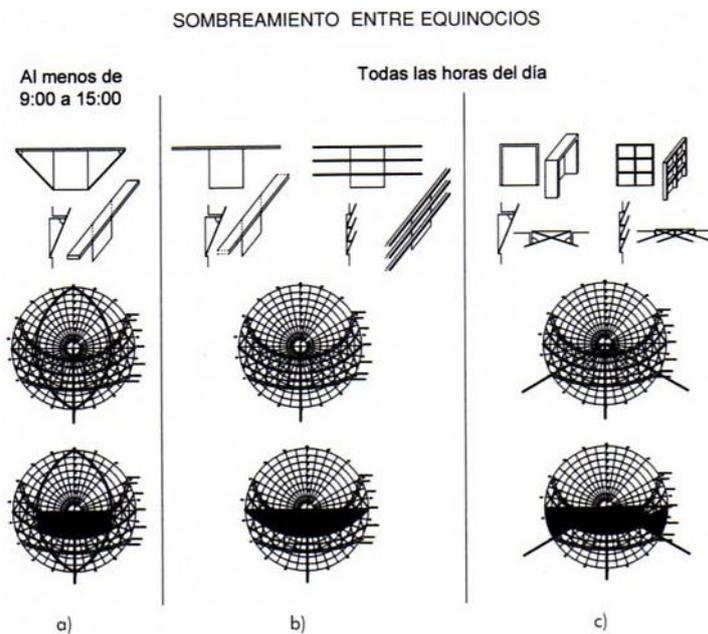
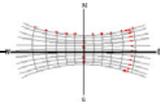


Fig. 2.30: Ejemplo de estudios de proyecciones de sombras en diferentes formas de entrada de radiación en los edificios. Fuente: González, 2004.

El proyecto climático no está limitado a los espacios interiores, pues llega siempre al exterior, que queda alrededor. Esto tiene especial importancia en los países en que los habitantes están acostumbrados a pasar gran parte de su tiempo al aire libre. Los habitantes de climas fríos viven en sus viviendas y los de climas calidos viven alrededor de sus casas. Eso evidencia una

diferencia en el comportamiento del uso, establecido por el tipo de clima existente. Sin embargo, para los que viven en los trópicos, es normal cocinar, comer, trabajar, jugar, y quedar fuera de sus viviendas, y buscar la protección de las mismas solamente cuando se siente la necesidad de intimidad o cuando lo requieren las condiciones atmosféricas.

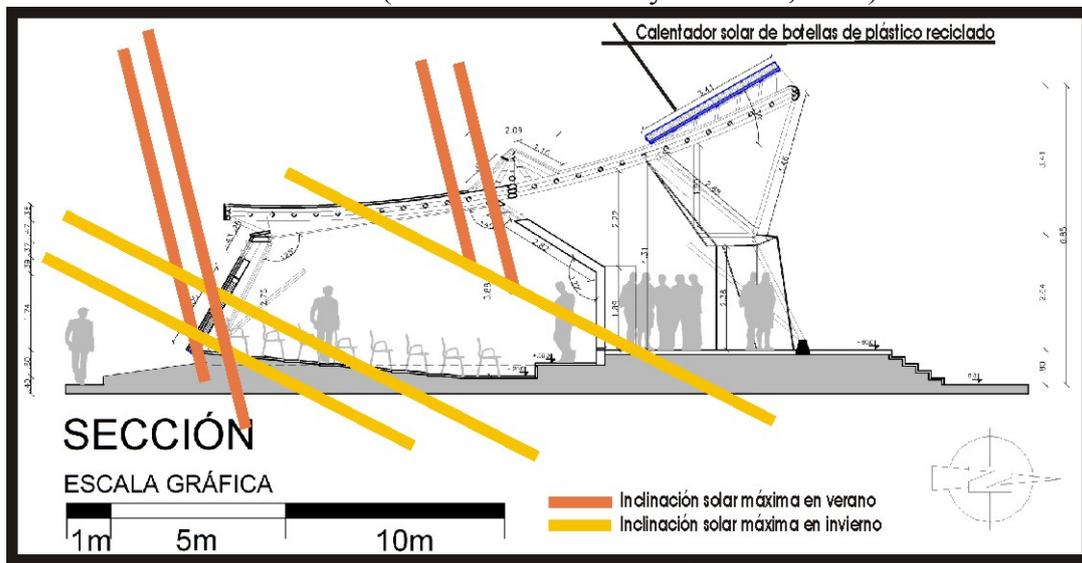
En los climas calido-húmedos, según Mascaró (1988), los habitantes pasan al aire libre una parte de su vida aun mayor que los de las regiones áridas, porque allí eso es agradable cuando hay brisa, sombra y protección contra la lluvia. La diferencia con el clima cálido-seco es que ahora no encontramos pared que limiten el espacio de la casa, y, cuando ellas existen, deben ser leves para permitir la entrada del viento.



Todo lo dicho hasta aquí puede ser bien percibido en las arquitecturas espontáneas de cada región. La comprensión de las determinantes climáticas y el buen uso de los recursos materiales disponibles, los criterios económicos aplicados en la edificación, la sensibilidad para asociar causa y efecto, interpretado según las determinantes culturales de cada pueblo, son las características de la arquitectura espontánea (autóctona) típica de cada región (Mascaró, 1988).

En general, sabemos que el Sol es muy importante para nuestra vida, y la arquitectura tiene que estar lista para aprovechar bien los aspectos positivos del Sol (su energía) y también saber protegerse de sus aspectos negativos, principalmente la incidencia solar directa y el calor que genera. Incluso las ciudades (espacio urbano), donde la presencia de muchas construcciones y equipos generadores de mucha energía, produce que se las puede considerar unas “Isla de Calor”, básicamente son generadas en función de modificaciones en el suelo urbano, ocasionando gran producción de calor y desconfort para sus habitantes. Pues la cantidad de radiación recibida por las edificaciones situadas en una ciudad va a cambiar con la relación ciudad, ciudadano y clima existente.

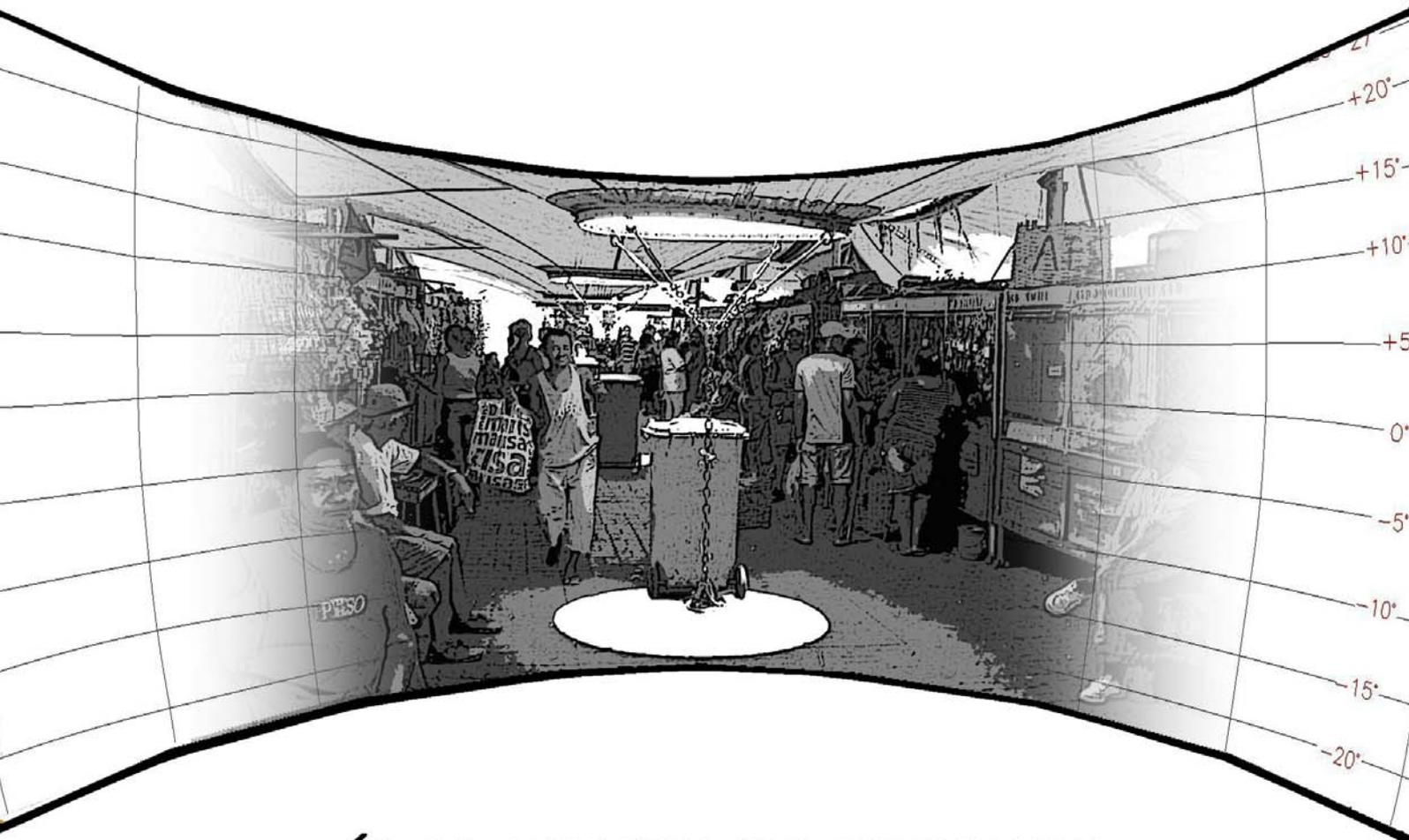
Fig. 2.31: ejemplo de estudios de incidencia solar en edificios en verano e invierno para latitud 41 N (fuente: Bartolomeu y Valencia, 2006).



Sin embargo, percibimos que cada día necesitamos ampliar más nuestros conocimientos sobre el clima y principalmente sobre el Sol, pues hablando de arquitectura, es necesario ofrecer mejores condiciones de confort en el interior y también el en exterior de las edificaciones, para que las personas puedan vivir mejor.

“ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN/BRASIL”

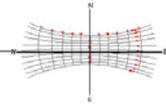
## CAPÍTULO 3



### ÁREA OBJETO DE ESTUDIOS: BELÉN/BRASIL

ADAILSON OLIVEIRA BARTOLOMEU  
BARCELONA 2007

TESINA DEL MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL - UPC/ESPAÑA



## CAPÍTULO 3

### ÁREA OBJETO DE ESTUDIOS: BELÉN DEL PARÁ – BRASIL

#### 3.1 – HISTÓRICO, EVOLUCIÓN Y CONTEXTO SOCIAL

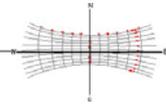
Belén del Pará (ver mapa de la ciudad en la figura A7 en anexo), conocida por ser la ciudad de los árboles de mangos, es la capital y mayor ciudad de la Provincia del Pará, segunda ciudad en dimensión de la Amazonía Brasileña. En la historia del Brasil, Belén fue y todavía es, la principal vía de entrada para la región Norte, por tener una localización geográfica privilegiada (ver figura 3.1), en la desembocadura del río Amazonas y en el extremo Norte de las autopistas brasileñas.



Figura 3.1: Localización de Belén del Pará  
Fuente: adaptado por el autor, 2007.

El sitio donde se sitúa la actual ciudad, antes era ocupado por la tribu indígena Tupinambás. Sin embargo, el núcleo de la ciudad remonta a la conquista del estuario del río Amazonas, en la época de la Dinastía Filipina, por fuerza luso-españolas con el comando del capitán Francisco Caldeira Castelo Branco, cuando, en el 12 de enero de 1616, fundó el Fuerte del Presepio, hoy llamado Fuerte del Castillo.

La población que se formó alrededor fue inicialmente denominada de Feliz Lusitana. Después fue llamado de Santa Maria del Grao Pará, después de Santa Maria



de Belén del Grao Pará, hasta llegar en su actual denominación de Belén. En este periodo, al lado de la actividad de colecta de las llamadas drogas del Páramo, la economía era basada en la agricultura de subsistencia, complementada por una pequeña actividad pecuaria y por la pesca ejercida por pequeños productores que vivían, principalmente en la isla del Marajó y en la isla de Vigía, sitios cercanos. Y como la ciudad era alejada de los núcleos decisorios de las regiones Noreste y Sureste del Brasil y muy atada aún con Portugal, Belén sólo reconoció la Independencia del Brasil apenas en 15 de agosto de 1823, casi un año después de su proclamación, en julio de 1822 (Bartolomeu y Craveiro, 2004).

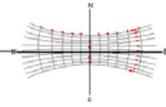
Instituida a partir de preocupaciones estratégico-militares, Ya que buscaban un sitio con mejores condiciones geológicas, pues el suelo no era bueno, aunque húmedo, tenía cotas topográficas demasiado bajas, de 4 m de altitud. Y con eso, la ciudad ocupó inicialmente una de las áreas más favorable para urbanización, rodeada entre la Bahía del Guayará (figura 3.2), al Oeste y el Río Guamá, al Sur. Pero, con sus objetivos militares y condiciones topográficas y geológicas, la ciudad necesitaba crecer, era inevitable la expansión. No obstante, Belén tenía, como puntos de atracción, uno en el sentido del mar y al exterior, y otro en sentido del Río y al interior. Así la pequeña ciudad había crecido, primero a lo largo del río Guamá, hasta donde ha permitido el Igarapés del Piri, creando el barrio de la “Ciudad”, hoy conocido por Ciudad Vieja. Después, aun en el siglo XVII, llegó el segundo movimiento de expansión, ahora en el malecón guajarina. Pasando por el Igarapés del Piri, entonces, la ciudad gana un nuevo barrio, el de la “Campina”, este ya en sitios más altos y sólidos en relación al tipo de suelo, empezando la ocupación de tierras más listas para urbanización (Cabral, 1995).



Figura 3.2: Localización y foto de la Bahía del Guayará.

Fuente: Adaptado por el autor, 2007

La ciudad se amplió y surgieron varios barrios. Belén quedó un importante marco estratégico de la corona portuguesa, pero la convivencia entre los portugueses,



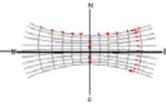
indios y negros no siempre fue calma. Y como la independencia del Brasil no fue aceptada por la provincia del Pará, germinó un sangriento conflicto: La Cabanagem, cuando, por primera vez, sectores populares tomaron el poder. El movimiento, sin embargo, fue disipado por el gobierno imperial, pero permaneció en la memoria de la gente de la provincia y de todo el País como el movimiento de la Revolución Cabana.

Belén, como ejemplo de otras ciudades brasileñas, ha sufrido demasiados cambios, principalmente durante el cambio del siglo XIX para el siglo XX, incitado por la exportación de productos que le garantizaba su renovación: el caucho. Sin embargo, con el desarrollo económico, la burguesía pasó a tener mejores materiales y estructura en el espacio urbano, trama de producción y reproducción cultural: lujosas tiendas, agradables cafés y confiterías, las óperas y presentaciones teatrales de compañías extranjeras, cinemas, y todo lo que expresase una rutina de hábitos elegantes y de costumbres europeos (Barra, 2003).

Con la importancia de la producción del caucho, sacada de la planta seringueira (*Hevea brasiliensis*), que definió el Ciclo del caucho o Era del caucho en la Amazonia, Belén lograba estar entre las grandes ciudades del País en importancia comercial. Y fue en esta época que edificaciones majestuosas fueron construidas, como el Palácio Lauro Sodré, el Colégio Gentil Bittencourt, el Teatro de la Paz de 1878 (foto 3.1), el Palácio Antonio Lemos y el Mercado del Ver-el-Peso de 1901 (fotos 3.1). No obstante, esa riqueza ha hecho que Belén fuera la segunda ciudad brasileña, luego después de Manaus, en poseer luz eléctrica en las calles, tranvía y teléfonos. Por todo eso, Belén ha atraído, en este periodo, muchos inmigrantes extranjeros como portugueses, chinos, franceses, españoles y otros grupos menores, con el objetivo de desarrollar la agricultura en tierras Amazónicas (Bartolomeu y Craveiro, 2004).



Fotos 3.1: Teatro de la Paz y Mercado del Ver-el-Peso  
Fuente: Ref. Internet 08.



Belén por ser una metrópoli, tiene una gran Región Metropolitana – RMB (ver figura A7 en anexo), constituida por municipios como Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara y Belén, con una población cerca de 1.800.000 habitantes, con un área general de 1.827, 70 km<sup>2</sup>, ocurriendo que el municipio de Belén, formado oficialmente por 69 barrios y 8 distritos administrativos (distritos de Belén, Guamá, Sacramento, Entrocamento, Benguí, Icoaraci, Outeiro y Mosqueiro) participa con aproximadamente 60% de la RMB, que equivale a 1.089,10 km<sup>2</sup> del territorio. Mientras que, los otros municipios juntos representan 40% del sobrante, correspondiendo a 738,60 km<sup>2</sup> (Bartolomeu y Craveiro, 2004).

Tradicionalmente, el proceso de producción y apropiación del espacio metropolitano, formado exclusivamente por los municipios de Belén y Ananindeua, ha evidenciado cuatro grandes sub-espacios, así representados: a) Área Central; b) Área de transición; c) Área de crecimiento; d) Islas, (Bartolomeu y Craveiro, 2004):

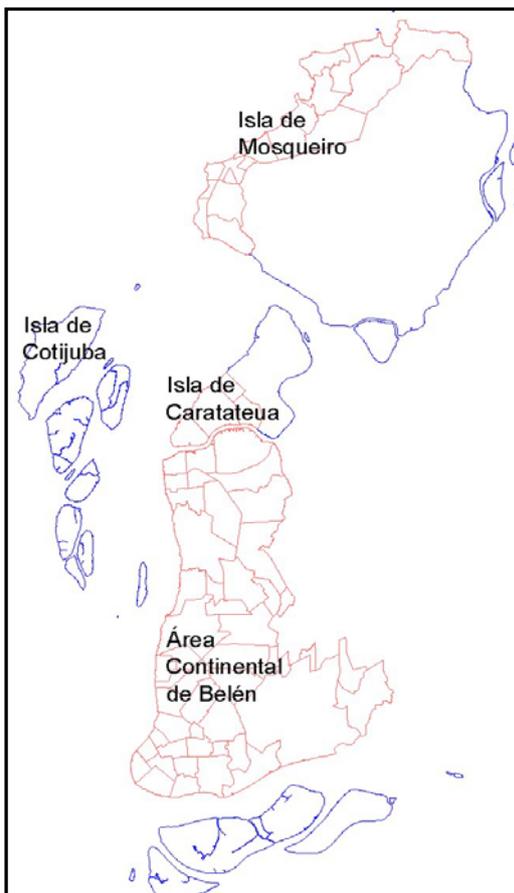
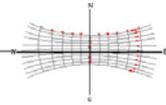


Figura 3.3: RMB y sus Islas  
Fuente: Bartolomeu y Craveiro, 2004.

- El Área Central queda con la parte más consolidada de ese espacio y ocupa un área de 37,13 km<sup>2</sup>, donde viven 800 mil personas;
- El Área de Transición está localizada luego después del área central fortalecida. Su estructura ha iniciado en la década de los 60 con la construcción de los primeros conjuntos de viviendas populares hechas por el gobierno y ha tenido su ocupación consolidada durante la década de los 70, donde hoy ocupa un área de 52,90 km<sup>2</sup>;
- El Área de Crecimiento (ver figura A7 en anexo X), presenta una configuración muy diferenciada que las observadas en el área central. En esta área están ubicados los otros ayuntamientos de la RMB, los núcleos de Ananindeua, Marituba, Benavides y Santa Barbara del Pará;

- El conjunto de Islas son 39 que hace parte de la RMB, y las más importantes son la del Mosqueiro y Outeiro (ver figura 38).



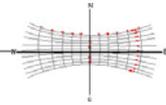
Belén, conocida por realizar hace 200 años una de las mayores fiestas religiosas del País, el Cirio de Nuestra Señora de Nazaré, es la principal ciudad de la Provincia del Pará, donde está concentrado 28% de la población general. Hoy hay en Belén 1.387.750 habitantes y es, juntamente con Manaus (capital de la provincia del Amazonas), la ciudad más importante del Norte del Brasil. Está ubicada cerca de 1600 km al norte de Brasilia (la capital del País), lejana aproximadamente 130 km del océano Atlántico, y su parte más consolidada está emplazada al Oeste, limitada por la bahía del Guayará (figura 3.2), en la afluencia del río Pará, con límite con el río Guamá, tributario del río Pará y que queda aproximadamente a 160 km de la línea del ecuador (Bartolomeu y Craveiro, 2004).



Foto 3.2: Palacete Bolonia  
Fuente: Ref. Internet 08.

El destino de la región cambió mucho (Belén y cercanías), después de la implantación de la autopista Belén-Brasilia en la década de los 60. Ya que los hierro, cobre, manganeso, bauxita, entre otros minerales que hacen del subsuelo de la Amazonia uno de los más ricos del planeta, fueron mejor trasladado y explorados. La ciudad, como la Amazonía, ha pasado por un periodo rico del ciclo del caucho, vivió la cultura europea, con influencia, principalmente, de la portuguesa, francesa e inglesa, teniendo como principal icono de la época el bello teatro de la Paz, también el Palacete Bolonia (ver figura al lado), un ejemplar del neoclasicismo veneciano, pero después llegó el declive de la economía. Hoy Belén es un centro comercial regional, con pocas industrias, algunas empresas comerciales de exportación, sede de servicios públicos y fuerzas militares del aire, tierra y mar (Ref. Internet 06).

Sin embargo, en general, podemos decir que la geomorfología condicionó la propia morfología urbana, o sea, el desarrollo de todo el tejido urbano de Belén. Ya que, la orden que fueron ocupadas las áreas más altas de la ciudad por la población más rica, y las más bajas (llamadas de bajadas) por la población más pobre, determinó con el tiempo la propia topología. Entonces, los sitios más valorados eran las áreas de altas cotas, siendo zonas a lo largo de Avenidas como Nazaré (foto 3.3); Governador Magalhaes Barata y Almirante Barroso (foto 3.3), pues ellas fueron ocupadas de forma

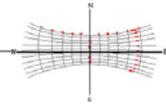


regular, donde sus características principales son calles de grand anchura y algunas son bien arborizadas, diseño ortogonal de manzanas, lotes grandes, amplias viviendas, plazas publicas y espacios de ocio. No obstante, la expansión de Belén, como hemos visto, ha obedecido a las imposiciones de su relieve, donde por eso, surgen los barrios de Batista Campos, Nazaré, San Braz, Marco, Cremación, Reducto, Umarizal y Matinha (BELÉN, Prefeitura Municipal, 1991).

No obstante, este tipo de apropiación, aunque sea alejada del centro y menos valorada, ha tenido su último momento en la implantación de los barrios del Marco y Pedrera en el inicio del siglo pasado, constituyendo por lo tanto, estos dos barrios en las últimas áreas planeadas de Belén. Sin embargo, después de esa fase, en las áreas más altas, empieza el crecimiento a través de ocupación de las más bajas (las bajadas), ya que ha ocurrido sin control y planeamiento por parte de la administración municipal, trascendiendo en espacios desordenados y confusos, cuyo característica principal es tener sitios densos, vías estrechas e indefinidas, falta de espacios públicos de ocio y infra-estructura en general (Nascimento, 1995).



Fotos 3.3: Avenida Nazaré a la izquierda (con sus árboles de mango) y la Avenida Almirante Barroso a la derecha (principal eje de salida y entrada de la ciudad).  
Fuente: Ref. Internet 08.



### 3.2 – ASPECTOS CLIMÁTICOS DE BELÉN Y CERCANÍAS

La ciudad de Belém del Pará está ubicada en la parte septentrional de la Amazonía (con latitud  $1^{\circ} 27' 21''$  S y longitud  $48^{\circ} 30' 14''$ W), en el extremo Norte del Brasil. En función de su localización (ver figura 3.4) los rayos solares recorren un plano prácticamente vertical durante todo el año. Lo que sucede es una carga térmica muy elevada y una gran falta de confort térmico provocado por el calor resultante de la energía solar (ver figura A3 en anexo), representando 99,3% de las 8760 horas del año (Lamberts, Dutra y Pereira, 1997).

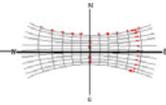


Figura 3.4: Localización geográfica de Belén  
Fuente: Adaptado de Luz del sol 1.1 (USP), 2007.

Según Penteadó (1968), Belém presenta peculiaridades climáticas que difieren de otras localidades de la región, como igualmente de la zona tropical. Para Nimer (1979, citado por Perdigão, 1994) la ciudad presenta un clima típico ecuatorial con subdominio climático súper húmedo, y particularidad de no tener sequía. Ese tipo de clima proporciona altas temperaturas, vientos de poca velocidad intercalados con frecuentes momentos de calma, altos índices de humedad relativa del aire y

precipitaciones abundantes con totales que oscilan entre 1.500 y 3.000 mm anuales (Frota y Schiffer, 2003).

Los tipos de climáticos de la Amazonía (ver figura 3.5), según clasificación de Köppen, son: Afí, correspondiente al clima tropical lluvioso sin estación seca; Am, clima tropical lluvioso con pequeño período seco y Awí, clima tropical lluvioso con nítida estación seca. Entonces, Belén pertenece a la categoría climática “ecuatorial húmedo” del tipo Af, donde en resumen, la ciudad y cercanías, posee media anuales general de: temperatura del aire de  $26,7^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa a 84%, precipitación



pluviométrica de 2.761,6mm (distribuyéndose de forma distinta a lo largo del año) y 2.338 horas de brillo solar. No ocurren variaciones estacionarias térmicas sensibles que establezcan un periodo calido y un periodo frío, ya que la amplitud entre las temperaturas medias del mes más calido (26,5 °C – noviembre) y del mes más frío (25,4 °C – marzo) es de solo 1,1 °C (Nascimento, 1995). Los meses de diciembre y mayo son los más lluviosos y los de junio y noviembre los menos lluviosos, o sea, estos dos periodos representan, para la región, respectivamente el verano y el invierno.

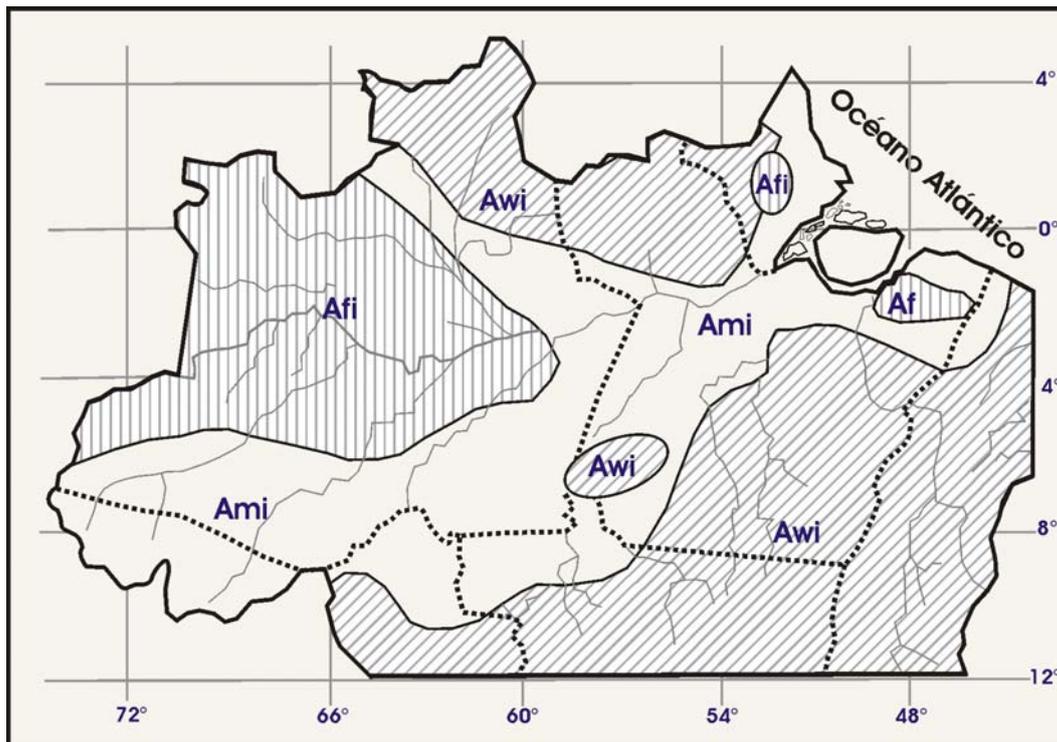
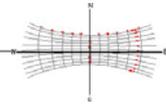


Figura 3.5: Clasificación climática de la Amazonia, según Köppen.  
Fuente: Adaptado por el autor de Nascimento, 1995.

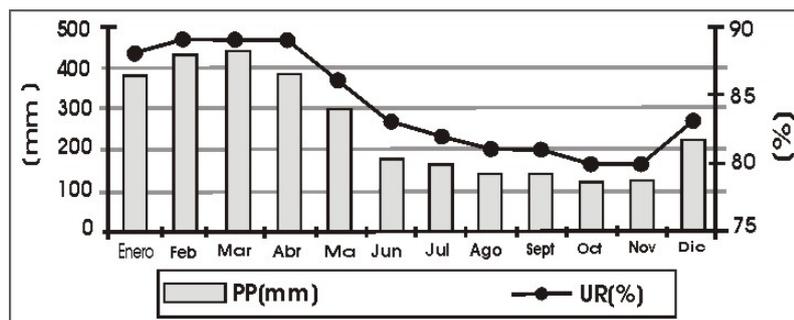
Belén caracterizase aun por presentar, además de las temperaturas siempre altas, fuerte convección, aire inestable y alta humedad del aire favoreciendo la formación de nubes de convección. Las temperaturas altas están asociadas al elevado potencial de radiación solar incidente, aunque gran parte de la energía sea convertida en calor latente de evaporación y otra parte convertida en calor sensible que es reservado al calentamiento del aire. La fuerte convección, la inestabilidad y la alta humedad del aire, favorecen la formación de nubes de convección proveyendo origen a la gran incidencia de precipitación en la forma de golpe, principalmente por la tarde, situación característica de régimen de lluvias del tipo continental (Nechet, 1993).



Mes	Temperatura del Aire °C					UR(%)	Lluvia (mm)		Ins(h)	Vientos	
	máx.	min.	TXA	TMA	Media		Total	máx. 24h		D	V m/s
Ene	31,1	22,9	34,3	20,0	26,0	88	378,1	107	140,9	NE	1,3
Feb	30,7	23,0	34,7	20,2	25,8	89	426,6	130	108,4	NE	1,3
Mar	30,7	23,1	36,0	20,5	26,0	89	441,2	136	111,5	NE	1,3
Abr	31,2	23,3	34,0	20,7	26,2	89	381,5	125	134,2	E	1,3
May	31,8	23,3	34,6	21,0	26,4	86	299,8	105	190,4	E	1,4
Jun	32,0	22,9	33,9	19,9	26,4	83	172,0	95	236,7	E	1,6
Jul	32,0	22,5	34,0	20,0	26,2	82	160,7	101	259,0	E	1,5
Ago	32,4	22,6	35,2	20,5	26,5	81	140,0	88	268,4	E	1,5
Sep	32,5	22,6	35,2	19,4	26,6	81	139,8	54	242,5	NE	1,6
Out	32,6	22,7	35,0	20,0	26,8	80	119,3	73	244,2	NE	1,6
Nov	32,7	22,9	35,7	20,0	27,0	80	122,7	59	214,8	NE	1,6
Dic	32,2	23,0	36,6	20,4	26,7	83	219,6	109	187,3	NE	1,4
Ano	31,8	22,9	36,6	19,4	26,4	84	3001,3	136	2338,3	NE	1,5

Fuente: Basto v Nechet. 2002.

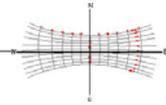
En relación a las características fisiográficas, aparte de la baja altitud de 12m, Belén presenta muchos pequeños cuerpos de agua conocidos regionalmente como Furos e Igarapés, a los cuales, asociados a la baja latitud, condicionan la región, un ambiente climático calido y húmedo (ver tabla 3.1). Y como la ciudad está situada casi en la línea del ecuador (alrededor de 160 Km de distancia), entre el mar y el continente forestado, ostenta clima más directamente influenciado por la convergencia intertropical (CIT) a lo cual, según su cambio provoca los dos momentos climáticos más característicos de la región, el invierno como es llamado el periodo más lluvioso y el “verano” el periodo menos lluvioso.



Gráfica 3.1: Distribución mensual de la humedad relativa del aire (UR) relacionada con la lluvia (PP) en la región de Belén.

Fuente: Adaptado por el autor de Nechet, 1993.

Sobre la dinámica del clima de Belén, según la EMBRAPA, los principales mecanismos que explican el régimen de las lluvias dentro del contexto de escala global son: el resultado de la actuación de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), resultante de la convergencia de los vientos alisios del Noreste y Sureste, que es caracterizada por vientos flacos y precipitaciones intensas, de las brisas marítimas, de la

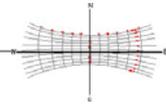


penetración de sistemas frontales ocasionados del Sur del continente y de la fuente de vapor representada por la cubierta vegetal de la región (ver figura 3.6 abajo).



Figura 3.6 - Fuente: Adaptado por el autor Ref. Internet 07.

Sin embargo, hablando de este contexto más local, observamos que las lluvias en Belén son resultantes: De Diciembre hasta Mayo, época más lluviosa, la precipitación es originada por la ITCZ y por los efectos de la mezo-escala, como las líneas de inestabilidades que llegan en la costa Atlántica de Guyana Francesa y del Pará, y se propagan para Oeste como una línea de Cumulonimbus. Estas líneas se originan en asociación a la brisa marítima y se forman en el periodo de la tarde. De Junio hasta Agosto, es el final del periodo lluvioso, las lluvias son provocadas por efectos locales, como las brisas terrestres y marítimas y por Olas del Este, oriundas de los vientos alisios, generalmente los de Sureste. Estas olas son fenómenos que se forman en el campo de la presión atmosférica, a lo largo de los alisios, en la zona tropical del globo, cambiándose de Este para Oeste (Vianelo y Alves, 1991). De Septiembre hasta



Noviembre, es el periodo de estiaje, la precipitación generalmente es provocada por fenómenos de la mezo-escala.

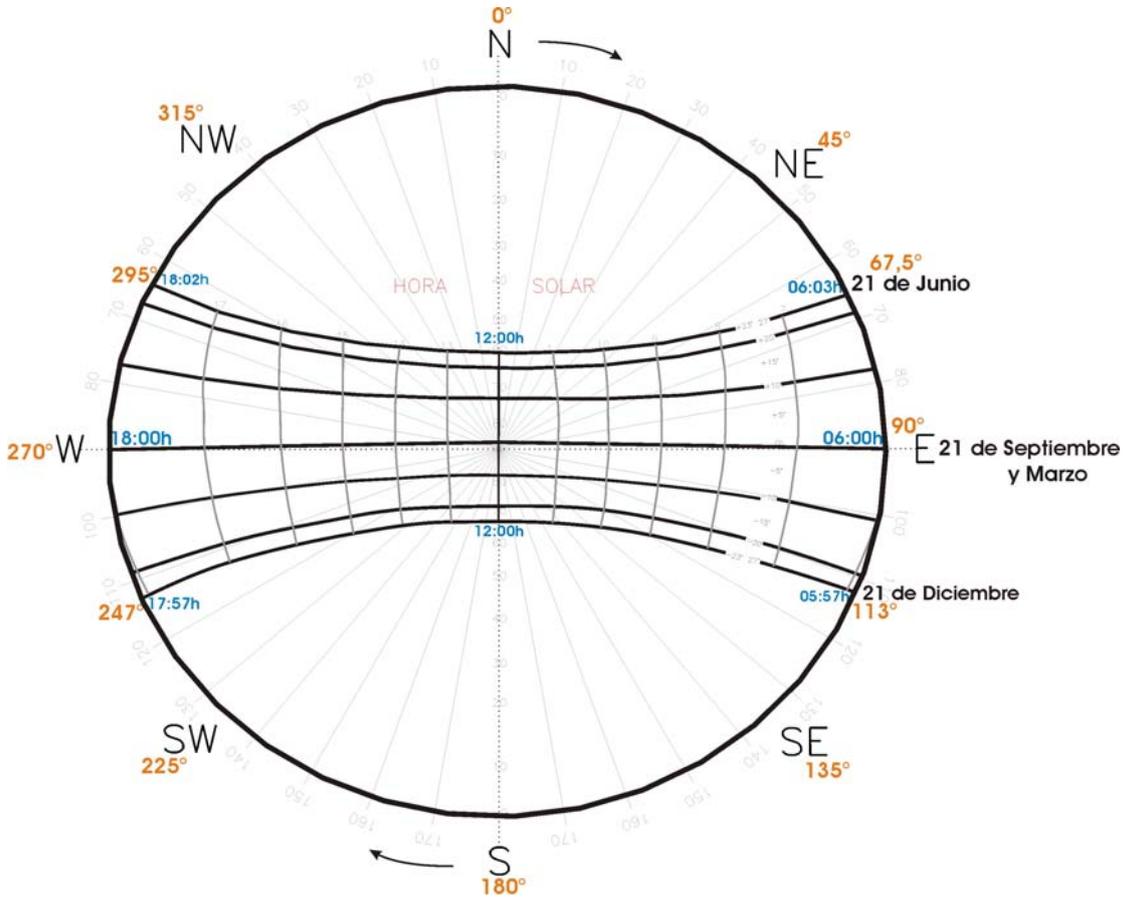
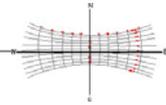


Figura 3.7: Carta solar o Estereografía de Belén del Pará.  
Fuente: adaptado por el autor de Heliodon 2.0.



Para Belén, se caracterizan, en relación a la distribución de las lluvias, dos periodos: el Lluvioso y el de Estiaje. Y sobre las frecuencias de las lluvias, Netchet (1993) observó que hay variabilidad en los horarios de picos de los momentos de precipitación: periodo lluvioso (diciembre hasta mayo) entre 14 y 15 horas, final del periodo lluvioso (junio hasta agosto) entre 17 y 21 horas y en el periodo de estiaje (septiembre hasta noviembre) entre 15 y 16 horas. Esta situación es atribuida a la naturaleza de las lluvias ecuatoriales que son incitadas por las máximas temperaturas diurnas que restablecen mayor convección (Miller, 1966).

En la época del verano del hemisferio Sur, la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), se instala en el área que incluye el espacio metropolitano de Belén: los vientos alisios, boreales y australes, en convergencia, se elevan por convección térmica y dinámica, provocando aguacero energético y constante, a veces acompañados por vientos fuertes. Es el periodo de las lluvias, el “invierno” de los “belenenses” (la gente que nace en Belén). En la época del verano del hemisferio Norte la ITCZ para y emigra, dejando el área metropolitana sobre la acción exclusiva de los alisios australes característicamente secos. Se instala en el área un mecanismo de convección local: la evaporación que se acumula en cumulus-nimbus en el decorrer del día, por el constante calentamiento, acaba por producir pesadas lluvias por la tarde, frecuentemente con trovadas. Son típicas lluvias de convección térmica, que marcan el periodo seco del clima local, o el “verano” (Prefectura municipal de Belén, 1991).

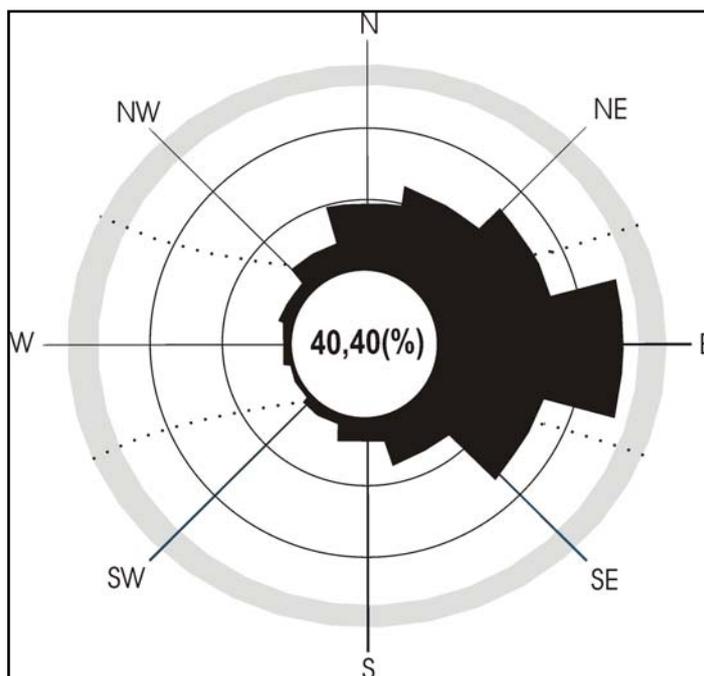
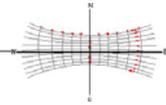
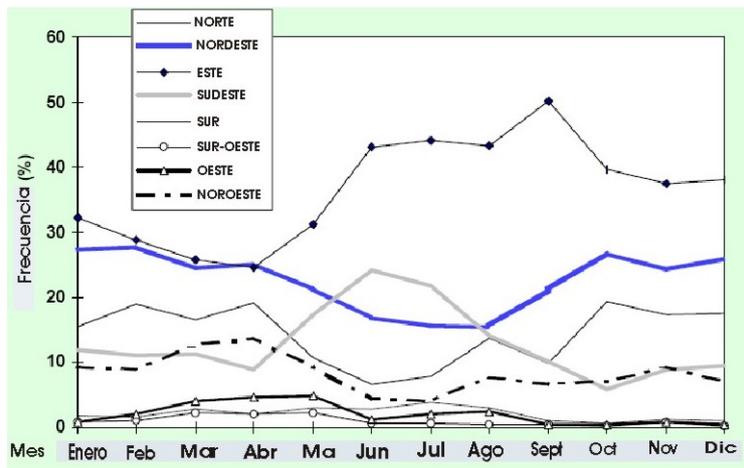


Figura 3.8:  
Esquema de la  
predominancia de los  
vientos en Belén.  
Fuente: Adaptado de  
por el autor de Cabral  
y Netchet, 1995.

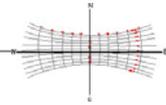


Otro aspecto sobre el clima de la ciudad es la velocidad y dirección de los vientos (ver tabla 3.1). Pues, las mayores frecuencias anuales de los vientos en Belén son: Noreste (29%), Norte (10%) y Este (9%). La velocidad media es entre 2,6 y 2,9 m/s y la calmaría es de 45% en los 12 meses del año (gráfica 3.2). Para entender mejor el sistema de la ventilación, es necesario observar que la bahía amazónica tiene sus mecanismos climáticos regidos por la actuación de dos sistemas: el área ciclónica ecuatorial continental (EC) y los vientos alisios. El primero tiene origen en el área calentada y cubierta de florestas, caracterizado por elevada temperatura y humedad, así como por vientos débiles o calmarías y gran inestabilidad. Ya los vientos alisios, de SE y de NE, convergen a la altura del ecuador, constituyendo la llamada área de convergencia intertropical (CIT), característicamente seca (Prefectura municipal de Belén, 1991). Sin embargo, el único cambio perceptible durante el año corresponde a la dirección de los vientos dominantes que llegan del Noreste cuando el sol está al Sur y del Sur-Oeste cuando el sol está al Norte (Mascaró, 1988).



Gráfica 3.2: Frecuencia anual de los vientos en Belén.  
Fuente: Basto y Nechet, 2002.

Sobre la radiación solar global (estimada en  $W/m^2$ ) en Belén (ver gráfica 3.3), según análisis de Basto y Nechet (2002), identificó que los valores más elevados, conforme condiciones climáticas del lugar, como obstrucciones de nubes y constantes lluvias, estuvieran alrededor de  $500 W/m^2$ , ocurriendo en general de Agosto hasta Octubre y la mínima intensidad (valores debajo de  $460 W/m^2$  por día) pasan de diciembre hasta Mayo. En estos meses, los índices de brillo solar en relación al porcentaje de insolación (debajo de 60%) y totales mensuales de horas de insolación quedan por debajo de 200h. El potencial de horas de insolación en Belén (tabla 3.2) es reducido por la concentración de nubes, principalmente en el periodo lluvioso, todavía,



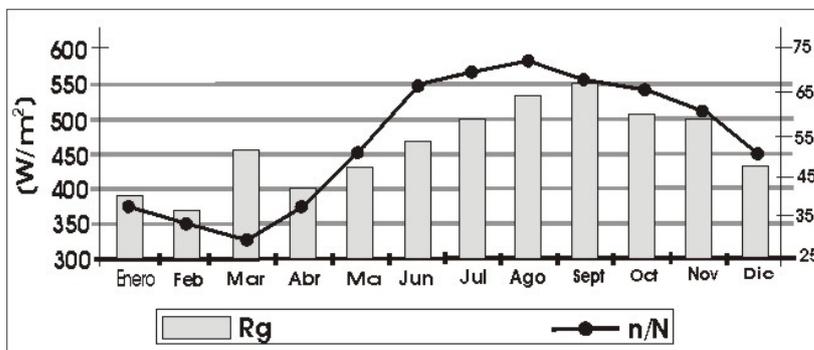
el total anual de insolación queda en 2.300h, lo que significa tener un valor medio de 6,4 horas por día.

**Tabla 3.2 – Altura del Sol, Radiación solar, Insolación y Fotoperiodo en Belén. 1996.**

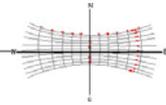
		Radiación Solar						
Mes	A. Sol grados	9h W/m <sup>2</sup>	12h W/m <sup>2</sup>	17h W/m <sup>2</sup>	Media W/m <sup>2</sup>	Total Mj/m <sup>2</sup>	Ins (h)	N (h)
Ene	70	399,59	621,93	87,62	358,52	15,57	3,7	12,05
Feb	78	349,48	545,31	71,38	312,89	13,56	2,1	12,02
Mar	87	442,62	685,12	97,80	398,15	17,20	4,1	12,00
Abr	79	334,53	525,79	67,32	302,03	13,03	2,0	11,97
May	70	519,48	804,10	11,43	469,44	20,21	7,2	11,95
Jun	66	581,93	897,97	13,44	525,87	22,60	9,5	11,94
Jul	67	432,77	672,27	90,30	390,46	16,78	5,4	11,94
Ago	75	605,17	930,81	141,17	546,62	23,54	8,9	11,97
Sep	85	397,36	618,42	85,09	358,32	15,45	3,3	11,99
Out	82	606,68	924,99	141,30	542,55	23,48	7,9	12,02
Nov	72	581,40	889,77	136,65	520,50	22,56	7,8	12,04
Dic	68	621,88	950,72	148,07	556,08	24,14	9,2	12,05

Altura del sol en grados a las 12 horas (A.Sol), valores medios de radiación solar global por hora y día en W/m<sup>2</sup> y total día en Mj/m<sup>2</sup>, Insolación (h) y duración del fotoperiodo (N), para el 15º día de cada mes.  
Fuente: Basto y Nechet, 2002.

Las temperaturas siempre elevadas en Belén (ver figura 3.9 solar), son explicadas por la orientación geográfica de cercanía con el ecuador y por la baja altitud local y a la pequeña variación térmica está asociada con el régimen de las lluvias en la región, ya que las temperaturas máximas menos subrayadas con más frecuencia ocurren por ocasión del periodo más lluvioso, mientras que las más elevadas coinciden con el periodo menos lluvioso. Los valores más elevados de humedad ocurren en los meses de mayor pluviosidad, pero en relación a la temperatura del aire por humedad, se ve en la ciudad que, por la noche, cuando la temperatura del aire está menos elevada la humedad aumenta llegando a tener valores próximos o superiores a 95% a partir de las 24 horas, y mantiene este nivel hasta entre 06 y 07:00h de la mañana. Entre 12 y 15 horas la humedad disminuye llegando a valores próximos de 50% (Nechet, 1993).

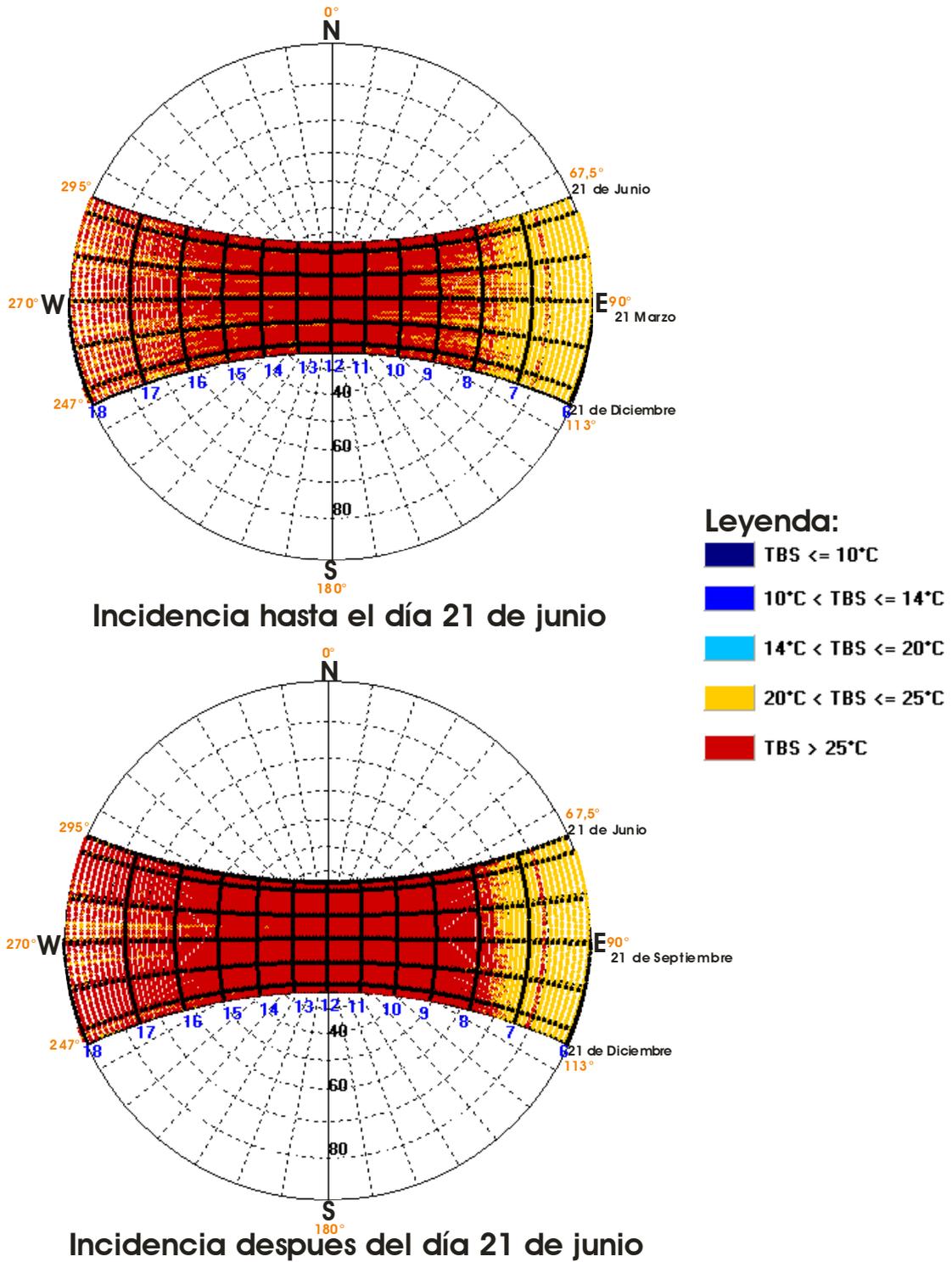


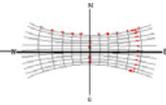
Gráfica 3.3:  
Distribución mensual entre la insolación (n/N) en porcentaje y de la intensidad de radiación solar (Rg) en W/m<sup>2</sup>, para Belén.  
Fuente: Adaptado de Basto y Nechet, 2002.



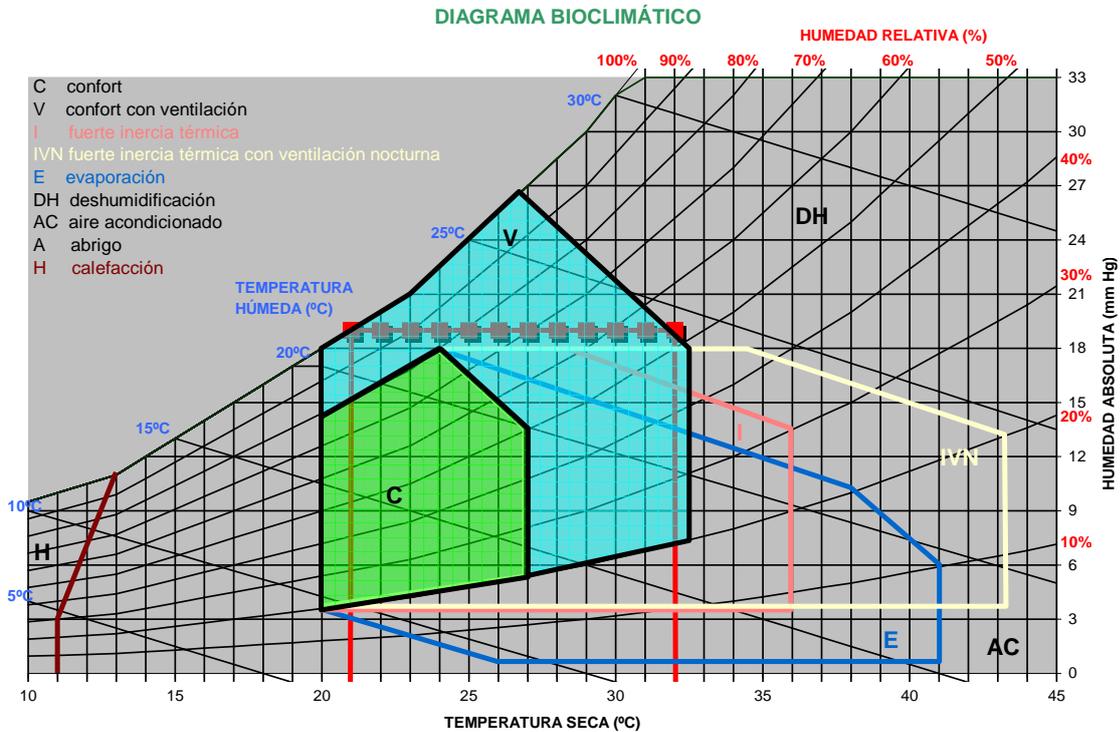
**Figura 3.9: INTERVALOS DE TEMPERATURA ANUALES CORRESPONDIENTE A LAS TRAYECTORIAS SOLARES A LO LARGO DEL AÑO EN BELÉN.**

Fuente: Adaptado por el autor de Sol – Aire, 2007.

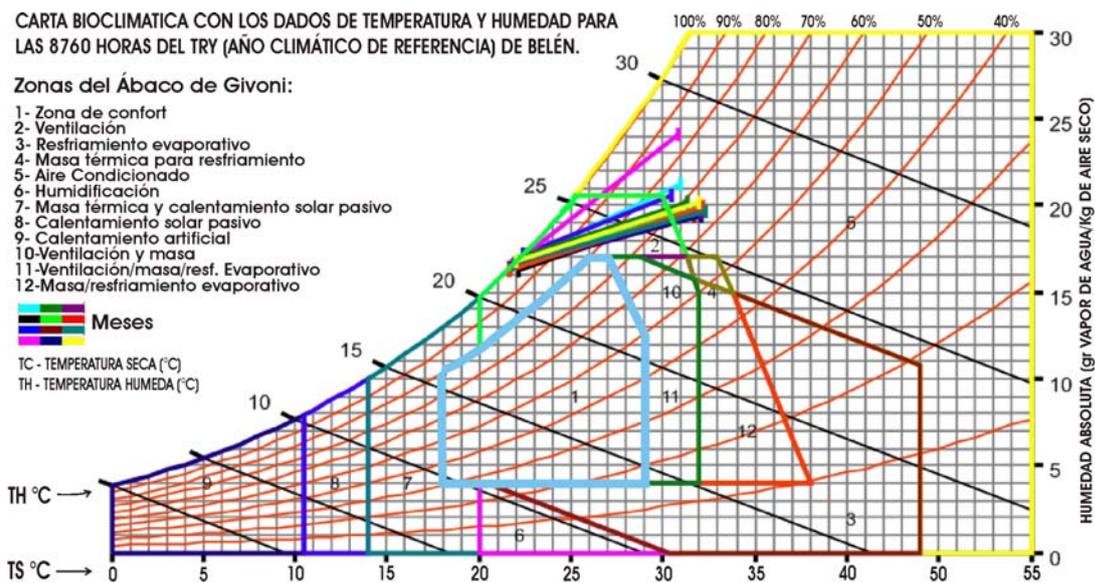




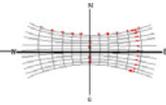
Para dejar más completo los aspectos climáticos de Belén, se prepararán dos ábacos bioclimáticos de la ciudad con el primero, solamente con valores para el mes de noviembre (más calido), fue rellenado en el grafica de Mahoney (gráfica 3.4) y el segundo, este para todo el año, en el ábaco de Givoni (gráfica 3.5).



Gráfica 3.4: Diagrama Bioclimático del mes de noviembre en Belén, en el ábaco de Mahoney. Fuente: programa J.M, 2007.



Gráfica 3.5: Diagrama Bioclimático anual de Belén, en el ábaco de Givoni. Fuente: Adaptado de Sol – Ar 5.01, UFSC, 2007.



En general, así como hemos dichos anteriormente, el periodo de diciembre y mayo, aunque tenga lluvias abundantes, presenta más nebulosidad, menos insolación, menos ventilación y menos evaporación y por consiguiente más humedad relativa del aire. Contrariamente, el periodo de junio y noviembre, presenta menos pluviosidad, menos nebulosidad, más insolación, más ventilación y más evaporación, resultando menos humedad relativa del aire. Entonces, aunque las temperaturas sean constantemente altas, presentando pequeñas amplitudes térmicas, el periodo de menos humedad relativa del aire y mejor ventilación (junio y noviembre), es el más confortable en Belén desde el punto de vista térmico (Nascimento, 1995).

Por fin, para terminar sobre el tema de los aspectos climáticos y para dejar más claro el comportamiento del sol en la ciudad, se presenta un esquema (figura 3.10) detallado del recorrido solar a lo largo del año en Belén, con la ubicación de una pequeña vivienda en el centro de su Carta Solar o Estereografía solar.

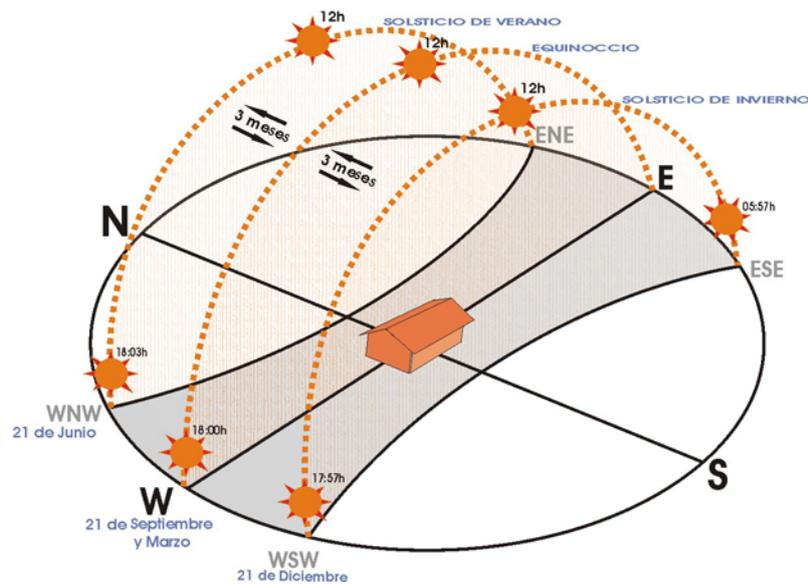
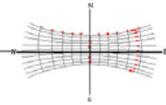


Figura 3.10: Esquema detallado del recorrido solar en Belén del Pará.  
Fuente: Dibujo del autor, 2007.



### 3.3 – CLIMA, ARQUITECTURA Y CULTURA

Los climas alrededor del mundo son muchos y distintos, y por eso, en cada sitio se desarrolla un tipo de cultura en función del clima y, en general, una arquitectura adecuada a cada lugar, que sea buena o mala. Ya que se entiende aquí que el clima, la cultura y la arquitectura siempre caminan en concordancia, por lo tanto están intrínsecamente ínter-ligados. Y en función de este pensamiento, en esta parte, se intentará exponer de forma sencilla cómo los tres parámetros están y deben estar juntos en la ciudad de Belén, pues la participación del hombre en los aspectos climáticos y sociales dentro del espacio urbano o/y construido son perceptibles, principalmente cuando se hace un análisis particular sobre el tema. Sin embargo, para identificar mejor cómo se relaciona esta mezcla en Belén, se presentarán aquí algunas fotos con imágenes que representan un poco de cómo funciona la vida común y corriente en la ciudad, ya que creemos que las imágenes pueden hablar más que mil palabras, pero todavía, se hace comentario sobre cada una de ellas y su relación con el tema en cuestión:

Foto 3.4: Zona clara y Zona de sombra 1



Las imágenes arriba son en la mayor feria al aire libre de la Amazonia, la feria del Ver-el-Peso, sacadas a las 12:00h del día 06 de septiembre. En este espacio se ve cómo se comporta la gente en función del clima y cómo la arquitectura intenta adecuarse a las variaciones del clima local. Ya que percibimos en las imágenes que hay dos zonas, la zona clara (de radiación solar directa), donde la gente hace de todo para no quedarse, porque busca siempre la otra zona, la de sombra (de protección de los rayos solares), o sea, hasta donde llegan las sombras, van las personas para protegerse de la radiación.

Fotos: Bartolomeu, 2006.

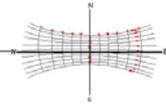


Foto 3.5: Túnel para paseo con vegetación y sombra



Imágenes de un paseo en la parte central de Belén. Este es un espacio provechoso en relación con el bienestar humano, pues proporciona protección de la radiación solar, canaliza la ventilación existente y proporciona actividades sociales para la gente de la ciudad. En las imágenes arriba, que son tres aspectos distintos de un mismo sitio, observamos que las personas se integran más con este tipo de espacio, ya que en general está siempre lleno de gente que aprovecha para disfrutar las condiciones buenas de confort que hay, al contrario de lo que pasa en las zonas claras de la foto 3.4 anterior. (Fotos: Bartolomeu, 2006).

Foto 3.6: Zona clara y Zona de sombra 2



Otras imágenes de la feria del Ver-el-Peso, donde se ve la inadecuación de la arquitectura en proteger completamente a las personas de la incidencia solar y cómo la gente desarrolla sus propios mecanismos de protección. Notamos también cómo las personas caminan o se quedan paradas en las zonas claras llevando parosoles y cómo los trabajadores de este sitio inventan estructuras complementarias por falta del ajuste de la propia arquitectura a las variaciones del recorrido solar del lugar.

Fotos: Bartolomeu, 2006.

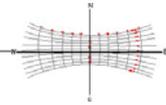


Foto 3.7: Equipamiento y el clima



Ejemplos de una mala ubicación de 2 cajeros. En las dos fotos arriba, reparamos que durante parte del día el sol incide directamente sobre los cajeros y que, debido a su cerramiento de vidrio, se acumula demasiada carga térmica, convirtiendo su interior en un invernadero para las personas que utilizan sus servicios y que la misma carga permanecerá acumulada durante parte de la noche. En estos ejemplos percibimos que al ubicar un aparato para uso público en la parte externa de edificios, sin protección de radiación solar, dejará entrar demasiada luz que será reflejada en la cara de las personas, y tampoco queda posible leer bien las informaciones en las pantallas. (Fotos: Bartolomeu, 2006).

Foto 3.8: Equipamiento urbano y el clima



Imágenes de 2 equipamientos urbanos ubicados en zonas distintas de la ciudad. Se nota que la función de las dos estructuras, en relación al confort climático, no es suficientemente buena para sus usuarios. Pues, percibimos, en el primer caso, que la forma no logra proteger completamente las personas contra las intemperies que ocurren en la ciudad, como las lluvias constantes acompañadas con los vientos y la fuerte incidencia solar que llega en posiciones distintas a lo largo del día y del año, o sea, las variaciones climáticas. En el segundo caso, la arquitectura de la guardia de la policía queda inadecuada para el tipo de clima de Belén. Ya que, por tener una gran incidencia solar directa, puede ser un invernadero con las mínimas condiciones de bienestar para quedarse dentro un ser humano. (Foto: Bartolomeu, 2006).

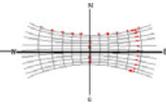


Foto 3.9: Recorridos peatonales y el clima



Aquí tenemos 4 imágenes, donde la 1, 2 y 3 están ubicadas en la Universidad Federal del Pará y la 4 en la parte sur de la ciudad (barrio ciudad vieja). Se percibe en las tres que quedan en la Universidad, la tentativa de adaptar los espacios donde circulan las personas a las variaciones climáticas de la ciudad (lluvia, vientos y radiación), sin embargo, la misma cosa no ocurre con el espacio de la última foto (4), ya que se ve que se ha pensado más en el diseño de las formas, que en el diseño general asociado a las condiciones ambientales de Belén y su cultura. (Fotos: UFPA, 2007 y Bartolomeu, 2006).

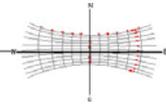


Foto 3.10: Adaptación de la Cultura al clima



Tres fotos en la parte central de Belén, donde se ve que, por la falta de una estructura o espacios sombreados para sentarse y protegerse del sol y/o de las lluvias, las personas buscan y/o se adaptan a lo que encuentran por delante, o sea, al clima. Fijando las imágenes arriba, donde la gente espera el transporte público urbano, forma una especie de cola/fila que sigue la sombra que hace la farola, protegiéndose del sol de las 15:00 horas en el mes de agosto. Y también, lo mismo sucede con un grupo de personas buscando refugio bajo la sombra del árbol más cerca. (Fotos: Bartolomeu, 2006).

Foto 3.11: Diseño urbano y el Clima



La imagen al lado, situada en la parte antigua de la ciudad, es un ejemplo perfecto para mostrar cómo es posible proteger las personas de la radiación solar y darles confort de forma sencilla. En este caso, las alturas de los edificios y el ancho de la calle que está en sentido Norte-Sur, asociados con una buena orientación para la captación de los vientos pueden proponer un mejor bienestar.

Foto: Bartolomeu 2006

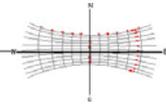


Foto 3.12: Arquitectura y el Clima



Hay diversas maneras de hacer arquitectura, como muestran las 4 imágenes que tenemos arriba, de sitios distintos de Belén, pero para todas, el objetivo principal siempre hay que ser asociar la técnica de hacer arquitectura con el aprovechamiento de las energías naturales disponibles juntas con la cultura existente del lugar. Por tanto, con eso se logra ofrecer mejores condiciones de confort climático para los habitantes.

Foto: Bartolomeu, 2006.

Foto 3.13: Latitud y el sol



Por primero, en esta foto al lado, se ve claramente la incidencia solar a las 12:00 horas en el día 21 de septiembre (equinoccio) y como el sol, llega perpendicular a la tierra. Notamos también, por segundo, el contraste entre el área de luz intensa (zona clara) y el área sombreada (zona de sombra). Por último, queda claro como la gente de esta ciudad ya está acostumbrada de convivir con las condiciones climáticas existentes.

Foto: Bartolomeu, 2006.

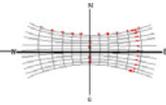


Foto 3.14: Arquitectura, Clima y Cultura

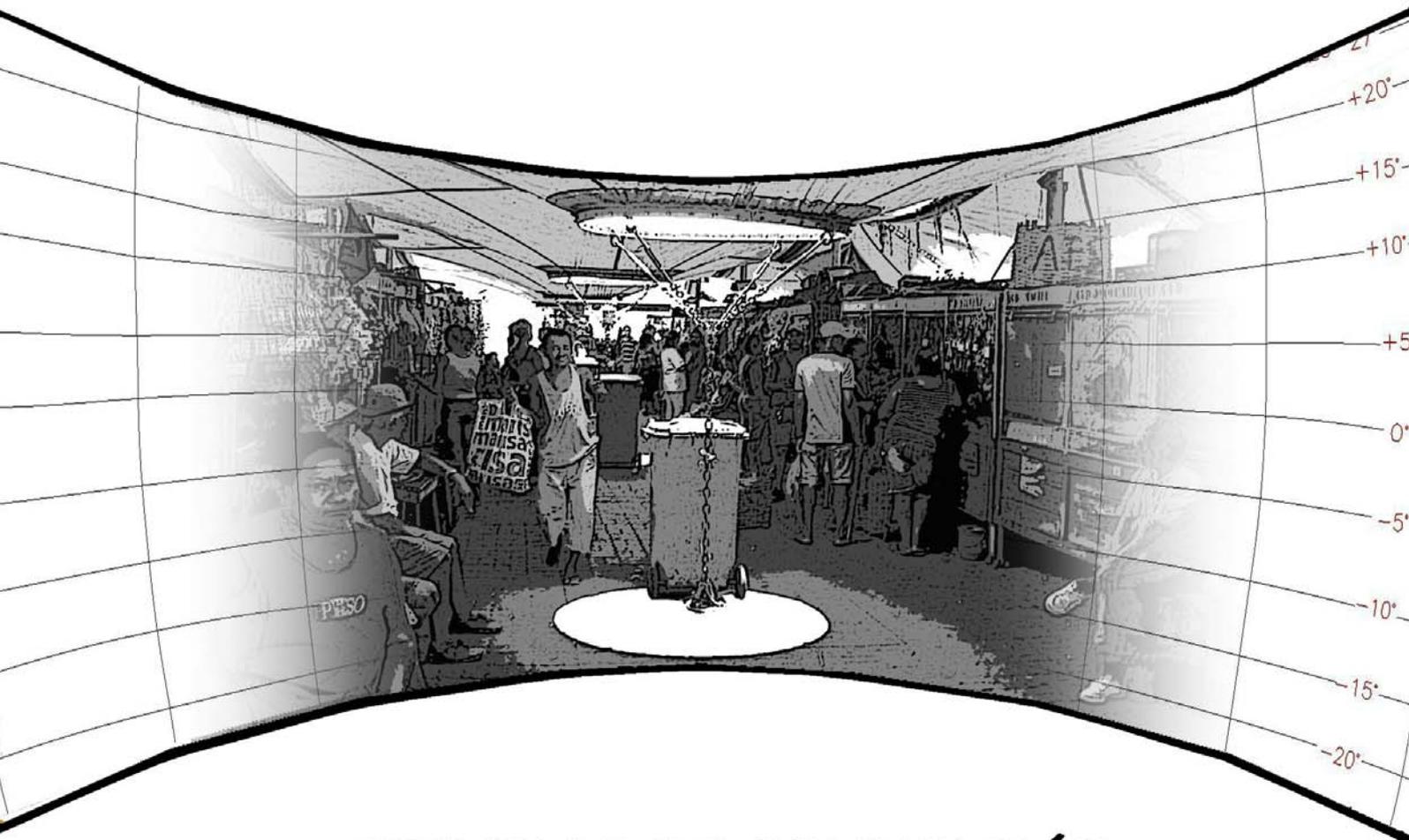


Foto: Bartolomeu, 2006.

Para concluir esta última parte sobre Belén, se percibe que aunque la arquitectura, en todas sus expresiones, no esté pensada y preparada, a veces, la gente se adapta y crea una cultura propia y particular. Pues, las personas que viven en climas de esta latitud, pasan la mayor parte de su vida en espacios abiertos, o sea, en la calle, en los espacios públicos, etc., y por eso, necesitan estar en sitios menos expuestos a las condiciones climáticas de la ciudad. Así, se entiende mejor la relación entre el clima, la cultura y la arquitectura hecha en la ciudad, tenemos herramientas buenas para mejorar el confort y la adaptabilidad de la gente que vive en Belén de Pará.

“ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN/BRASIL”

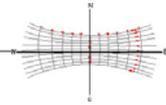
## CAPÍTULO 4



### ESTUDIOS DE ORIENTACIÓN DE FACHADAS

ADAILSON OLIVEIRA BARTOLOMEU  
BARCELONA 2007

TESINA DEL MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL - UPC/ESPAÑA



## CAPÍTULO 4

### ESTUDIOS DE ORIENTACIÓN DE FACHADAS

En este capítulo, analizaremos el comportamiento de fachadas ubicadas en distintas orientaciones (N, NE, E, SE, S, SW, W, y NW) para la ciudad de Belén del Pará – Brasil. Con el objetivo, según los estudios desarrollados por Cabral en 1995, de entender mejor sus relaciones al aprovechamiento de los vientos y a la radiación solar incidente a lo largo del año. Para todos los análisis sobre radiación, hemos considerado para las condiciones del cielo, siempre despejado.

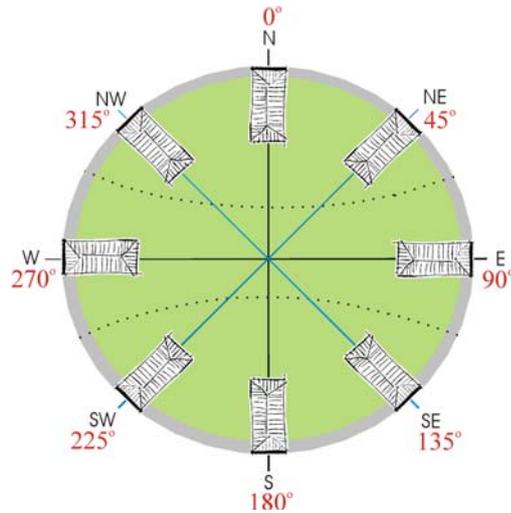
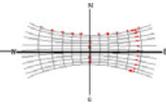


Figura 4.1: Sentido y orientación de las fachadas que serán estudiadas en este capítulo, para la latitud de Belén de Pará/Brasil. Fuente: Dibujo del autor, 2007.

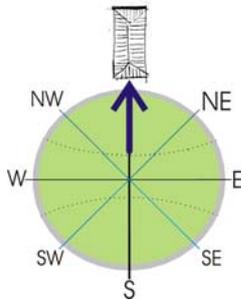
Primero se analizarán las condiciones de vientos para las 8 orientaciones y también la radiación solar, empezando siempre por fachadas orientadas a Norte ( $N-0^{\circ}$ ) y terminando, en sentido horario, en las fachadas orientadas a Noroeste ( $NW-315^{\circ}$ ). Al final de los ocho análisis, se tendrá una evaluación general de las condiciones de vientos y de incidencia de radiación solar (sobre eso ver Capítulo 5).

Para ese estudio, se ha definido arbitrariamente la forma alargada para la edificación tipo, como el límite superior de las variaciones dentro de la categoría óptima, o sea, para definir la forma más favorable de una vivienda en un entorno dado se ha empleado el criterio de la “forma óptima”, empleado por Olgyay (1963) en la década de los sesenta, en la proporción 1:1,7 (7mx12m/3m de altura de fachada).

Las informaciones que se han utilizado en esta parte del trabajo fueron obtenidas a través de análisis y observaciones en programas como Climaticus 1.0 y Heliodon 2. También usamos en la estereografía de Belém, horarios, por lo tanto, de diferencias despreciables – 6 minutos – para el alba o el ocaso. Se espera que al término de esta etapa, obtengamos buenas contribuciones sobre el comportamiento de los vientos y de la radiación solar sobre fachadas ubicadas en las ocho distintas orientaciones en la ciudad de Belén, en Brasil. Pues, el entendimiento de estas características específicas de cada orientación de fachada, nos ayudará a desarrollar los estudios que se realizarán en el próximo capítulo.



## 4.1 - ANÁLISIS DE CONDICIONES DE VIENTOS Y DE RADIACIÓN SOLAR EN FACHADAS A LO LARGO DEL AÑO PARA DISTINTAS ORIENTACIONES EN LA CIUDAD DE BELÉN.



### 4.1.1 - Orientación de fachadas Norte - N (eje: Norte-Sur)

**4.1.1.1 - Ocurrencia de Vientos:** Para las fachadas ubicadas hacia el Norte (eje: Norte-Sur), los vientos anuales presentan una velocidad media baja, lográndose las mayores velocidades en la primavera, y teniendo velocidades regulares en verano y otoño.

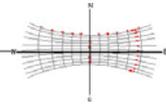
En esta orientación, habrá más ocurrencia de vientos en la primavera, momento en que se tiene buena predominancia de vientos, mientras que en las otras estaciones la predominancia es relativamente estable, con una pequeña bajada en el invierno.

En general, la orientación Norte, juntamente con las orientaciones Nordeste, Este y Sudeste, son las que tienen la mayoría de la predominancia de los vientos.

Siempre habrá vientos frecuentes en esta orientación a lo largo del año, aún no siendo predominantes, pero, proporcionando buenas condiciones de frecuencia de vientos, principalmente en la época estival (septiembre hasta noviembre), cuando la ocurrencia de lluvias es menor.

**4.1.1.2 - Radiación Solar:** Fachadas orientadas a Norte (eje: Norte-Sur), tendrán incidencia de radiación solar (horas de sol directo) regular a lo largo del año en función de la baja latitud de la ciudad de Belén, empezando a las 6:03h hasta las 17:57h, durante el solsticio de verano. El único momento en que la componente horizontal del vector solar es ortogonal a la fachada, o que hay sol directo en la fachadas orientada al Norte es solamente a las 12:00h en los meses de abril hasta agosto, siendo que en solsticio de verano, el sol estará con  $65^{\circ}$  de inclinación. Todavía, muchos arquitectos en la ciudad de Belén creen que en esta latitud el sol estará siempre en equinoccio, o sea, que no hay cambios en el recorrido solar durante el año y que el sol nace siempre al Este y se pone al oeste, cosa que la estereografía muestra que no pasa.

Sin embargo, como sabemos que el sol llega a 90 grados en el equinoccio y que baja hasta 65 grados en el solsticio de verano, entonces, a las 12:00h, dependiendo del ángulo, en este intervalo entre  $90^{\circ}$  y  $65^{\circ}$ , podremos saber la máxima penetración de



radiación solar angular en relación a la componente vertical de la fachada para la orientación Norte (ver figura 4.36 de calculo de penetración).

La orientación Norte favorece a las fachadas, en función de no tener demasiada penetración de radiación solar directa durante el año, proporcionando mejores condiciones de confort para el interior de las edificaciones, pues hay menos ganancia térmica anual.

Las fachadas ubicadas en esta orientación no tendrán, durante los meses de octubre hasta febrero, incidencia de radiación solar directa en la fachada o en las caras laterales al largo del año, o sea, el sol en estos meses estará siempre al fondo de la edificación.

Al largo del día, a las 12:00h, las fachadas tendrán su máxima radiación solar incidente, con picos llegando hasta  $400\text{W/m}^2$  (ver grafica 4.1).

La orientación Norte tiene la ventaja de no tener en las fachadas demasiada radiación solar directa en la época estival, época de más calor en la ciudad de Belén del Pará (época de menos lluvias – septiembre hasta diciembre), con temperaturas medias anuales, para estos 4 meses, de  $26,77^\circ\text{C}$ , siendo que la media general es de  $26,40^\circ\text{C}$ .

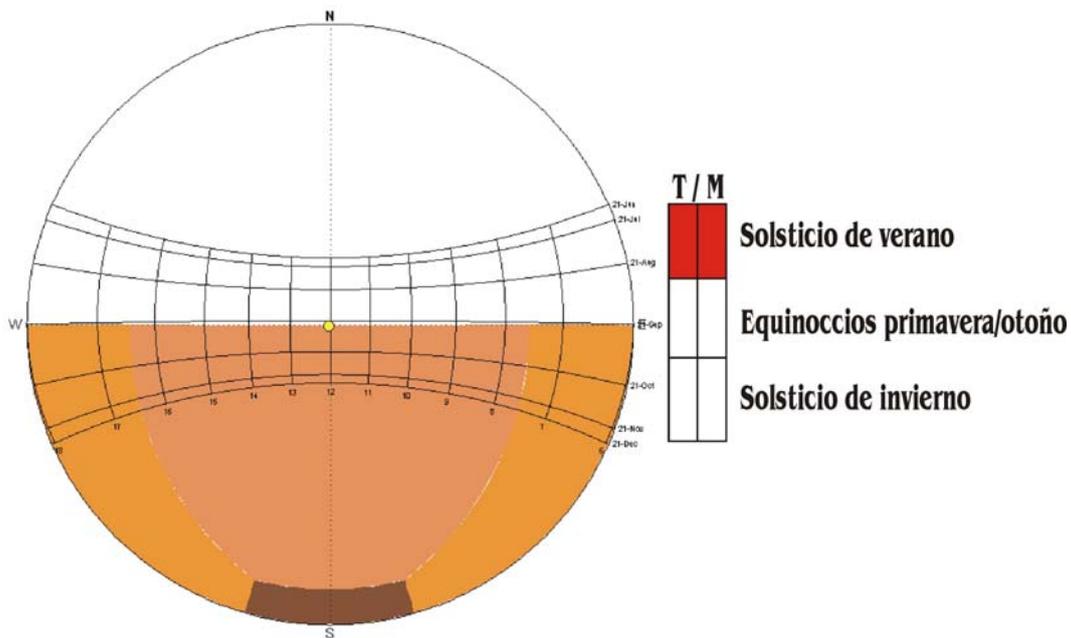


Figura 4.2 – Estereografía de una fachada al Norte y la época de sol directo por la tarde y mañana.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

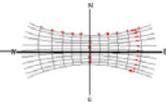
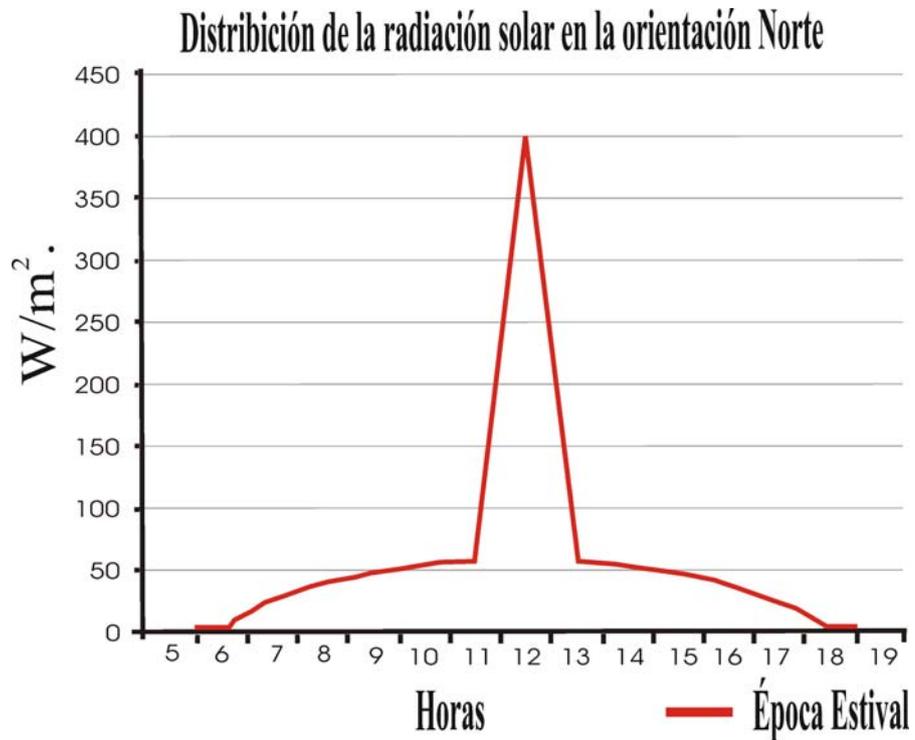


Tabla 4.1 - Horario del sol en la fachada Norte al largo del año.

Mes	en	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct.	nov	dic
<b>Hora</b>												
5												
6			■	■	■	■	■	■	■			
7			■	■	■	■	■	■	■			
8			■	■	■	■	■	■	■			
9			■	■	■	■	■	■	■			
10			■	■	■	■	■	■	■			
11			■	■	■	■	■	■	■			
12			■	■	■	■	■	■	■			
13			■	■	■	■	■	■	■			
14			■	■	■	■	■	■	■			
15			■	■	■	■	■	■	■			
16			■	■	■	■	■	■	■			
17			■	■	■	■	■	■	■			
18												
19												

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



Grafica 4.1

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.

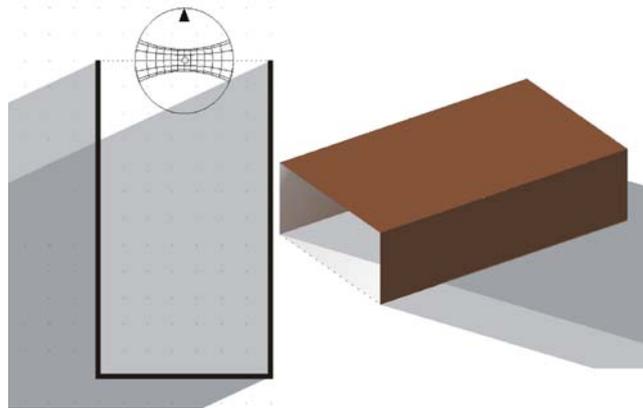
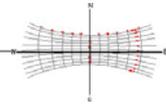


Figura 4.3 – Penetración solar a las 06:03h, en el solsticio de verano, en la fachada Norte.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

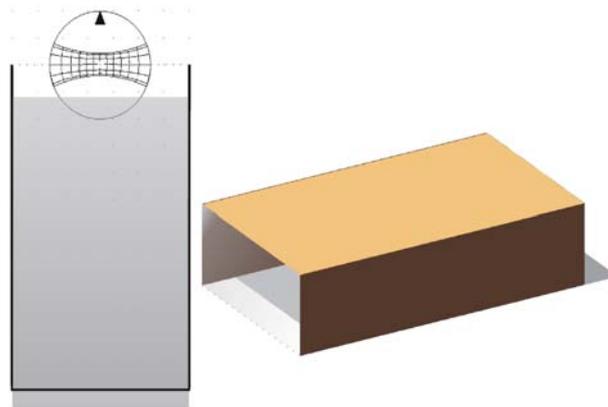


Figura 4.4 – Penetración solar a las 12:00h, en el solsticio de verano, en la fachada Norte.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

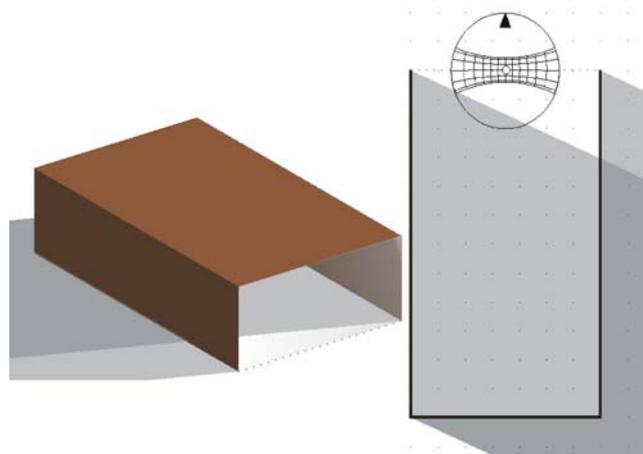
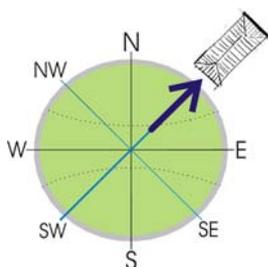
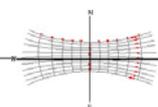


Figura 4.5 – Penetración solar a las 17:57h, en el solsticio de verano, en la fachada Norte.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.



#### 4.1.2 - Orientación de fachadas Noreste - NE (eje: Noreste-Suroeste)

**4.1.2.1 - Ocurrencia de Vientos:** Una fachada ubicada al Noreste (eje: Noreste-Suroeste), tendrá a lo largo del año, aproximadamente 58,3% (7 meses) de los vientos predominantes para Belén del Pará. La velocidad media de los vientos, en esta orientación, en el periodo de 1964 – 1996 fue de 1,44 m/s (Basto y Nechet, 2002.), siendo siempre en los siete meses que son predominantes (enero, febrero, marzo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre).

En Noreste los vientos con más velocidades están en los meses de septiembre, octubre y noviembre, en función de estar en el periodo estival, o el periodo de menos lluvias, con velocidades medias de 1,6m/s. Los vientos con menos velocidades orientados a noreste se encuentran en los meses de enero, febrero y marzo, en función de ser el periodo invernal, o la época de más lluvia, con velocidades medias de 1,3m/s.

Por tener la mayoría de la predominancia de los vientos anuales, esta es la mejor ubicación para fachadas, en relación al aprovechamiento de los vientos predominantes, pues al largo del año se podrá aprovechar más los vientos directos, y también, los vientos del Norte y Este, en las caras laterales de una edificación.

**4.1.2.2 - Radiación Solar:** Una fachada ubicada en la orientación Noreste, tendrá al largo del año penetración de sol directo por las mañanas, empezando a las 05:57h en el solsticio de invierno y/o a las 06:03h en el solsticio de verano, hasta las 12 horas, siendo que en los meses de noviembre hasta enero no hay radiación solar directa a las 11:00h y a las 12:00h en los meses de diciembre hasta febrero (también en el equinoccio de primavera) no habrá radiación solar directa en esta hora. Todavía hay radiación directa por la tarde, solamente en los meses de mayo hasta julio a las 13:00h.

Entre las 08:00h y 09:00h, las fachadas tendrán, al largo del día, su más aguda incidencia de radiación solar, con picos llegando en 500W/m<sup>2</sup>.

Hay momentos del año en que, por la mañana, el sol estará con su componente horizontal del vector solar ortogonal a la fachada ubicada a Nordeste, como a las 11:00h en los días 25 de abril y 17 de agosto o a las 10:12h en el solsticio de verano.

La incidencia de radiación solar directa en fachadas ubicadas en esta orientación será más intensa por las mañanas en el solsticio de verano; en equinoccio y solsticio de invierno, respectivamente, al largo del año.

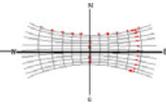


Tabla 4.2 - Horario del sol en la fachada Noreste al largo del año.

Mes	en	febr	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct.	nov	dic
<b>Hora</b>												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.

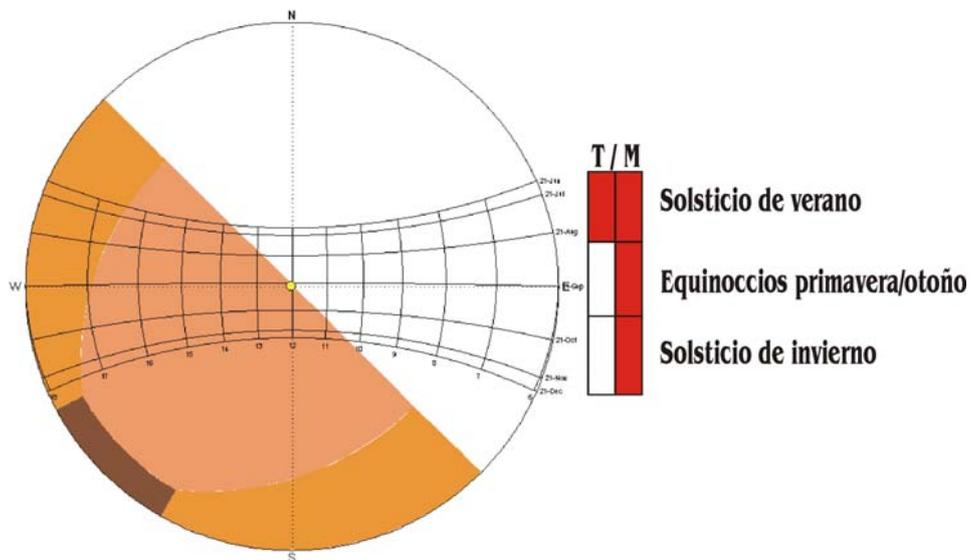


Figura 4.6 – Estereografía de una fachada al Noreste y la época de sol directo por la tarde y mañana.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

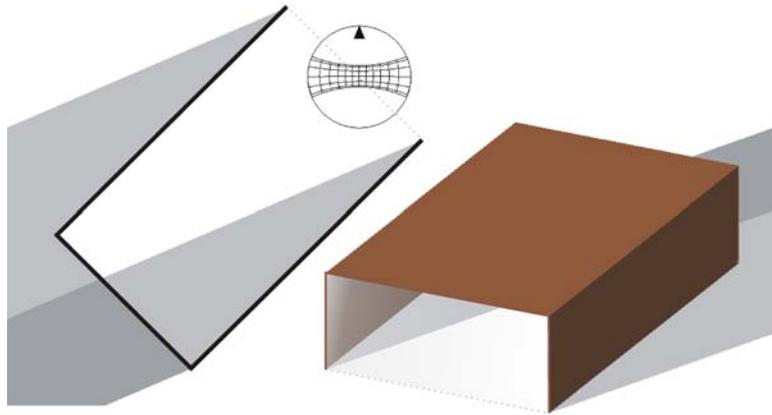
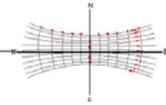


Figura 4.7 – Penetración solar a las 06:03h, en el solsticio de verano, fachada Noreste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

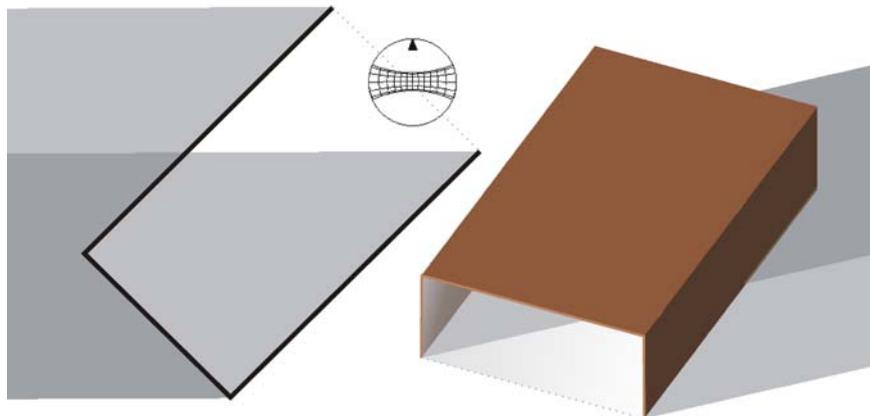


Figura 4.8 – Penetración solar a las 06:00h, en el equinoccio, en la fachada Noreste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

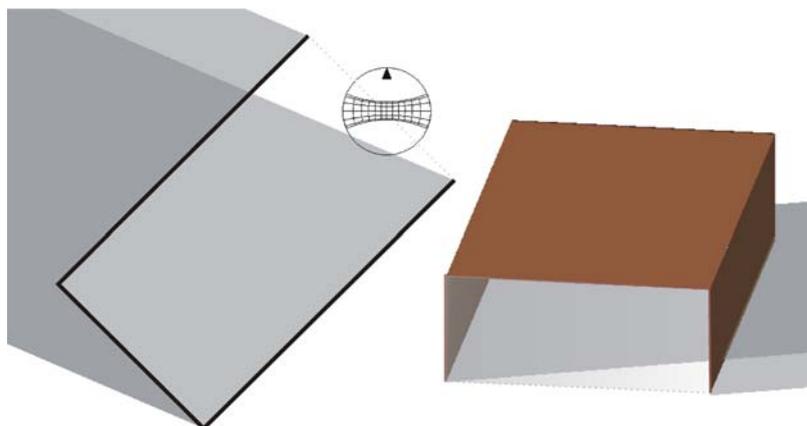
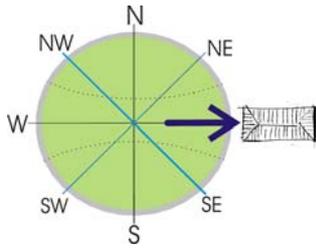
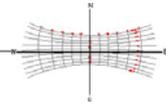


Figura 4.9 – Penetración solar a las 05:57h, en el solsticio de invierno, en la fachada Noreste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.



### 4.1.3 - Orientación de fachadas Este - E (eje: Este-Oeste)

**4.1.3.1 - Ocurrencia de Vientos:** Fachadas ubicadas en la orientación Este (eje: Este-Oeste), tienen 41,6% de los vientos predominantes al largo del año, distribuidos en los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto, con velocidades medias de 1,46 m/s, en relación al periodo de 1964 – 1996 (Basto y Nechet, 2002.). Teniendo, al largo del año las más altas medias de velocidades de vientos predominantes.

Al Este los vientos son predominantes en 41,6% del año y con mejores velocidades medias anuales, entonces, el aprovechamiento anual de una fachada será muy bueno, proporcionando buenas condiciones de confort para sus habitantes.

**4.1.3.2 - Radiación Solar:** Las fachadas ubicadas en la orientación Este tendrán una de las más intensas penetraciones de radiación solar directa, o teniendo la componente horizontal del vector solar ortogonal en la fachada.

Los rayos solares estarán incidentes en las fachadas solamente por las mañana, empezando a las 05:57h en el solsticio de invierno y a las 06:03h en el solsticio de verano y quedarán hasta las 11:00 horas al largo del año, siendo que, entre las 08:00h y 09:00h el pico de intensidad de radiación en las fachadas ubicadas al Este llega a 675W/m<sup>2</sup>. Se puede decir que en todas las mañana del año, fachadas Este tendrán intensa radiación solar hasta las 11:00h y a partir de ese momento, a las 12:00h los rayos solares llegan en las cubiertas de las edificaciones casi perpendicular.

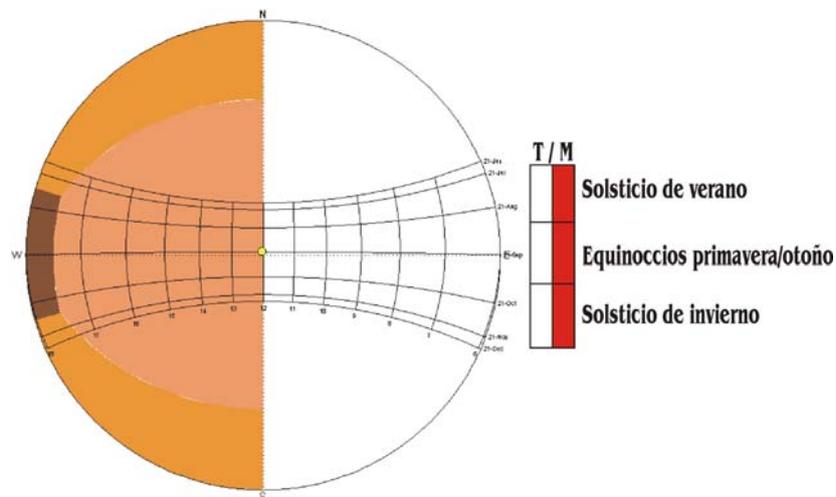


Figura 4.10 – Estereografía de una fachada Al Este y la época de sol directo por la tarde y mañana.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

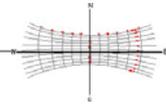
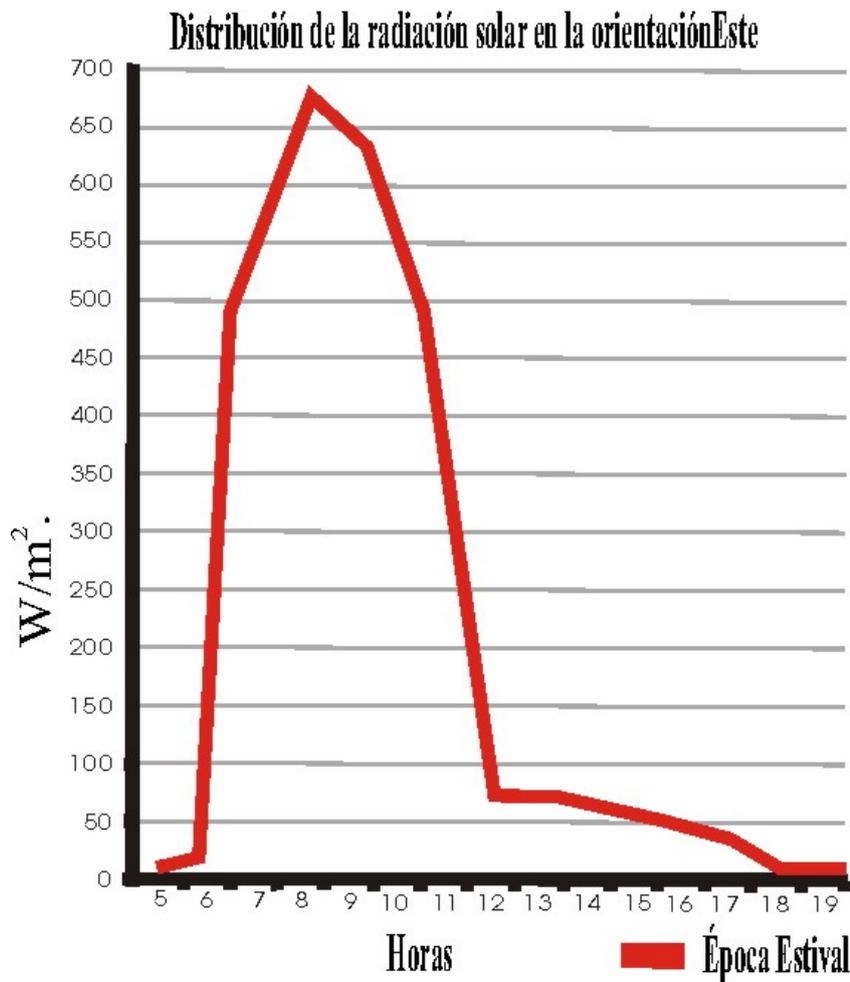


Tabla 4.3 - Horario del sol en la fachada Este a lo largo del año.

Mes	en	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>Hora</b>												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



Gráfica 4.2

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.

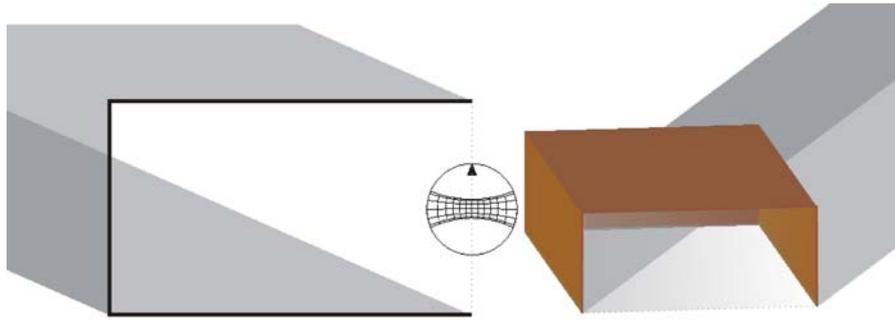
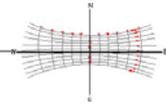


Figura 4.11 – Penetración solar a las 06:03h, en el solsticio de verano, en la fachada Este.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

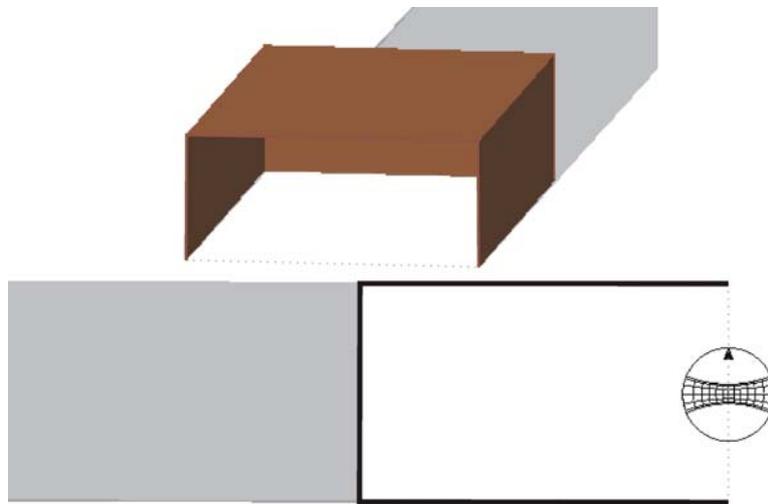


Figura 4.12 – Penetración solar a las 06:00h, en el equinoccio, en la fachada Este.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

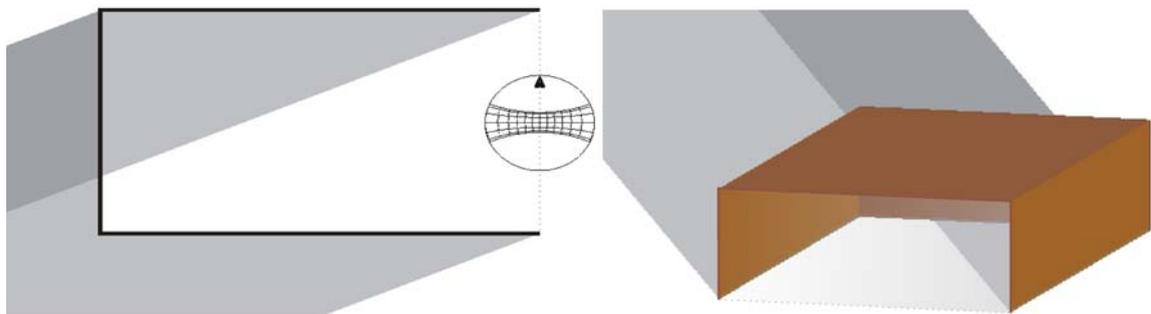
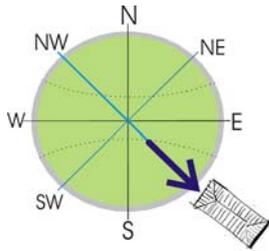
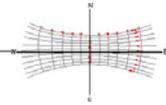


Figura 4.13 – Penetración solar a las 05:57h, en el solsticio de invierno, en la fachada Este.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.



#### 4.1.4 - Orientación de fachadas Sureste - SE (eje: Sureste-Noroeste)

**4.1.4.1 - Ocurrencia de Vientos:** Las fachadas ubicadas a Sureste (eje: Sureste-Noroeste), estarán orientadas en la tercera predominancia de los vientos para la ciudad de Belén, después de las orientaciones Noreste y Este. Entonces, es posible aprovechar los vientos directos y también los vientos que llegan del Este y Sur para las caras laterales de las edificaciones. Sus mayores frecuencias de vientos ocurren durante el invierno y las menores en la primavera.

Entonces, es posible aprovechar los vientos directos y también los vientos que llegan del Este y Sur para las caras laterales de las edificaciones. Sus mayores frecuencias de vientos ocurren durante el invierno y las menores en la primavera.

**4.1.4.2 - Radiación Solar:** Fachadas ubicadas al Suroeste, tendrá radiación solar directa por casi toda la mañana y por algunas horas de la tarde. Siendo que por las mañana, empieza a las 05:57h en el solsticio de invierno y a las 06:03h en el solsticio de verano y 12:00h al largo del año. Pero a las 11:00h no hay radiación solar directa en los meses de mayo, junio y julio, y a las 12:00h hay rayos solares directos solamente en los meses de octubre hasta febrero. Todavía hay radiación solar también por la tarde, aunque solamente a las 13:00h durante los meses de noviembre, diciembre y enero.

La época de más intensidad de radiación (horas de sol) en las fachadas ubicadas a Sudeste será en el solsticio de invierno, donde el sol empieza a las 05:57h y queda hasta las 13:00h directo en la fachada, siendo que el algunos momentos, como a las 10:30h la componente horizontal del vector solar estará ortogonal a la fachada. Y la época de menos horas de sol en la fachada es en el solsticio de verano, donde el sol sale a las 06:03h y queda solamente hasta las 10:00h. Su máxima radiación solar diaria será entre 08:00h y 10:00h, de  $650\text{W/m}^2$ .

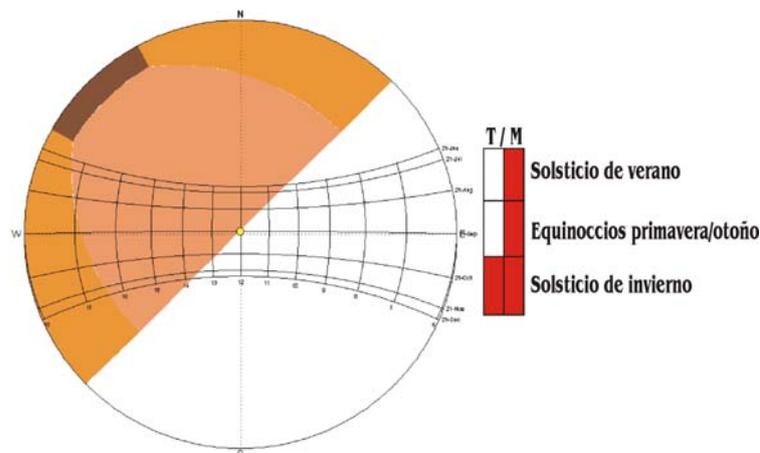


Figura 4.14 – Estereografía de una fachada al Sureste y la época de sol directo por la tarde y mañana.  
Fuente: Adaptado de Helioclim 2.

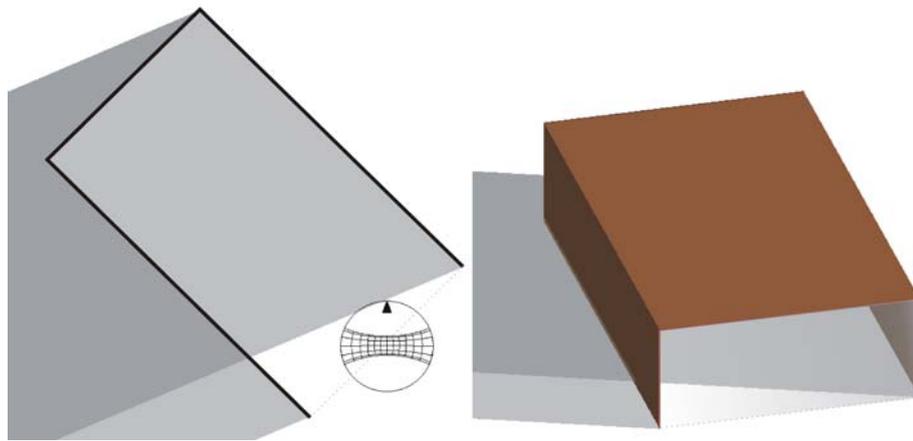
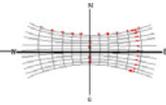


Figura 4.15 – Penetración solar a las 06:03h, en el solsticio de verano, fachada Sureste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

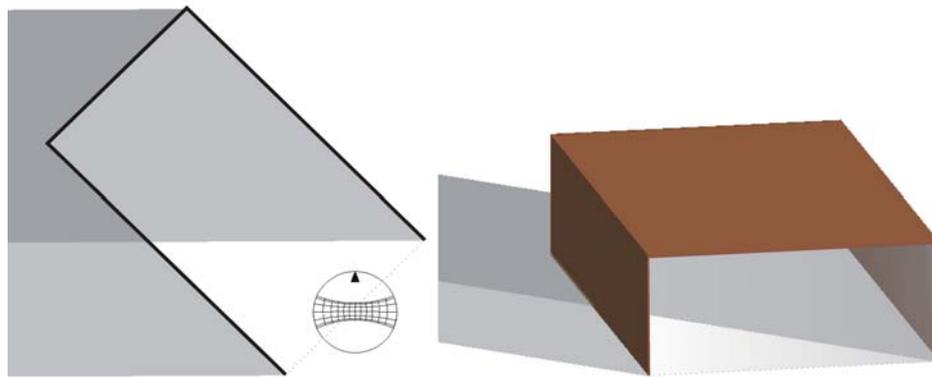


Figura 4.16 – Penetración solar a las 06:00h, en equinoccio, en la fachada Sureste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

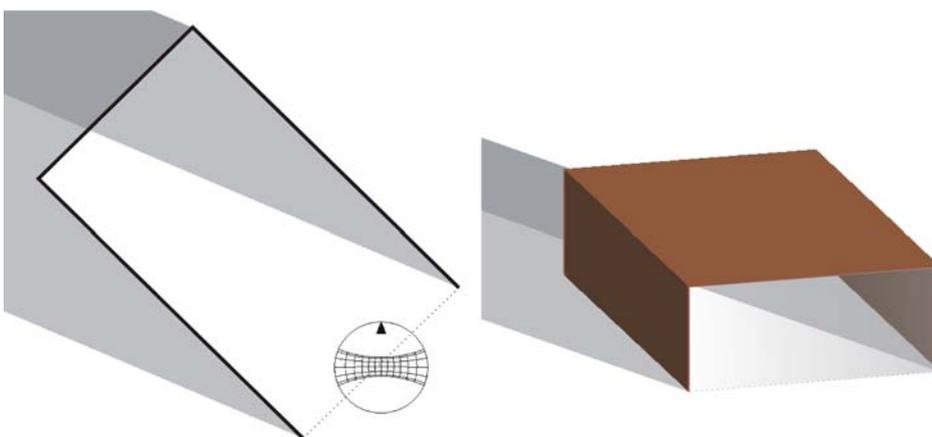


Figura 4.17 – Penetración solar a las 05:57h, en el solsticio de invierno, fachada Sureste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

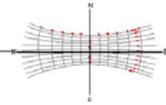
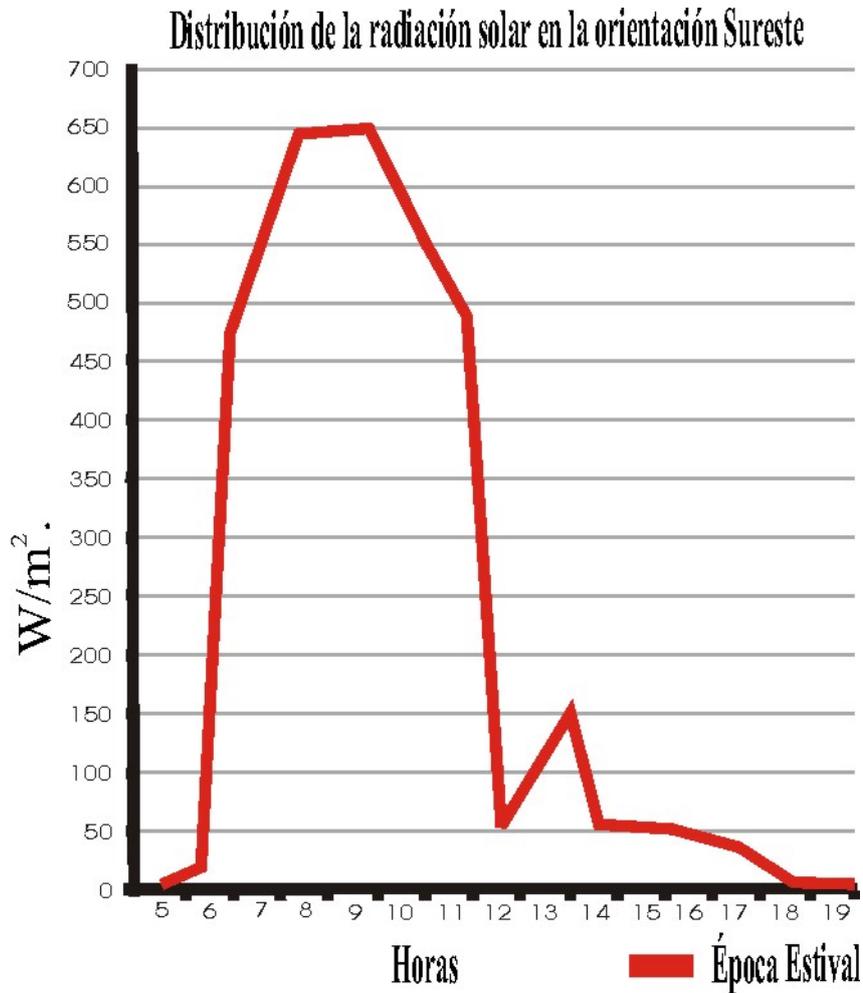


Tabla 4.4 - Horario del sol en la fachada Sureste al largo del año.

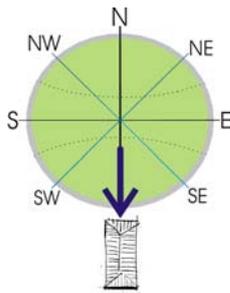
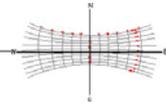
Mes	en	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>Hora</b>												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



Grafica 4.3

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



#### 4.1.5 - Orientación de fachadas Sur - S (eje: Sur-Norte)

**4.1.5.1 - Ocurrencia de Vientos:** En la orientación Sur (eje: Sur-Norte), las fachadas estarán en la sexta mejor predominancia de vientos, siendo más intenso en el mes de mayo. En esta ubicación las edificaciones podrán aprovechar de los vientos directo en la fachada

y de los vientos en las caras laterales, venidos del Sudeste (más frecuentes). Al Sur, la ventilación tiene velocidades regulares, cambiando solamente su ocurrencia, siendo que en la primavera casi no hay ocurrencia de vientos directos en las fachadas.

**4.1.5.2 - Radiación Solar:** En la orientación Sur, las fachadas tendrán comportamiento parecido con las ubicadas en la orientación Norte, en relación a tener a las 12:00h la componente horizontal del vector solar ortogonal a la fachada, pero en los meses de octubre hasta febrero, siendo que en el solsticio de invierno, el sol estará con 68 ° de inclinación. Entonces, el mismo cálculo puede ser hecho para saber la máxima penetración en fachadas ubicadas a Sur, a las 12 horas, con intervalo angular entre 90 y 68 grados (figura de calculos 4.36). Al Sur, las fachadas tendrán mayores temperaturas que al norte, en función de las altas temperaturas existentes en Belén durante los meses de septiembre hasta diciembre, con medias anuales, para estos meses, de 26,77°C.

La radiación solar recibida al Sur, tendrán sol directo (horas de sol) solo en los meses de octubre hasta enero, empezando a las 05:57h en el solsticio de invierno, hasta las 18:02h. Las mayores intensidades de radiación solar, para esta orientación, quedan en dos partes, la primera por la mañana, entre 10:00h y 11:00h y la segunda por la tarde, entre 14:00h y 15:00, llegando a máxima diaria de 400W/m<sup>2</sup>, en la época estival.

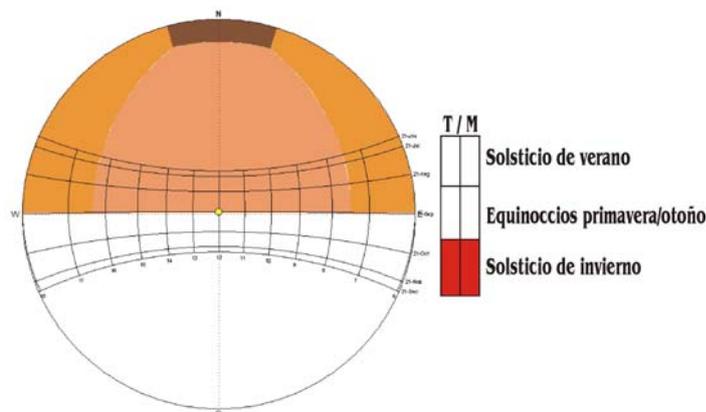


Figura 4.18 – Estereografía de una fachada al Sur y la época de sol directo por la tarde y mañana.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

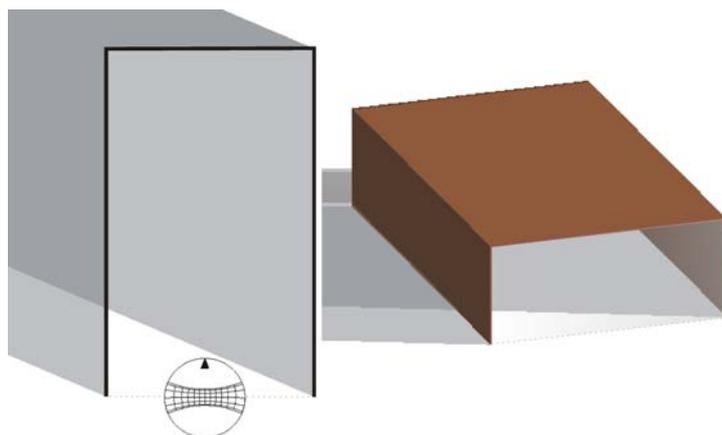
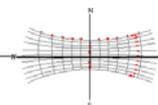


Figura 4.19 – Penetración solar a las 05:57h, en el solsticio de invierno, en la fachada Sur.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

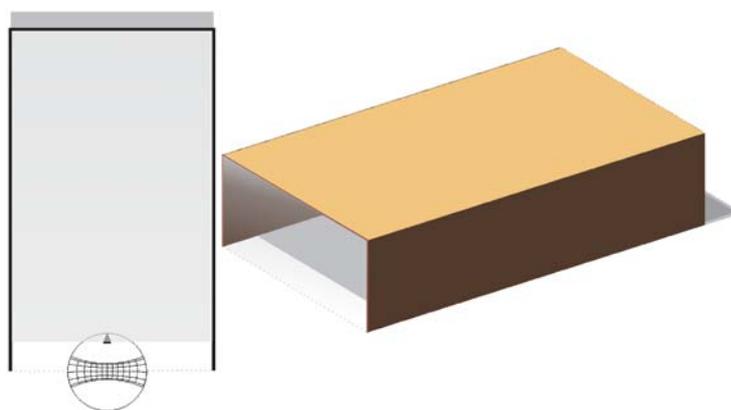


Figura 4.20 – Penetración solar a las 12:00h, en el solsticio de invierno, en la fachada Sur.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

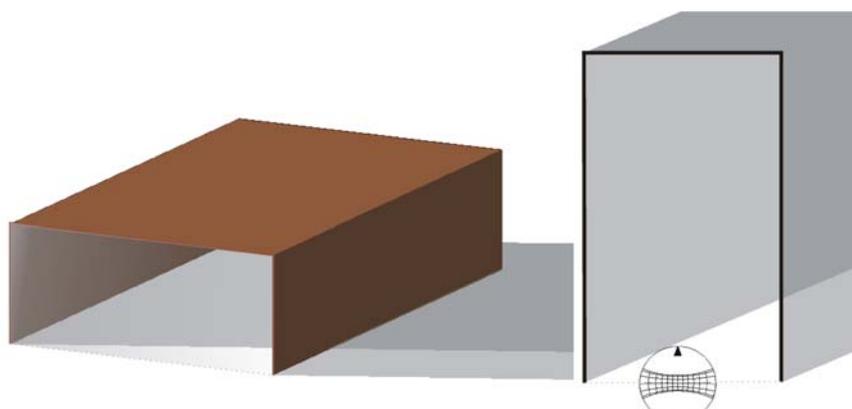


Figura 4.21 – Penetración solar a las 18:03h, en el solsticio de invierno, en la fachada Sur.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

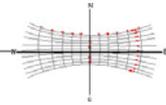
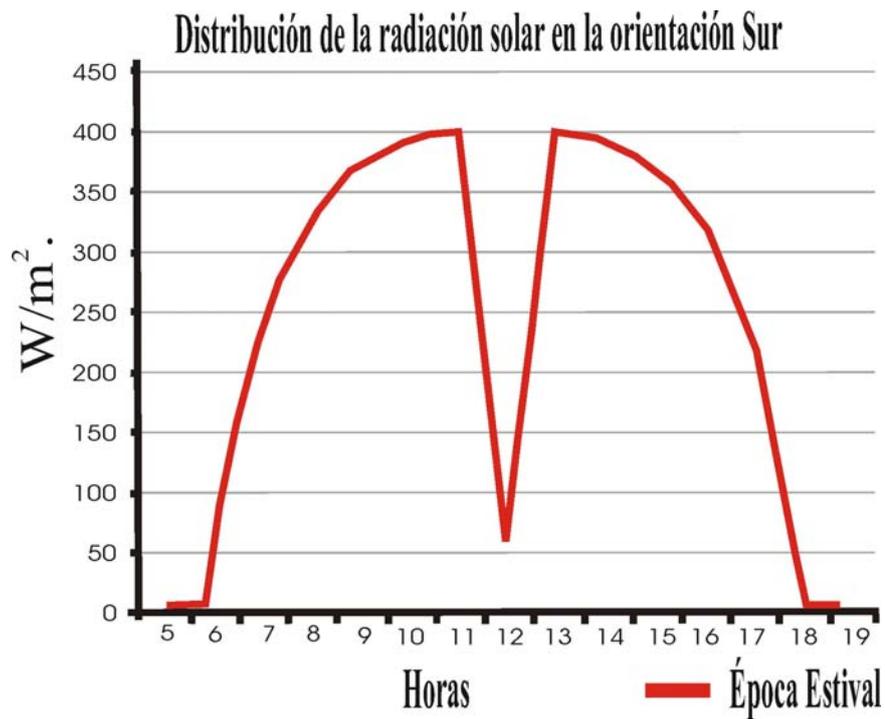


Tabla 4.5 - Horario del sol en la fachada Sur al largo del año.

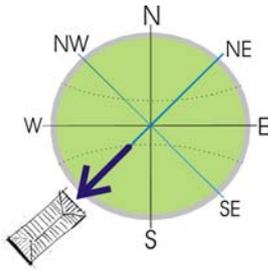
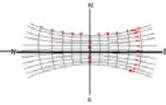
Mes	en	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>Hora</b>												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



Gráfica 4.4

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



**4.1.6 - Orientación de fachadas Suroeste - SW (eje: Suroeste - Noreste)**

**4.1.6.1 - Ocurrencia de Vientos:** La orientación Suroeste (eje: Suroeste - Noreste), es la con menos ocurrencia de vientos para la ciudad de Belén al largo del año. Las fachadas ubicadas a Suroeste se aprovecharán poco de la ventilación, pues la velocidad de los vientos es regular y baja, y solamente en verano hay un poco de vientos más fuertes. Fachadas en esta orientación necesitaran aprovechar en su cara lateral de los vientos del sur (que son más fuertes y frecuentes). Al Suroeste, casi no hay cambio en relación a velocidad y frecuencia de los vientos al largo del año, de modo que esta orientación es la peor entre las ocho analizadas para el aprovechamiento de vientos directos en fachadas.

**4.1.6.2 - Radiación Solar:** Para la orientación Suroeste, distinto de la orientación Noreste, la radiación solar directa estará incidiendo por la tarde, de las 13:00h hasta las 18:03h al largo del año, menos en mayo, junio y julio a las 13:00h. Siendo que, por la mañana también llega radiación directa solamente a las 11:00h en los meses de enero, noviembre y diciembre. A las 13:33 h, será el momento en que la componente horizontal del vector solar estará ortogonal a la fachada Suroeste.

Las fachadas ubicadas a Suroeste, tendrán radiación solar máxima diaria, entre 15:00h y 17:00h, de 650W/m<sup>2</sup> (gráfica 4.5). Y como recibirá radiación solar más por la tarde, pasará más temperaturas altas para el interior de la edificación que por la mañana.

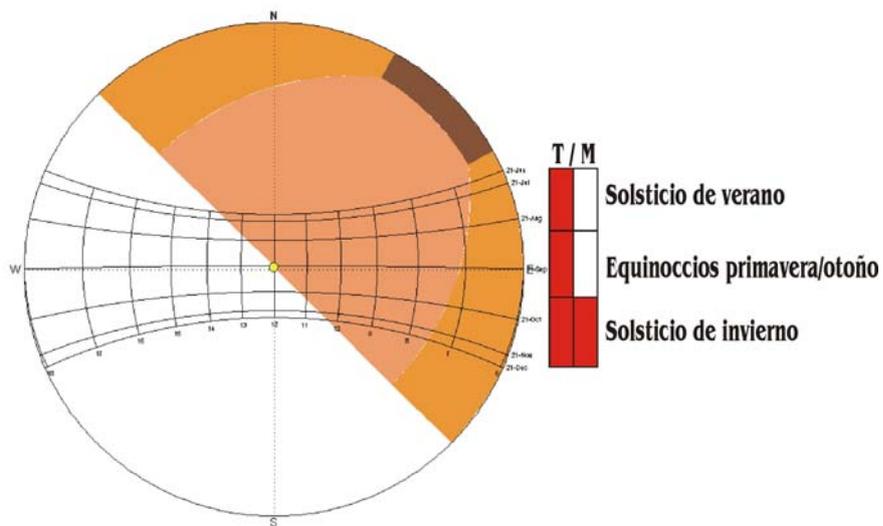


Figura 4.22 – Estereografía de una fachada al Suroeste y la época de sol directo por la tarde y mañana.

Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

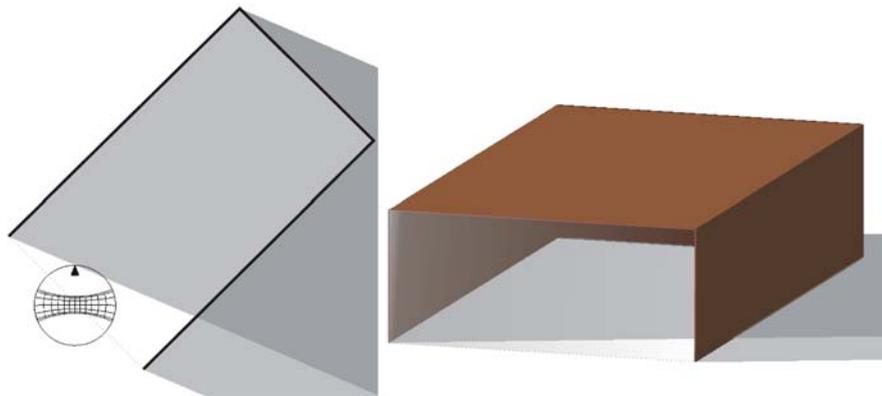
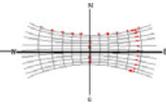


Figura 4.23 – Penetración solar a las 17:57h, en el solsticio de verano, fachada Suroeste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

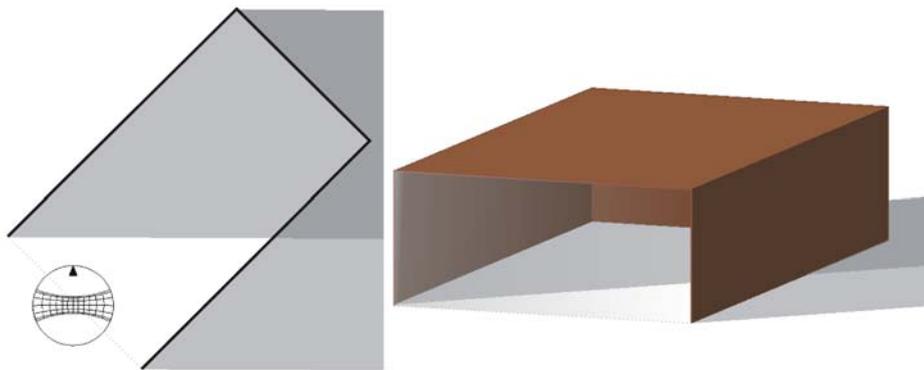


Figura 4.24 – Penetración solar a las 18:00h, en el equinoccio, en la fachada Suroeste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

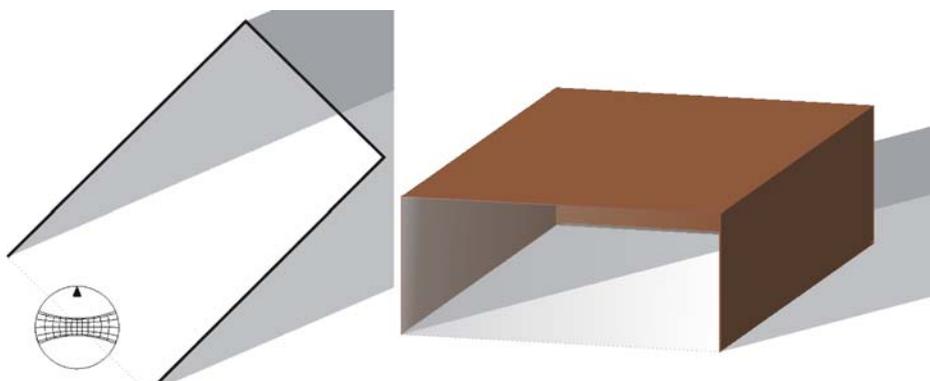


Figura 4.25 – Penetración solar a las 18:03h, en el solsticio de invierno, fachada Suroeste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

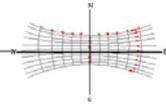
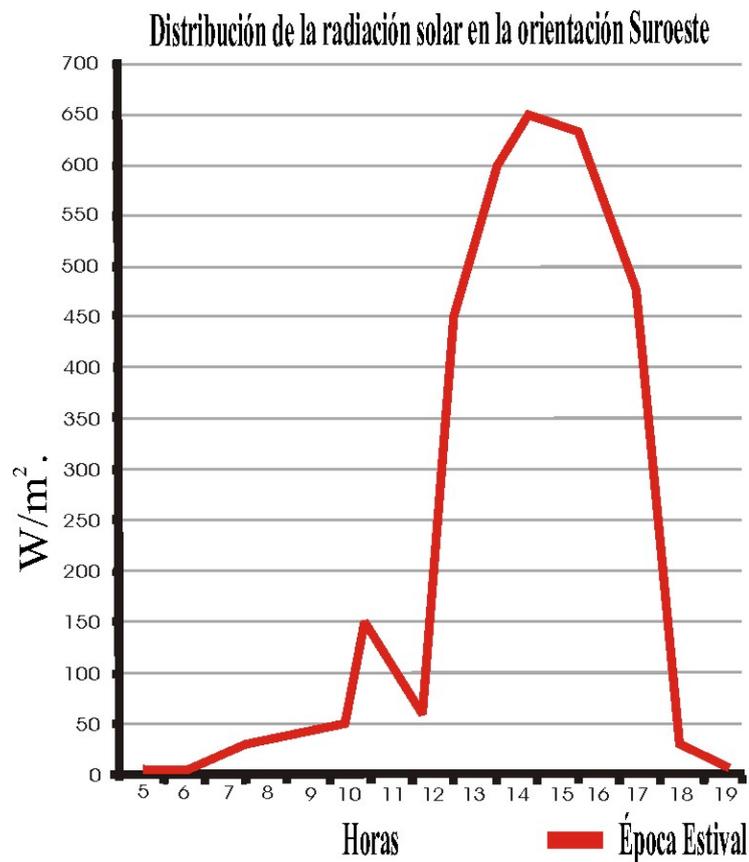


Tabla 4.6 - Horario de sol en la fachada Suroeste al largo del año.

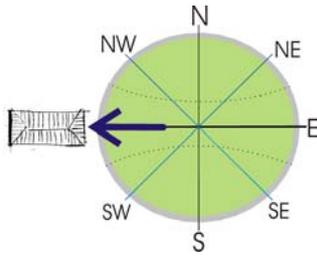
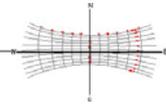
Mes	en	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>Hora</b>												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



Gráfica 4.5

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



**4.1.7 - Orientación de fachadas Oeste - W (eje: Oeste - Este)**

**4.1.7.1 - Ocurrencia de Vientos:** Las fachadas al Oeste (eje: Oeste - Este), estarán ubicadas en una de las peores orientaciones para aprovechamiento de los vientos directos, quedando solamente delante de la Sudoeste. La velocidad y la ocurrencia de vientos es baja a lo largo el año, variando su intensidad solamente en verano y otoño, época estival, o de menos lluvias. Es necesario aprovechar en la cara lateral de los edificios ubicados al Oeste de vientos pródidos de Noroeste (mejores) y al fondo de los vientos del Este (predominantes).

La orientación Oeste recibirá radiación solar solamente por la tarde, empezando de las 13:00h hasta las 18:03h (en el solsticio de invierno) o a las 17:57h (en el solsticio de verano). La máxima radiación diaria en fachadas ubicadas al Oeste, que queda entre 15:00h y 17:00h, es de 675W/m<sup>2</sup> (junto con la orientación Este, es la que tiene la más grande carga térmica), siendo que tendrá radiación solo por la tarde durante todo el año, y que en la época estival, la temperatura sobre una edificación será más que en las otras orientaciones.

La distribución de la incidencia de rayos solares en esta orientación, sobre fachadas, es casi simétrica, siendo que en el equinoccio la incidencia es más perpendicular, y que, a las 15:00h ya puedes entrar al fondo de una edificación de proporciones de 7x12m (esta sin obstrucciones en la fachada).

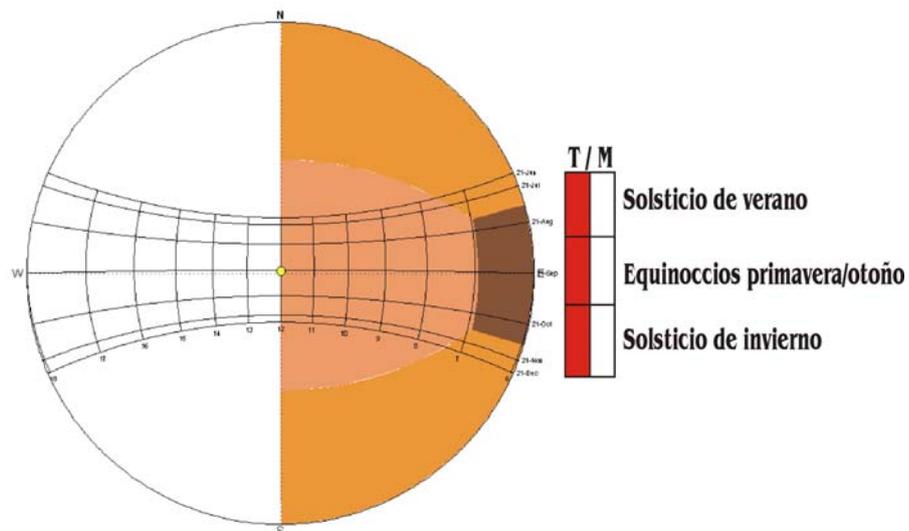


Figura 4.26 – Estereografía de una fachada al Oeste y la época de sol directo por la tarde y mañana. Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

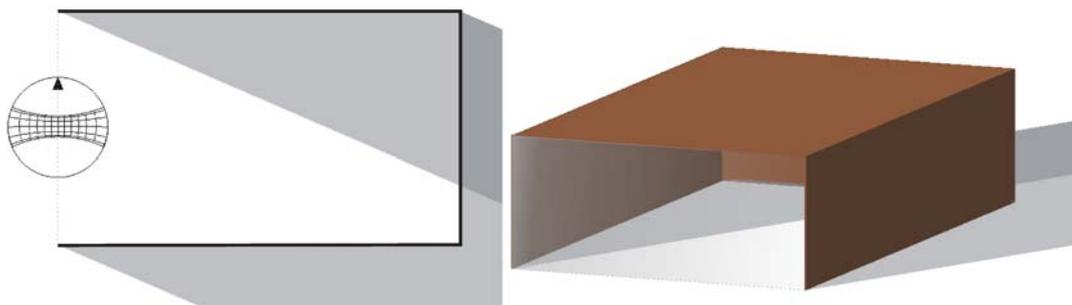
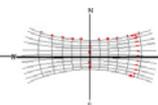


Figura 4.27 – Penetración solar a las 17:57h, en el solsticio de verano, fachadal Oeste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

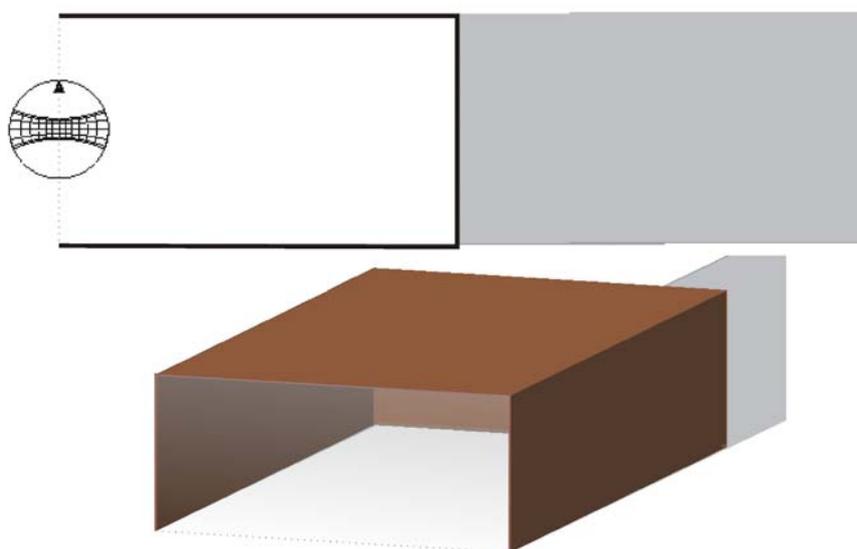


Figura 4.28 – Penetración solar a las 18:00h, en el equinoccio, en la fachadal Oeste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

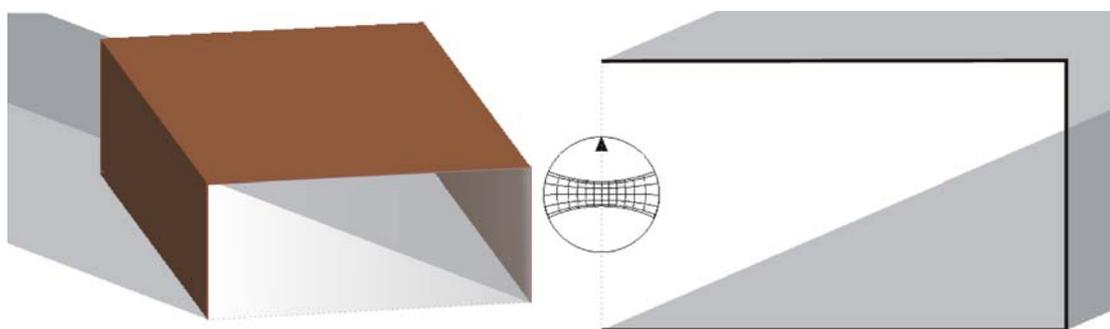


Figura 4.29 – Penetración solar a las 18:03h, en el solsticio de invierno, fachadal Oeste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

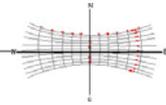
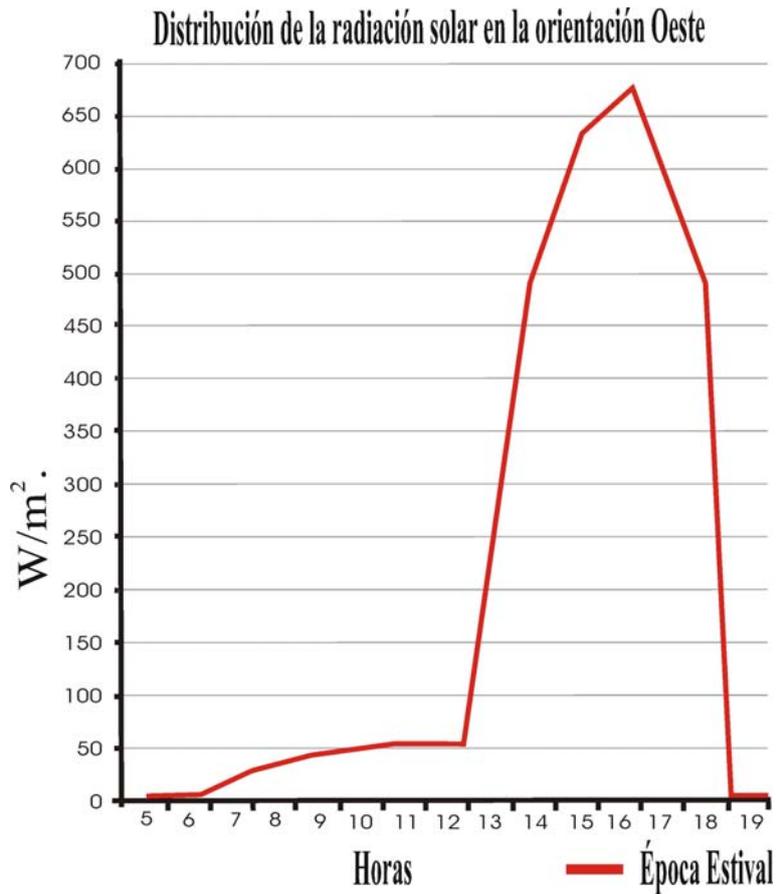


Tabla 4.7 - Horario del sol en la fachada Oeste al largo del año.

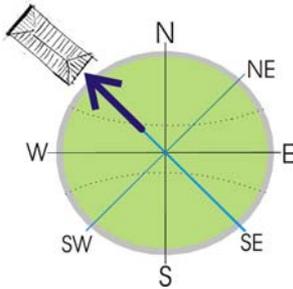
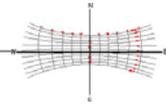
Mes	en	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>Hora</b>												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



Grafica 4.6

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



**4.1.8 - Orientación de fachadas Noroeste - NW (eje: Noroeste - Sureste)**

**4.1.8.1 - Ocurrencia de Vientos:** La orientación Noroeste (eje: Noroeste - Sureste) es la quinta mejor para aprovechamiento de vientos directos entre las ocho analizadas.

A lo largo del año, la velocidad de los vientos es casi regular, estando más intensa durante la primavera. En relación a las frecuencias de ocurrencia de los vientos, queda también casi regular, teniendo más intensidad en el otoño. Las fachadas ubicadas en la orientación Noroeste, además de los vientos directos, pueden y necesitan aprovechar en la cara lateral, los vientos pródidos del Norte (más fuertes y veloces).

**4.1.8.2 - Radiación Solar:** Las fachadas orientadas al Noroeste, tendrán máxima radiación diaria de  $500W/m^2$ , entre las 15:00h y 17:00h en la época estival, la misma que hay en la orientación Noreste (eje: Noreste-Suroeste).

En esta orientación la incidencia de la radiación diaria en todo el año, inicia a las 13:00h hasta las 18:00h, menos a las 13:00h en los meses de noviembre, diciembre y enero, siendo que a las 12:00h hay radiación solamente en los meses de abril hasta agosto y también a las 11:00h en los meses de mayo, junio y julio.

También al Noroeste la más intensa radiación solar (horas de sol) será durante el solsticio de verano y menos en el solsticio de invierno, siendo que ocurrirá momentos, como a las 13:50h, en que la componente horizontal del vector solar estará ortogonal a las fachadas.

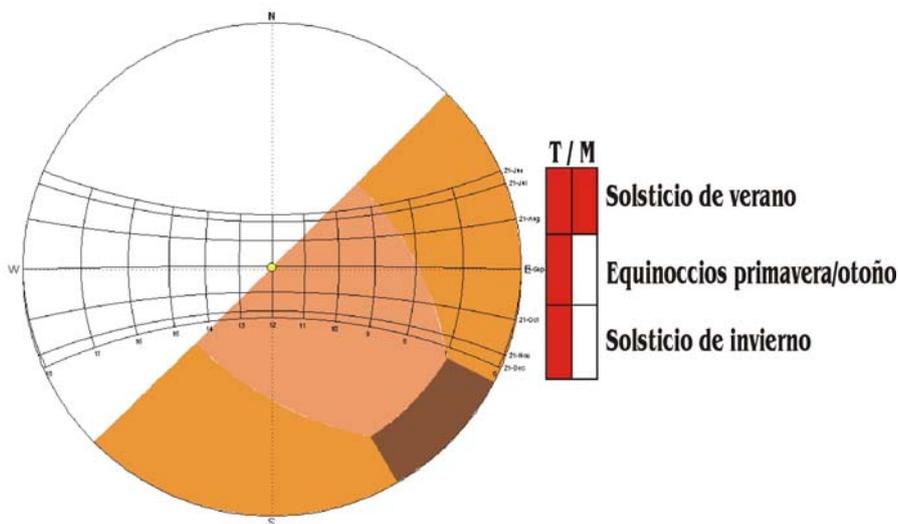


Figura 4.30– Estereografía de una fachada Noroeste y la época de sol directo por la tarde y mañana.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

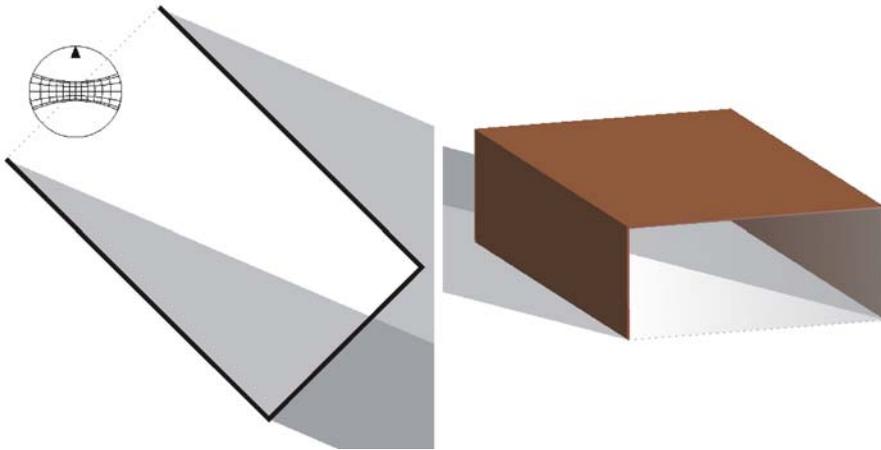
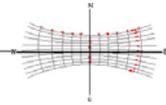


Figura 4.31 – Penetración solar a las 17:57h, en el solsticio de verano, fachada Noroeste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

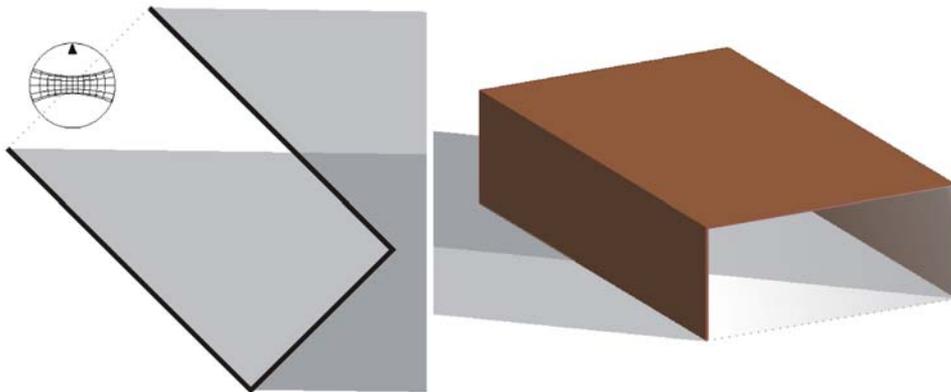


Figura 4.32 – Penetración solar a las 18:00h, en el equinoccio, en la fachada Noroeste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

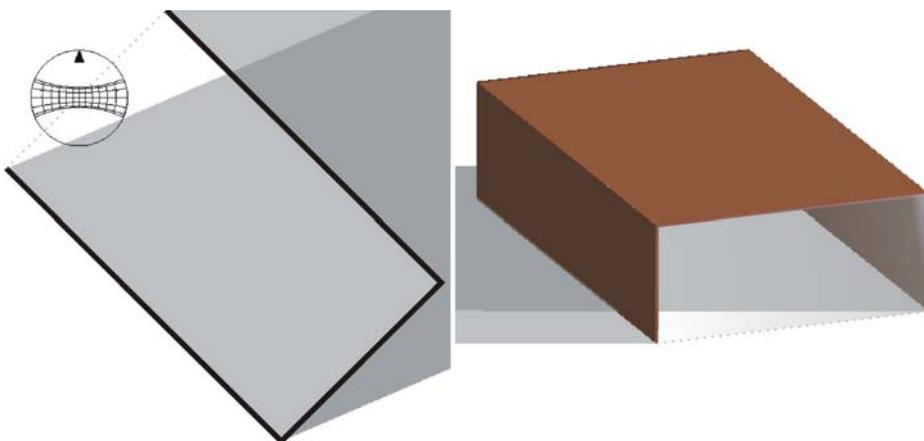


Figura 4.33 – Penetración solar a las 18:03h, en el solsticio de invierno, fachada Noroeste.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

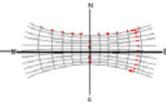
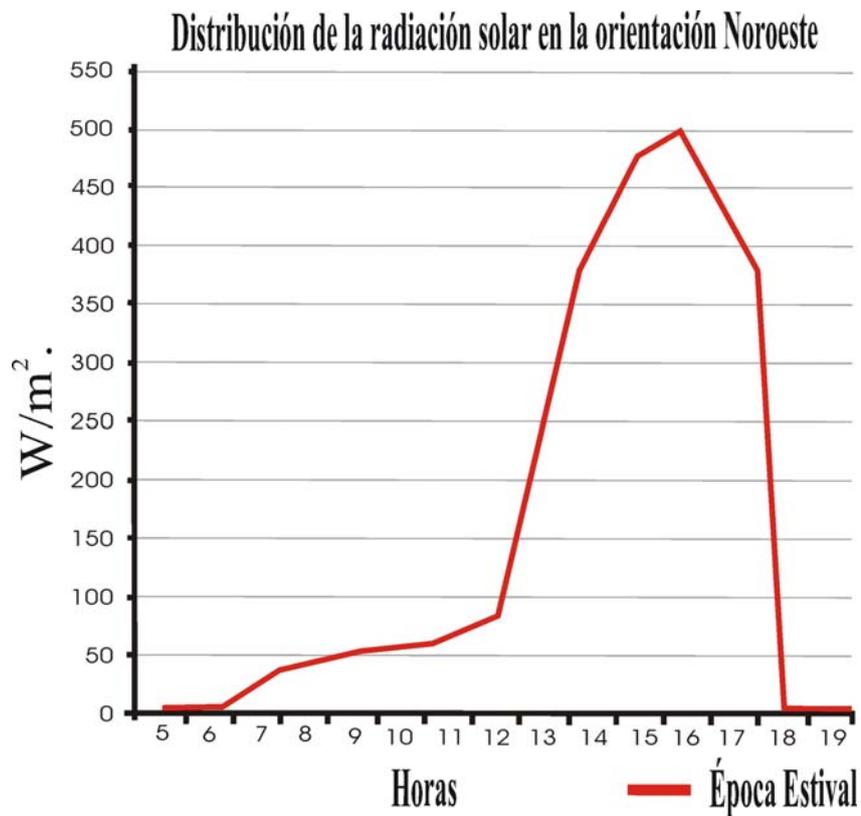


Tabla 4.8 - Horario de sol en la fachada Noroeste al largo del año.

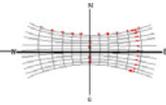
Mes	en	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>Hora</b>												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



Gráfica 4.7

Fuente: Adaptado de Climaticus 1.0 FAUSP, 2003.



## 4.2 - ASPECTOS GENERALES DEL ANÁLISIS DE ESE CAPITULO SOBRE LOS VIENTOS Y LA INCIDENCIA SOLAR EN FACHADAS UBICADAS EN OCHO ORIENTACIONES EN ESTUDIOS.

En relación a los estudios hechos sobre fachadas ubicadas en las distintas orientaciones (N, NE, E, SE, S, SW, W, y NW) para las condiciones de aprovechamiento de los vientos y de la incidencia de radiación solar en la latitud de la ciudad de Belén del Pará, en Brasil, tenemos las siguientes observaciones:

### 4.2.1 - En relación a los vientos:

- Podemos clasificar las condiciones de aprovechamiento de los vientos, en relación a las distintas orientaciones, en “zonas” (figura 4.34), con énfasis a las mejores, en grado de color y orden numérica, orientaciones para aprovechar los vientos directos.

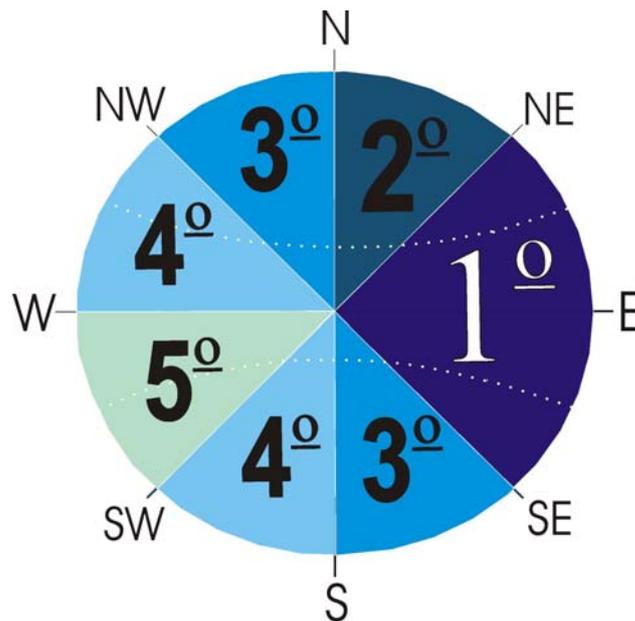
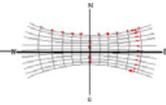


Figura 4.34: Clasificación, en zonas, de las mejores orientaciones de ventilación en fachadas.  
Fuente: Esquema adaptado por el autor, 2007.

- Para cada orientación de fachada, además del aprovechamiento de los vientos directos, se puede (y es necesario) también intentar captar los mejores vientos de las otras orientaciones para las caras laterales o fondo de las edificaciones, dependiendo siempre de las aberturas, de los alejamientos existentes y de las obstrucciones alrededor de las edificaciones.



- Entre todas las orientaciones analizadas, la que puede proporcionar mejores aprovechamiento de los vientos predominantes y con buena velocidad están al Noreste.

- En general, las orientaciones que tienen las mayores velocidades y predominancia de los vientos para la ciudad de Belén están ubicadas a Noreste y Este, respectivamente, siendo que durante los meses de enero, febrero, marzo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, predominan la orientación Noreste y en los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto predomina la orientación Oeste (ver tabla 4.9).

Tabla 4.9 – Datos meteorológicos medios y extremos de Belén. Periodo: 1967-1996

INSOLACIÓN (h)		Vientos	
Mes		D	V m/s
Ene	140,9	NE	1,3
Feb	108,4	NE	1,3
Mar	111,5	NE	1,3
Abr	134,2	E	1,3
May	190,4	E	1,4
Jun	236,7	E	1,6
Jul	259,0	E	1,5
Ago	268,4	E	1,5
Sep	242,5	NE	1,6
Out	244,2	NE	1,6
Nov	214,8	NE	1,6
Dic	187,3	NE	1,4
Ano	2338,3	NE	1,5

Fuente: Basto y Nechet, 2002.

- La velocidad de los vientos en Belén es baja y muy regular a lo largo del año, con pequeños cambios en las orientaciones al Norte (primavera y invierno) y al Noroeste (primavera).

- Edificaciones que logran aprovechar el máximo de los vientos, que quedan en la mejores zonas, o que aprovechan al máximo la ventilación en los meses con menos intensidad de lluvia, o sea, con ventilación más fuertes y constantes, ofrecerá a las personas mejores condiciones de confort en su interior, como por ejemplo el Restaurante universitario de la Universidad Federal del Pará (UFPA) en Belén, del arquitecto Castro Filho (figura 4.35), que está ubicado para tener aprovechamiento de las mejores zonas de ventilación y que deja para las peores zona la parte de los servicios.

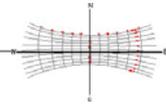
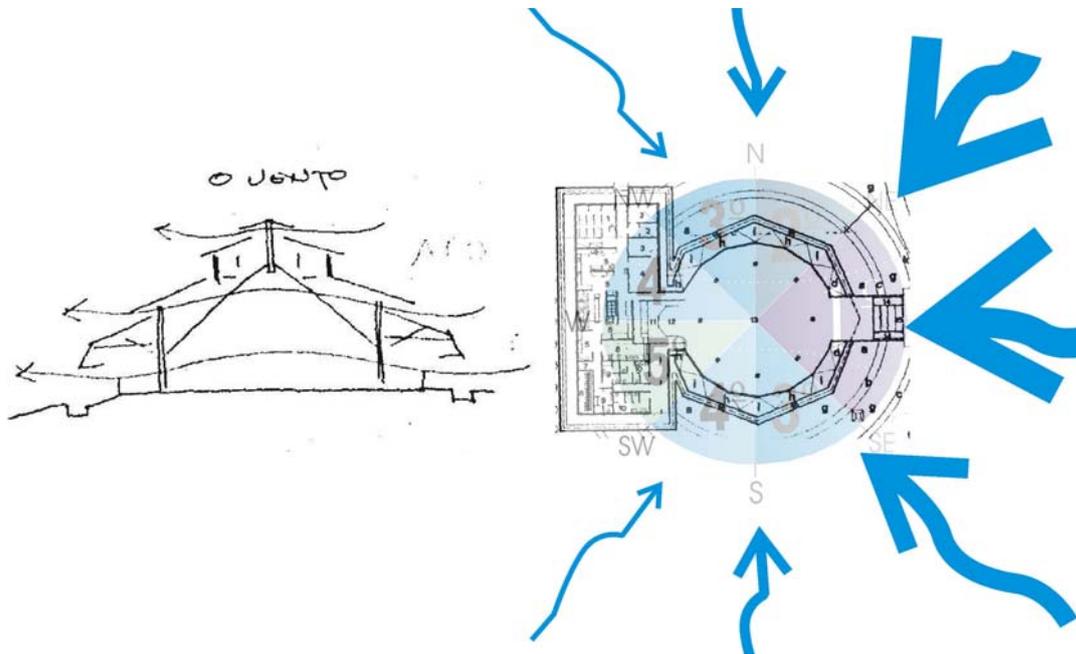


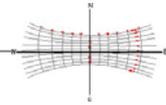
Figura 4.35: Restaurante Universitario de la UFPA, en planta y sección, ubicado para recibir los viento de las mejores zonas de ventilación de Belén del Pará.



Fuente: Adaptado por el autor de Ref. Internet 09.

#### 4.2.2 - En relación a la radiación solar:

- La radiación solar (horas de sol en las fachadas), inciden con más intensidad en las caras de las edificaciones por las mañanas en la orientación Este (con máximo de  $675\text{W/m}^2$ , entre las 08:00h y 09:00h) y por la tarde en la orientación Oeste (con máximo de  $675\text{W/m}^2$ , entre 15:00h y 17:00h), estando los rayos solares con la componente horizontal del vector solar ortogonal en las caras a las fachadas.
- Las orientaciones que menos aportan intensidad de radiación solar (horas de sol) en las fachadas de las edificaciones, siendo también las que tienen menos rayos solares directos en la cara, son las orientaciones Norte y Sur, teniendo su máxima radiación diaria de  $400\text{W/m}^2$ .
- Las fachadas ubicadas al Sureste y Suroeste, tendrán intensidad de radiación solar directa a lo largo del año, llegando al máximo de incidencia diaria, de  $650\text{W/m}^2$ . Y la radiación incidirá ortogonal en las fachadas y también directo en soslayo.



- Las orientaciones a Noreste y Noroeste reciben la tercera mayor intensidad de radiación solar directa (horas de sol), siendo también ortogonal los rayos solares a las fachadas y soslayo a las caras laterales, alcanzando a  $500\text{W/m}^2$  de pico diario.
- A lo largo del año, fachadas ubicadas en todas las orientaciones analizadas aquí (para edificaciones sin obstrucciones y con alejamientos laterales), tendrán radiación solar directa siempre (ortogonal en las caras o de soslayo). Pero, al Este y al Oeste estarán la radiación más en directo, y a Norte y Sur tendrán rayos solares ortogonal en las fachadas solamente en el solsticio de verano a las 12:00h (eso para fachadas al Norte) y en el solsticio de invierno también a las 12 (para fachadas al Sur), pues en las otras épocas del año los rayos al Norte y Sur estarán siempre de soslayo.
- Es posible a través de una formula básica (ver figura 4.36), saber la máxima penetración solar en fachadas ubicadas al Norte y Sur a las 12:00h, momento en que el sol está con su componente horizontal del vector solar ortogonal a la fachada, donde  $P = 0,46 \times H$  (P-penetración y H-altura de fachada en el solsticio de verano) para orientación Norte;  $P = 0,40 \times H$  (P-penetración y H-altura de fachada en el solsticio de invierno).

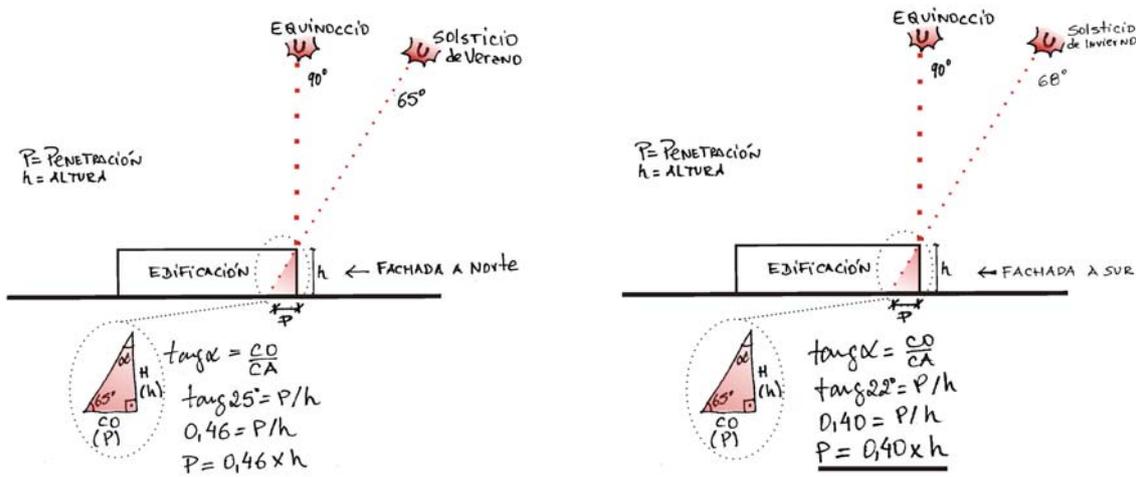
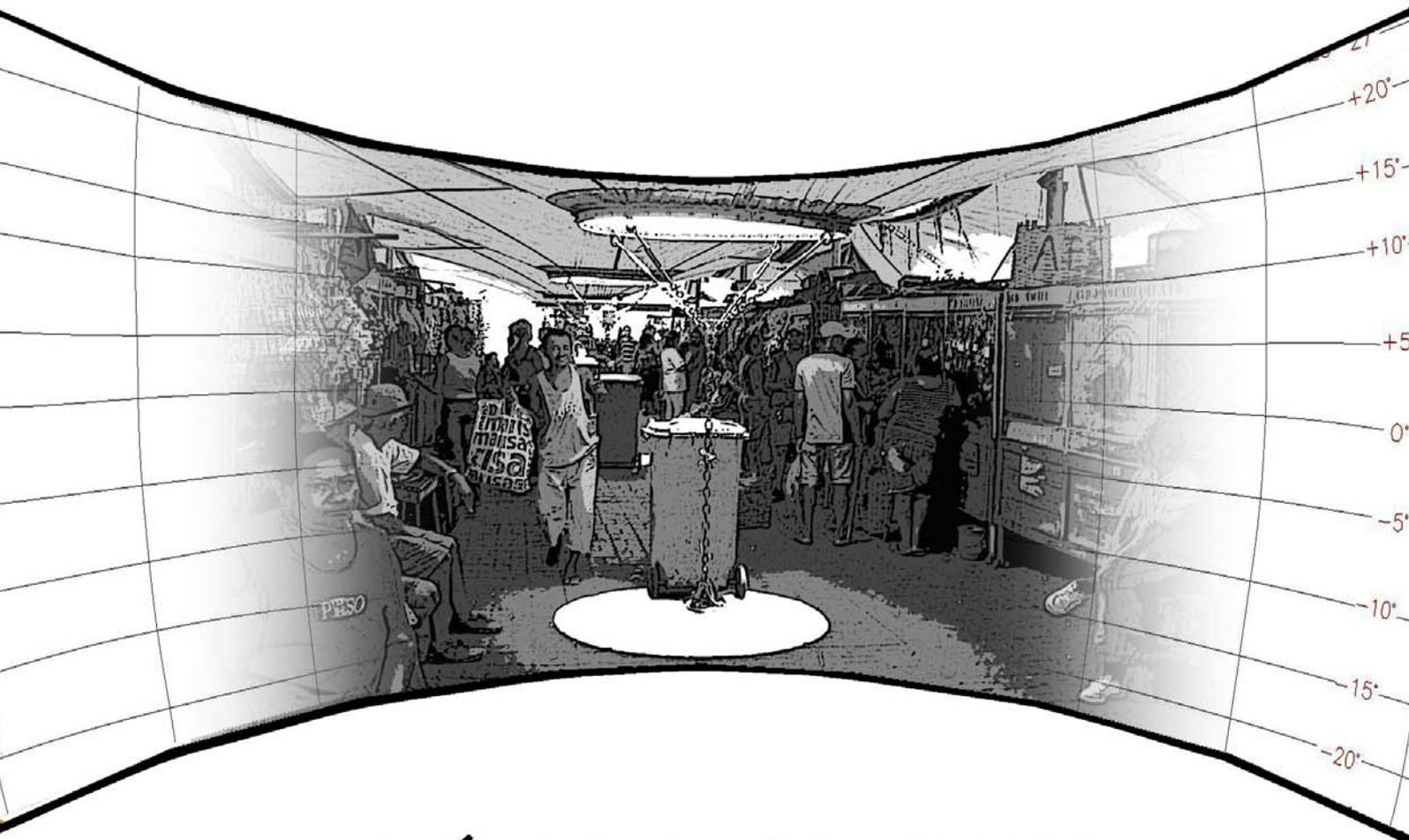


Figura 4.36: Esquema de la máxima penetración solar en fachadas al Norte y al Sur a las 12:00h en el solsticio de verano y de invierno.

Fuente: Esquema, formula y dibujo del autor, 2007.

“ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN/BRASIL”

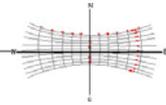
## CAPÍTULO 5



## ANÁLISIS EN LOS BARRIOS

ADAILSON OLIVEIRA BARTOLOMEU  
BARCELONA 2007

TESINA DEL MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL - UPC/ESPAÑA



## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS EN LOS BARRIOS

En este capítulo, se harán estudios con el objetivo general de entender mejor el comportamiento de las energías en la ciudad de Belén del Pará.

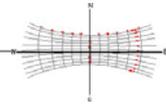
#### 5.1 – ORGANIZACIÓN DEL CAPÍTULO

##### 5.1.1 - Objetivos específicos:

- Aplicar en las áreas específicas de tres barrios, con características distintas dentro la ciudad de Belén del Pará, los estudios hechos en el Capítulo 04.
- Verificar las diferentes formas de comportamiento de los espacios elegidos en los tres barrios en relación a la ventilación y la incidencia de radiación solar directa en las fachadas existentes.
- Analizar las diferencias ante los cambios de recorridos de un observador en puntos fijos distintos, juntamente con las estereografías de los puntos.
- Verificar lo que pasa en los espacios elegidos para el análisis, a través del cambio de las horas en la estereografía, durante el solsticio de verano, equinoccio y solsticio de invierno.
- Analizar, entre los tres diseños de los espacios urbanos en estudio, cuál tiene el mejor aprovechamiento en relación a los vientos, a la protección de los rayos solares sobre las fachadas y las personas.
- Verificar, en los espacios en análisis, los sentidos de orientaciones de fachadas que han sido privilegiados en el diseño urbano.
- Analizar cómo las diferencias en el diseño urbano interfieren en la incidencia de la radiación solar, en el aprovechamiento de los vientos y en el modo de vida de las personas (en relación a las condiciones climáticas del lugar).

##### 5.1.2 - Importancia:

- Confrontar la aplicación de conceptos y estudios desarrollados en el Capítulo 04, en los espacios elegidos para los estudios en los tres barrios en Belén.
- Entender mejor el comportamiento de las energías dentro del espacio urbano de la ciudad de Belén del Pará.
- Utilizar la estereografía como herramienta para entender mejor cuestiones relacionadas con el recorrido solar en Belén, sobre el comportamiento de las



proyecciones de los rayos solares y las consiguientes necesidades de protección en las edificaciones y para los habitantes de la ciudad.

- Intentar entender el funcionamiento de las energías en tres espacios urbanos distintos dentro de Belén.
- Percibir un poco de la visión de las personas (el observador) paradas en puntos fijos en Belén, a través de observaciones hechas en las estereografías de esos sitios y de las condiciones climáticas de la ciudad.

### **5.1.3 - El porqué:**

- La decisión de hacer este capítulo ha surgido de la necesidad de tener un mejor entendimiento sobre el comportamiento de las energías en espacios de características de diseño distintas dentro de la ciudad de Belén del Pará.

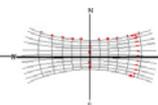
### **5.1.4 - Qué se hará:**

- Se elegirá, dentro de tres barrios un área (plaza o manzana), donde se desarrollarán análisis del comportamiento de las energías, de la percepción de un observador en relación a las condiciones climáticas del lugar y sobre la utilización de la estereografía como ayuda en los estudios.

### **5.1.5 - Cómo se hará:**

Para cada uno de los tres barrios (Ciudad vieja, Umarizal y Marco) se estudiará un espacio específico elegido de forma aleatoria, y que será examinado en cada espacio:

- Análisis de las estereografías en un recorrido de un observador parado en puntos específicos alrededor de cada espacio investigado (plaza o manzana).
- Estudio del comportamiento de cada espacio durante el Solsticio de verano, Equinoccio y Solsticio de invierno, a través de estudios con el cambio en las horas en la estereografía.
- Verificación del sentido de las orientaciones de las fachadas y su comportamiento en el espacio en estudio a lo largo del año en relación a la incidencia de la radiación solar.
- Análisis del comportamiento y aprovechamiento de la ventilación en función del diseño de los espacios en estudio y su composición edificada.



## 5.2 – ANÁLISIS DE UN SITIO EN EL BARRIO “CIUDAD VIEJA”

### 5.2.1 – El barrio

*“Parte de Belén donde los portugueses, al mando de Francisco Caldeira Castelo Branco, desembarcaron, construyendo un fuerte de madera y una Capilla. La plaza de armas (pequeña y sencilla) era defendida por una Estacada de Madera, dentro de la cual se mantuvieron los primeros colonizadores civiles y militares. Saliendo del fuerte, los colonos abrieron un camino, que llamaron “calle del Norte”, y fueron aventurándose en la construcción de viviendas para morada. Entonces, ha surgido la Ciudad, llamada posteriormente “Vieja”, permaneciendo hasta los días presentes. Es la parte colonial que queda de la Belén de los siglos XVII y XVIII”.*

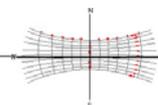
*(Ernesto Cruz, Calles de Belén, 1970).*

El Barrio de la ciudad vieja es el barrio más antiguo de Belén del Pará (ver figura 5.1), donde empezó la ciudad a partir de su descubrimiento por Francisco Caldeira Castelo Branco, el 12 de enero de 1616. Tiene muchas edificaciones coloniales históricas, con azulejos portugueses, habiendo un gran número de edificios protegidos por el Instituto del Patrimonio histórico y Artístico Nacional – IPHAN. Es en este antiguo barrio donde están guardadas las memorias de los Indígenas, Negros y portugueses, precursores que poblaron la ciudad de Belén del Pará.

Sus calles tienen nombres de ciudades o personalidades, principalmente portuguesas y brasileñas, como: Av. Portugal, calle de Aveiro, Ciudad Hermana, calle de Óbidos, calle de Breves, Calle Dr. Assis, calle Dr. Malcher, calle Siqueira Mendes, Av. Almirante Tamandaré, calle Ângelo Custódio, calle Félix Roque, calle Padre Champagnat, Boulevard Castilho França, etc.

Este barrio es una de las referencias del patrimonio histórico y cultural de la provincia del Pará, y es también donde están los principales puntos turísticos de Belén, como museos (foto 5.1), palacetes y iglesias en estilo neoclásico e imperial brasileño. Iglesias como la Catedral de la Sé (foto 5.1), uno de los más antiguos templos religiosos de la ciudad, construida en el siglo XVII por el arquitecto italiano Antonio Landi, autor de otras obras históricas y arquitectónicas en Belén, en su mayoría ubicadas en el barrio de la ciudad vieja.

En este barrio surgió la primera calle de Belén, la calle de la Ladeira, donde quedan bares y restaurantes antiguos y sencillos. Hay también en este barrio la plaza del reloj (el reloj inglés), de la década de los treinta, la plaza Don Pedro II, donde está el



centro administrativo de Belén (foto 5.1), como los poderes Legislativo, Judicial y Ejecutivo.

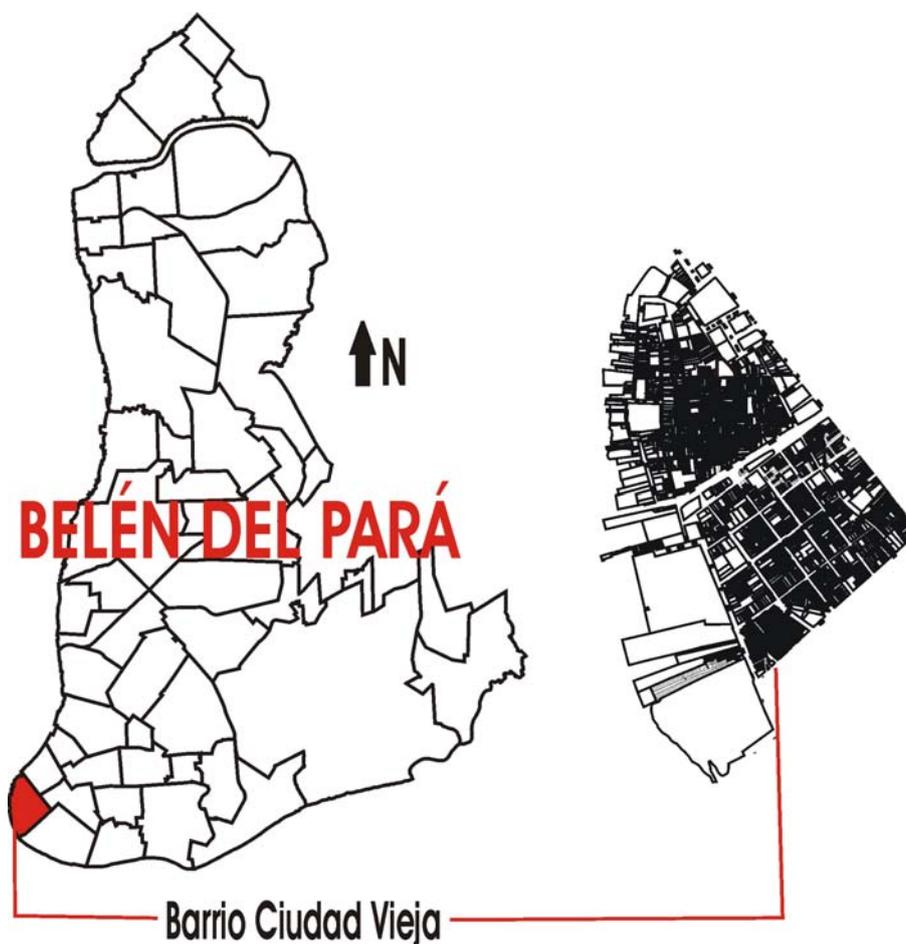
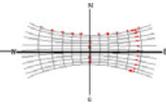


Figura 5.1: Localización del Barrio Ciudad Vieja en Belén.  
Fuente: Adaptado de CODEM, 2001.



Foto 5.1: foto de la sede Municipal, la Catedral de la Sé y el Museo del Estado.  
Fotos: Bartolomeu, 2006.



El centro histórico de Belén (donde queda el barrio ciudad vieja) se consolidó durante siglos de intervenciones públicas. Inicialmente, los colonizadores portugueses buscaban un lugar privilegiado en cuanto a los aspectos estratégicos militares y situaron el marco inicial de ocupación de la ciudad, el fuerte del presepio, actualmente funciona como un museo y es conocido como el Fuerte del Castillo (foto 5.2), en una esquina entre la baya del Guayará y el río Guamá, circundada por el alagado del Piry. Durante el siglo XVII, los planos de la Corona portuguesa de cambiar la ciudad capital de un sub-reino iniciaron un proceso de transposición de los obstáculos al desarrollo de la ciudad en dirección al continente, iniciado por el aterro del igarapé del Piry, y creación de un conjunto arquitectónico monumental constituido por palacios, plazas y iglesias; según un trazado en abanico que converge hacia el fuerte (Mesquita, 2005).



Foto 5.2: Fuerte del Castillo hoy.  
Fotos: Ref. Internet 08.

Sobre la ocupación, la topología y formatos, en el barrio de la ciudad vieja, prevalece el uso habitacional (figura 5.3), con viviendas y edificaciones, en su mayoría, de una hasta cuatro plantas, o sea, de bajas y homogéneas alturas (figura 5.3). Los lotes en el barrio (figura 5.2) son en su mayoría rectangulares con su frente más pequeña paralela a las vías en que están ubicados y con poca área.

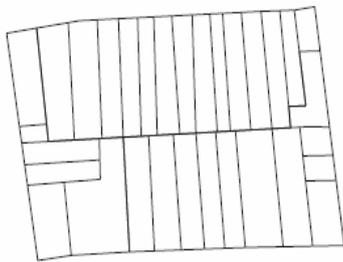
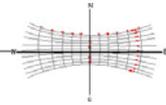


Figura 5.2: Formato del lote en el barrio.  
Fuente: Coden, 2001.

El barrio de la ciudad vieja, con su diseño, su arquitectura y su historia, es el más antiguo y atractivo de Belén del Pará, y por eso, tiene características que sólo hay en él (el diseño de las calles, tipos de las manzanas, altura de los edificios y su urbanismo en general). Y por tener esas características, lo hemos elegido para iniciar, en este capítulo,



los estudios en un espacio específico, así como se hará posteriormente en los otros dos barrios de la ciudad (Umarizal y Marco).

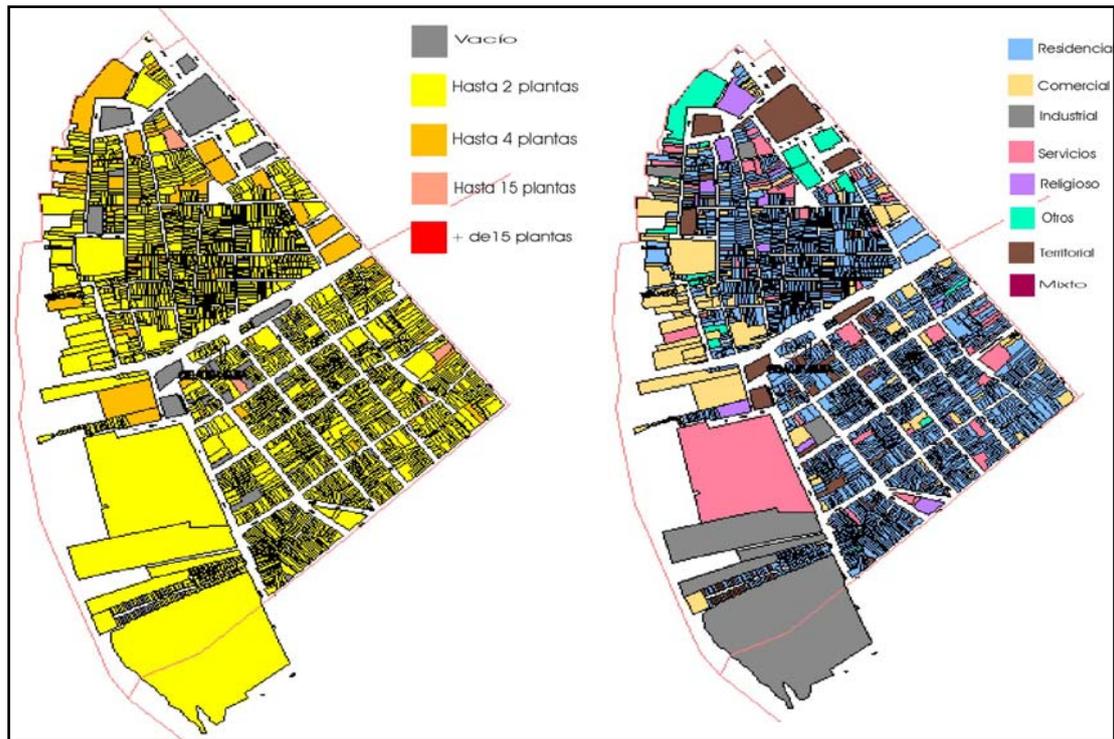
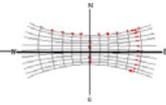


Figura 5.3: Elevación y Uso del suelo.  
Fuente: adaptado de Coden, 2001.



### 5.2.2 – El sitio en análisis

Entre todo el plano del barrio de la ciudad vieja (figura 5.4), elegimos una pequeña plaza llamada Sao Joao Batista (San Juan Bautista), con urbanismo sencillo y que simboliza bien el diseño del barrio más antiguo de Belén, donde también se encuentra la Iglesia San Juan Bautista, ubicada en la parte lateral de la plaza, fuera del marco de este estudio.

En la plaza, hay una escuela, edificios del gobierno de la provincia del Pará y viviendas, ubicadas en orientaciones variadas (figuras de las fachadas 5.5, 5.6, 5.7), con diferentes alturas y colores.

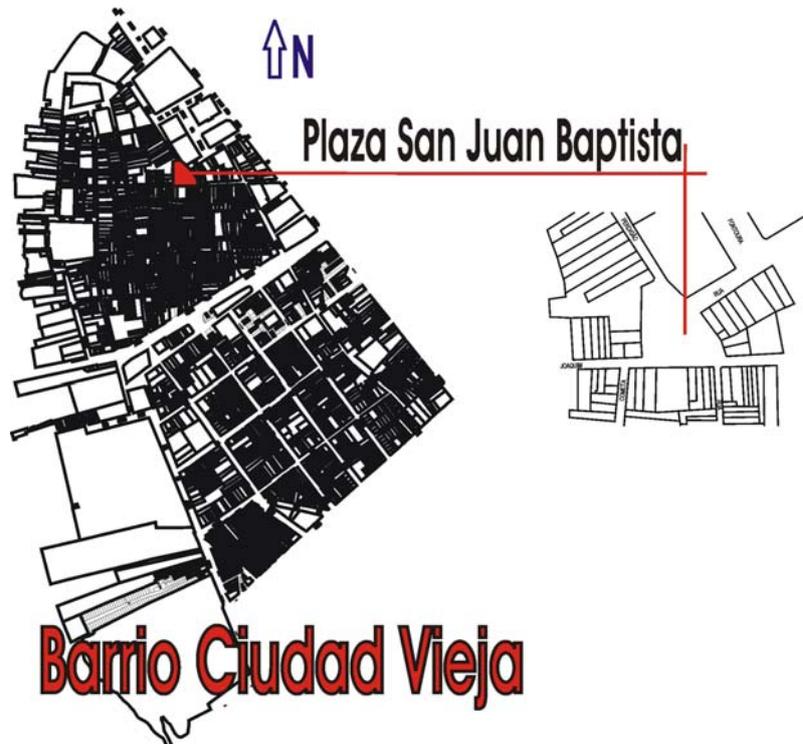


Figura 5.4: Localización de la Plaza San Juan Bautista en el Barrio Ciudad Vieja.  
Fuente: Adaptado por el autor de CODEM, 2001.

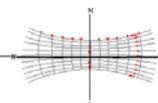


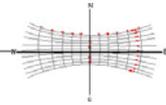
Figura 5.5: Imagen de las fachadas orientadas al Este (E).  
Fotos: Bartolomeu, 2006



Figura 5.6: Imagen de las fachadas orientadas al Norte (N).  
Fotos: Bartolomeu, 2006



Figura 5.7: Imagen de las fachadas orientadas al Sur-Oeste (SW).  
Fotos: Bartolomeu, 2006



## 5.2.3 – Análisis del sitio elegido

### 5.2.3.1 – Análisis 01

Empezaremos por un estudio de la percepción de un observador que hace un recorrido alrededor de la plaza y para cada una de sus paradas (4 puntos fijos) tendremos una estereografía, a partir de las cuales presentaremos observaciones sobre el posible análisis del observador, la incidencia solar junto con su regularidad anual.

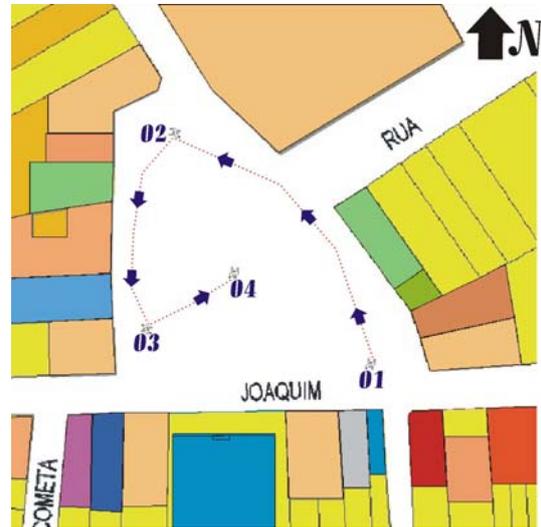


Figura 5.8: El camino del observador  
Fuente: adaptado de heliodon 2.

#### 5.2.3.1.1 - Punto 01

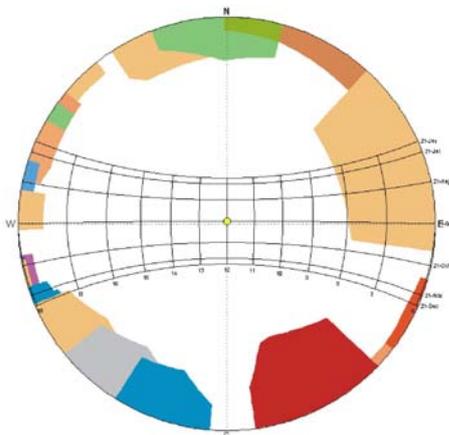
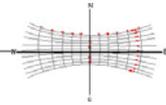


Figura 5.9: Estereografía del punto 01  
Fuente: heliodon 2.

Un observador, de 1,8 m de altura, ubicado en el punto 01 del plano de la Plaza Juan Bautista, con una estereografía de esto punto en la mano, que hace una vuelta de 360 grado a su alrededor, va a pensar que tendrá una gran carga térmica al largo de todo el día, y a lo largo del año. Pues, ubicado en este punto, el sol dará con sus rayos en el observador de las 08:00h de la mañana, hasta las 17:00h de la tarde, en todos los meses del año. Sabiendo todo esto, y que en esta posición no hay

protección del sol para casi todas las horas del día, salvo antes de las 08:00h y después de las 17:00h, buscará, como cualquier otra persona de esta ciudad, un sitio para protegerse del sol, aunque sólo sea la sombra de una farola u otra cualquiera, especialmente a mediodía.



### 5.2.3.1.2 - Punto 02

El mismo observador, en el punto 02 de la plaza, y con la estereografía en manos, teniendo las costumbres de la gente del lugar, de siempre buscar un espacio donde hay sombra para protegerse del sol, hará un giro sobre sí mismo de 360 grados y sabrá que sólo habrá sombra en su alrededor antes de las 10:00h de la mañana (de febrero hasta octubre) y después de las 16:00h de la tarde (para todos los meses del año), momento en que hay posibilidad de aprovechar el espacio urbano para ocio y otras actividades, pues en este punto la carga térmica diaria es menor que en el punto 01.

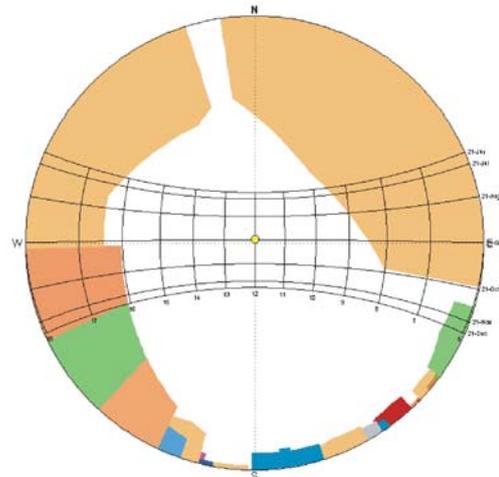


Figura 5.10: Estereografía punto 02  
Fuente: heliodon 2.

### 5.2.3.1.3 - Punto 03

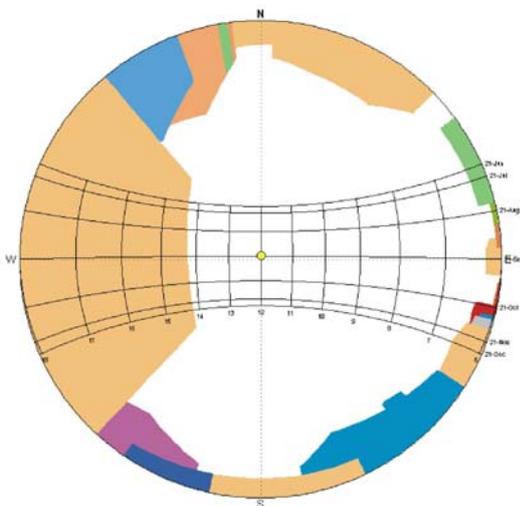
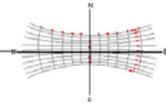


Figura 5.11: Estereografía del punto 03  
Fuente: heliodon 2.

El observador que se encuentra en el punto 03, mirando la estereografía de este punto, sabrá que puede quedarse en este sitio tranquilo, después de las 14:00h de la tarde, elegir un banco y sentarse, solo o con amigos, y jugar al ajedrez o hacer otras practicas que le apetezcan. En el mismo lugar, por la mañana (después de las 07:00h) no será posible hacer los mismos, pues la intensa radiación solar no lo permite. El observador tendrá protección del sol por la tarde (después de las 14:00h), principalmente en función de la sombra que

proyecta en todo el año en la edificación que está ubicada en su espalda, de color naranja.



### 5.2.3.1.4 - Punto 04

Ya en el punto 04 de la plaza Juan Bautista, el observador no quedaría mucho tiempo, y eso a lo largo del día, pues está en la ubicación donde la insolación más se prolonga, de las 07:00 hasta las 17:00h, para todo el recorrido del año. Y él estando con la estereografía de este sitio, ve que no habrá protección del sol por ninguna de las edificaciones que están a su alrededor, a no ser que haya, por ejemplo, un árbol, ya cambia las cosas y la apropiación de este espacio.

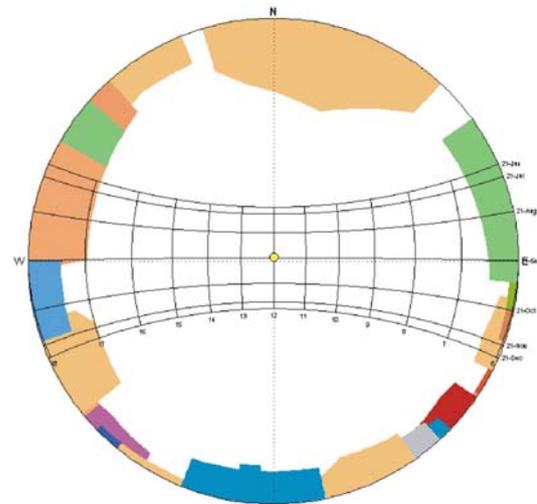


Figura 5.12: Estereografía punto 04  
Fuente: heliodon 2.

### 5.2.3.2 - Análisis 02

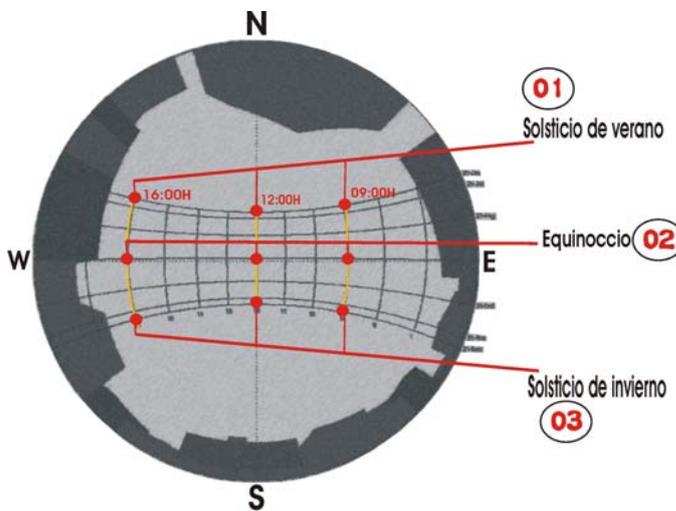
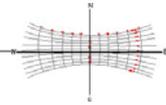


Figura 5.13: Estereografía con las épocas del año.  
Fuente: Adaptado de heliodon 2.

En esta parte, hemos elegido una de las estereografías de los cuatros puntos del recorrido del observador para ver cómo es el comportamiento del espacio en análisis (la plaza) en relación a la incidencia de la radiación solar durante el Solsticio de verano, Equinoccio y Solsticio de invierno, o sea, a lo largo del año.



### 5.2.3.2.1 - Punto 01 de la Estereografía – Solsticio de verano

Vemos en la figura 5.14, como, al cambiar las horas en la estereografía, se comportan las sombras acumuladas, en las distintas horas, a las 09:00h; 12:00h y 16:00h en el solsticio de verano, y que a lo largo del día, la parte oeste y norte de la plaza Juan Bautista está bien protegida del sol, sea por la mañana o por la tarde, en función de las alturas de las edificaciones, donde las sombras se orientan más al Suroeste por la tarde y a sudeste por la mañana. Pero al Este, al centro y al sur de la plaza, hay más zonas de sol que de sombra, necesitando entonces, por ser un espacio público, oponer más obstáculos a los rayos solares.

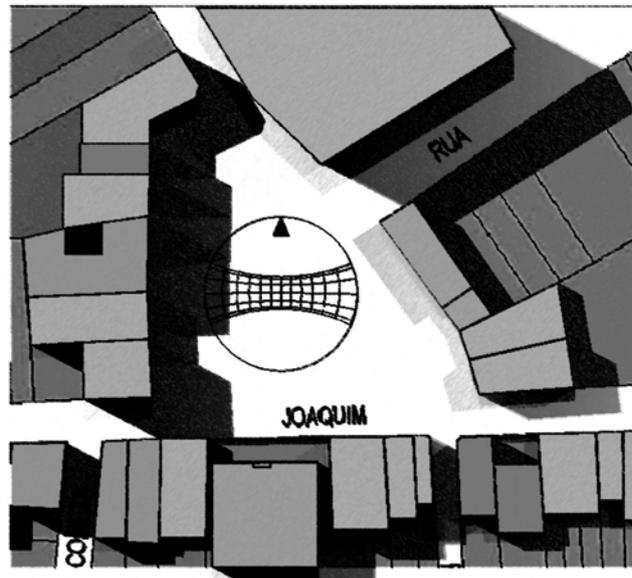


Figura 5.14: La plaza durante el solsticio de verano.  
Fuente: heliodon 2.

### 5.2.3.2.2 - Punto 02 de la Estereografía – Equinoccio

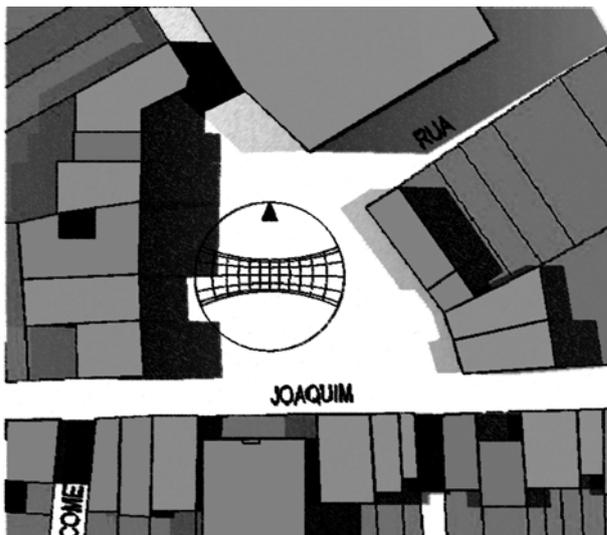
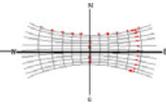


Figura 5.15: La plaza durante el Equinoccio.  
Fuente: heliodon 2007.

A las 09:00h; 12:00h y 16:00h del equinoccio (figura 5.15), el comportamiento de las sombras proyectadas por los edificios en la plaza es parecido al del solsticio de verano, cambiando solamente en la orientación de las sombras, pues en el equinoccio ellas son siempre orientadas a Este (por la mañana) u oeste (por la tarde). Siendo que la parte sur y central de la plaza queda siempre con demasiada radiación solar

por todo el día, pero para las personas, caminar cerca de los edificios está bien, pues habrá siempre sombra, sea por la mañana o por la tarde.



### 5.2.3.2.3 - Punto 03 de la Estereografía – Solsticio de invierno

En la figura 5.16 vemos que las sombras proyectadas por las edificaciones que están alrededor de la plaza Juan Bautista están orientadas al noroeste por las 09:00h, al sur a las 12:00h y a las 16:00h al noreste. Entonces, en el solsticio de invierno tenemos más protección solar en la plaza, en la parte Oeste, por tener mayores sombras proyectadas por las edificaciones más altas, pero en la parte Este también tenemos una buena

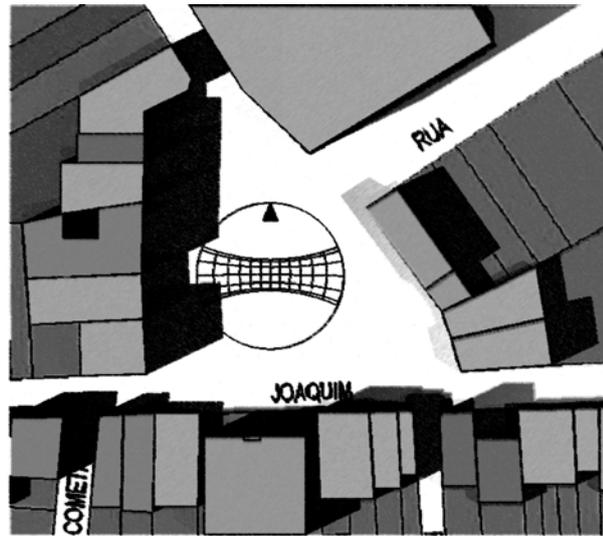


Figura 5.16: La plaza durante el Solsticio de Invierno. Fuente: heliodon 2.

protección de la radiación solar por la mañana, siendo menos porque las edificaciones en esta parte son más bajas. Por supuesto, en este día, ya tenemos sombras en la parte Sur de la plaza, donde ya hay mejores condiciones para las personas que caminan protegidas de la radiación solar.

### 5.2.3.3 – Análisis 03

Aquí analizaremos el sentido de las orientaciones de las fachadas de las edificaciones ubicadas en la plaza y la inspección de la incidencia de la radiación en cada orientación existente y su entorno (así como hay en la figura al lado).

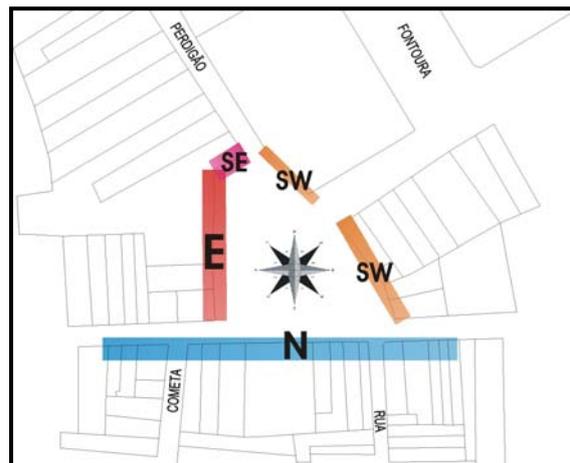
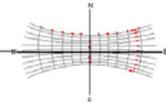


Figura 5.17: Sentido de la orientación de las fachadas. Fuente: Adaptado por el autor de Coden, 2001.



### 5.2.3.3.1 --Orientación de las fachadas en la Plaza Juan Baptista

Como se ve en la figura 5.17, el diseño de la Plaza Juan Baptista ha elegido ubicar las edificaciones teniendo fachadas orientadas solamente en cuatro direcciones: Norte, Este, Sureste y Suroeste. Todavía la mayoría de las fachadas están ubicadas al Norte, otras al Este, y solo hay algunas que se encuentran a Suroeste y una sola al Sureste.

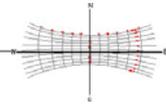
Como ya sabemos que la orientación de fachada al Norte es la que menos recibe radiación solar (ver Capítulo 04), y que las otras tres orientaciones reciben casi la misma carga térmica, entonces es posible que se ha elegido dejar más abierto la plaza en la parte Norte, en función de la radiación solar que llegará en la fachada, y un poco cerrado al Sur para, entre las edificaciones, principalmente las más altas, proteger los espacios vacíos (publico). Analizando el diseño de la forma de la plaza y la disposición de las fachadas de las edificaciones, se percibe que, por tener menos entrada de rayos solares, la parte norte de la plaza es la que tiene más espacios libres con insolación, a diferencia de la parte Sur, donde las fachadas SE y SW están, prácticamente, casi juntas, resultando una buena protección solar diaria y anual para esta parte de la plaza.

### 5.2.3.4 --Análisis 04

Se inspecciona el aprovechamiento de los vientos, en función del diseño del lugar (la plaza), de las alturas heterogéneas y de la Zona de ventilación aplicada para la ciudad de Belén (Capitulo 04). Ya que los vientos pueden ser captados por el diseño de las calles o venir de su trayecto normal y fluir sobre el espacio construido.



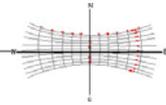
Figura 5.18: Comportamiento de la ventilación en la plaza  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.



En esta parte, como vemos en la figura 5.18, hemos sobrepuesto en la planta de la Plaza Juan Bautista, la Zona de Ventilación para la Ciudad de Belén del Pará (Capítulo 04), y esquemas de comportamiento de los vientos en función del diseño de la plaza. Entonces, vemos que el trazado de las calles que terminan o que pasan por la plaza, hacen un camino de conducción de los vientos que vienen del Noreste/Este (1<sup>a</sup> Zona); Noroeste/Sur (3<sup>a</sup> y 4<sup>a</sup> Zonas) y Oeste (5<sup>a</sup>).

En general, las edificaciones que más aprovechan los vientos que llegan en la plaza, son los que están ubicados en la parte Oeste, que tienen las fachadas orientadas al Este, pues llegan los vientos, casi directamente, de la Zona 01. Todavía los edificios que quedan al Sur de la plaza, con fachadas orientadas a Norte, también tienen un buen aprovechamiento de los vientos de las Zonas 2 y 3, captados por las calles y/o por los vientos dominantes por sotavento, que llegan en la plaza, pues las alturas de la mayoría de las edificaciones no son excesivas.

El diseño de la plaza hace que las calles capten los vientos para su centro y ya que en la parte Oeste y Sur los edificios son más altos y con fachadas en forma de barreras, hace que se haga una “Turbulencia de Aire” entre los vientos que se encuentran en el centro.



### 5.3 – ANÁLISIS DE UN SITIO EN EL BARRIO “UMARIZAL”

#### 5.3.1 - El barrio

El barrio del Umarizal (figura 5.19) está ubicado en el centro de la ciudad de Belén. El nombre del barrio viene de los muchos árboles de “umari” (una fruta silvestre) que había en la época de la colonización del barrio. Algunos historiadores afirman que la abertura de las calles de Belén, en función del desarrollo y su crecimiento urbano, tuvo sus nombres relacionados a la historia de la época y también por la conformidad de cada barrio. El barrio del Umarizal, por ejemplo, también es uno de estos que tiene las calles con nombres de personajes históricos de la Independencia del Brasil.

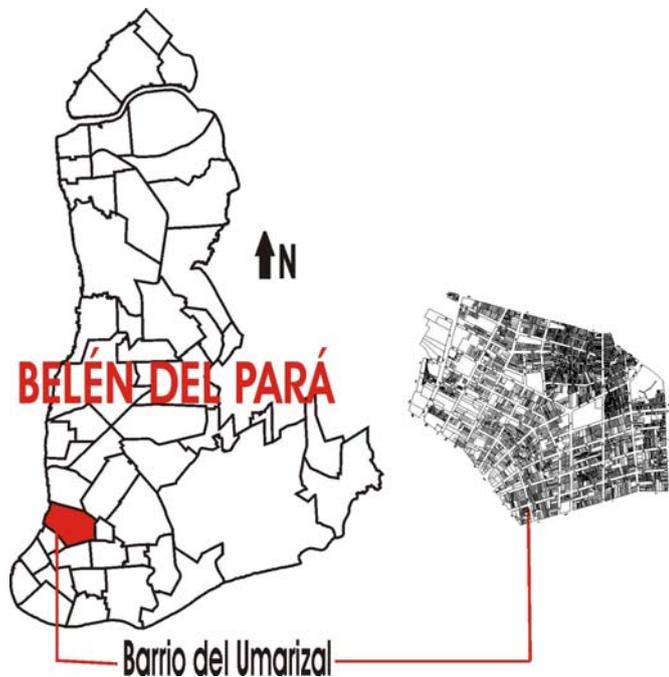


Figura 5.19: Localización del barrio en la Ciudad.  
Fuente: Adaptado de CODEN, 2001.

Durante la década de 1970, este barrio era el sitio de predilección de los intelectuales y músicos, y era también un lugar típicamente residencial. Después del desarrollo de la población de Belén, muchos edificios fueron construidos en el sitio, ocupando ahora los espacios que anteriormente eran de grandes y antiguas viviendas. El barrio tiene, además de edificios pequeños de viviendas y otros residenciales, un gran número de edificaciones comerciales, tiendas, empresas y muchos restaurantes. Hoy en el barrio, como vemos en la figura 5.20, hay más edificaciones residenciales y comerciales.

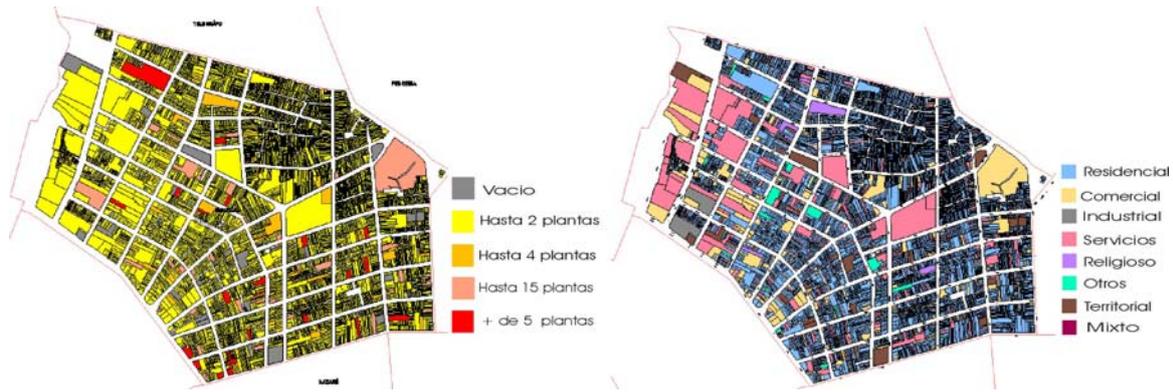
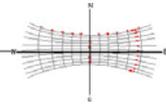


Figura 5.20: Elevación y Uso del suelo.  
Fuente: Adaptado de Coden, 2001.

El Umarizal, por tener una de las mejores infraestructuras dentro del espacio urbano de Belén, terminó siendo el sitio que las grandes constructoras han elegido para la edificación de inmuebles de creciente elevación. Él, juntamente con barrios como el Reducto y Baptista Campos, fueron los que, en las últimas décadas, han tenido las áreas de mayor interés del capital inmobiliario de Belén. Pues, los inmuebles allí producidos, a diferencia de lo que pasa en barrios como el Marco y Pedrera (barrios más alejados del centro de la ciudad y de constante crecimiento en elevación constructiva - altura), son reservados para un pequeño grupo social de la ciudad (clase alta y media) que tienen recursos más elevados. Donde encuentran los pisos de primera clase, o sea, los mejores sitios construidos (Trindade, 1993). Sin embargo, el barrio del Umarizal, por tener edificaciones de gran valor por m<sup>2</sup>, necesita de más inversiones en tecnologías constructivas y un mayor número de trabajadores, y por eso siempre construyen edificios con más de 10 plantas, con el objetivo de tener un retorno lucrativo para los emprendedores que hacen inversiones en el barrio (Belém, 1991).

La intensa construcción de edificios considerados altos en el Umarizal, sólo inició a partir de la década de los 70, acelerando después a lo largo de los años. Pero aun en la década de los 60 la intensificación de estas construcciones en el espacio urbano de Belén en general, ha sido estimulada por un conjunto favorable, teniendo como factores la fundación del Sistema Financiero de Habitación (SFH) y del BNH (Banco Nacional de Habitación), y subsiguiente con otras inversiones en la economía amazónica, por parte del Gobierno Federal (Trindade, 1993).

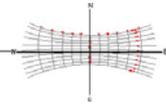


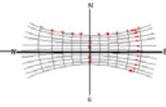
Foto 5.3: Vista general del Barrio del Umarizal.  
Foto: Ref. Internet 08.

Ya en la década de los 80 esta zona de la ciudad empezó a contrastar con su entorno construido, llamando la atención de investigadores de la Universidad y técnicos del espacio urbano.

Nuestro objetivo en hacer un estudio en un espacio elegido dentro del barrio del Umarizal fue por saber de su historia y principalmente por su composición constructiva. Y como hemos visto anteriormente, es el barrio de Belén donde se ubican los más altos edificios, o sea, es la zona más importante o el sitio donde el impulso de la construcción en elevación está más en destaque (foto 5.4). Por eso, ya que hemos hecho estudios en el barrio de la ciudad vieja (más antiguo y de diseño urbano centenario), ahora vamos a examinar el mismo proceso en un barrio donde se sitúan los edificios más altos de la ciudad, para ver cómo es el comportamiento de las energías en este barrio, con su diseño urbano, formas constructivas y de alturas heterogéneas.



Foto 5.4: Vista superficial del Barrio y un ejemplo de sus nuevos edificios en construcción.  
Fotos: Bartolomeu, 2006.



### 5.3.2 – El sitio en análisis

Como hemos dicho anteriormente, vamos a analizar un sitio en el barrio del Umarizal porque el barrio concentra los edificios más elevados de la ciudad de Belén y por eso fue elegido, aleatoriamente, una zona (manzana) donde se encuentran edificaciones de alturas heterogéneas y de diseño urbano más parecido con su entorno.



Figura 5.21: Localización de la manzana en estudio en el Barrio del Umarizal.  
Fuente: Adaptado por el autor de CODEM, 2001.

La manzana está ubicada en la parte sur del barrio, situada entre las calles Antonio Barreto, Domingos Barreiro y las avenidas Almirante Wandencolk y Vizconde de Souza Franco. El uso en la manzana es más residencial, pero con algunas partes de servicios y otras mezclas entre servicios (en las primeras plantas) y residencial en las plantas más elevadas.



Figura 5.22: Perspectiva de la manzana en estudio  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

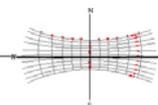


Figura 105: Fachada NE/E de la manzana.  
Fotos: Bartolomeu, 2006.



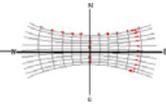
Figura 5.23: Fachada NW/N de la manzana.  
Fotos: Bartolomeu, 2006.



Figura 5.24: Fachada SE/S de la manzana.  
Fotos: Bartolomeu, 2006.



Figura 5.25: Fachada SW (Sur-Oeste) de la manzana.  
Fotos: Bartolomeu, 2006.



### 5.3.3 – Análisis del sitio elegido

#### 5.3.3.1 – Análisis 01

Repeteremos aquí el estudio realizado anteriormente en el barrio antiguo, a través de la percepción de un observador y su recorrido por la manzana con cuatro paradas en puntos fijos, analizando, con la ayuda de la estereografía de cada punto, la incidencia solar a lo largo del año.



Figura 5.26: Camino del observador.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

##### 5.3.3.1.1 - Punto 01

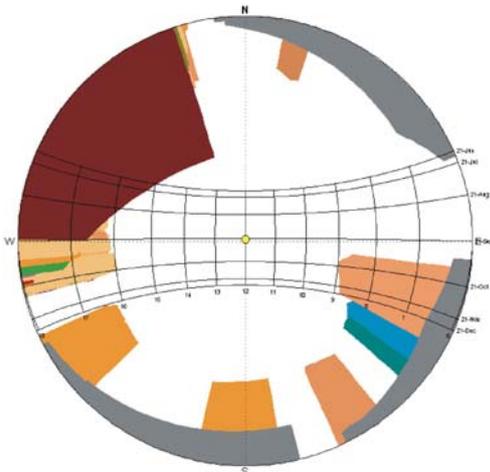
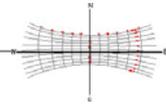


Figura 5.27: Estereografía del punto 01.  
Fuente: Heliodon 2.

Con el observador, que inicia un paseo alrededor de la manzana en estudio, parado en el punto 01 indicado en el dibujo (figura 5.27), percibimos, a través de la estereografía del sitio, que entre las 09:00hs y las 15:00hs, habrá siempre, en todas las épocas del año, una intensa incidencia de radiación solar sobre él, pues aún teniendo algunas edificaciones altas en su entorno, sus sombras no se proyectan hasta este punto. Pero, después de las 16:00hs, en los meses de febrero hasta

octubre, tendrá un buen aprovechamiento de las sombras existentes, pasando lo mismo con los meses de octubre hasta febrero, con protección solar hasta las 09:00hs de la mañana. Sin embargo, por no tener a lo largo del día, protección frente a la constante radiación solar que hay en Belén, difícilmente el observador se quedaría mucho tiempo parado en el punto 01.



### 5.3.3.1.2 - Punto 02

Notamos que este punto (figura 5.28) es el único, entre todos los analizados en este trabajo, donde se puede disfrutar de la sombra en torno a mediodía. Eso ocurre en los meses de verano, gracias a los edificios que están en la esquina del observador. Él no tendrá ninguna protección en todas las tardes del año, pues está en una esquina donde hay una avenida (doca de Souza Franco) que es muy larga, y los edificios que quedan del otro lado no son lo bastante altos como para protegerlo con sus sombras.

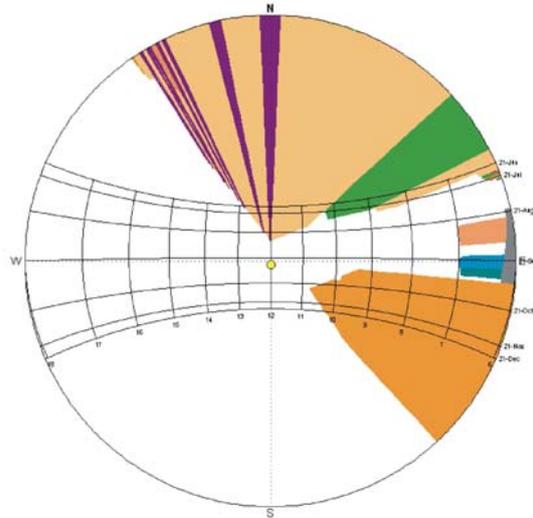


Figura 5.28: Estereografía del punto 02.  
Fuente: Heliodon 2.

Pero, hay también en el dibujo de la manzana, que teniendo una persona en el punto 02 nunca tendrá protección solar en todo los días del año, salvo se plantaren árboles en las aceras y/o en el medio de la avenida, que es larga. Sin embargo no es posible, pues la avenida tiene una canal de aguas en su parte central. Entre las 07:00hs y 18:00hs, en todo el equinoccio, no habrá sombra de los edificios en el punto donde está el observador. Pero por las mañanas del solsticio de verano y de invierno (esto hasta las 10:00hs) habrá siempre sombra de las edificaciones sobre el observador.

### 5.3.3.1.3 - Punto 03

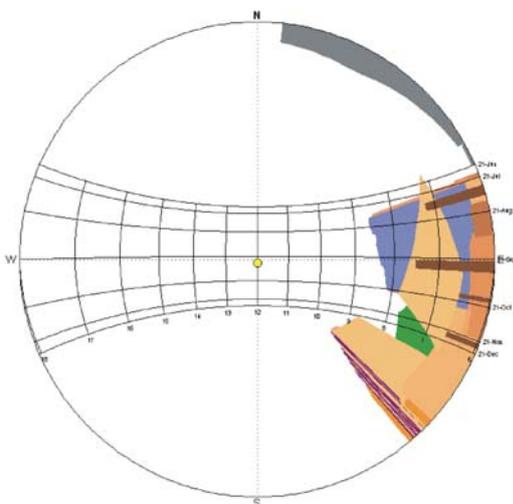
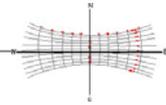


Figura 5.29: Estereografía del punto 03.  
Fuente: Heliodon 2.

En el punto 03 (figura 5.29), pasará con el observador muchas cosas que han pasado cuando él estaba fijo en el punto 02, pues esta nueva ubicación está en la otra esquina donde los edificios quedan al Oeste, ya que está del otro lado de la Avenida Doca de Souza Franca no llegan sus sombras hasta cualquiera persona que queda en el punto 03. Sin embargo, habrá sombra en el observador por las mañana, antes de las 09:00h, en todos los



meses del año. Entonces, será el peor punto para una persona que hace el recorrido del observador, hasta ahora, pues la carga térmica de radiación solar diaria en este punto, que queda de las 09:00hs hasta las 18:00hs, será altísima a lo largo del año.

### 5.3.3.1.3 - Punto 04

Con el observador ubicado en el último punto del recorrido alrededor de la manzana en estudio (figura 5.26), percibimos en la estereografía del punto (figura 5.30), que casi no hay proyecciones de máscaras, pues no hay sombras en esto sitio. Las únicas proyecciones de sombras existentes vienen, prácticamente, del edificio más alto que se sitúa al Este, fuera de la manzana, y sólo en los meses de febrero, abril, agosto y septiembre, hasta las 08:00hs de la mañana. Sin embargo, el punto 04 es el que tiene más horas de exposición al sol, durante todo el año, entre todos los analizados aquí.

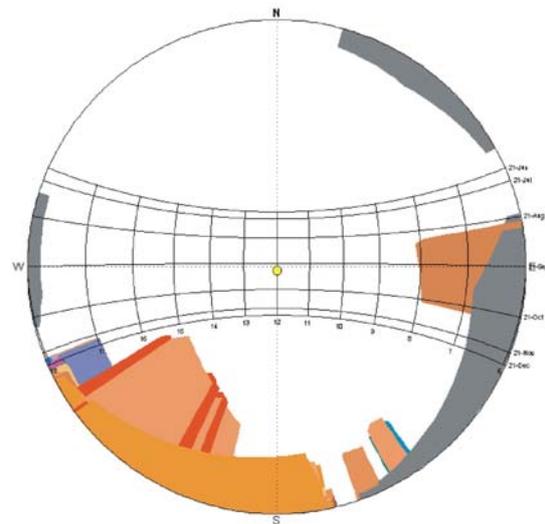


Figura 5.30: Estereografía del punto 04.  
Fuente: Heliodon 2.

### 5.3.3.2 – Análisis 02

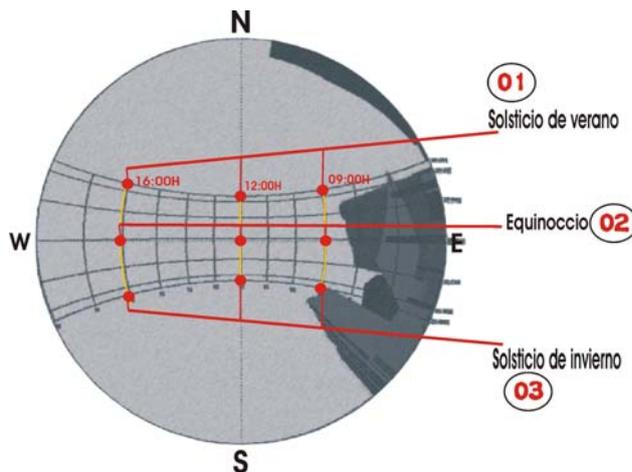
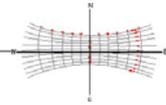


Figura 5.31: Estereografía con las épocas del año.  
Fuente: Adaptado de heliodon 2.

Aquí se analizará, con base en cambios en la estereografía de un punto fijo (figura al lado), el comportamiento en la manzana en las épocas de Solsticio de verano, Equinoccio y Solsticio de invierno, en relación a la incidencia de la radiación solar.



### 5.3.3.2.1 - Punto 01 de la Estereografía – Solsticio de verano

En el solsticio de verano, como vemos en la figura 5.32, percibimos que, cambiando solamente las horas en la estereografía, encontramos las orientaciones de las sombras proyectadas por las edificaciones y obstrucciones solares, siempre en la zona Sur de la manzana, o sea, a Sudoeste a las 09:00hs; a Sur a las 12:00hs y a Sudeste a las 16:00hs. Sin



Figura 5.32: La manzana durante el solsticio de verano. Fuente: Adaptado de heliodon 2.

embargo, observamos que, sobre la manzana en estudio, en esta época las sombras de los edificios siempre estarán orientadas o concentradas a Sur, y que a Norte habrá demasiada insolación directa sobre las personas que caminan en las calles, en las aceras y también a las fachadas de los edificios que quedan en esta parte, pues no llegarán las proyecciones de las sombras de las otras edificaciones que se sitúan alrededor.

### 5.3.3.2.2 - Punto 02 de la Estereografía – Equinoccio

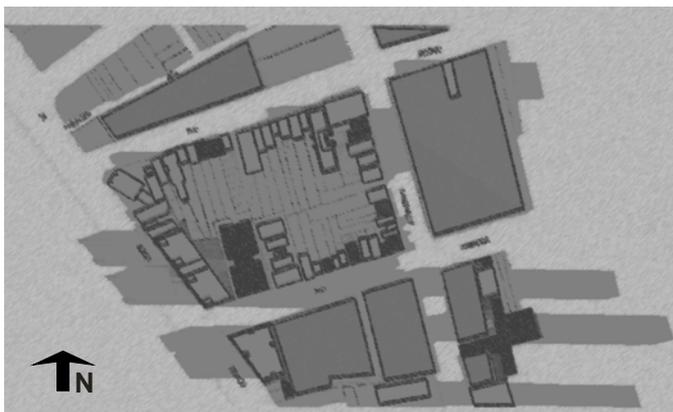
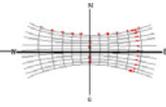


Figura 5.33: La manzana durante el Equinoccio. Fuente: Adaptado de heliodon 2.

El comportamiento de las proyecciones de las sombras por los edificios alrededor de la manzana es bien regular en el equinoccio (figura 5.33), pues las orientaciones de las sombras están siempre al Este por la mañana (09:00hs) y/o al Oeste por la tarde (16:00hs). Y a las

12:00hs no hay proyecciones de sombras, salvo hecha por aleros y toldos, pues el sol estará siempre vertical a las edificaciones.

Aún sobre el punto 02, se ve que los cambios de las horas en la estereografía, como solo hay sombras al Este y al Oeste, las zonas que quedan al Norte, así como



ocurre en el solsticio de verano, hay demasiada insolación en la calle y en las fachadas. Pero al Sur, por tener más edificios altos alrededor, hay un buena zona de sombras, solamente por la tarde.

### 5.3.3.2.3 - Punto 03 de la Estereografía – Solsticio de invierno

En el solsticio de invierno, cambiando las horas en la estereografía, percibimos que es parecido el comportamiento con lo que pasa con el solsticio de verano, pero invirtiendo las orientaciones, ya que ahora las proyecciones de sombras están ubicadas al Noroeste por la mañana, a las 12:00hs al Norte y por la tarde al Noreste.

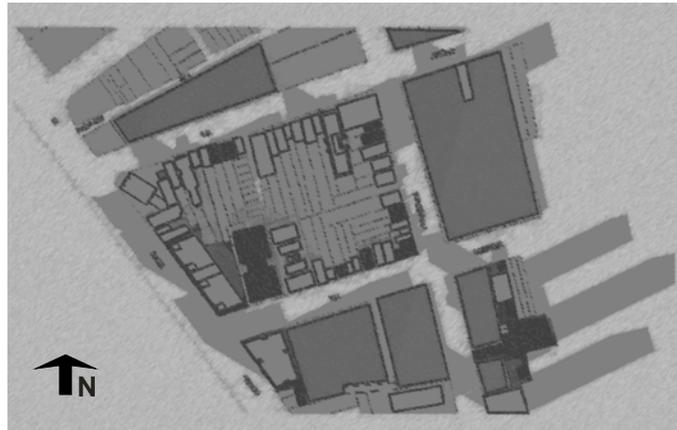
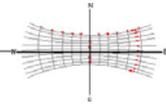


Figura 5.34: La manzana durante el solsticio de invierno.  
Fuente: Adaptado de heliodon 2.

Como vemos en la figura 5.34, las 09:00hs hay zonas más protegidas de la insolación que quedan al Oeste y al contrario pasa a las 16:00hs, donde las zonas están al Este, y a las 12:00hs as proyecciones más importantes vienen solamente de los rascacielos.



### 5.3.3.3 - Análisis 03

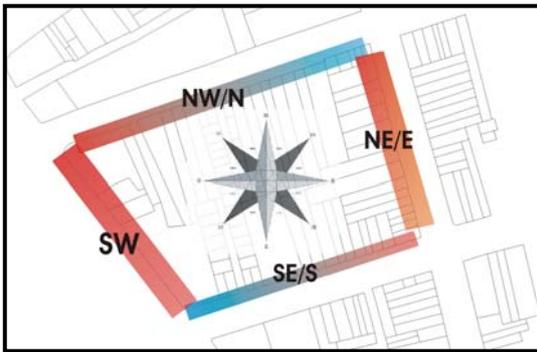


Figura 5.35: Sentido de la orientación de las fachadas. Fuente: adaptado de Coden, 2001.

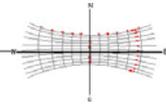
Examinaremos el sentido de las orientaciones de las fachadas de las edificaciones ubicadas en la manzana (ver figura al lado) y el estudio de la incidencia de los rayos solares en cada ubicación y entorno.

#### 5.3.3.3.1 - Orientación de las fachadas en la manzana

Hemos visto que las orientaciones de fachadas en la manzana elegida para este estudio presentan 4 diferentes ubicaciones, con una orientación fija de fachada, al Suroeste, y las otras 3, entre los intervalos NW/N; NE/E y SE/S.

Percibimos que el diseño de la manzana y también de su alrededor, que sólo hay fijado una orientación de fachada, al Suroeste, y que en las otras no, o sea, no hay una “preferencia” en el diseño, y ni una organización clara de las ubicaciones de sus otras frentes para el recibimiento de los rayos solares directos. En la figura 5.35, vemos, subrayado en colores, que las fachadas se ubican en la parte Norte (NW/N) y Sur (SE/S), que tienen menos incidencia de radiación solar directa, y al W (SW) y E (NE/E), con mayores cargas de radiación solar (sobre eso ver el Capítulo 04).

En el Equinoccio, observando la manzana en análisis, vemos que por las mañanas las fachadas al NE/E y SE/S tienen incidencia de rayos solares directos y que por las tardes la incidencia cambia para las fachadas ubicadas al SW y NW/N. Ya en el Solsticio de verano, las fachadas que reciben la radiación solar directa por las mañanas son las orientadas al NW/N y NE/E y por la tarde son las ubicadas al NW/N y SW. Sin embargo, las únicas fachadas que no tienen incidencia solar directa en esta época son las orientadas al SE/S. No obstante, en la época del Solsticio de invierno las fachadas que reciben la incidencia solar directa por las mañanas son las orientadas al SE/S y NE/E y por las tardes cambia para las orientaciones SW y SE/S, teniendo la ubicación a NW/N no recibiendo radiación solar directa en esta época del año. Sin embargo, percibimos que las fachadas que más reciben la radiación solar en la ciudad de Belén, ubicadas en esta manzana, en todas las épocas del año, son las orientadas al SW y NE/E.



### 5.3.3.4 - Análisis 04

Analizaremos el comportamiento de los vientos en relación al diseño de la manzana y su entorno, las alturas de los edificios y el aprovechamiento de la ventilación con base en las Zonas de Ventilación para la ciudad de Belén (ver el Capítulo 04).

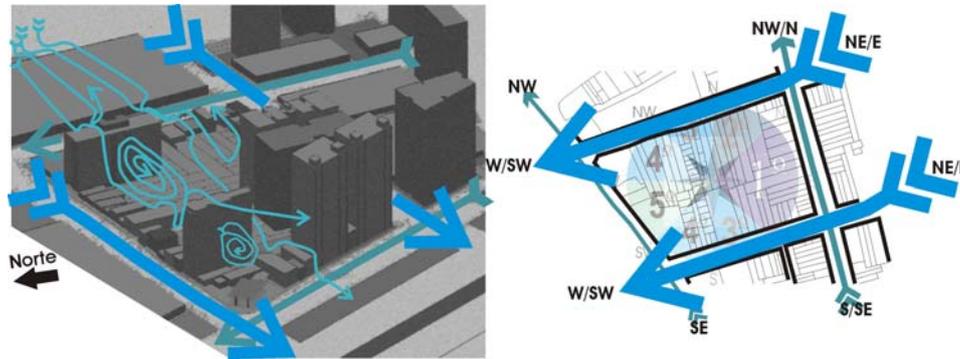
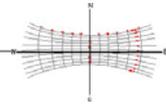


Figura 5.36: Comportamiento de la ventilación en la manzana  
Fuente: Adaptado de Heliodon, 2.

#### 5.3.3.4.1 - Comportamiento de la ventilación en una manzana del barrio Umarizal

Observando el esquema del comportamiento de la ventilación en la manzana en estudio (figura 5.36), se ve que su diseño orienta las calles, que quedan en su alrededor, en prácticamente 3 sentidos: eje NE/E – W/SW; eje SE – NW y eje S/SE – NW/N. Y en relación a las zonas de ventilación, llegan en la manzana los vientos que vienen de la 1ª, 3ª y 4ª zonas.

La parte de la manzana donde queda la calle situada casi perpendicular a las mejores zonas de ventilación, ubicada en el sentido del eje S/SE – NW/N, con dimensiones de ancho pequeñas, dejando con que las construcciones situadas en el otro lado de la calle funcionen como obstrucciones, aún teniendo las edificaciones con baja altura. Sin embargo, en el interior de la manzana, la ventilación que viene de la zona 01, producida por las fuerzas de los vientos, poseyendo edificaciones ubicadas delante la corriente de aire disminuye la velocidad del mismo y lo acumula en su lado más expuesto, originando un área de presión relativamente alta. Pero, el movimiento de aire que rodea las edificaciones crea zonas de baja presión en los lados adyacentes a la fachada de mayor exposición. El sotavento producirá una zona de sombra de viento con baja presión. “Esta sombra de viento se llena de aire gradualmente, de forma tal que, a una distancia aproximadamente del doble de la altura de los edificios, el aire se encuentra en reposo. A partir de allí, y fluyendo hacia y desde los edificios, el viento recuperará su velocidad original a una distancia de aproximadamente siete veces la altura de las construcciones” (Olgay, 1963).



## 5.4 - ANÁLISIS DE UN SITIO EN EL BARRIO DEL “MARCO”

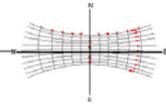
### 5.4.1 – El barrio

El antiguo Administrador de Belén, Antonio Lemos, en el paso del siglo XIX al XX, con recurso de las exportaciones del caucho de amazonia, intentó una remodelación en la ciudad, planeando un nuevo barrio: el barrio del Marco (figura 5.37). En esta época ha sido iniciada la red cloacal y de abastecimiento; la iluminación pública (que pasó a eléctrica); la regularización de las edificaciones particulares; la creación de un código de obras; transformación de sitios sin uso en plazas ajardinadas y construcciones de otras plazas; alargamiento de los paseos públicos, la creación de calles con 30 y 40 metros de ancho y la creación del código de obras del municipio (CRUZ, 1970).



Figura 5.37: Localización del barrio en la Ciudad.  
Fuente: Adaptado de CODEN, 2001.

Por ser planeado juntamente con todos estos cambios, el barrio tiene el nombre de Marco, por haber sido considerado un marco de crecimiento de la ciudad, delimitando el área del municipio. Hoy es un barrio prácticamente residencial de clase



media y muy tranquilo, ubicado entre la periferia y el centro de la ciudad. Tiene calles y avenidas importantes, como Av. Juan Pablo II y parte de la Av. Almirante Barroso (una de las principales para la integración de Belén). El monumento del marco del barrio está en una feria, la feria de 25. Hay también en el barrio, el Bosque Rodrigues Alves (un gran jardín zoológico conocido internacionalmente - foto 5.5); la sede del Instituto de Meteorología en Belén, los Campi II III y V de la UEPA (Universidad del Estado del Pará); la EMBRAPA (Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria) y otros edificios importantes para la historia de la ciudad, como obras de arquitectura de hierro, iglesias, escuelas y empresas privadas.



Foto 5.5: Entrada do Bosque Rodrigues Alves  
Foto: Ref. Internet 08.

El barrio del Marco, según figura 5.38, tiene sus edificaciones, en general, entre 2 y 4 plantas, con uso en su mayoría residencial y otras partes de servicios. Hoy, vive un proceso de constante inversión en crecimiento vertical, con muchos edificios residenciales con más de 15 plantas e instalación de grandes empresas privadas.

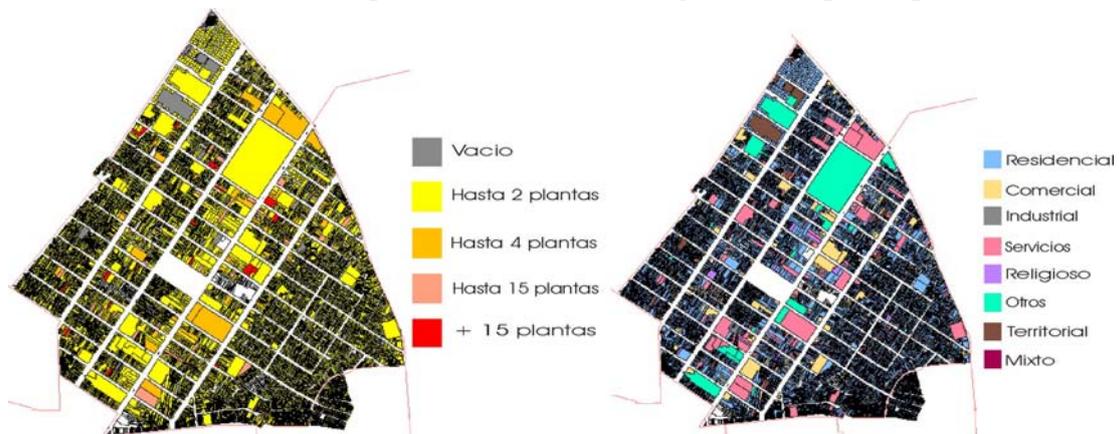
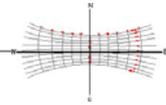


Figura 5.38: Elevación y Uso del suelo.  
Fuente: Adaptado de Coden, 2001.



En el diseño del barrio del Marco, que es muy distinto de todo el conjunto urbano de la ciudad de Belén, hay manzanas de conformación casi todas iguales, principalmente las que quedan en el centro del barrio. El formato de ellas es como grandes rectángulos con una leve inclinación de 33 grados, seguido el sentido horario, de Oeste para el Norte y de dimensiones de 142m x 309m (ver figura 5.39).

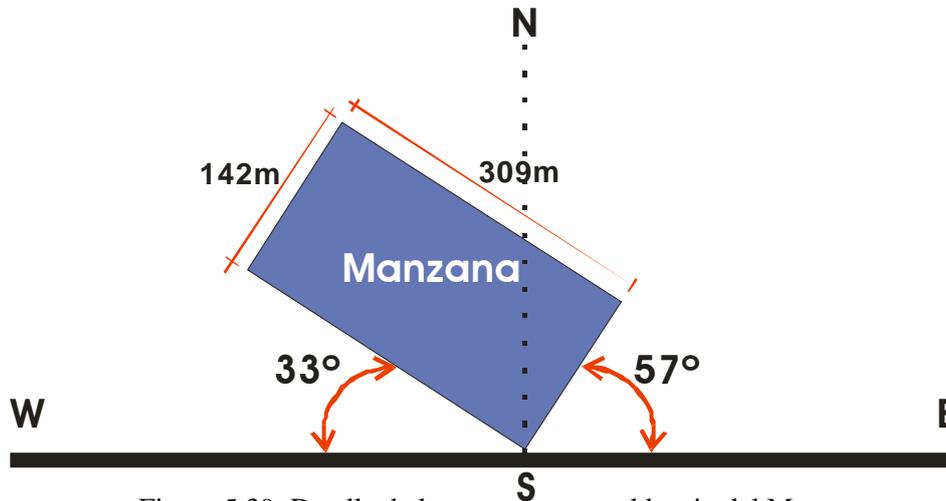


Figura 5.39: Detalle de las manzanas en el barrio del Marco.  
Fuente: Adaptado por el autor de Coden 2001.

Las amplias avenidas del barrio, que están ubicadas paralelas y en sentido SW/NE, tienen en su centro zonas verdes (como vemos en la imagen aérea del barrio – ver foto 5.6) para intentar disminuir el impacto de la radiación solar diaria que hay en Belén y principalmente entre sus grandes dimensiones de ancho. Sin embargo, por tener todas estas diferencias, en relación a los otros 2 barrios que ya hemos analizados, fue elegido el barrio del Marco para ser el tercero y último a ser estudiado en esta investigación, antes de las conclusiones finales.

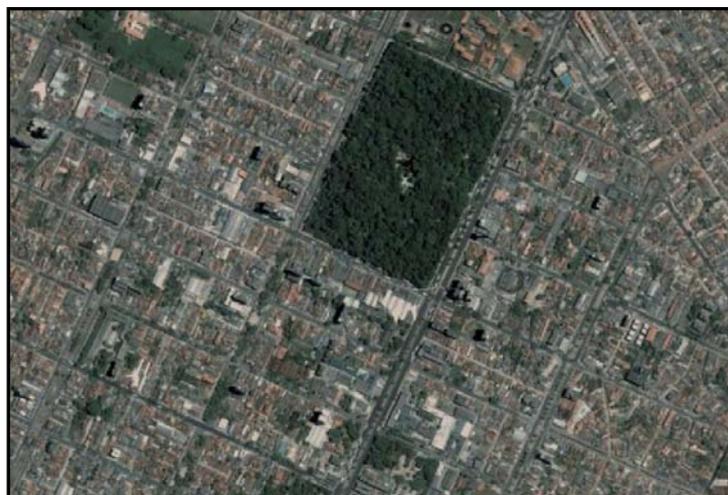
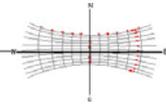


Foto 5.6: Vista aérea de parte del barrio del Marco.  
Fuente: Ref. Internet 07.



### 5.4.2 – El sitio en análisis

En esta parte, vamos a hacer estudios en un espacio elegido dentro del barrio del Marco, así como hemos hecho anteriormente en este trabajo, en el barrio de la Ciudad vieja y en el Umarizal. Aquí vamos a examinar una manzana, que se sitúa casi en la parte central del barrio. Su formato es un rectángulo, ver figura 5.40, y tiene características, en función de su diseño, que serán verificadas posteriormente.

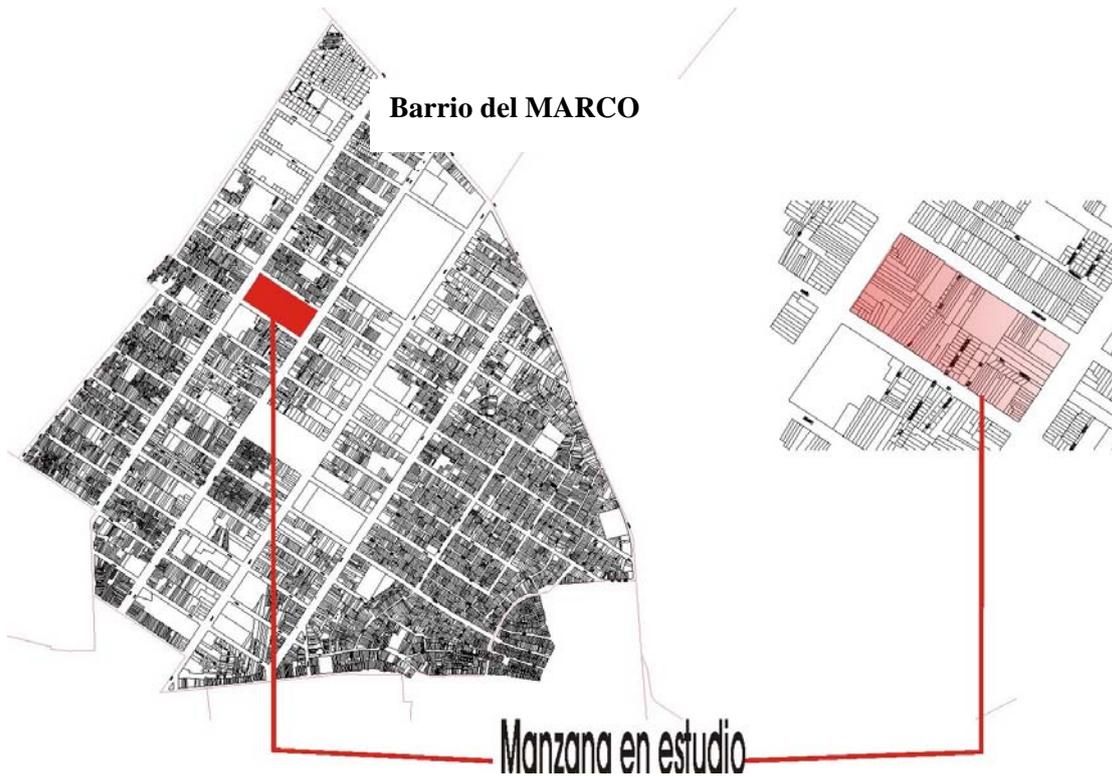


Figura 5.40: Ubicación de la manzana en estudio  
Fuente: Adaptado de Coden, 2001.

En el entorno de la manzana hay muchas zonas residenciales, edificios públicos y de comercio (ver figura 5.40). E internamente, ella está distribuida en viviendas aisladas, pequeños conjuntos de viviendas y comercios, un hospital y un edificio de elevación en una de sus esquinas con 12 plantas. Está ubicada entre las calles Barón del Triunfo y Angustura y las avenidas Duque de Caxias y 25 de Septiembre.

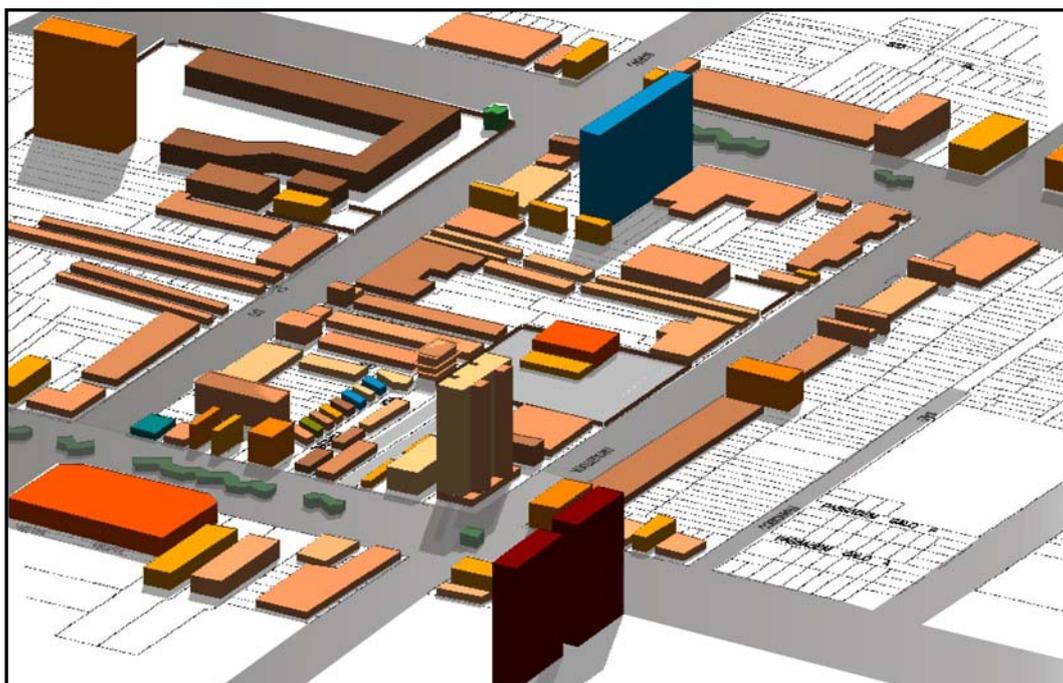
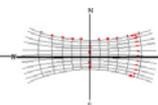
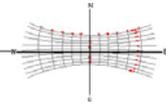
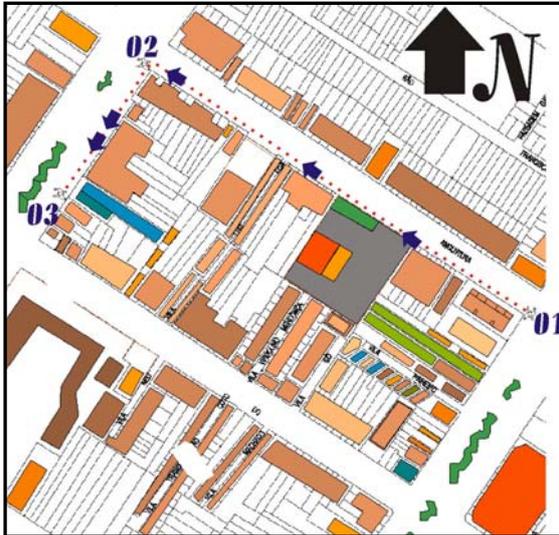


Figura 5.41: Perspectiva de la manzana en estudio  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2007.



### 5.4.3 – Análisis del sitio elegido

#### 5.4.3.1 – Análisis 01



Ahora el mismo observador, caminando alrededor de una manzana en el barrio del Marco (ver figura al lado), tendrá percepciones y análisis, teniendo la estereografía como ayuda, en cada uno de los tres puntos donde quedará parado, debajo de los rayos solares de Belén de Pará.

Figura 5.42: Camino del observador.  
Fuente: Adaptado de Heliodon 2.

##### 5.4.3.1.1 - Punto 01

Un observador parado en el punto 01 de la manzana en estudio (Figura 5.43), en el barrio del Marco en Belén, según la estereografía del punto, tendrá siempre incidencia solar directa, a lo largo del año, entre las 08:00hs y las 13:00hs (ver figura al lado). Pero, durante todas las tardes del año habrá protección solar en el observador fijo en esto sitio a partir de las 13:00 horas, principalmente a través de proyecciones de sombras del edificio más alto que queda en la esquina de la manzana. Y por las mañanas, sólo proyectarán su sombra en los edificios altos que se sitúan en la manzana del otro lado, juntamente con los árboles existentes en el centro de la Avenida principal.

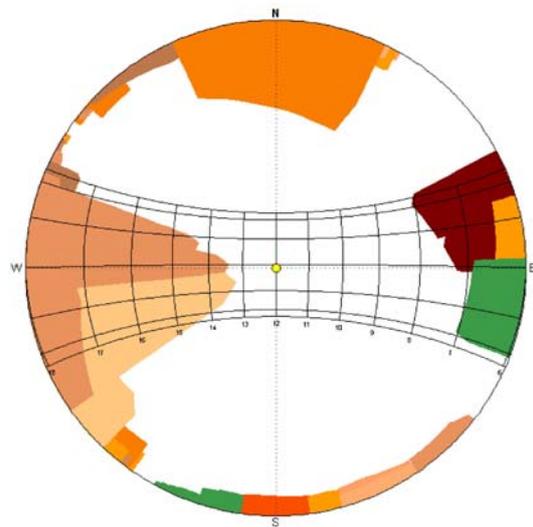
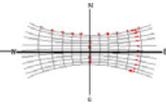


Figura 5.43: Estereografía punto 01.  
Fuente: Heliodon 2.



### 5.4.3.1.2 - Punto 02

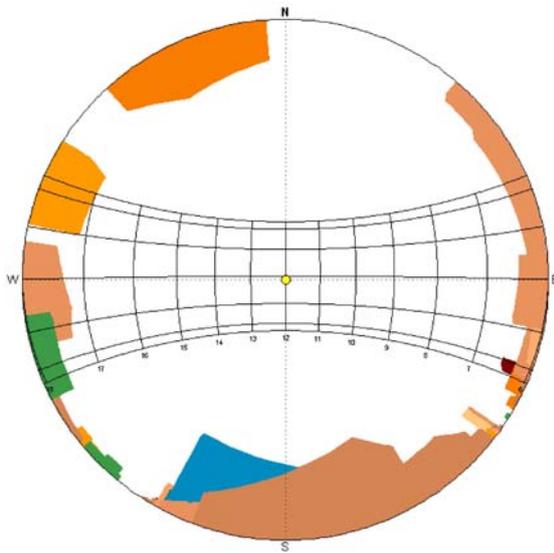


Figura 5.44: Estereografía punto 02.  
Fuente: Heliodon 2007.

El observador, que ahora cambió para el punto 02 alrededor de la manzana (figura 5.44) tendrá, según la estereografía (figura al lado), incidencia de radiación solar directa en todos los días, a lo largo de año, desde las 07:00h hasta las 17:00hs. Pues en él no llegará protección de los rayos solares venidos de los árboles (como pasa en el otro cruce de calle en el punto 01) y tampoco de las edificaciones altas cercanas, quedando solamente la opción de buscar un sitio donde hay una zona de sombras proyectadas por toldos, aleros y/o farola que se sitúan cerca.

### 5.4.3.1.3 - Punto 03

Ahora con el mismo observador en el punto 03 (figura 5.45), se ve que su estereografía cambia como el comportamiento de las proyecciones de sombra en su alrededor (ver figura al lado), pues las máscaras producidas por las obstrucciones de los rayos solares, en función de los edificios y de los árboles cercanas, protegerá solamente por las mañanas, hasta las 11:00hs y al fin del día, después de las 16:00hs. O sea, habrá insolación directa todos los días, durante todo el año, entre las 11:00hs y la 16:00hs.

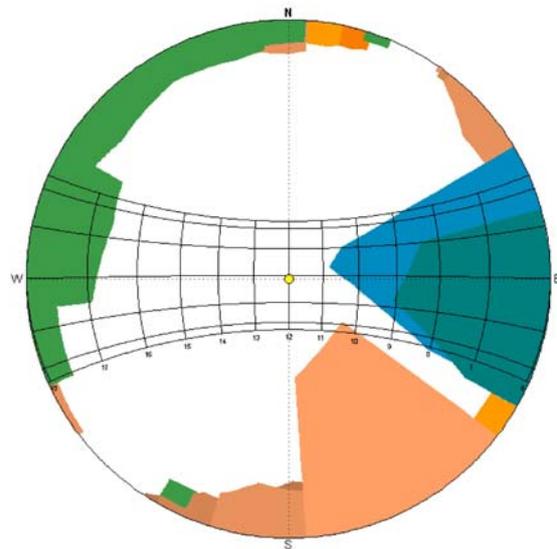
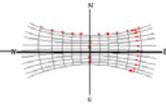


Figura 5.45: Estereografía punto 03.  
Fuente: Heliodon 2.



### 5.4.3.2 - Análisis 02

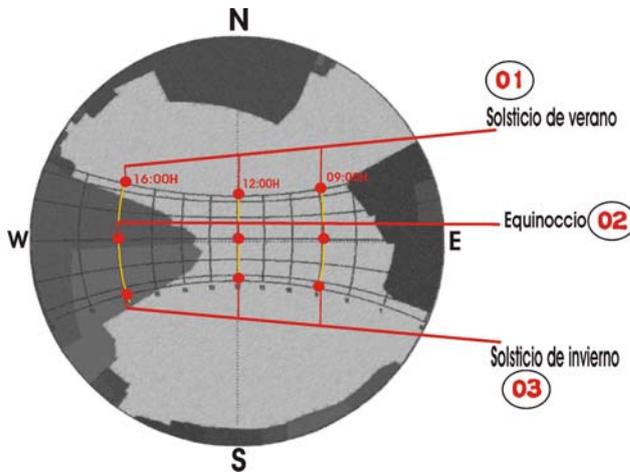


Figura 5.46: Estereografía con las épocas del año. Fuente: heliodon 2.

Vamos a hacer cambios en la estereografía, de un punto fijo alrededor de la manzana en estudio, en las épocas de Solsticio de verano, Equinoccio y Solsticio de Invierno, y en cada una analizaremos tres partes del día común, a las 09:00h; 12:00h y a las 14:00h (así como se ve en la figura al lado).

#### 5.4.3.2.1 - Punto 01 en la Estereografía – Solsticio de verano

En la época del solsticio de verano, percibimos que, al cambiar las horas en la estereografía, entre las 09:00h, las 12:00h y las 16:00h (figura 5.47), las proyecciones de sombras no logran ofrecer una buena protección solar en las calles y otras vías públicas, aún teniendo ayuda de zonas verdes en el centro de muchas de ellas. Sin embargo, en esta época, se ve que por la mañana las proyecciones de sombras de los edificios más altos y de otras obstrucciones de los rayos solares están orientadas al Sur-oeste; las 12:00h al Sur y por la tarde al sudeste, como es normal para cualquier diseño urbano en esta época. Percibimos también que por la tarde casi todas las proyecciones de sombras existentes alrededor y dentro de la manzana no llegan hasta las calles que están en el eje NW-SE, porque el diseño orienta estas calles paralelamente al sentido de las sombras. Con todo, la su mayoría quedan distribuidas o alojadas en el interior de la manzana y en las calles perpendiculares al sentido de las proyecciones de las sombras.

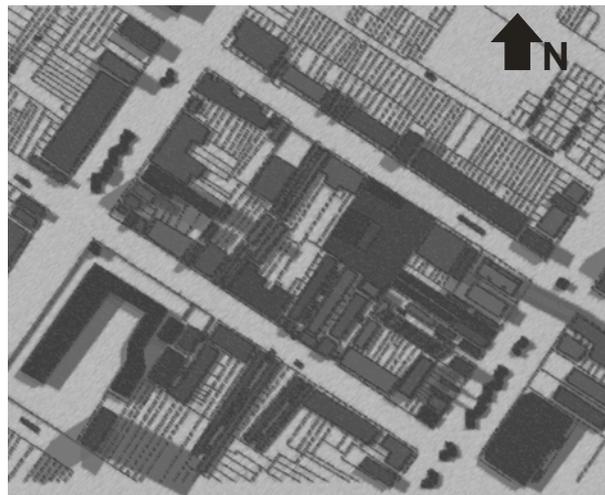
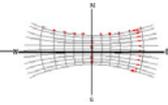


Figura 5.47: La manzana en el solsticio de verano. Fuente: Adaptado de heliodon 2.



#### 5.4.3.2.2 - Punto 02 en la Estereografía – Equinoccio

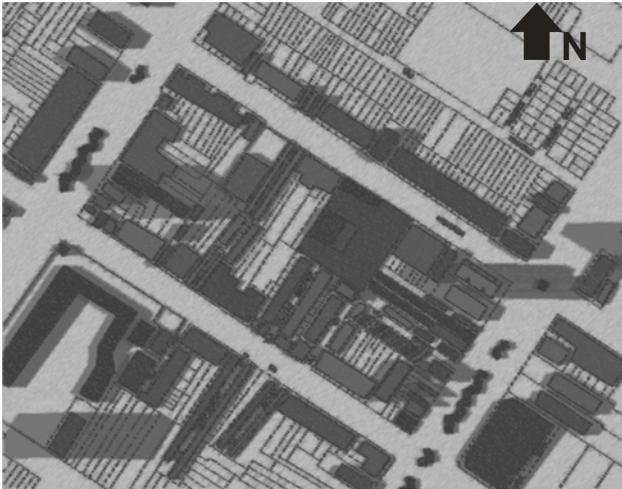


Figura 5.48: La manzana durante el Equinoccio.  
Fuente: Adaptado de heliodon 2.

El comportamiento de las proyecciones de las sombras en la época de equinoccio en esta ciudad, independientemente del tipo de diseño urbano, siempre tendrá las sombras orientadas al Oeste por las mañanas y al Este por las tardes (figura 5.48). O sea, siempre habrá incidencia de radiación solar directa por las mañanas en algunas calles o parte de ellas (en fachadas y personas

situadas cerca), y por la tarde la incidencia cambia para el sentido opuesto.

En la manzana en análisis, se ve que, por tener grandes dimensiones, muchas de las sombras proyectadas se alojan en su interior y que las que logran llegar, hasta con una buena proyección en las calles, vienen de los edificios de gran altura o que quedan en la parte externa de la manzana.

#### 5.4.3.2.3 - Punto 03 en la Estereografía – Solsticio de invierno

En el solsticio de invierno, cambiando las horas en la estereografía, se ve que, así como para cualquier ciudad con esa latitud, las proyecciones de sombras siempre estarán orientadas al Noroeste por las mañanas, al Norte las 12:00hs y al Noreste por las tardes (ver figura al lado). Observando la manzana se ve que, igualmente a las otras épocas del año, la mayoría de las

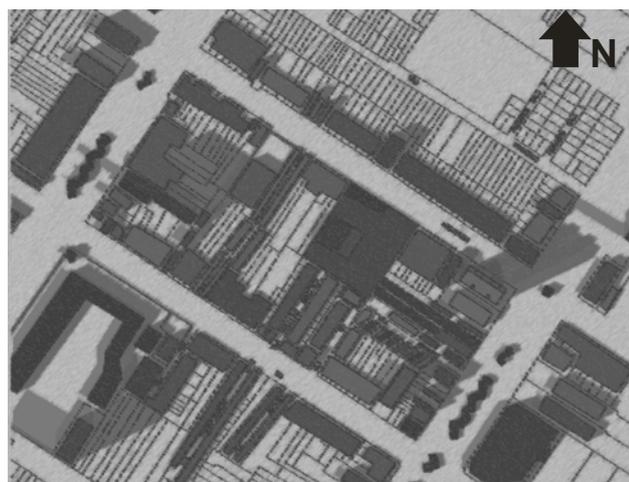
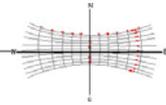
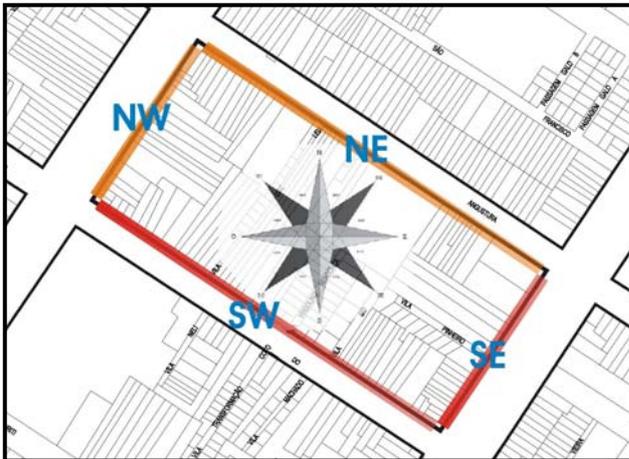


Figura 5.49: La manzana en el Solsticio de invierno.  
Fuente: Adaptado de heliodon 2.

proyecciones de sombras permanecen concentradas en el interior y que las fachadas que menos reciben protección de la radiación solar están orientadas al Suroeste y al Sureste.



### 5.4.3.3 – Análisis 03



El análisis del sentido de las fachadas de las edificaciones que sitúan en la manzana en estudios (ver figura al lado), la incidencia solar y el comportamiento de los rayos solares en el interior de manzana será verificado en esta parte.

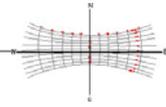
Figura 5.50: Sentido de la orientación de las fachadas.  
Fuente: adaptado por el autor de Coden, 2001.

#### 5.4.3.3.1 – Orientación de las fachadas en la manzana

Conforme vemos en el diseño de la manzana en estudio y su entorno, y analizando las orientaciones de las fachadas (figura 5.50), percibimos que ellas están ubicadas en cuatro direcciones: NW; NE; SW y SE, y que todas estas orientaciones tienen una gran incidencia de radiación solar en las fachadas (ver Capítulo 04), donde destacan más las que quedan en colores rojos (más incidencia).

Durante las mañanas, en la época del Solsticio de Verano, las fachadas que reciben rayos solares directos son las orientadas al NE y SE, todavía por las tardes sigues recibiendo incidencia solar las fachadas al NE y ahora junto con las ubicadas al NW. No obstante, la única orientación que no recibe radiación solar directa en esta época es la SW. Ya en el periodo del Equinoccio, durante las mañanas la incidencia de radiación solar estará siempre directa en las fachadas al SE y NE y por las tardes cambia el sentido para el NE y SW. Pero, a diferencia de lo que pasa en la época del solsticio de verano, aquí las cuatro orientaciones de fachadas reciben radiación solar directa, por la mañana o por la tarde. Sin embargo, ya durante el Solsticio de Verano, las fachadas que reciben radiación directa por la mañana están al SE y SW, y por la tarde llega en las ubicadas al NW y SW. Con eso, las fachadas orientadas al NE, en esta época, no reciben rayos solares directos.

En general, a lo largo del año percibimos, según el sentido de las orientaciones de las fachadas, que las ubicadas al SE y NW reciben la radiación solar directa durante más tiempo que las orientadas al NE y SW.



#### 5.4.3.4 – Análisis 04

Este es el último análisis del comportamiento de la ventilación en un espacio elegido en uno de los tres barrios que hemos estudiado hasta aquí. Verificaremos en el diseño de la manzana y en las alturas heterogéneas de sus edificaciones el aprovechamiento de los vientos, siempre haciendo estudios con base en la Zona de Ventilación para Belén, que hemos visto en el Capítulo 04.

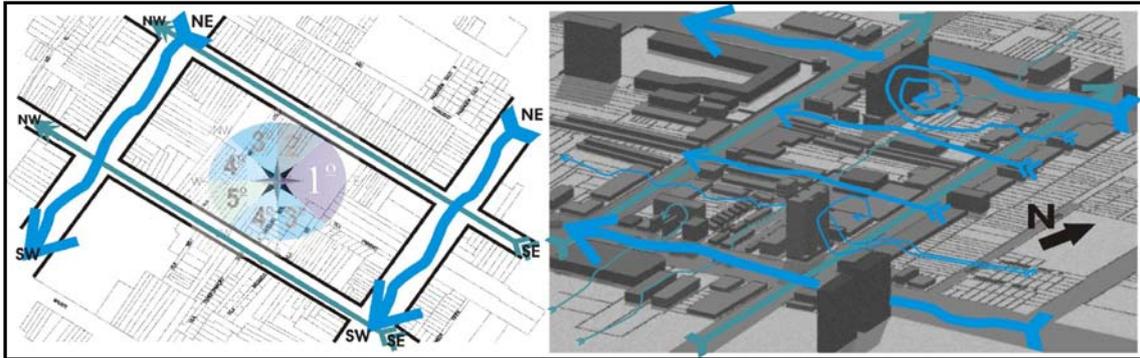
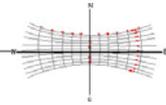


Figura 5.51: Comportamiento de la ventilación en manzana y su entorno  
Fuente: Adaptado por el autor de Heliodon 2.

##### 5.4.3.4.1 – Comportamiento de la ventilación en una manzana del barrio Marco

Según la figura 5.51, vemos que el comportamiento de la ventilación en la manzana en estudio, en función de su diseño, capta los vientos de la 1ª, 2ª y 3ª zonas (ver capítulo 04 para entender sobre las zonas de vientos para la ciudad de Belén). Y que el sentido de las calles situadas alrededor de la manzana conduce la ventilación (dominante y de mejor velocidad) en solamente dos sentidos: eje NE – SW y eje SE – NW.

La manzana, por tener pocas edificaciones altas y de gran dimensión, no tiene muchas zonas de sombras de vientos producidos por sotavento. Todavía, el aprovechamiento de la circulación de la ventilación interna queda bueno, principalmente de los vientos de la 1ª, 2ª Zona. Sin embargo, las fachadas orientadas al SE y NW, por quedar en una vía de gran dimensión de ancho y de pocos edificios altos por delante, que servirían como barreras de vientos, logra aprovechar más los vientos directos (de la 1ª, 2ª, 3ª y 4ª zonas) que las fachadas ubicadas al SW y NE.



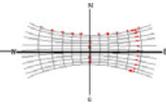
## 5.5- ANÁLISIS GENERAL DE ESTE CAPITULO

Analizar el comportamiento de la incidencia solar, de la ventilación y su relación con espacios de características distintas, dentro de la ciudad de Belén del Pará, fue el objetivo principal de este capítulo.

**5.5.1 - Hemos verificado en tres espacios diferentes donde, por orden, tenemos las conclusiones individuales:**

**5.5.1.1 - Barrió Ciudad Vieja:** En la plaza Juan Bautista, percibimos que existe un buen juego de sombras en función de las ubicaciones y variaciones de altura de los edificios, donde es posible verificar la buena integración de los vientos en los espacios interiores, principalmente los vientos de las zonas de ventilación más favorables de la ciudad (zonas 1, 2 y 3), con todo eso, proporciona un mejor micro-clima para las personas que usan estos espacios. Y para que este micro-clima quede mejor, ya que el diseño de la plaza logra ofrecer esto, es necesario sólo planear bien donde poner los árboles en las zonas de mayor incidencia solar directa, o sea, en las zonas donde hay menos sombras, como por ejemplo, en el punto cuatro del camino del observador (ver estereografía de ese punto en la fig. 5.42). Por último, verificamos en la orientación del diseño de la plaza, que hay sólo cuatro tipos de orientación de fachadas para las edificaciones, como SE, SW, E y N, siendo que las tres primeras son de gran incidencia solar (más detalles ver capítulo 04).

**5.5.1.2 - Barrió Umarizal:** En la parte estudiada de este barrio, percibimos que no hubo preocupación ninguna en el diseño de este espacio en relación a la orientación de las fachadas de los edificios, pues solo hay una orientación que tiene una dirección fija de las cuatro existentes, que es al SW, las otras son al NW/N, NE/E y SE/S. Pero como existen muchos edificios altos, dentro y alrededor de la manzana, hay durante todo el año una buena distribución de sombras en la mayoría de las calles, o sea, también sobre las fachadas de los edificios, ofreciendo con eso un buen confort climático para personas. Lo malo de los edificios altos, es el hecho de que forman barreras para la ventilación dominante. Sin embargo, dentro de la manzana, logran interceptar los vientos para que queden circulando internamente entre los edificios de poca altura. Y sobre las calles existentes alrededor de la manzana, las que tienen las mejores orientaciones para el aprovechamiento de los vientos de las mejores zonas son las menos anchas y las que están en otro sentido (de zonas menos buenas) son más anchas.



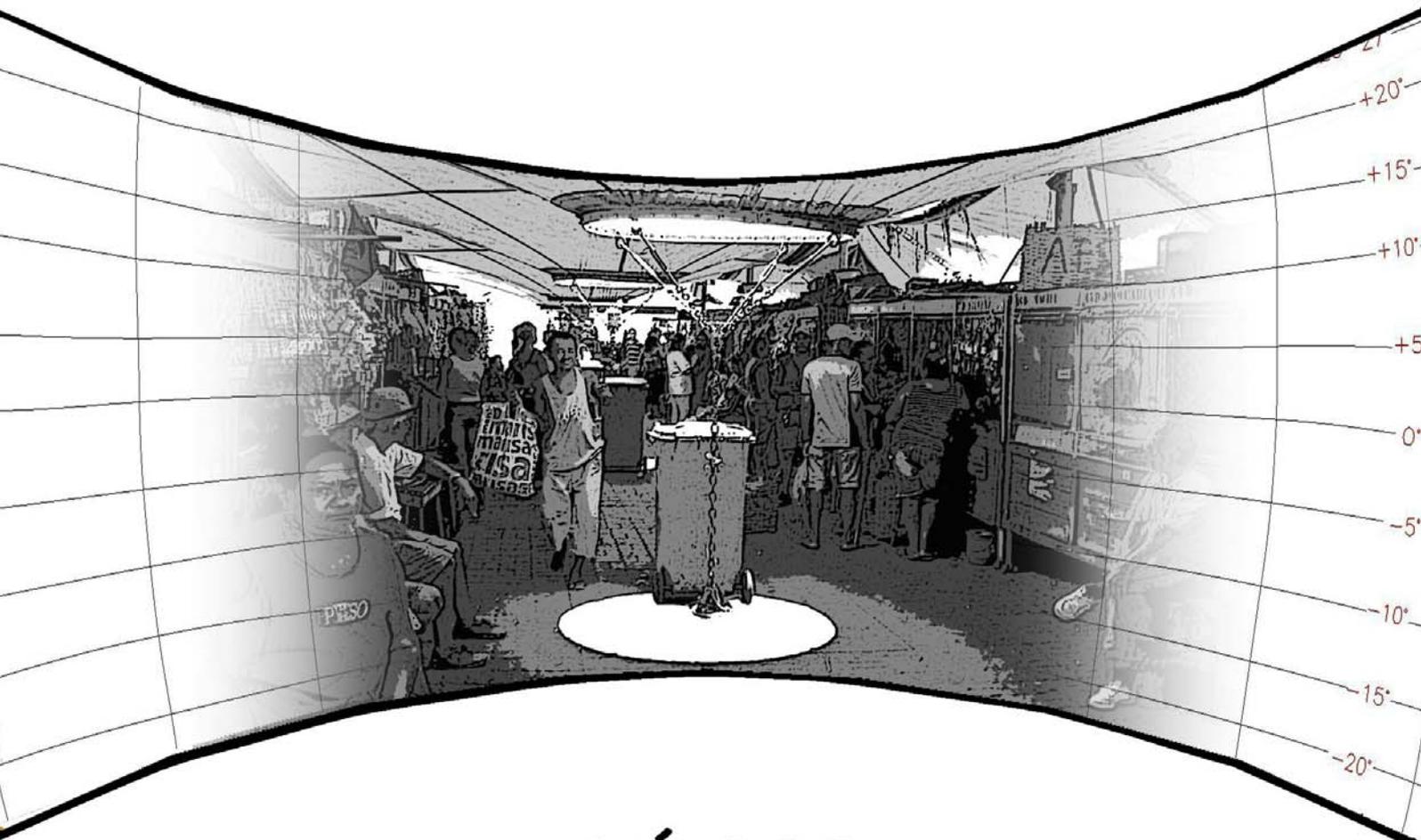
**5.5.1.3 - Barrió del Marco:** La manzana estudiada es muy grande y eso hace que tenga una fuerte concentración de incidencia solar interna, y como no hay zonas internas de micro-clima y socialización para las personas, la incidencia solar y la falta de sitios para protegerse del sol es una de las cosas más preocupantes dentro y alrededor de ella, pues los pocos edificios altos existentes no logran ofrecer un buen juego de sombras a lo largo del año para que las personas que viven o que usan estos espacios tengan un buen confort climático. Sobre las orientaciones de las fachadas, como en los otros espacios estudiados, están en cuatro sentidos (NE, SE, NW, SW), y las calles, que son todas anchas, están orientadas para las mejores zonas de ventilación (zona 1 y 2).

### **5.5.2 - Sobre las conclusiones generales:**

Haciendo la comparación entre los 3 espacios analizados en este capítulo, nos damos cuenta que en el barrio de la ciudad vieja, el diseño del lugar ofrece, en función de su irregularidad, mejores condiciones de confort climático para las personas por el micro-clima presente, y eso es porque el diseño del barrio es muy antiguo y fuera hecho, principalmente, para la circulación de las personas. Resultado de la mezcla de calles más estrechas, sus orientaciones, los micro-climas (pequeñas plazas y espacios públicos) y las alturas casi regulares de los edificios. Por otro lado, en el barrio del Umarizal, encontramos un diseño diferente y más regular, donde no existió una preocupación de las orientaciones de las fachadas de los edificios y tampoco de las orientaciones y dimensiones de las calles para el aprovechamiento de los vientos dominantes y para proteger las personas de la fuerte incidencia solar diaria. El barrio del Marco es el más regular de los tres, con calles bien orientadas para el aprovechamiento de la ventilación y fachadas mejor ubicadas en sentido de la incidencia solar, pero la desventaja mayor es que hay una carga térmica muy grande sobre la manzana (por el tamaño grande) y las calles que quedan alrededor (de anchura grande), como no hay zonas de micro-clima y tampoco la ubicación, en sitios necesarios, de árboles u otras formas de ofrecer sombra y confort climático para la gente. Pues todo lo que hay de vegetación y otros tipos de obstáculos a los rayos solares en el sentido de generar sombras es insuficiente. Sin embargo, generalmente, en todos los espacios estudiados aquí, percibimos que en ninguno hay un buen aprovechamiento de los vientos junto con un buen control de la incidencia solar, pues *hay una dependencia muy grande de que la arquitectura de los edificios existentes haga la protección frente a la incidencia solar, de manera espontánea, sea con su altura o su forma (proyectando sombras o no), o que mejore el confort climático para la gente de Belén.*

“ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN/BRASIL”

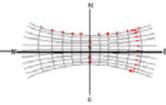
## CAPÍTULO 6



## EPÍLOGO

ADAILSON OLIVEIRA BARTOLOMEU  
BARCELONA 2007

TESINA DEL MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL - UPC/ESPAÑA



## CAPÍTULO 6

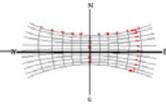
### EPÍLOGO

En esta parte, que pretende complementar e ilustrar lo anterior, se muestra cómo es posible jugar con la geometría y la forma en función de los trayectos solares (la estereografía) del lugar, de manera sencilla, con el objetivo de ofrecer a las personas un mejor confort climático. No se presenta aquí ningún proyecto detallado, sino un estímulo hacia la idea y la adaptación de las formas al clima existente.

Durante toda la tesina, siempre hemos hablado de las condiciones climáticas de Belén del Pará, su historia y cultura (ver capítulo 03). Y antes de empezar a jugar con las formas, hablaremos de pequeñas cosas que diariamente ocurren en la ciudad. Pues como el sol incide de forma bien regular a lo largo del año y con mucha intensidad, mucha gente cuando queda esperando en las paradas de autobuses, suele recibir una gran incidencia solar directa en el cuerpo, pues la mayoría de las paradas no ofrecen una protección suficiente. Entonces, caminando por Belén, podremos ver muy fácilmente personas atrás de las paradas de autobuses, buscando las sombras de las propias paradas, y como el sol incide directo sobre el frente de la parada (por la mañana o por la tarde, dependiendo de la orientación), su función se limita (dependiendo de la hora del día) a proteger las personas contra las lluvias (principalmente las débiles) y no de la radiación solar directa.

Hay muchos lugares en la ciudad donde no existen paradas de autobuses, y en esos casos las personas buscan refugio tras cualquier cosa que haga sombra para protegerse de los rayos solares: edificios, árboles, farolas, etc. (ver por ejemplo la foto 3.10 en la parte 3.3 Arquitectura, clima y cultura). Lo peor de todo, es cuando el autobús tarda en llegar a la parada, que existan una estructura de parada para proteger las personas o ninguna, dependiendo de la hora del día, quedar esperando el autobús en estos sitios se convierte en una tortura por el calor producido por la fuerte incidencia solar directa.

Pensando en este tipo de historias, hemos elegido jugar con las formas de una parada de autobuses para la ciudad de Belén. Por eso presentamos cuatro prototipos distintos para protección y confort de las personas a lo largo del año, para dos orientaciones diferentes, ubicadas al Norte y al Noreste, que son las orientaciones con más carga térmica incidente. Recordamos que no está especificado ningún tipo de



material, proceso constructivo y tampoco el comportamiento de la ventilación. Los análisis de las paradas fueron hechos a base de estereografías relativas a un usuario de 1.70 metros de altura, sentado en el centro.

**6.1 – PRIMER PROTOTIPO:**

Es un diseño sencillo (ver figura 6.2), como todos los que presentaremos aquí, que intenta verificar las posibilidades de proteger a la gente a lo largo del año. Este prototipo protege a las personas de la incidencia solar directa a partir de las 09:00 horas de la mañana y está orientado al Norte (ver fig. 6.1 al lado).

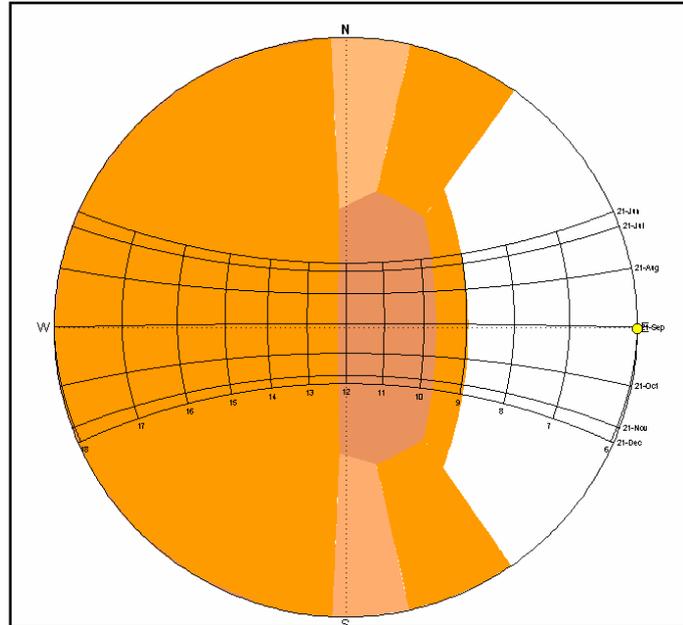
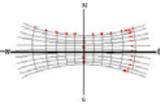


Figura 6.1: Estereografía del primer prototipo (1).  
Fuente: Heliodon 2.

Figura 6.2: Imágenes del Prototipo 01 con ubicación, elevación y orientación.



Fuente: Heliodon 2.



## 6.2 – SEGUNDO PROTOTIPO:

Orientado al Nordeste, es diferente del primero y logra proteger las personas que esperan en la parada de autobuses de la radiación directa, a lo largo del año, desde el comienzo de la mañana (ver fig. 6.3 al lado). Y como a veces hay edificios atrás de las paradas, por la tarde podrían proteger la parada de calentarse demasiado o a la gente que camina por el paseo (ver fig. 6.5). No teniendo edificio atrás, puede ser usada la estrategia de ubicar árboles con el mismo sentido, de ofrecer sombra y barreras para la radiación solar directa (ver fig. 6.6).

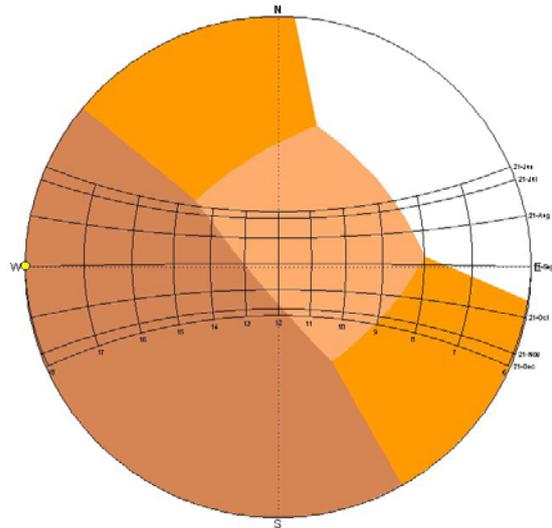
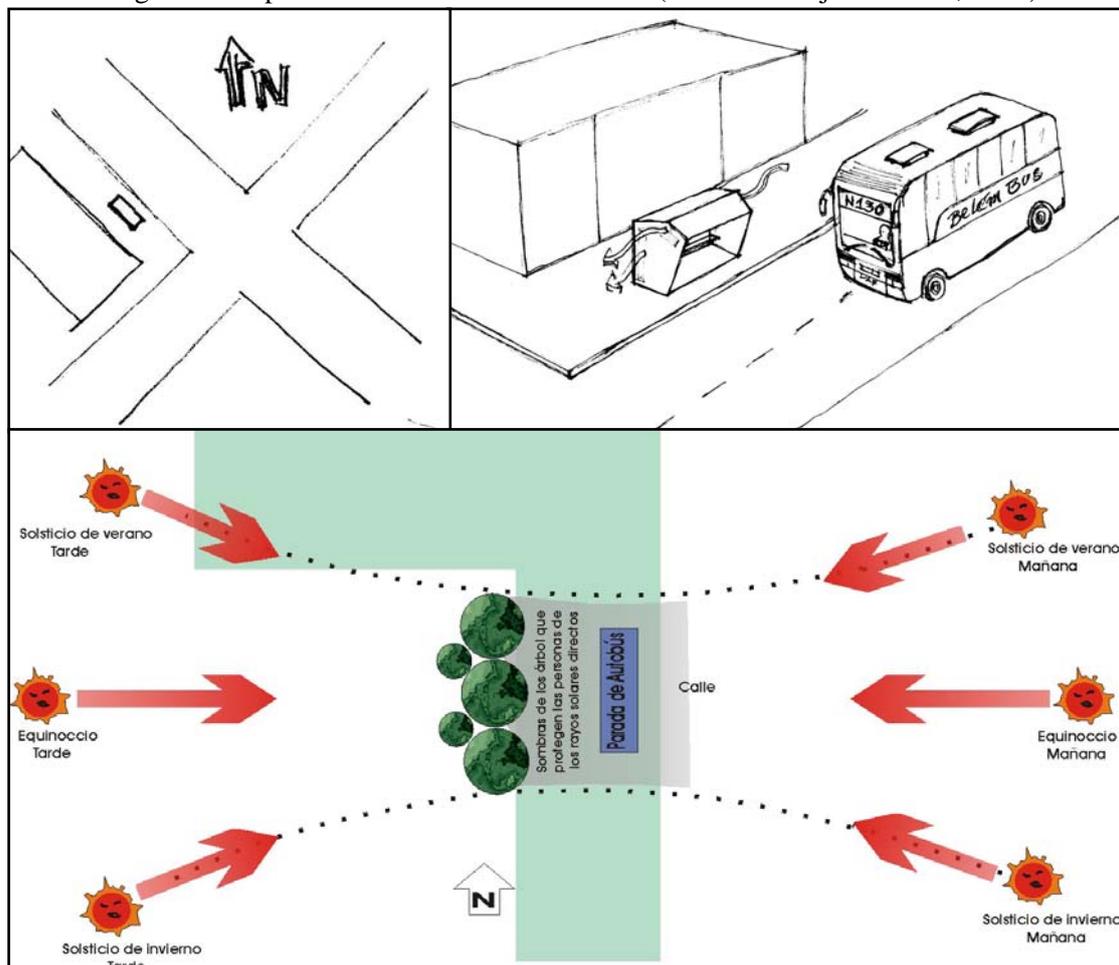


Fig. 6.3: Estereografía del prototipo 02.  
Fuente: Heliodon 2.

Figura 6.4: Imágenes del Prototipo 02 con ubicación, perspectiva y estudio de protección solar a lo largo del año para la latitud de Belén del Pará. (Fuente: Dibujo del autor, 2007)



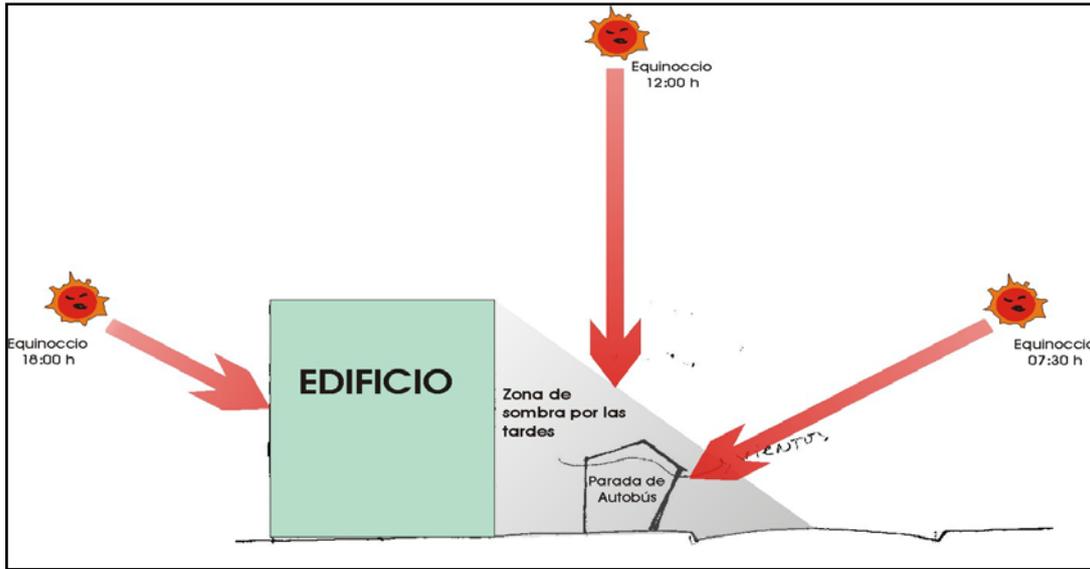
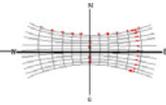


Figura 6.5: Prototipo 02 y el comportamiento del recorrido solar durante el equinoccio en Belén, donde protege las personas que esperan los autobuses por parte de la mañana y usa los edificios que quedan atrás para protección solar durante toda la tarde (Fuente: Dibujo del autor).

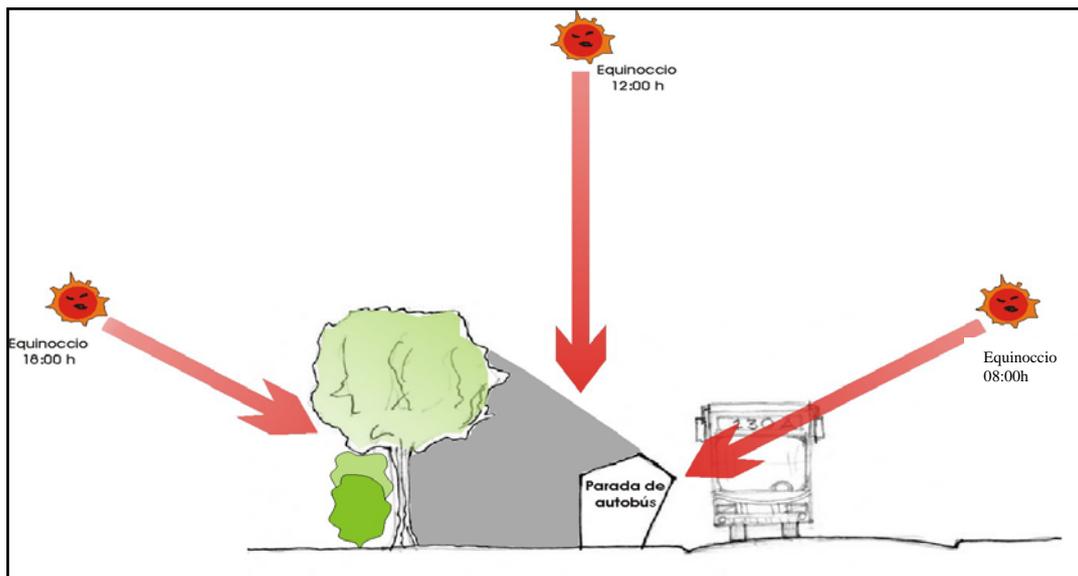
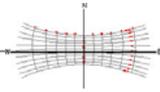


Figura 6.6: Imágenes del Prototipo 02 con el comportamiento del recorrido solar durante el equinoccio en Belén y su protección solar durante parte de la mañana y el uso de los árboles para protección de los rayos solares directos por las tardes (fuente: Dibujo del autor, 2007).



**6.3 – TERCER PROTOTIPO:** Orientado al Norte, es distinto de los dos prototipos anteriores y consigue proteger las personas que están en la parada de autobús contra los rayos solares directos a partir de las 07:30h de la mañana, durante todo el año (ver figura 6.7 al lado). En esta parada, también se aplica la estrategia de la protección solar por las tardes, aprovechando los edificios situados atrás o ubicando los árboles (ver figura 6.8).

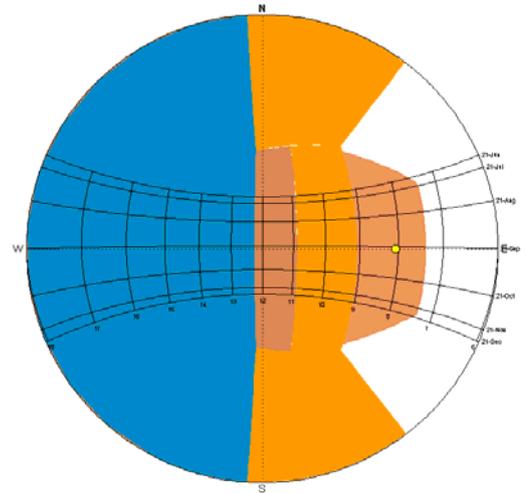
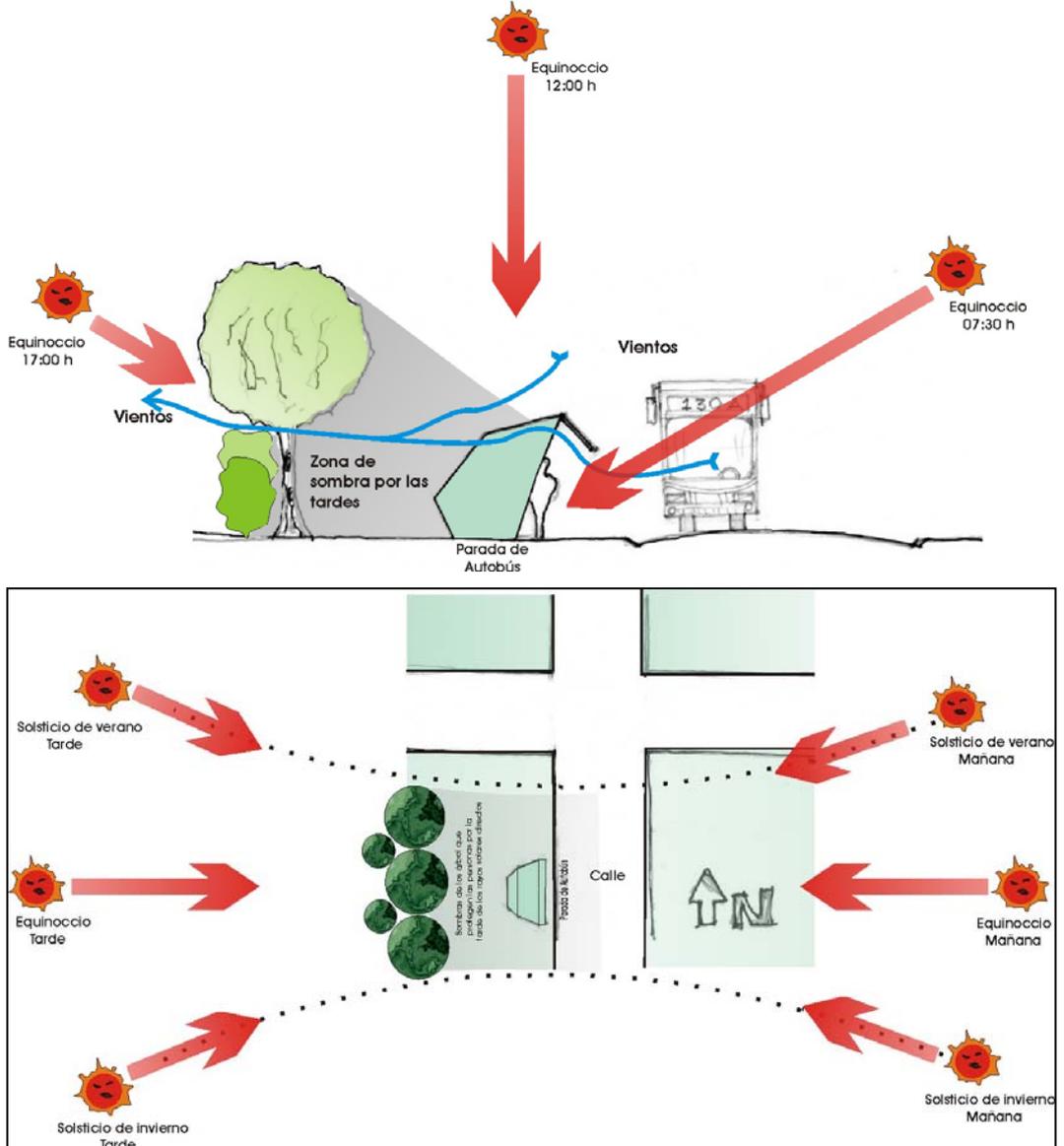
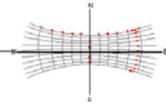


Fig. 6.7: Estereografía del prototipo 03. Fuente: Heliodon 2.

Figura 6.8: Prototipo 03 con su ubicación, elevación y estrategia de confort para los usuarios durante el recorrido solar de Belén. (Fuente: Dibujo esquemático del autor, 2007)





**6.4 – CUARTO PROTOTIPO:** Orientado al Norte y con las espaldas a la calle y para la radiación solar de las mañanas. Este es totalmente diferente de los tres prototipos presentados anteriormente, porque logra ofrecer al usuario una protección contra los rayos solares directos de 100% (ver figura 6.9 al lado), pero siempre aplicando las estrategias de aprovechamiento de las sombras de los edificios y/o los árboles por las tardes a lo largo del año como barreras solares, que ahora quedan enfrente de la parada (ver figura 6.11).

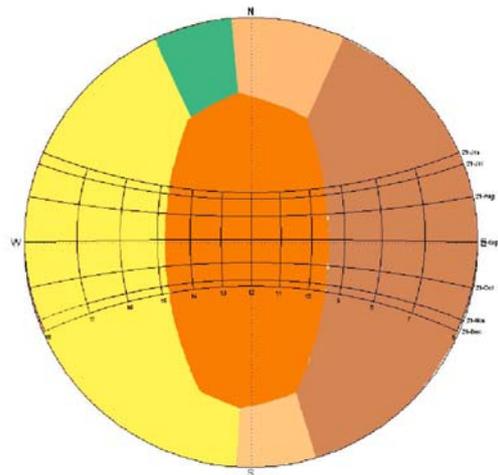


Fig. 6.9: Estereografía del prototipo 04.  
Fuente: Heliodon 2.

Figura 6.10: Imagen del prototipo 04, con detalles, ubicación y vistas. (Fuente: Heliodon 2.)



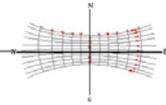
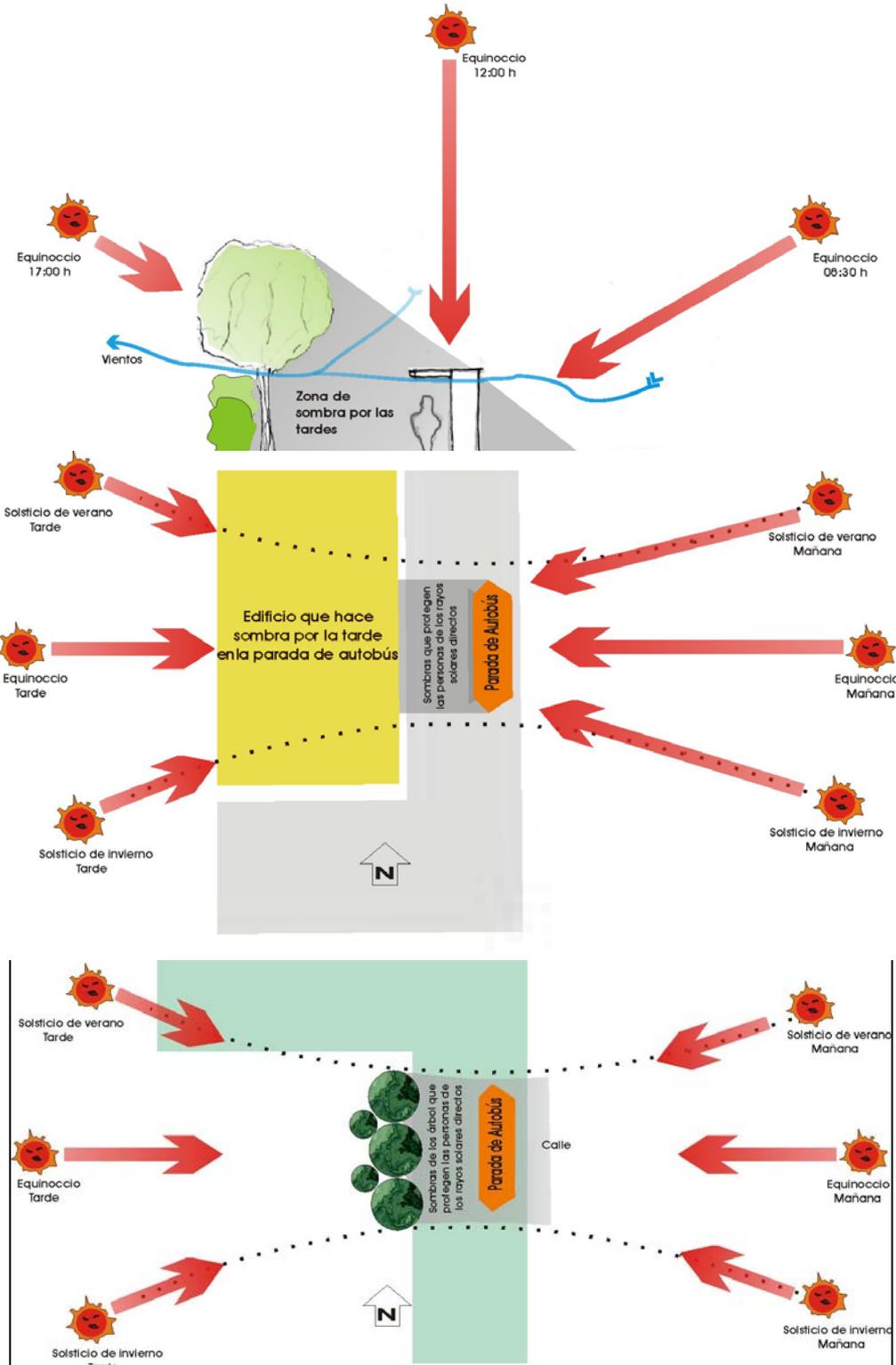
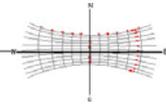


Figura 6.11: Prototipo 04 con la orientación, elevación, forma y cómo es su comportamiento a lo largo del año, teniendo por delante edificios o árboles para proteger a las personas de los rayos solares directos durante todas las tardes y el esquema de cómo es el recorrido solar sobre la parada durante el equinoccio en Belén. (Fuente: Dibujo esquemático del autor, 2007)



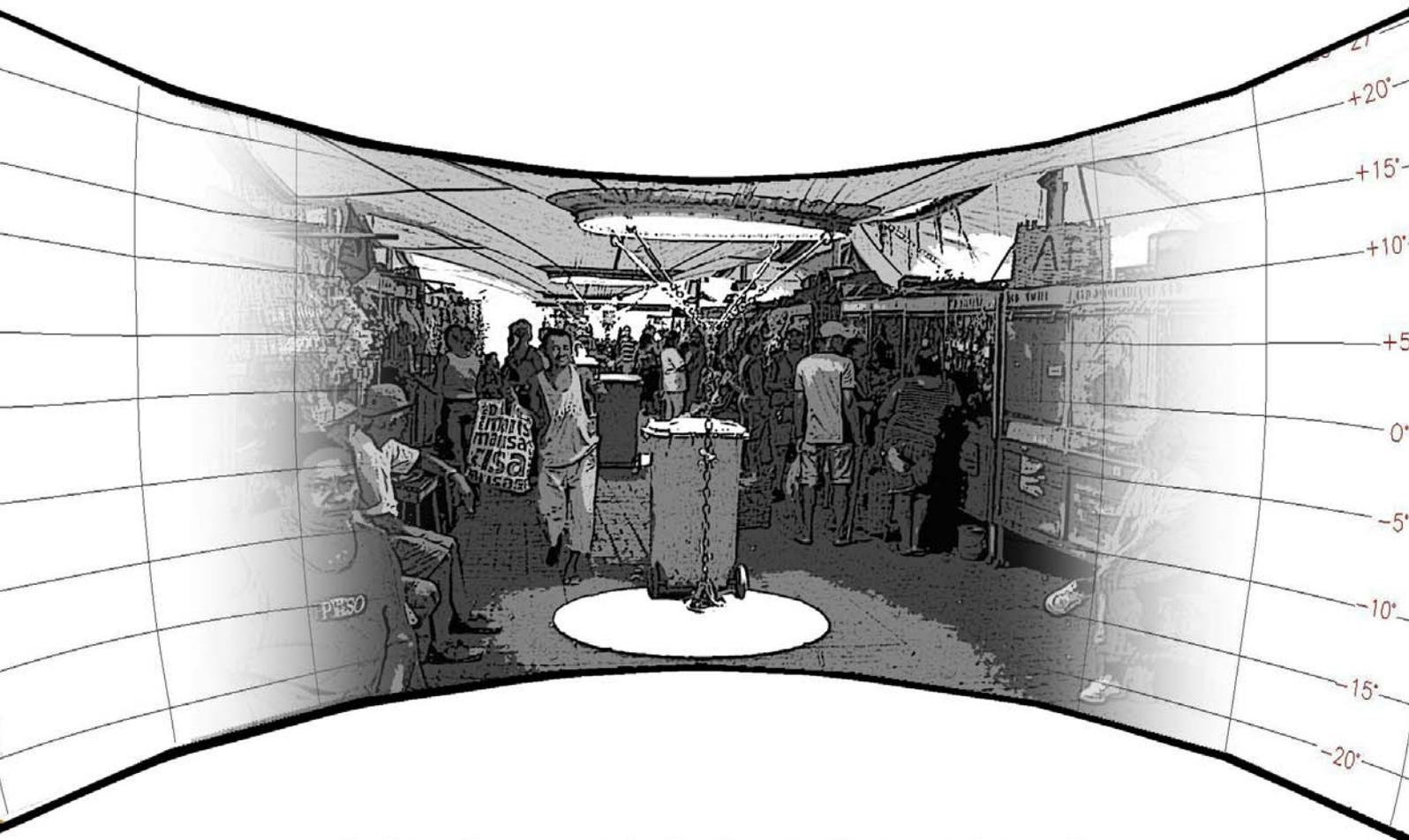


La presentación de este epílogo tiene como objetivo principal servir como base, aunque sea de manera sencilla, para otros tipos de construcciones o estudios de espacio construido que puedan adecuar su forma a las condiciones climáticas de Belén u otras ciudades con estereografía semejante.

Los cuatro ejemplos estudiados de paradas de autobuses para Belén muestran cómo, de forma básica, protegen los usuarios contra la intensa radiación solar diaria incidente en Belén a partir de las 7.30 o de las 8.00 o de las 9.00 por la mañana. Y como no hay manera de proteger al 100% las personas del sol (por la mañana o por la tarde, depende de la orientación) consideramos el prototipo 04 como la única solución para llegar al 100%. Sin embargo, para lograr el 100% de protección diaria, tenemos que agregar estrategias, o sea, pensar en la ubicación de esos equipamientos relacionados con los edificios, aprovechando sus sombras. En caso de falta de edificios alrededor (por ejemplo en una plaza), proponemos plantear árboles en lugares concretos para dar sombra suficiente a lo largo del año, para proteger completamente las paradas de autobuses por la tarde o por la mañana, según el recorrido solar del lugar.

“ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN/BRASIL”

## CAPÍTULO 7



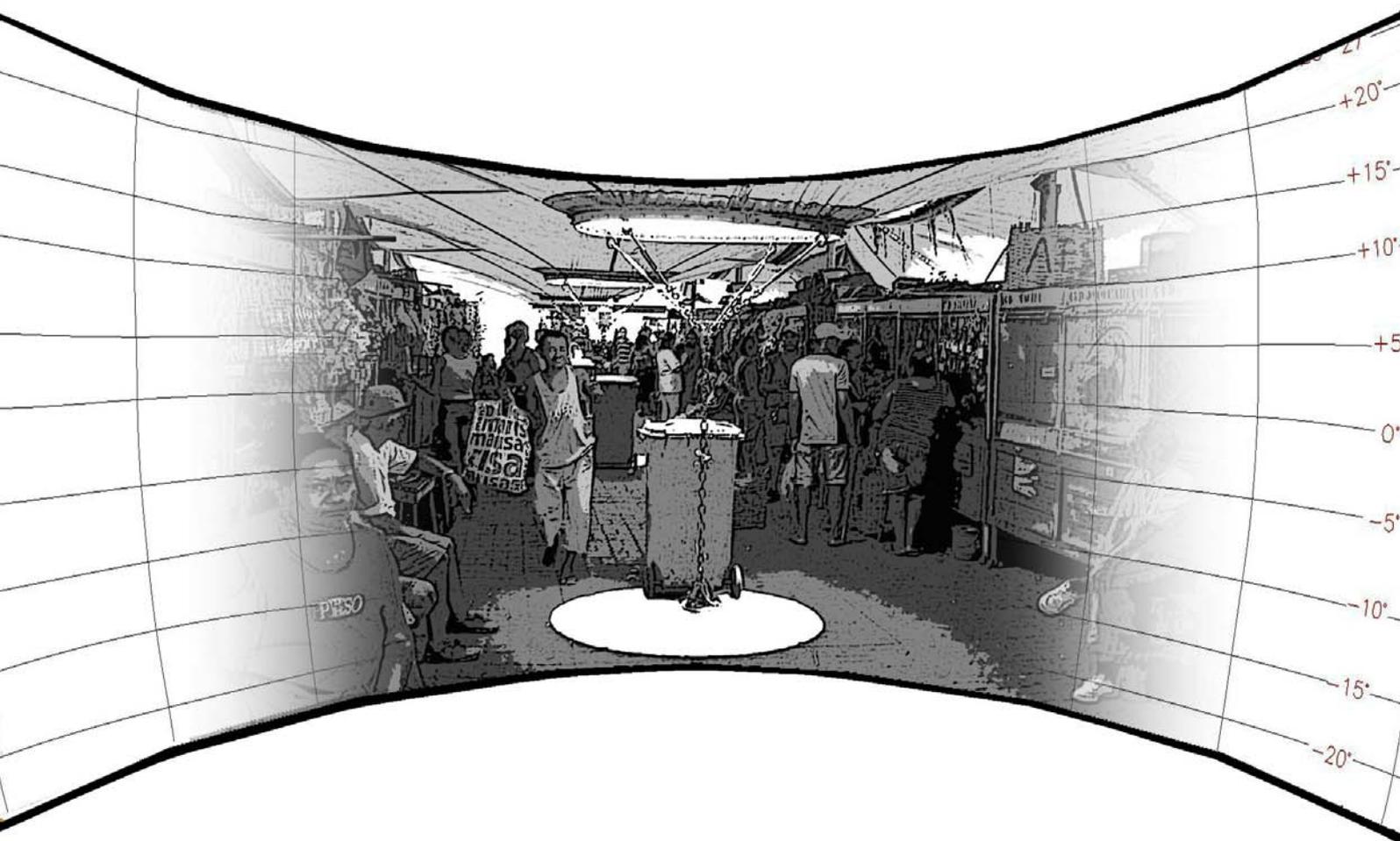
## CONSIDERACIONES FINALES

ADAILSON OLIVEIRA BARTOLOMEU  
BARCELONA 2007

TESINA DEL MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL - UPC/ESPAÑA

“ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN/BRASIL”

# BIBLIOGRAFÍA Y GLOSARIO

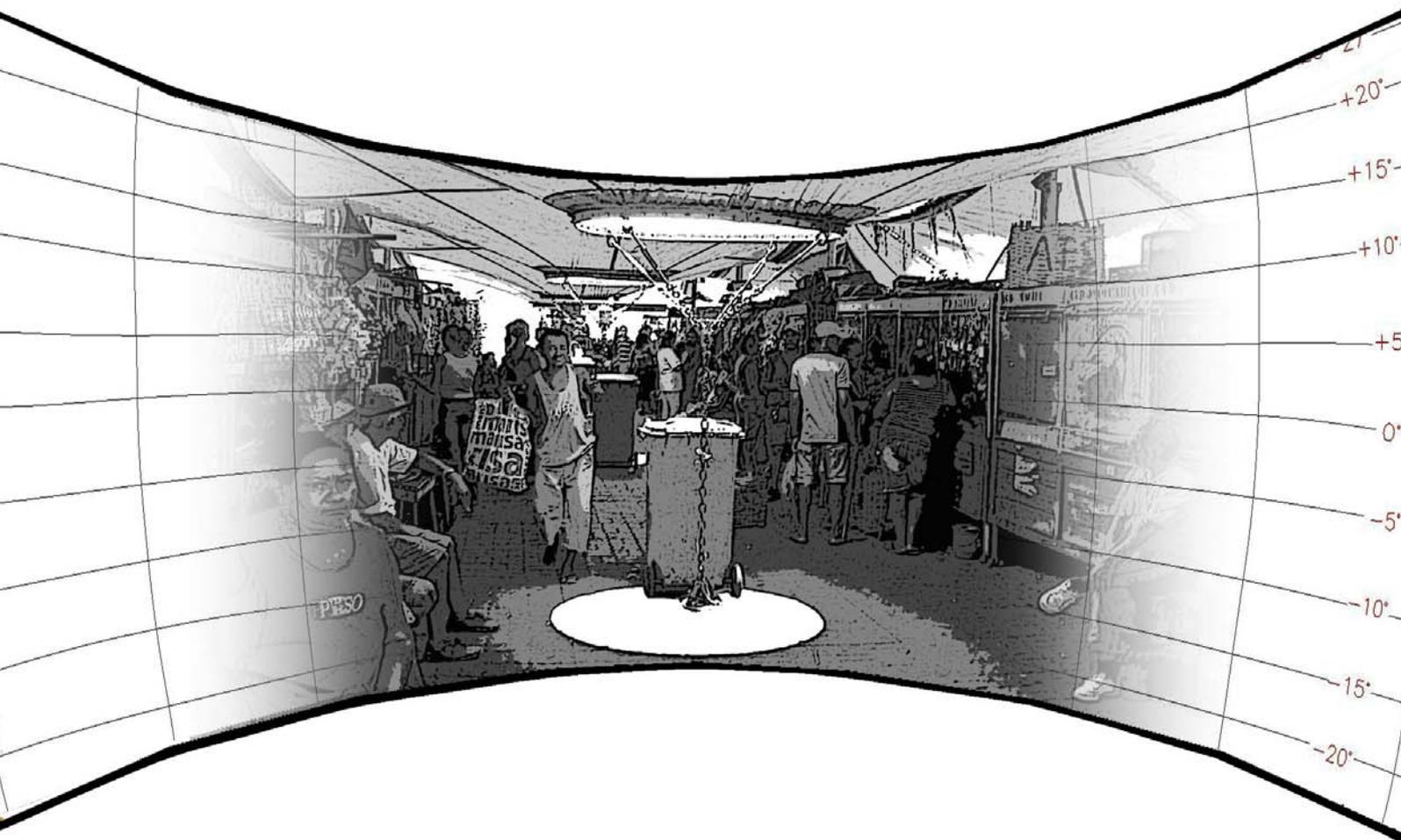


ADAILSON OLIVEIRA BARTOLOMEU  
BARCELONA 2007

TESINA DEL MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL - UPC/ESPAÑA

“ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO EN LA CIUDAD ECUATORIAL DE BELÉN/BRASIL”

# ANEXO



ADAILSON OLIVEIRA BARTOLOMEU  
BARCELONA 2007

TESINA DEL MASTER EN ARQUITECTURA MEDIO AMBIENTAL - UPC/ESPAÑA