



## TÍTULO

**SISTEMAS ADECUADOS DE ILUMINACIÓN NATURAL Y  
VENTILACIÓN PARA UNIDADES EDUCATIVAS**

**EL CASO PARTICULAR DE COCHABAMBA (BOLIVIA)**

## AUTOR

**Marcelo Adrián Piérola San Miguel**

Directora  
Tutor  
Curso

**Esta edición electrónica ha sido realizada en 2012**

María López de Asiaín Alberich

Juan Antonio Martín Herrera

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

© Marcelo Adrián Piérola San Miguel

© Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

### Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

### Bajo las condiciones siguientes:

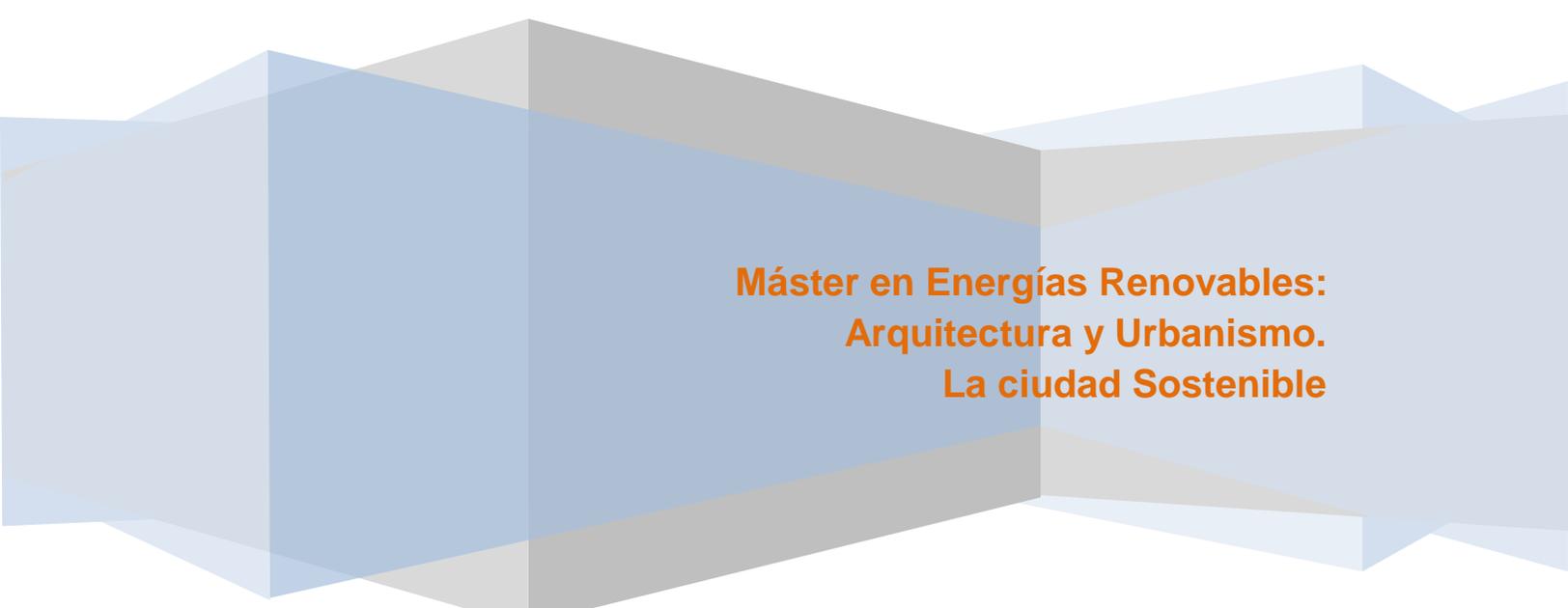
- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
  - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
  - **Sin obras derivadas.**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

**Universidad Internacional de Andalucía**

# **Sistemas adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas**

**El caso particular de Cochabamba**

Arq. Marcelo Adrian Piérola San Miguel



**Máster en Energías Renovables:  
Arquitectura y Urbanismo.  
La ciudad Sostenible**



**Universidad Internacional de Andalucía  
Sede Santa María de la Rábida**

**Máster en Energías Renovables: Arquitectura y Urbanismo.  
La ciudad Sostenible**

**Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y  
Ventilación para Unidades Educativas:  
El caso particular de Cochabamba.**

AUTOR:

**Arq. Marcelo Adrian Piérola San Miguel**

Director de Tesis: Dra. Arq. María López de Asían Alberich  
Tutor de Tesis: Arq. Juan Antonio Marín Herrera

Barcelona - España  
2011

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme fe, fortaleza y salud.

A todos los que creyeron en mí, a toda la gente que me brindó su apoyo, a mi familia por todo el amor y la alegría, en especial a mis hermanos; Edwin, por todo el sacrificio a favor de la familia, por enseñarme a luchar para alcanzar mis metas y darme el mejor ejemplo de vida; a mi hermana Silvia, por todo su amor, su cariño, su estímulo, ejemplo y apoyo constante; y a mis sobrinos, por sus sonrisas, que son mi mayor estímulo, los adoro!!!

A la UNIA por la oportunidad y el excelente nivel de docencia ofrecido.

A mis amigos que me brindaron su apoyo, su atención y lo más importante su amistad.

En memoria de mis padres.

Moltes gràcies!!!

# Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

## INDICE

### Capítulo I: INTRODUCCIÓN

I. 1. Introducción	11
I. 2. Marco de Estudio	13
I. 3. Hipótesis	15
I. 4. Objetivos	15
I. 4. 1. Objetivos generales	15
I. 4. 2. Objetivos particulares	16
I. 5. Alcances	16
I. 6. Justificación	17
I. 7 Metodología	17
I. 7. 1. Técnicas	17
I. 8. Herramientas de Análisis y Evaluación	18

### Capitulo II: GEOMETRIA SOLAR

II. 1. Aspectos Astronómicos de la Energía Solar	20
II. 1. 1. El Sol y la Tierra	20
II. 1. 2. Energía Solar y Atmosfera	22
II. 2. Movimiento de Rotación y Traslación	22
II. 2. 1. Intensidad de la Radiación Solar	22
II. 2. 2. Reflexión, Transmisión y Absorción	24
II. 3. Energía Solar y Edificación	25
II. 3. 1. Movimiento de Rotación	25
II. 3. 2. Movimiento de Traslación	26
II. 3. 3. Estaciones, Solsticios y Equinoccios	27
II. 3. 4. Movimiento aparente del Sol	28

### Capitulo III: DISEÑO ARQUITECTONICO BIOCLIMATICO

III. 1. Energía y Medio Ambiente	31
III. 2. La Energía y sus formas	32
III. 3. Energías Renovables	33
III. 3. 1. Energía Solar	34
III. 3. 2. Energía Eólica	34
III. 3. 3. Energía Hidráulica	35
III. 3. 4. Biomasa	35
III. 3. 5. Energía Geotérmica	36

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

III. 3. 6. Energía Mareomotriz	36
III. 3. 7. Energía Atómica	37
III. 4. Arquitectura y Energía	37
III. 5. Arquitectura Bioclimática	38
III. 5. 1. Elementos del Diseño Bioclimático	39
III. 5. 2. Sistemas Solares Pasivos	40

### Capítulo IV: ILUMINACIÓN NATURAL Y ARQUITECTURA

IV. 1. Introducción	42
IV. 2. Principios de la Luz	43
IV. 2. 1. El Espectro Electromagnético	43
IV. 2. 2. Radiación Violeta o Radiación Visible	44
IV. 2. 3. Radiación Ultravioleta e Infrarroja	45
IV. 2. 4. La Radiación y La Atmosfera	45
IV. 3. El Clima	45
IV. 3. 1. Otras consideraciones	46
IV. 4. El Hombre y La Luz	48
IV. 4. 1. Factores Fisiológicos	49
IV. 4. 2. Factores Objetivos	49
IV. 4. 3. Sensación Luminosa	50
IV. 5. Proyectando con Iluminación Natural	51
IV. 5. 1. La Orientación	51
IV. 5. 2. Obstrucciones y disponibilidad lumínica	51
IV. 5. 3. La dirección de la luz	52
IV. 5. 4. Beneficios otorgados por el uso de la Iluminación Natural	53
IV. 5. 5. Luz y Espacios	54
IV. 6. Uso Eficiente de la Energía	55

### Capítulo V: LUZ NATURAL e ILUMINACIÓN DE INTERIORES

V. 1. Introducción	58
V. 2. Fuentes de Luz Natural	59
IV. 2. 1. Luz Natural Directa, Indirecta y Difusa	60
V. 3. Tipos de Cielo	60
V. 4. Niveles de Iluminación necesarios	62
V. 5. Componentes de la Iluminación Natural	63
V. 6. Datos de Luz Natural exterior	63
V. 7. Iluminación Natural de los interiores	64
V. 7. 1. Objetivos de Diseño	64
V. 7. 2. Sistemas de Iluminación Natural	65

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

V. 7. 2. 1. Iluminación Lateral	65
V. 7. 2. 2. Iluminación Lateral y el Muro Norte	67
V. 7. 2. 3. Iluminación Cenital	68
V. 7. 2. 4. Iluminación Combinada	69
V. 8. Aplicaciones y desarrollos recientes	69
V. 8. 1. Bandejas Reflectoras o Estantes de Luz	70
V. 8. 2. Nuevos Materiales	71
V. 8. 3. Vidrios Prismáticos	71
V. 8. 4. Sistemas con Hologramas	72
V. 8. 5. Lumiductos	72
V. 9. Instrumentos de Medición	73
V. 10. Mediciones en modelos a escala	74
V. 11. Conclusiones	75

### **Capítulo VI: ILUMINACIÓN EFICAZ, CALIDAD y FACTORES HUMANOS**

VI. 1. La influencia de la iluminación sobre el ser humano	78
VI. 2. Calidad de la Iluminación	78
VI. 3. Efectos de la iluminación sobre el rendimiento visual supraumbral	79
VI. 4. Rendimiento visual, confort visual y productividad	80
VI. 5. Iluminación y su efecto sobre el confort visual	81
VI. 6. Impresiones de la luz	81
VI. 7. Conclusiones	81

### **Capítulo VII: VENTILACION NATURAL y FACTORES DE PROTECCION**

VII. 1. Introducción	84
VII. 2. Sistemas auxiliares de ventilación	85
VII. 2. 1. Protección Solar	87
VII. 2. 2. La Vegetación	88
VII. 3. Características del Viento	90
VII. 4. Protección contra el Viento	91
VII. 5. Principios del flujo de viento en un hecho arquitectónico	92
VII. 5. 1. Construcciones con una sola pared de ventilación	93
VII. 5. 2. Efecto de mallas mosquiteras o similares	93
VII. 6. Análisis de las Ventanas	93
VII. 6. 1. Situación	93
VII. 6. 2. Tamaño	94
VII. 6. 3. Forma	94
VII. 7. Ventilación Natural	95
VII. 8. Estrategias	95

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### Capítulo VIII: NOCIONES DE CLIMA

VIII. 1. Variables Climáticas	98
VIII. 1. 1. Temperatura del aire	98
VIII. 1. 2. Humedad relativa del aire	98
VIII. 1. 3. Viento	99
VIII. 2. Tipos de Clima	99
VIII. 2. 1. Clima tropical	100
VIII. 2. 2. Clima árido o seco	100
VIII. 2. 3. Clima templado	100
VIII. 2. 4. Clima continental o templado frío	101
VIII. 2. 5. Clima frío	101
VIII. 3. El Clima de Bolivia	101
VIII. 3. 1. Climas lluviosos tropicales	101
VIII. 3. 2. Climas secos	101
VIII. 3. 3. Climas meso térmicos o templados	102
VIII. 3. 4. Climas fríos	102
VIII. 4. Distritos Biogeográficos en Bolivia	103
VIII. 4. 1. El clima de la zona andina	103
VIII. 4. 2. El clima de la cordillera occidental	103
VIII. 4. 3. El clima del altiplano o meseta andina	103
VIII. 4. 4. El clima de la cordillera real u oriental	103
VIII. 4. 5. El clima de los valles y quebradas	103
VIII. 4. 6. El clima de la yunga	103
VIII. 4. 7. El clima de la zona subandina	104

### Capítulo IX: CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE COCHABAMBA

IX. 1. Introducción	107
IX. 2. Análisis Climático	107
IX. 2. 1. Temperaturas	108
IX. 2. 2. Hiterógrafo	108
IX. 2. 3. Climógrafo	109
IX. 2. 4. Precipitación total	109
IX. 2. 5. Ombrotermica	109
IX. 2. 6. Rosa de los vientos	110
IX. 3. Cálculo de temperatura y humedad relativa horarias	110
IX. 4. Climograma del bienestar adaptado	114
IX. 5. Climograma de estrategias bioclimáticas	117
IX. 6. Método de Mahoney	120

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

IX. 6. 1. Desarrollo	120
IX. 6. 2. Ventajas y Limitaciones	121

### **Capítulo X: TRAZADO DE LA CARTA SOLAR PARA LA CIUDAD DE COCHABAMBA**

X. 1. Introducción	128
X. 2. Construcción de la Carta Solar Cilíndrica	128
X. 3. Construcción de la Carta Solar Estereográfica	136
X. 4. Carta Solar Estereográfica para la ciudad de Cochabamba	137

### **Capítulo XI: CONTROL DE LA LUZ SOLAR EN AULAS DE ESCUELAS SOLARES PASIVAS EN COCHABAMBA, BOLIVIA**

XI. 1. Introducción	139
XI. 2. Las Escuelas	139
XI. 3. Las Aulas	140
XI. 4. El comportamiento luminoso de las aulas según su orientación	141
XI. 5. Análisis y Resultados	142
XI. 6. Resultados y Conclusiones	143

### **Capítulo XII: EVALUACIÓN Y PROPUESTAS PARA LA ILUMINACIÓN NATURAL EN AULAS DE COCHABAMBA.**

XII. 1. Introducción	145
XII. 2. Metodología	145
XII. 3. Estudio de Casos	146
XII. 3. 1. Investigación de campo y apoyo fotográfico	146
XII. 4. Descripción del modelo	153
XII. 5. Resultados obtenidos	156
XII. 6. Propuesta de diseño	158
XII. 7. Análisis de las propuestas	160
XII. 8. Conclusiones	165

### **Capítulo XIII: CRITERIOS PARA EL SISTEMA DE DISEÑO MODULAR CON LUZ NATURAL**

XIII. 1. Introducción	167
XIII. 2. Parámetros de Diseño	167
XIII. 3. Tipología de Espacios	168
XIII. 3. 1. Situación: Forma del edificio e implantación	168
XIII. 3. 1. 1. Características de la Situación	169

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

XIII. 3. 1. 2. Contaminación Atmosférica y Ruido	169
XIII. 3. 2. Profundidad del edificio y tamaño total	170
XIII. 3. 3. Línea de Cielo	171
XIII. 3. 4. Orientación del edificio	174
XIII. 4. Criterios para la Sostenibilidad	176
XIII. 5. Sistemas Lumínicos	179
XIII. 5. 1. Componentes o elementos de captación de Luz Natural	179
XIII. 5. 2. La Ventana – Elemento principal en la edificación para el aprovechamiento de la Luz Natural	186
XIII. 5. 2. 1. Acristalamiento	188
XIII. 5. 2. 2. Forma	188
XIII. 5. 2. 3. Posición	189
XIII. 5. 2. 4. Orientación	189
XIII. 6. Componentes de control de la Luz Natural	190
XIII. 6. 1. Modos de controlar la penetración de Luz Natural con componentes diseñados	195
XIII. 6. 2. Sistemas manuales de control de la Luz Natural	197
XIII. 6. 3. Sistemas Automáticos de Control de la Luz Solar	198
XIII. 7. Diferentes sistemas – diferentes ejemplos	198
XIII. 7. 1. El proyecto Frog	207
<b>Capítulo XIV: CONCLUSIONES</b>	
XIV. 1. Conclusiones	210
<b>INDICE de FIGURAS</b>	213
<b>INDICE de TABLAS y GRAFICOS</b>	219
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	221

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## **CAPITULO I INTRODUCCIÓN**

### **I. 1.- Introducción.**

Debemos reconocer que el clima en el planeta ha influido profundamente en la arquitectura mundial, no solo planteando al arquitecto y al urbanista requerimientos diferentes de acuerdo con los diferentes paisajes y climas. Imponiendo al profesional arquitecto la búsqueda de soluciones funcionales, técnicas y formales diversas, así mismo de un modo más directo, contribuyendo a la formación de las tipologías arquitectónicas tanto generales como particulares, en sus aspectos formales y funcionales.

Desde un principio de la humanidad el hombre primitivo distinguió los fenómenos causados por los dos principales movimientos de la tierra; el primero, el día y la noche, segundo, los cambios estacionales. Con este incipiente conocimiento de la trayectoria solar el hombre empezó a explicarse, de una u otra forma, el comportamiento de nuestro universo. Muy pronto el hombre adquirió conocimientos profundos acerca de la trayectoria solar y con estos aprendió a medir el tiempo. Así pudo aprender a distinguir las épocas de siembra y cosecha, aprendió a construir sus viviendas sacando provecho eficientemente de la energía e incluso aprendió a conocer el movimiento de las estrellas y planetas, logrando predecir con extraordinaria precisión los diferentes fenómenos astronómicos del planeta.

Claros testimonios de estos conocimientos lo son Stonehenge (1840 A.C.) y la pirámide de KuKulcan (Chichen Itza 900-1250 D.C.). Las primeras aplicaciones prácticas del conocimiento de la trayectoria solar se dieron en la medición del tiempo, a través de los relojes solares, usados desde tiempos muy remotos por los babilonios (700 A.C.) y altamente perfeccionados por los griegos y los romanos a principios de la era cristiana. Posteriormente, basados en un gran conocimiento gnomónico, se desarrollaron las cartas solares, de tal forma que para principios del siglo XVII se contaba ya con diagramas solares de alta precisión, sin embargo la aplicación de la geometría solar en el diseño arquitectónico se remonta por lo menos al siglo V A.C. en Grecia y en muchos casos de la arquitectura vernácula en todo el mundo.

La geometría solar es uno de los elementos más importantes dentro del proceso de diseño arquitectónico ya que a través del conocimiento del comportamiento de la trayectoria de los rayos solares, tanto en su componente térmica como lumínica, lograremos dar la óptima orientación al edificio, distribuir la mejor ubicación de los espacios interiores de acuerdo a su uso, y podemos diseñar adecuadamente las

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

aberturas y los dispositivos de control solar, logrando efectos directos de calentamiento, enfriamiento e iluminación, traducibles en términos de confort humano.

Además, debemos tomar en cuenta que es el sol, indirectamente, el que determina todas aquellas condiciones ambientales que interactúan entre sí para definir todas las características del medio ambiente natural; sin olvidar que la arquitectura está determinada por este medio ambiente.

El presente proyecto de tesis de master tiene por objetivo mostrar los distintos métodos de análisis de la trayectoria solar más conocidos, así como su aplicación directa en el diseño arquitectónico, particularmente en el tema lumínico natural. Sin embargo, todos tienen una utilidad práctica dentro del proceso de diseño, son herramientas al alcance del diseñador que le sirven para lograr el confort humano en sus edificaciones, haciendo un uso eficiente de la energía, sin embargo, es necesario no olvidar que la geometría solar es solo uno de los muchos factores que el arquitecto debe manejar en su actividad diaria de coordinación y síntesis.

El profesional arquitecto debe comenzar a concientizar su verdadero compromiso con la sociedad, el de crear espacios habitables para el hombre, espacios que deben responder a las exigencias funcionales impuestas por los usuarios y sus actividades, satisfaciendo sus necesidades físicas, mentales y espirituales, integrándolo a este a su medio ambiente natural, artificial, integrándolo también socialmente con sus semejantes, contemplando aspectos económicos e incluso políticos y sin olvidar que su trabajo alcanza real valor de arquitectura solo cuando el edificio posee una calidad estética.



Figura I. 1. : Arquitectura Bioclimática

En pos del desarrollo y de la búsqueda de estos estados de bienestar surge la sociedad moderna, una sociedad de arquitecturas energéticamente dependientes. La disponibilidad de fuentes fósiles genera una actividad humana prácticamente sin límites en los consumos energéticos.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

La aplicación de sistemas de control ambiental (térmico y lumínico principalmente), dentro de los edificios, de base energética convencional, es cada vez mayor. A través de sistemas pasivos se logra un beneficio parcial en la reducción de recursos. Sin embargo es necesario el cambio de proyección y emplazamiento de los edificios utilizando las virtudes del medio al beneficio del mismo.

Particularmente el presente trabajo se centra en seleccionar de cierta manera los sistemas más adecuados de diseño para el aprovechamiento lumínico natural en ambientes escolares, tomando en cuenta que al afectar las aberturas de un proyecto, también se afecta a la ventilación de dicho ambiente. Para la presente investigación se utilizara y analizara la situación climática de la ciudad de Cochabamba, Bolivia, hemisferio Sur.

Bolivia mediante la Constitución Política del Estado establece que la educación es la más alta función del Estado, es universal, gratuita en los establecimientos fiscales y obligatoria en el nivel primario. La Ley 1565 de reforma Educativa del 7 de julio de 1994 establece el carácter democrático de la educación, por cuanto toda la sociedad participa en su planificación, organización, ejecución y evaluación, Asimismo, dispone la incorporación del enfoque intercultural y la modalidad bilingüe en la educación, respondiendo a la heterogeneidad sociocultural del país.

Estas reformas solo cualifican normativas mínimas constructivas a tomar en cuenta, motivo por el cual, el ministerio de educación y algunas entidades particulares al momento de dotar o proyectar en la ciudad equipamientos de orden educativo, del sistema primario y secundario, solamente se rigen a las normativas constructivas del código técnico de la construcción.

Estas normativas no contemplan la sostenibilidad energética, en este sentido veo la necesidad de cualificar los sistemas más adecuados de aprovechamiento lumínico natural, para los ambientes educativos. Así mismo generar variantes en el diseño de las aberturas horizontales y verticales, logrando mejorar las condiciones de confort visual y afectar al confort térmico dentro de dichos ambientes educativos.

### **I. 2.- Marco de estudio.**

**Marco Referencial.-** Actualmente en la ciudad de Cochabamba, las entidades educativas desde un punto de vista referencial a la infraestructura, se podrían dividir en cuatro grandes grupos diferenciados en cierta manera por la actualidad económica social del país. Donde la clase alta tiene equipamientos educativos de gran infraestructura y construcción nueva, la cual consta de sistemas constructivos regidos en las normativas

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

constructivas normales, y ofrecen todas las premisas constructivas para lograr un óptimo confort humano dentro de sus ambientes educativos, en este grupo se encuentran los colegios Calvert, Carachipampa, Tiquipaya, AISB, Froebel, etc...

El segundo grupo correspondiente a la clase media, presenta algunos equipamientos educativos en cierto sentido de carácter histórico, son edificaciones antiguas ya sean por razones arquitectónicas o por ser entidades educativas administradas por sus respectivas entidades religiosas como los colegios Don Bosco, La Salle, Santa María, Hermanas del Sagrado Corazón de Jesús, etc... Dentro este grupo también se presenta otras entidades que se encuentran emplazadas en edificaciones antiguas dentro el casco histórico de la ciudad, como ser los colegios Nacional Abaroa, Sucre, Santa Ana, etc... El porcentaje más alto lo ocupan aquellos colegios y escuelas que realizan sus actividades educacionales en instalaciones (en algunos casos) nuevas y destinadas desde su proyección de diseño arquitectónico la actividad educacional. Como los colegios Anglo Americano, Instituto Americano, San Agustín, España, etc...

El tercer grupo marcado, también dentro el nivel social medio, son aquellas unidades educativas que realizan sus actividades diarias de manera provisional, dentro las edificaciones existentes de carácter domiciliar o comercial. Donde solamente rehabilitan el espacio, reacondicionan las funciones de habitabilidad y modifican los criterios de espacialidad dentro los establecimientos. El objetivo es de lograr aplicar a una razón social impositiva que les permite una actividad económica, logrando de esa manera un permiso de actividad comercial para la educación.

Dentro de este interesante grupo se podrían nombrar algunos, de la infinidad de entidades educativas existentes, como ser los colegios Santa Rosa, Washington, Paulo Freyre, Ítalo Boliviano, Eben Ezer, Papa Pio XII, Evangélico Cristo Rey, etc... Este grupo al no regirse a las normativas de diseño arquitectónico para la educación comienza a descentralizar su ubicación de los principales centros urbanos.

El cuarto grupo de clase social baja, presentan sus emplazamientos completamente en las zonas rurales. Este es el grupo que se pretende afectar de mayor manera con la presente tesis de master. Se pretende normar en cierta manera a las nuevas edificaciones educativas por construir, llamadas a manera personal de "carácter político", esto debido a que el país de Bolivia es "rellenado" con unidades educativas rurales cada vez que se acercan las elecciones nacionales, a manera de plan de gobierno de alfabetización y lógica propaganda política, para este hecho una unidad educativa se entiende por un simple prisma rectangular a medias aguas con suerte de dos plantas, simple sistema constructivo para reducir costos, simple batería de baños y una plancha de cemento llamada cancha multifuncional.

Dentro de este grupo se encuentran también, aquellos recintos educacionales que por escasa economía de sus municipios, no cuentan con ningún sistema constructivo

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

normado. Estos mismos podrían ser notablemente afectados en sus condiciones de confort con la ayuda un sistema de modulación arquitectónico. Algunas de las escuelas y recintos educacionales de este grupo son las escuelas 16 de Agosto, San Rafael, Fe y Alegría, Nueva Vida, etc...

### **I. 3.- Hipótesis.**

Frente a una realidad social y económica del país, en la ciudad de Cochabamba actualmente, existe la necesidad de seleccionar los sistemas de iluminación natural y ventilación, más adecuados para el diseño arquitectónico bioclimático autosuficiente en unidades y/o establecimientos educativos. Logrando un mayor aprovechamiento del recurso natural disponible y menor dependencia en las estrategias convencionales.

### **I. 4. Objetivos.**

Los objetivos de este trabajo se dividen en dos grupos. El primero comprende la finalidad global de este, que se presenta como objetivo general. El en segundo grupo se presentan los objetivos particulares.

#### **I. 4. 1. Objetivos generales.**

- Brindar nociones generales de la arquitectura bioclimática, desde un punto de vista de la iluminación natural y la ventilación natural.
- Analizar los distintos factores que determinan la calidad de la iluminación.
- Establecer los métodos de análisis de la trayectoria solar.
- Análisis de la geometría solar para la ciudad de Cochabamba, Bolivia.
- Demostrar la situación lumínica dentro de los ambientes educativos mediante simulaciones en cielo artificial.
- Determinar los sistemas arquitectónicos constructivos más adecuados para el aprovechamiento de las energías renovables, desde un punto de vista de la iluminación natural y la ventilación natural respectivamente, aplicables en el diseño de las nuevas edificaciones de uso educativo.
- Reducir la dependencia de las energías convencionales con miras al uso eficiente de las mismas.
- Establecer los requisitos necesarios para obtener el confort visual, dentro los ambientes educativos.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

### **I. 4. 2. Objetivos particulares.**

- Identificar los componentes de la iluminación natural y los factores que los determinan.
- Describir los tipos de iluminación natural y la forma de medirla.
- Conocer las leyes de la luminotécnica y su aplicación práctica en la iluminación natural.
- Determinar las características climáticas de la ciudad de Cochabamba, Bolivia.
- Efectuar la simulación lumínica en cielo artificial de los ambientes escolares para determinar las condiciones de confort humano en su interior.
- Analizar la influencia que tienen los elementos de protección solar en la iluminación interior de los ambientes escolares.
- Establecer los criterios de iluminación natural en los ambientes de las entidades educativas en función del confort humano y del beneficio económico.
- A través de ejemplos teóricos y propuestos, seleccionar los sistemas constructivos arquitectónicos más adecuados para el aprovechamiento de las energías renovables en unidades educativas.

### **I. 5. Alcances**

La presente tesis de investigación involucra el diagnóstico y la evaluación del caso en estudio, para determinar la importancia de una iluminación natural en los ambientes educativos, tomando elementos del sistema arquitectónico que influyen en los niveles de confort visual y confort humano dentro los establecimientos educativos.

De acuerdo a los objetivos de investigación, la metodología a desarrollarse es la siguiente.

- Principios de Geometría Solar.
- Principios de Arquitectura Bioclimática e iluminación/ventilación natural.
- Análisis e impacto lumínico sobre la envolvente arquitectónica.
- Clima de la ciudad de Cochabamba, Bolivia.
- Análisis climático con tablas del Método de Mahoney.
- Condiciones de confort visual en establecimientos escolares.
- Respuesta lumínica de los ambientes mediante simulación lumínica.
- Evaluación y propuestas de la respuesta arquitectónica.
- Criterios para modular un sistema de diseño arquitectónico.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

### **I. 6. Justificación**

La postura de este trabajo de tesis toma al aula como un sistema, un producto de interrelación de las actividades del alumno en un marco natural. En este sistema, hombre – marco natural, el primero adapta y toma del segundo lo necesario para desarrollarse y coexistir. Las ciudades son la primera consecuencia de esta adaptación y la arquitectura aparece como protagonista y sujeto a esta.

El concepto base de esta tesis es que tanto la Energía, como base de desarrollo y los ambientes escolares, como origen de la norma educativa de una sociedad, son bienes que la generación presente ha recibido casi con carácter de obligatoriedad, estos mismos pueden ser modificados con nuevas técnicas y sistemas nuevos de modulación para mejorar las condiciones en los niveles de confort humano.

La actual realidad socio-económica del país nos enfrenta a una realidad cuestionable dentro los conceptos y parámetros de los sistemas modulares constructivos en las entidades educativas. Se ve reflejada una necesidad imperiosa de modular un sistema constructivo para la edificación de unidades educativas a lo largo de todo el país, dependiendo exclusivamente cada uno a sus necesidades particulares climáticas.

### **I. 7. Metodología**

La metodología utilizada en este trabajo consiste en el estudio de la situación lumínica de los centros educativos mediante la evaluación cuantitativa y cualitativa. A partir de los resultados de ambas evaluaciones se elabora un diagnóstico que otorgue pautas para la elaboración de un sistema modular arquitectónico.

#### **I. 7. 1. Técnicas**

Las técnicas empleadas serán:

- Investigación bibliográfica: Empleada en la primera fase de la investigación, se utiliza para obtener la información documental relacionada al tema. A través de esta técnica se definieron y delimitaron las tres variables principales: el clima, el hombre (requerimientos de confort) y la arquitectura.
- Observación directa: Se empleó en la segunda etapa de la investigación, e implicó fundamentalmente la visita a los establecimientos educativos de la ciudad, el levantamiento fotográfico y realidad de su situación lumínica, así como otros datos cuantitativos y cualitativos.\* (*Tesis de grado, UMSS 2005*)
- Análisis por los métodos de Simulación y Comparación. Comprendida en la tercera fase, donde se obtienen mediciones en cielo artificial.
- Criterios de para el diseño de un sistema de modulación con luz natural.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### I. 8. Herramienta de análisis y evaluación

Para la elaboración del presente proyecto de tesis de master se utilizó la “**Simulación y comparación**” como metodología de su investigación. Donde se hace énfasis en el uso de modelos y analogías.

**Estrategias:** Se procedió al uso de modelos:

- Modelos Formales (lógico matemáticos).
- Modelos Virtuales (Maquetas virtuales)
- Modelos Materiales (Maquetas físicas, muestras y prototipos)

**Táctica:** Se utilizaron las herramientas digitales mediante el uso del ordenador personal, donde se procedió a la medición y caracterización de los modelos materiales. Donde se tomaron en cuenta:

- Certidumbre de la replicación.
- Consideración del efecto escala.
- Introducción de datos completos y verosímiles.
- Inclusión de la espontaneidad y aleatoriedad de los sujetos.
- Costo y viabilidad.

**CAPITULO II**  
**GEOMETRÌA SOLAR.**

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### CAPITULO II GEOMETRÍA SOLAR

#### II. 1. Aspectos Astronómicos de la Energía Solar

##### II. 1. 1. El Sol y la Tierra

El Sol es la estrella más próxima y el centro de nuestro sistema solar planetario. Tiene una edad estimada en por lo menos 4.700 millones de años. El Sol es una esfera gaseosa formada principalmente por Hidrogeno y Helio (92,1% de Hidrogeno, 7,8% de Helio y el restante 1% de otros elementos) que gira sobre su propio eje complementando un periodo de rotación cada 26,8 días con una velocidad de 2 km/s y se traslada a un punto llamado Ápex, en la constelación de Hércules a una velocidad de 19,7 km/s.

La energía solar es obtenida en el núcleo a partir de la fusión nuclear de hidrogeno. Se requieren cuatro átomos de Hidrogeno para formar un átomo de Helio, en esta transformación el 0.7% de la masa de un núcleo de Hidrogeno se convierte en energía radiante, es decir, que si la reacción termonuclear convierte unos 564 millones de toneladas de hidrogeno en 560 de Helio cada segundo, aproximadamente 4.0 millones de toneladas son convertidas en energía radiante, lográndose

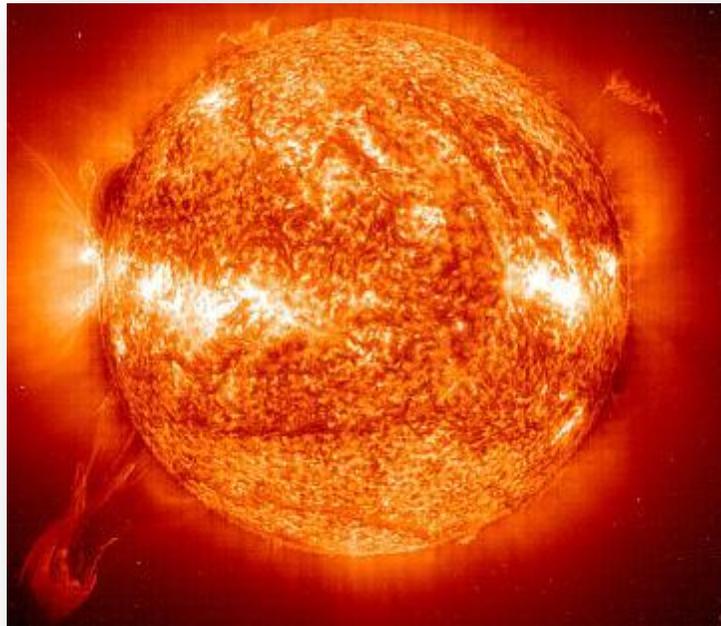


Figura II. 1.: Núcleo Solar.

temperaturas en el Coro o núcleo solar de  $15 \times 10^6$  K (millones de grados Kelvin). Se estima que la cantidad de Hidrogeno disponible terminara por agotarse dentro de 5 o 6 millones de años. (Pérez P. J., "El Sol Nuestra Estrella", Inst. Geo. UNAM, México, 1984)

Las fusiones nucleares que se generan en el núcleo del sol liberan energía en forma de radiación electromagnética de alta frecuencia. La energía nace en el núcleo del sol a temperaturas del orden de  $10,10 \times 10^6$  a  $14,10 \times 10^6$  °C, y en la superficie se estima, 5500 °C.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

La energía solar atraviesa el espacio y está compuesta por diferentes longitudes de onda, desde las más largas denominadas ondas de radio, hasta las más cortas denominadas como rayos X y rayos gamma. Sin embargo el sol emite mayor cantidad de energía en ciertas longitudes de onda, para los 5500 °C, el sol radia su energía en frecuencias muy altas con cortas longitudes de onda.

La luz visible al ojo humano se encuentra entre 0.35 a 0.75 micras, y está compuesta por todos los colores del espectro visible que van desde el violeta considerado como de onda corta, pasando por los azules, verdes, amarillos, naranjas hasta los rojos considerados como de onda larga.

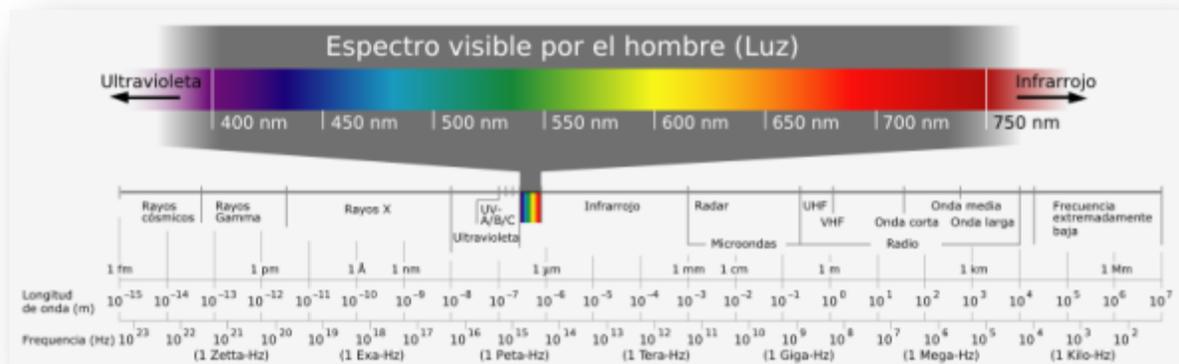


Figura II. 2.: Espectro visible.

El 49% de la radiación emitida por el sol que se dan en forma de calor está caracterizada con una frecuencia mayor que la del rojo, es decir el infrarrojo, y una pequeña parte de esta radiación que llega a la tierra lo hace en forma de radiación de onda corta denominada radiación ultravioleta, la cual es sumamente perjudicial para los seres vivos y que queda en la parte superior de la atmosfera denominada capa de ozono.

La radiación que emite el sol hacia el espacio lo hace en forma divergente y a una velocidad de 300.000 km/s, en ese camino se encuentra la tierra y que por la distancia y las proporciones se pueden considerar a los rayos como paralelos.

A una distancia media de 150 millones de km entre el sol y la tierra, se estima que esta última recibe las 2 billonésimas partes de esta energía emitida, que equivalen a 35 mil veces la energía consumida por la humanidad en todo un año.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### II. 1. 2. Energía Solar y Atmosfera

La energía que incide en la parte superior de la atmosfera se denomina constante solar y equivale a 1164 Kcal por metro cuadrado por cada hora, es decir 1400 W aproximadamente. Sin embargo esa constante varia debido a la forma elíptica del eje de traslación, pero para los estudios destinados hacia las edificaciones esas variaciones se pueden considerar sin mayor importancia.

La radiación captada por la superficie de la tierra no supera el 35% de la radiación captada por la biosfera, la demás retorna al espacio reflejada por las nubes o la polución. Parte de esta radiación que queda luego de haber cruzado la atmosfera es difractada en varias direcciones por las moléculas de aire y la polución lo que da el color a la denominada bóveda celeste, debido a que lo hace en la frecuencia de los azules.



Figura II. 3.: Radiación Solar.

Luego que las nubes y la suciedad han refractado un tercio de la energía incidente, el vapor de agua, CO<sub>2</sub> y el ozono absorben otros 15%, finalmente uno de los factores determinantes en la llegada de la radiación a la superficie terrestre en la dimensión de la atmosfera que esa energía debe cruzar, y dichas dimensiones varían de acuerdo a la hora, la estación del año y principalmente la latitud.

### II. 2. Movimiento de Traslación y Rotación

#### II. 2. 1. Intensidad de la Radiación Solar

En la condición de que los rayos solares son paralelos debido a la distancia entre la tierra al sol, el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre una superficie determinara la cantidad de energía que recibe dicha superficie, por tanto una superficie perpendicular a los rayos solares será el plano que mayor intensidad reciba, y los rayos a medida que se desvían a la perpendicular hacia la normal, ira reduciendo gradualmente el impacto de la radiación solar.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

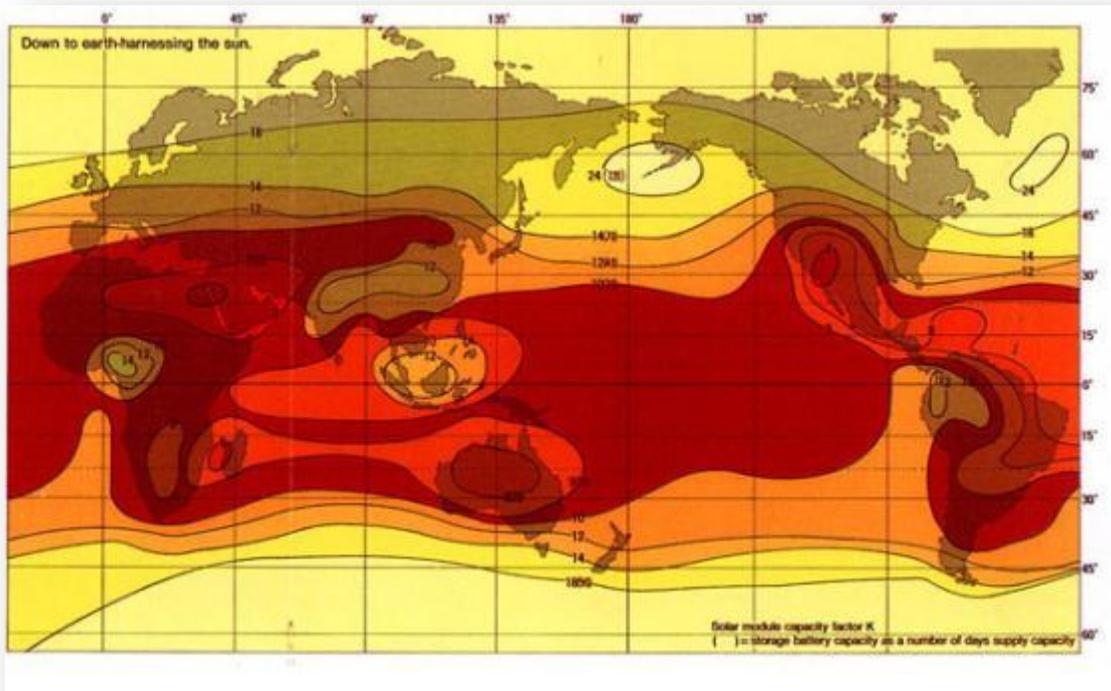


Figura II. 4.: Intensidad de radiación Solar mundial.

Es importante destacar que un plano que se desvía en un 25% de la perpendicular, todavía recibe el 90% de la radiación solar, por otro lado la radiación que en realidad recibe un plano, no solo es la directa sino también es la difusa proveniente de la bóveda celeste, sin embargo en los días despejados esa radiación es considerada como mínima.

La intensidad de 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. Cuanto mayor es el ángulo de incidencia, mayor es la proporción de radiación que se refleja.

Es importante comprender que la captación de radiación depende del área de las superficies captoras, estableciendo que el contenido energético sobre una superficie es función de la posición del sol, para captar una cantidad determinada de energía solar será necesario disponer de un área definida. Esta condición se aplica a todos los sistemas de calentamiento solar, desde las superficies vidriadas de las viviendas hasta los captadores por concentración, por tanto, el área que intercepta la radiación solar es la que determinará la cantidad máxima de energía radiante que podrá captarse.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### II. 2. 2. Reflexión, Transmisión y Absorción

La respuesta de una superficie radiada se puede expresar en tres fenómenos, reflexión, transmisión y absorción, y los valores de cada uno de ellos serán función de la textura superficial del plano, por ejemplo las texturas rugosas reflejarán en forma difusa, es el caso de una pared de ladrillos que reflejara la luz en todas las direcciones, por otro lado los materiales reflectantes y/o espejos lo harán en rayos paralelos, y el ángulo de incidencia y de reflexión serán equivalentes.

La percepción del color es el resultado de la reflexión de algunas longitudes de onda de la reflexión visible, mientras que las otras ondas son absorbidas. Si un objeto absorbe todas las radiaciones que inciden en él, aparece como color blanco. En el caso de una pared de ladrillos de color rojo, absorberá todos los colores del espectro y reflejara la radiación visible en la zona del rojo.

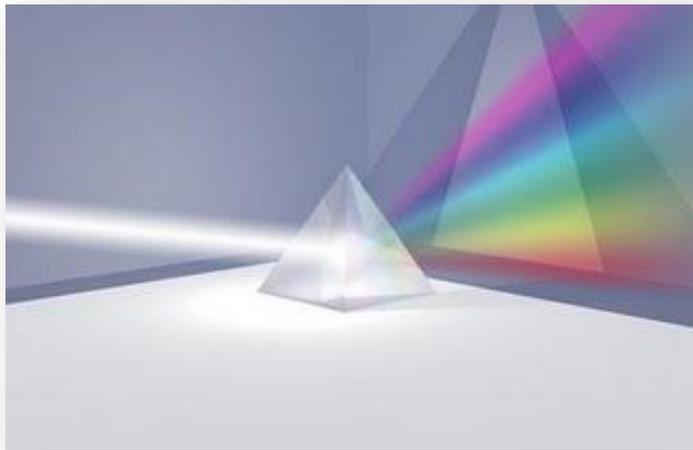


Figura II. 5.: Reflexión lumínica.

La propiedad de los materiales que transmiten la radiación solar se denomina como transparencia, por lo que se puede establecer que un material que transmite la mayor parte de la radiación visible es transparente. Es el caso de los diferentes cristales o policarbonatos utilizados en vanos o cubiertas.

Una ventana con un vidrio sencillo en un día despejado de invierno transmitirá cerca del 85% de radiación incidente en él, y un vano con doble capa de cristal transmitirá el 75%. Los materiales que difractan la luz o la difunden llevan el nombre de materiales translucidos.

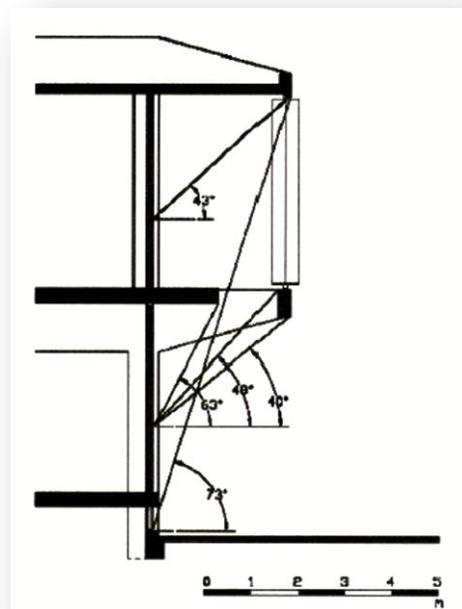


Figura II. 6.: Ángulos de sombra vertical para las fachadas Norte y Sur.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

La capacidad de absorción de los materiales hacen que la radiación solar se convierta en calor, ese efecto es debido a que la radiación solar tiene la capacidad de alterar y acelerar la dinámica molecular, por tanto calentar.

Cuando se incrementa calor a un material sólido, su temperatura se eleva, por tanto la temperatura es una medida del nivel da calor que está definida por el movimiento molecular, por lo que se establece una relación directa; a mayor movimiento molecular, mayor calor y viceversa.

### II. 3. Energía Solar y Edificación

Esta parte del capítulo trata sobre la incidencia de la energía solar en los edificios, como la estrategia principal para el acondicionamiento ambiental natural. Se presenta una serie de instrumentos los cuales nos permiten cuantificar la incidencia solar sobre los parámetros, para de esa manera, diseñar los elementos de apertura o de sombra en dichas superficies.

La relación tierra sol desde la arquitectura y para el acondicionamiento es algo más simple que su estudio desde la física o astronomía, dado el carácter de visión general desde la arquitectura. En ese sentido, los movimientos de la tierra alrededor del sol desde un punto de vista de diseño arquitectónico o urbano pueden definirse en dos, el movimiento de rotación y el movimiento de traslación. Ambos son de vital importancia para la definición de los distintos climas en el mundo.

#### II. 3. 1. Movimiento de Rotación

El movimiento de rotación es la vuelta completa que da la tierra sobre su eje polar en 24 horas. La consecuencia del movimiento de rotación de la tierra genera el concepto de latitud, con base en la idea de que la latitud es el ángulo que se mide en grados a partir del Ecuador, y este, es el punto que se mueve con mayor radio respecto a la rotación. Para medir correctamente la latitud, se emplea una recta contenida en el plano ecuatorial que, apoyada en el centro de la tierra gira sobre un plano perpendicular al Ecuador, ya sea en el sentido norte o en el sentido Sur.

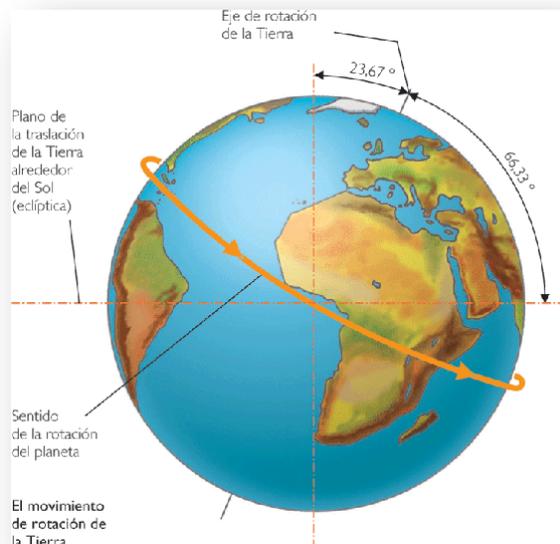


Figura II. 7.: Rotación de la tierra.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

El movimiento de rotación del plano imaginario del Ecuador, describe un plano ecuatorial, que a su vez es cortado en el centro por el eje de rotación con un ángulo de  $90^\circ$ . El Ecuador es el punto de partida para medir la latitud, por lo cual se considera  $0^\circ$ .

Para la medición de las latitudes, se ubica un punto en el que, debido al mismo movimiento de rotación se forma otro círculo que necesariamente es paralelo al Ecuador. Por ello las latitudes también se denominan paralelos Norte o Sur. Y se dice a qué grados corresponde. A los  $90^\circ$  de latitud Norte o Sur, se localiza exclusivamente un punto que forma parte del eje y se conoce como polo.

### II. 3. 2. Movimiento de Traslación

El movimiento de la tierra alrededor del sol no es de forma circular, sino de trayectoria elíptica. La elipse que describe la tierra en la traslación tiene una pequeña excentricidad por lo que se le denomina eclíptica, y el sol está ubicado en uno de los focos. Este movimiento es el de mayor importancia en la determinación de los

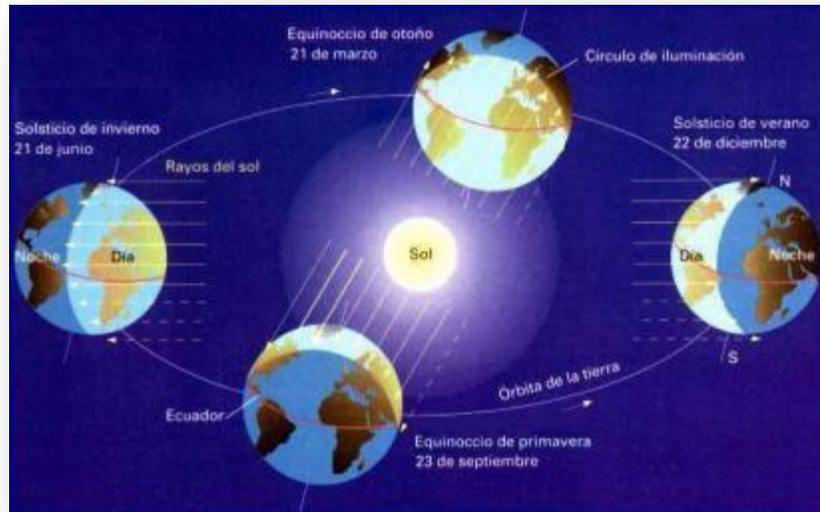


Figura II. 8.: Movimiento de traslación de la tierra.

climas alrededor del mundo y también la estacionalidad en ellos. El eje de rotación está a  $23^\circ 27'$  en la relación con la perpendicular del plano que contiene dicho movimiento.

Este movimiento de traslación orbital alrededor del sol transcurre en un año solar de 365 días 5 horas, 48 minutos y 49 segundos, con una velocidad de desplazamiento de 29 km/ser. Este movimiento se describe en una órbita elíptica, que es resultado de la fuerza gravitacional solar y centrífuga debido a la inercia de la tierra. El sol se encuentra ligeramente desconcentrado. El afelio es la distancia más grande y está a 152 millones de kilómetros, y el perihelio o distancia más corta a 147 millones de kilómetros.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### II. 3. 3. Estaciones, Solsticios y Equinoccios

Las estaciones climáticas en las diferentes latitudes de la tierra se deben a la inclinación de la tierra respecto al sol. El 21 de Junio, aquellas regiones geográficas que se encuentran en el trópico de cáncer en el hemisferio norte, recibirán la incidencia solar de manera perpendicular. En esa fecha ocurre en el hemisferio norte el solsticio de verano, mientras que en el hemisferios sur, el solsticio de invierno.

El mayor número de horas luz diurna se da el 21 de Junio en el hemisferio norte, y el 21 de Diciembre en el hemisferio sur. El menor número de horas luz diurna se presenta el 21 de Diciembre en el hemisferio norte y el 21 de Junio en el hemisferio sur. El 21 de Junio el polo norte recibe luz durante 24 horas del día, mientras que el polo sur está en total oscuridad. El 21 de Diciembre sucede lo contrario, el polo norte está en total oscuridad y el polo sur recibe luz solar durante las 24 horas.

Existen dos momentos durante los cuales los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el Ecuador, es decir, con una declinación. El primero sucede el 21 de Marzo y se denomina equinoccio de otoño, mientras que el segundo se presenta el 23 de Septiembre y se llama equinoccio de primavera. En estos días, en todo el planeta, el día y la noche tienen la misma duración.

De lo anterior se puede sintetizar que como fechas significativas, respecto a la posición de la tierra y el sol, y la incidencia de sus rayos solares sobre la superficie terrestre las siguientes:

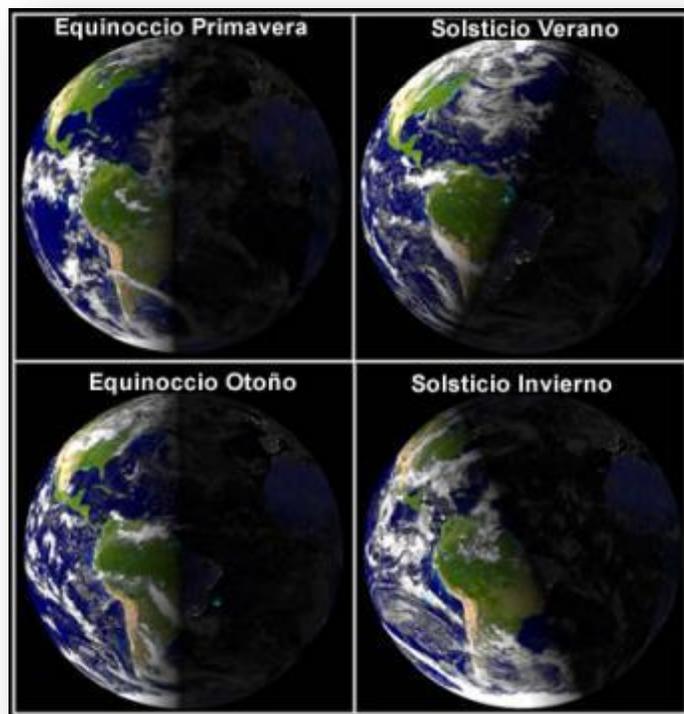


Figura II. 9.: Equinoccios y Solsticios.

1. 21 de Marzo y 23 de Septiembre, equinoccio de otoño y primavera.
2. 21 de Junio y 21 de Diciembre, solsticio de invierno y verano.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Durante estas fechas, los rayos solares inciden perpendicularmente en la superficie terrestre. Y forman por ese movimiento de rotación axial, las líneas tropicales de Cáncer, Capricornio y el Ecuador. Por otro lado, los trópicos que tocan la eclíptica durante los solsticios, a su vez, los círculos polares ártico y antártico contienen los puntos más remotos, a partir de la eclíptica, durante los solsticios. El círculo polar ártico se encuentra en el hemisferio Norte a  $66^{\circ}33'$ , mientras que el círculo polar antártico se halla en el hemisferio Sur a  $66^{\circ}33'$  también, a partir del Ecuador hacia el Norte y el Sur respectivamente. Durante los solsticios, estos dos círculos delimitan las regiones del planeta donde la duración del día y la noche son de 24 horas.

### II. 3. 4. Movimiento aparente del Sol

Para un estudio desde el urbanismo y la arquitectura, se supone que el sol es quien se mueve y la tierra se pone estática, ya que es así como percibimos desde la superficie terrestre.

En el movimiento aparente del sol alrededor de la tierra, un observador situado sobre un plano horizontal, percibirá el desplazamiento del sol de tal modo que describe trayectorias u orbitas circulares paralelas a lo largo del año, proyectadas sobre una semiesfera trasparente denominada "bóveda celeste". Desde donde cualquier rayo solar, estará dirigido al centro de la semiesfera. Por tanto, el cielo se considera como una semiesfera que descansa sobre un plano horizontal, de cualquier lugar del planeta.

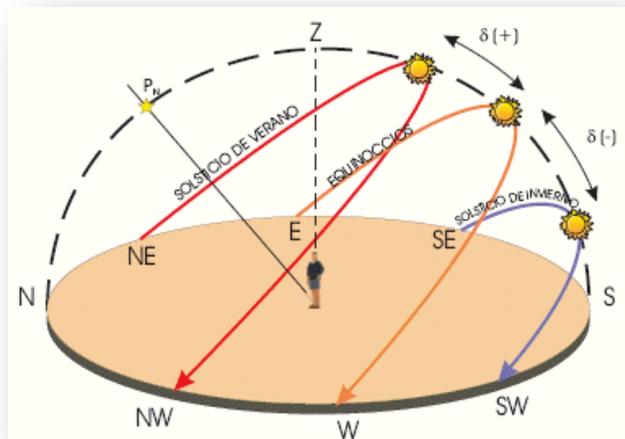


Figura II. 10.: Trayectoria Solar.

La trayectoria del movimiento aparente del sol vistas por un observador en la tierra, se denominan "ruta del sol". En esta bóveda imaginaria celeste se unirán los puntos conocidos como en "cenit", que es el punto vertical más alto de la bóveda, y "nadir" que es el punto diametralmente opuesto.

Para localizar un punto sobre la superficie terrestre, se utilizan las dos coordenadas geográficas conocidas como latitud y longitud. Así, latitud de un lugar o paralelo, es el ángulo que forma la vertical del lugar con respecto al plano del Ecuador. En el hemisferio Norte se considera positiva, y en el Sur se considera negativa, entonces la ciudad de

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

Cochabamba estará a  $-17^{\circ}24'$  Sur. La longitud o semi meridiano de un lugar es el ángulo que forman el meridiano que pasa por el lugar de estudio, con respecto, al meridiano de Greenwich, igual a  $0^{\circ}$ , y cuenta con  $180^{\circ}$ , hacia el Este u Oeste del meridiano de origen, entonces Cochabamba estará localizada a  $66^{\circ}06'$  oeste desde la línea 0 de Greenwich.

**CAPITULO III**

**DISEÑO ARQUITECTONICO BIOCLIMATICO**

## **CAPITULO III DISEÑO ARQUITECTONICO BIOCLIMATICO**

### **III. 1. Energía y medio ambiente.**

El uso de la energía desde el fin del siglo XX se ha convertido en uno de los principales desafíos que el hombre debe enfrentar para su subsistencia. La transformación energética desde sus fuentes primarias de origen hasta sus usos finales, se ha convertido en el más grave problema ambiental que está generando el denominado efecto invernadero y/o el cambio climático del planeta.

La sociedad en la que vivimos y principalmente las sociedades denominadas desarrolladas, por su carácter consumista y los estilos de vida, han generado una demanda de energía que las compañías se han visto en la incapacidad de ofertar y más aún, se están recurriendo a formas de transformación energética que han degradado los ecosistemas de una manera irrecuperable. Estas demandas, fundamentalmente de los países ricos aumentaran geométricamente, y se estima que en los siguientes 20 años la demanda se multiplicara por 5 veces.

En primer lugar la explosión demográfica ha producido un estado de crisis para humanidad. Según el club de Paris, se menciona que la población humana ha desbordado la capacidad de carga de la biosfera. Paralelo a esta situación de superpoblación, se ha generado también el incremento de las necesidades de consumo de equipos de sistema pasivos de acondicionamiento, electrodomésticos, transporte y otros que de alguna manera se entienden como necesidades emergentes del desarrollo hacia un estado de bienestar.

El aspecto más preocupante es la cuestión energética, de su generación sus posibilidades técnicas, de los usos finales de acuerdo a los estilos de vida, y fundamentalmente de las políticas económicas y sociales relacionadas con ella. Pero principalmente la crisis energética que se avizora y que traerá consigo mayor brecha entre sociedades ricas y sociedades en desarrollo.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.



Figura III. 1.: Contaminación Ambiental

Ante esta coyuntura las energías renovables, el sol, el agua, el viento y otras, se constituyen en alternativas necesarias e ineludibles ante un futuro energético incierto.

### III. 2. La energía y sus formas.

La energía que fluye en la biosfera, posee los mismos principios físicos de la energía que fluye en el universo, y que está definida como la capacidad de producir un cambio en el estado o en el movimiento de la materia, y puede existir bajo diferentes formas.

El nivel de consumo de energía siempre ha caracterizado el nivel de desarrollo de las sociedades, en ese sentido constantemente los conflictos mundiales han estado relacionados con la disputa de las fuentes energéticas, por esto la búsqueda de nuevas fuentes de energía y la generación de nuevos conflictos será una constante a partir del incremento de la demanda.

Las reservas de las fuentes no renovables como los hidrocarburos y el carbón aún son abundantes, sin embargo dada la creciente demanda se estima que en los siguientes 50 años, estas fuentes se encontrarán prácticamente agotadas, con las consecuencias ambientales de su consumo excesivo, una biosfera fuertemente degradada. Una vez

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

agotadas las fuentes de fácil acceso se procederá a explotar las fuentes de mayor dificultad de acceso, incrementando los costes de producción y dificultando el acceso de los países y sociedades en desarrollo a estos recursos energéticos.

Esta situación alarmante ha puesto en evidencia la necesidad de encontrar nuevas fuentes de fácil acceso y menor impacto sobre la biosfera del planeta, en esta dirección, las energías renovables denominadas alternativas o limpias y la creación de una sociedad basada en el ahorro energético.

### III. 3. Energías renovables.

El sol es la principal fuente de energía del planeta, cuerpo incandescente de gran masa y volumen compuesto principalmente por hidrogeno, y que por su propio peso se halla sometida a una inmensa gravedad y presión, la cual produce la fusión nuclear liberando inconmensurables cantidades de energía.

La cantidad de hidrogeno que el sol dispone, garantiza una vida activa del sol, de al menos 5 mil millones de años más. Esta energía se dispersa por todo el sistema solar en forma de radiación electromagnética de varias frecuencias y longitudes de onda.

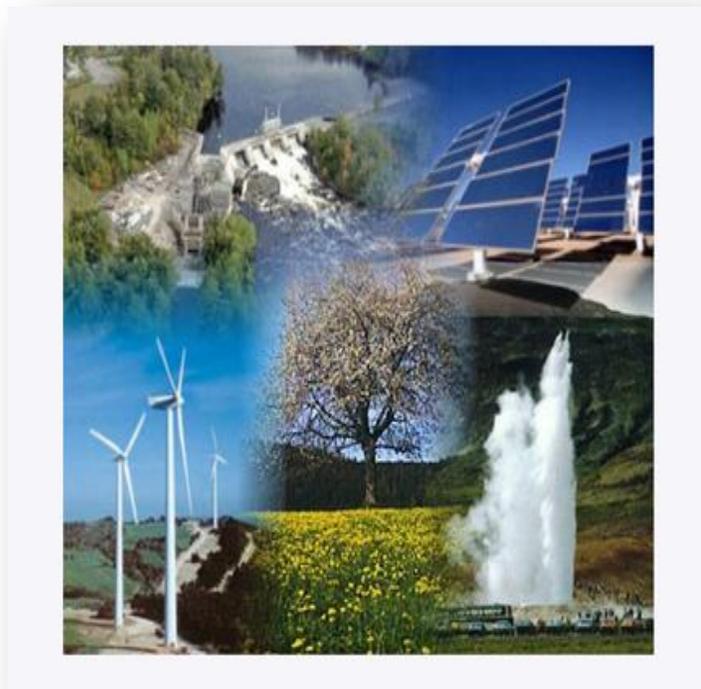


Figura III. 2.: Energías Renovables

El 99,98% de la energía disponible en la tierra a nivel de la estratosfera procede del sol, el 77% se dispersa nuevamente hacia el espacio por reflexión, el 23% restante es el que queda en la biosfera y genera la vida en la tierra.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### III. 3. 1. Energía solar.

La energía solar sobre la tierra se transforma en calor. Sin embargo, cierta franja de la energía disponible a nivel de la superficie terrestre se puede convertir en electricidad, a partir de la captura de fotones. A este tipo de energía se denomina energía fotovoltaica.

Hoy en día, existen numerosas plantas solares en todo el mundo, repartidos en la franja de mayor intensidad solar del planeta.

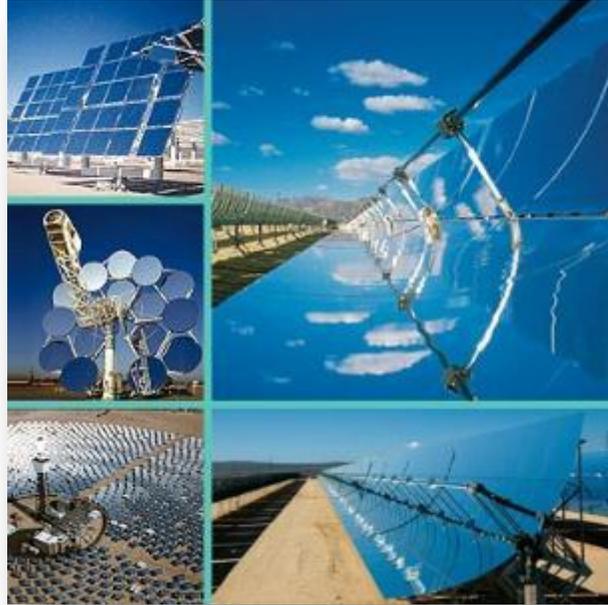


Figura III. 3.: Energía Solar

### III. 3. 2. Energía Eólica.

Una de las energías más naturales es la provista por el viento, producido por el desplazamiento horizontal de las masas de aire, debido a las diferencias de temperaturas y presión en las capas de la atmosfera. El calentamiento diferenciado en las latitudes ecuatoriales de la tierra respecto a las latitudes más altas y el ascenso de estas masas en las zonas de convergencia intertropical, establecen un movimiento regular de masas de aire denominados alisios. Este flujo es debido al calentamiento por la incidencia perpendicular de los rayos solares en la mencionada zona.



Figura III. 4.: Energía Eólica

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### III. 3. 3. Energía Hidráulica.

Es la denominada energía producida por la diferencia de altura y el movimiento de las masas de agua que se generan partir del ciclo del agua. Las centrales hidráulicas son los dispositivos que permiten la producción de electricidad a partir de costes muy reducidos. Por tanto se puede establecer que en este tipo de energía, el sol también tiene un papel determinante ya que por su influencia se genera la evaporación de masas de agua, lo cual promueve un desplazamiento a zonas altas de la atmosfera de la tierra, que en un determinado momento a partir del incremento de presión y la baja de temperatura se condensa y se convierte en lluvia.



Figura III. 5.: Energía Hidráulica

### III. 3. 4. Biomasa.

Esta referida a la energía acumulada por los vegetales a partir del proceso de la fotosíntesis, de la cual los seres vivos toman el alimento, tanto vegetales como animales y también el hombre. La biomasa consumida por el hombre se convierte en energía mecánica que le permite su movilidad y vida. Los residuos de este proceso biológico se constituyen también en fuente energética a partir de la generación de gases de combustión.



Figura III. 6.: Biomasa

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### III. 3. 5. Energía Geotérmica.

La energía geotérmica es aquella energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la tierra. El calor del interior de la tierra se debe a varios factores, entre ellos caben destacar el gradiente geotérmico, el calor radiogénico, etc.

Esta referida a la energía que emerge del centro de la tierra hacia la superficie y utiliza como vehículo el agua. Este tipo de energía tiene como fuentes a los volcanes y geiseres.



Figura III. 7.: Energía Geotérmica

### III. 3. 6. Energía Mareomotriz.

La energía mareomotriz es la que se obtiene aprovechando las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna.

Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable. Es un tipo de energía renovable y limpia.



Figura II. 8.: Energía Mareomotriz

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### III. 3. 7. Energía Atómica.

Es un proceso de generación energética similar a la que se da en el núcleo solar; por tanto, se puede definir como la liberación de energía a partir de un proceso de fusión o fisión, que consiste en la escisión de los núcleos de un determinado material a partir del bombardeo de neutrones.



Figura III. 9.: Energía Atómica

### III. 4. Arquitectura y energía.

El hombre ha venido desarrollándose evolutivamente en un proceso cada vez más agresivo y deteriorante de su hábitat, fundamentalmente en el campo del urbanismo, forzado por el acelerado crecimiento poblacional, la ocupación de áreas naturales a favor de las urbanizaciones, y más aun implantando infraestructuras que han ido afectando a los ecosistemas del planeta.

Si se define al ecosistema como las relaciones e interrelaciones de todos los seres vivos en el ambiente, se entenderá que el hombre es un importante modificador de este medio. Desgraciadamente, en la mayoría de los casos, esta modificación es negativa, lo cual desequilibra a un ecosistema en su totalidad. Ante tal preocupación, surge el eco diseño o arquitectura ecológica, como una disciplina creadora de objetos o espacios que tienden a equilibrar las acciones del hombre sobre el ambiente y trata de conciliar las necesidades humanas con los sistemas energéticos naturales, al mantener o restablecer el equilibrio vital del sistema en particular y de la biosfera del planeta en general.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.



Figuras III. 10-11.: Arquitectura y Energía

Es de suma importancia que estas acciones queden adaptadas al medio físico, y sobre todo, considerar los aspectos del clima para lograr con ello una verdadera integración al medio físico natural. Solo así el ser humano podrá disfrutar sin mayor costo del bienestar que esta ofrece. Se trata de aprovechar las fuerzas de la naturaleza y aplicar los conocimientos de los ecosistemas para conseguir que la arquitectura este integrada al ambiente, es decir, que la arquitectura sea parte de esta sin provocarle ningún desequilibrio.

### III. 5. Arquitectura bioclimática.

Al hablar de arquitectura bioclimática, se hace referencia a la utilización de las energías renovables para lograr condiciones de habitabilidad, es decir entender la dinámica solar y su impacto en los edificios, para de esa manera estar de acuerdo al clima en el que se implantan, establecer criterios de apertura o criterios de protección en las envolventes. Consecuentemente, el principio bioclimático es construir a partir del clima, hacer de la arquitectura el elemento intermedio entre clima exterior y clima interior. Esta acción permitirá lograr una reducción del consumo dirigido al acondicionamiento de manera considerable.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.



Figuras III. 12.: Arquitectura Bioclimática

Con el objetivo bioclimático definido, la consideración del comportamiento térmico de sus componentes constructivos, se constituye en el inicio y el fin del diseño, por tanto habrá que considerar desde el entorno de la implantación de la edificación, la volumetría, la distribución interior, los materiales, porcentaje de aberturas, colores y otros factores inherente del diseño arquitectónico.

### III. 5. 1. Elementos del diseño bioclimático.

Los elementos que se precisan para utilizar los métodos y técnicas bioclimáticas son: el clima, el bienestar térmico, y el comportamiento térmico de los materiales de construcción. Estos parámetros se integran con instrumentos de síntesis, como diagramas solares energéticos y bioclimáticos. La noción de confort precisa la intervención de factores relativos a la persona, actividad, vestimenta y el ambiente climático.

Los diagramas energéticos solares simulan el rumbo de la trayectoria solar y su intensidad en los diferentes planos, los diagramas bioclimáticos caracterizan el clima y establecen criterios de diseño arquitectónico.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### III. 5. 2. Sistemas solares pasivos.

Son dispositivos tecno constructivos capaces de proporcionar frío o calor a los ambientes, estos efectúan la conversión térmica de la radiación incidente mediante el calentamiento de un cuerpo absorbente. Este fenómeno se acentúa al anteponer una superficie transparente que asegura una buena penetración de la radiación de onda corta, transformándose en energía térmica o de onda larga, disminuyendo las perdidas por convección.



Figuras III. 13.: Sistemas Solares Pasivos

**CAPITULO IV**  
**ILUMINACION NATURAL Y ARQUITECTURA.**

## **CAPITULO IV ILUMINACION NATURAL Y ARQUITECTURA.**

### **IV. 1. Introducción.**

Así como el sentido del oído representa la relación con los sonidos; a través de la vista se establece un contacto más amplio con las cosas que nos rodean, que permite distinguir la diversidad de formas, colores, posiciones, movimientos, entre otros.

Desde las primeras manifestaciones del hombre, este ha apreciado el valor de la luz natural y ha tratado de comprender sus múltiples ventajas, beneficios y limitaciones.

Considerando sus limitaciones el hombre busco otras fuentes que le otorgaran luz. Con la aparición de la energía eléctrica surgió la posibilidad de utilizarla de lámparas. Esto le otorgo independencia de la luz natural y comenzó a diseñar sus espacios girando la perspectiva hacia fuentes de luz artificial y desaprovechando la luz solar.

Como se repite en toda la historia, en su desarrollo cíclico, la luz natural en un momento fue totalmente remplazada por la luz que proporcionaban las nuevas tecnologías. Como consecuencias de esto aparece una arquitectura dependiente de iluminación artificial.

Sin embargo en los movimientos modernos conjuntamente a la aparición de grandes maestros Le Corbusier o Wright la luz natural comienza nuevamente a tomar un papel protagonista dentro de la concepción y diseño en el proyecto arquitectónico. De esta manera se pueden citar obras como la Casa Avery Coonley en Riverside de Wright, o de carácter público como la iglesia de Notre Dame du haut de Le Corbusier.

Actualmente se transita en una etapa donde, ya sea por moda o por conciencia, se ha vuelto la mirada hacia sistemas que priorizan el uso energético eficiente. La combinación e integración de la luz natural y la artificial es imprescindible ya que las actividades se deben realizar tanto de día como de noche.

En la Arquitectura la combinación de estas dos fuentes debe resaltar los atributos arquitectónicos de las edificaciones, de tal manera, que se obtenga un resultado armónico en la percepción de los espacios, de las formas, de las superficies, de los acabados, de los colores, de las texturas, etc. *(Evans, 2000)*

Estos enfoques están relacionados con la obtención de condiciones de confort lumínico y visual, con el ahorro y el uso eficiente de la energía, consecuentemente con el mejoramiento y conservación del ambiente y la obtención de calidad de vida de los individuos en su hábitat. *(Serra, 1999)*

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

El objetivo de este capítulo consiste en demostrar que la importancia del uso de la luz natural conjuntamente con la luz artificial, en complemento una de otra, es la solución más afectiva en aspectos de ahorros energéticos y calidad lumínica.

### **IV. 2. Principios de la luz.**

La fuente de la luz natural es el sol. Este es una estrella luminosa ubicada en el centro del sistema solar. Está compuesto de una tenue nube de gas, en cuyo núcleo se producen reacciones de fusión nuclear, en virtud de las cuales, dos átomos de hidrogeno se transforman en un átomo de helio, generando radiación gamma, fuente de la energía solar que sale desde la estrella hacia todo el espacio.

La tierra recibe parte de esta energía solar que atraviesa la atmosfera, sufre una serie de transformaciones; difusión, absorción molecular y dispersión, en virtud de las cuales, la energía que llega a la tierra tiene dos componentes fundamentales, energía solar directa y energía solar difusa.

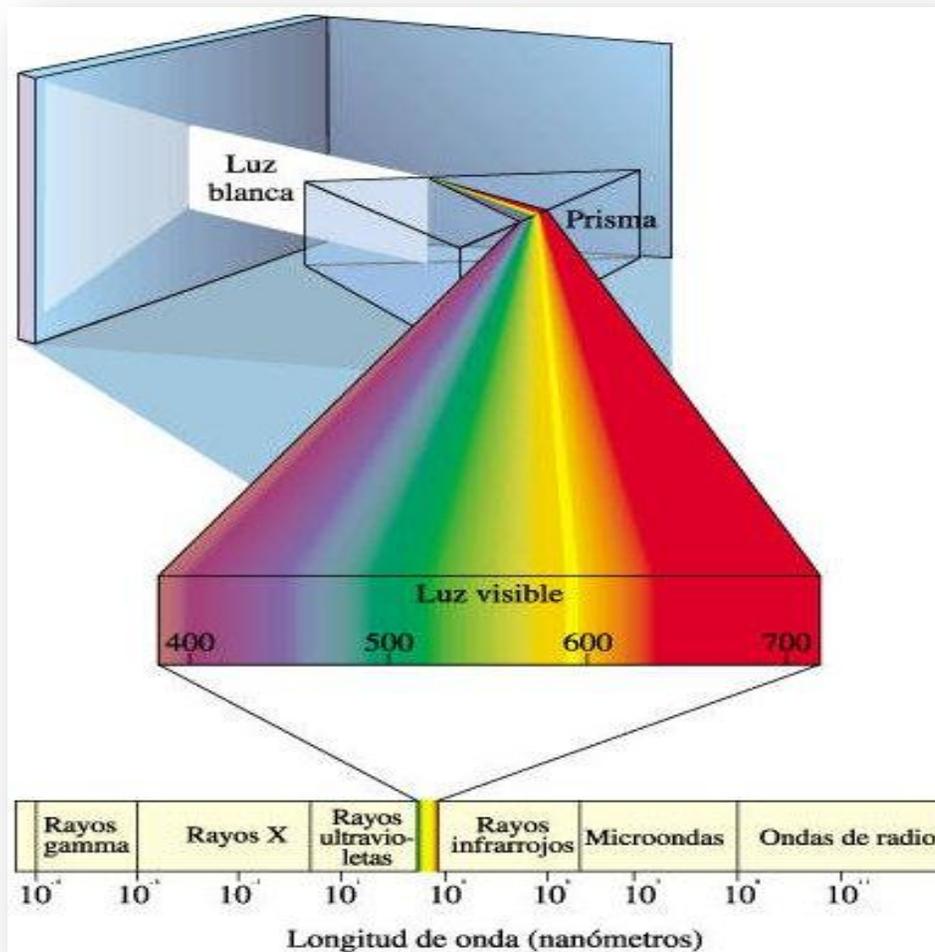
La componente solar directa, está compuesta por aquellos rayos que pasan directamente sin ser desviados y vienen paralelos a sí mismos. La componente solar difusa, proviene desde todas direcciones sobre la bóveda celeste y permite que ganen energía las ventanas que no tienen radiación solar directa.

Las dos fuentes de luz natural, es la radiación solar directa, que da lugar a la iluminación natural directa o de cielo claro y la radiación solar reflejada por la bóveda celeste que da lugar a la iluminación natural difusa.

#### **IV. 2. 1. El Espectro Electromagnético.**

Las ondas electromagnéticas, que en un conjunto forman la radiación solar extraterrestre, son similares en su naturaleza y velocidad de desplazamiento y diferentes en cuanto a su longitud de onda, frecuencia y modo de ser percibida. Estas forman en conjunto el espectro electromagnético del cual el ojo humano percibe solo una pequeña parte. En la figura III. 1. se observa el espectro completo y la parte percibida por el ojo humano; luz visible en la zona media a colores.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.



Figuras III. 1.: El Espectro Electromagnético

La radiación que conforma este espectro y que llega a la superficie de la tierra abarca un rango de longitudes de onda que van desde 290nm hasta 1700nm aproximadamente. A partir del rango de radiación visible se distingue con mayor longitud de onda a la radiación infrarroja, que es peligrosa su visión directa, con menor longitud de onda a la radiación ultravioleta, que acelera la degradación de los elementos orgánicos.

### IV. 2. 2. Radiación violeta o radiación visible.

Esta porción que es percibida por el ojo humano, como luz visible es solo una parte de radiación electromagnética compuesta por partículas de energía, fotones que presentan un movimiento ondulatorio transversal. Esta entra en un rango desde 380nm a 780nm, y

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

constituye la parte del espectro que es estudiada y considerada en la utilización de la iluminación natural. Dentro de este fragmento cada magnitud de longitud de onda tiene o se visualiza según un color determinado; el ojo humano se adapta de forma más confortable a una longitud de onda de 555nm que es la radiación que compone el color amarillo verdoso.

### **IV. 2. 3. Radiación Ultravioleta e Infrarroja.**

La radiación ultravioleta del espectro no se puede percibir con el sentido de la vista, sino que en cantidades importantes se percibe en forma de calor

Este tipo de radiación se encuentra en toda fuente lumínica, tanto natural como artificial. Es importante destacar que a raíz de esto la degradación de los componentes orgánicos es producida por ambas fuentes. A pesar de este proceso de degradación, en exposiciones de poco tiempo es efectiva para propósitos terapéuticos.

La banda infrarroja, al igual que la radiación ultravioleta, se percibe en forma de calor y se encuentra en la luz natural y en las fuentes artificiales, haciendo la diferencia en la pérdida de eficacia luminosa, por el calor emitido no deseado. Esta componente es la considerada para la energía radiante.

### **IV. 2. 4. La radiación y la atmósfera.**

La radiación solar que llega a la atmosfera, experimenta tres procesos fundamentales. Estos influyen directamente en la porción de luz y en la forma que llega a la superficie. Los procesos mencionados son los conocidos como, absorción, reflexión y dispersión atmosférica mencionadas con anterioridad. Las partículas y moléculas atmosféricas son las responsables de estos procesos. Por esta razón es de suma importancia conocer en detalle las condiciones promedio de la atmosfera de una localidad específica y los diferentes factores climáticos como la altura del sol y la latitud del lugar, consideradas como variables en función de la hora del día. El conjunto de estos dará la iluminación natural exterior disponible sobre el plano horizontal.

### **IV. 3. El Clima.**

Como se mencionaba anteriormente los factores que modifican la luz natural están directamente ligados a la ubicación de un lugar dentro del globo terráqueo.

La gran capacidad lumínica del sol que citan diferentes autores es indiscutible y también las precauciones que se deben tener en cielos claros con la utilización directa de esta sobre los planos de trabajo o plano útil. Un mal manejo y control de esta, otorga como

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

resultado contrastes excesivos y deslumbramientos, problemas que provocan un disconfort visual y obstaculiza el desempeño de las tareas a realizar.

*“Hay que prestarle especial atención a la difusión y reflexión de los rayos solares directos que entran hacia el interior de un edificio, ya que es una reacción común de los usuarios, eliminar totalmente el ingreso de la luz natural y tender a utilizar luminarias artificiales, provocando de esta manera, un importante cambio en las condiciones ambientales interiores y perdiendo la oportunidad de ahorrar energía eléctrica durante las horas de sol”. (Manual ELI, Pattini, 2002)*

Cochabamba, como se verá en capítulos posteriores, es una ciudad dentro de la zona de los valles en la República plurinacional de Bolivia. Es de características climáticas propia al hemisferio sur del planeta con 2500 msnm y porcentajes bajos en humedad. En cielos como estos donde la radiación solar no es alta y tiene poca presencia de nubes; se considera como una fuente factible de uso para la iluminación natural a la bóveda celeste. En este caso, el cielo, es el mejor distribuidor de luminancia para los edificios.

En condiciones de climas como el citado anteriormente es de importancia real tener en cuenta además la carga térmica causada en un espacio interior por mala ubicación de una abertura.

### IV. 3. 1. Otras Consideraciones.

El total de iluminación que percibe un espacio es un producto de las diferentes formas que tiene la luz para entrar en el interior del mismo.

La primera y ya mencionada componente solar directa, depende de trazados de altura y azimut solar, que entre en forma de rayo directo al espacio.

Interviene también la componente solar difusa, que es la luz que refleja y distribuye el cielo cuando recibe la radiación solar. Esta es altamente variable por las condiciones de cielo que encontremos, es decir cielo cubierto o cielo despejado. Estas dos formas mencionadas son las proporcionadas directamente por las fuentes de luz natural, el sol y el cielo.

Otra forma de ganar luz natural en el plano de trabajo es la componente de reflejada, refleja la luz que el material no absorbe, y se puede observar tanto sobre superficies interiores como superficies exteriores.

La “luz reflejada” es la herramienta más utilizada para lograr buenos resultados en el control de la iluminación. Con un exhaustivo estudio de su manejo se logran ambientes

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

con luz homogénea en cantidad y calidad sin el peligro de provocar deslumbramientos o reflejos molestos. Este recurso se ha utilizado en varios ejemplos arquitectónicos, iluminando por el reflejo que brinda un cielo raso o el solado un espacio anterior, como es el caso del Museo de Arte Contemporáneo de Niteroi del arquitecto Niemeyer en Brasil; este edificio muestra un particular lenguaje con su medio, en el cual existe alta intensidad de radiación solar. El edificio se resuelve negándose a las ganancias estrictamente laterales y cenitales. Se abre al reflejo provocado por el solado con su forma de cono truncado invertido.



Figuras IV. 2.: Museo Contemporáneo de Niteroi. Arq. Oscar Niemeyer

Además de las variaciones estacionales que ofrece el clima, o la forma que llega la luz a un espacio, la variación temporal durante el día presenta una cantidad no despreciable de variaciones sobre la iluminación natural.

Es necesario prestar mayor atención al momento del día en que se produzca mayor brillantez. En cielos cubiertos se presenta hacia el cenit, donde el día alcanza su mayor brillantez y luminosidad.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

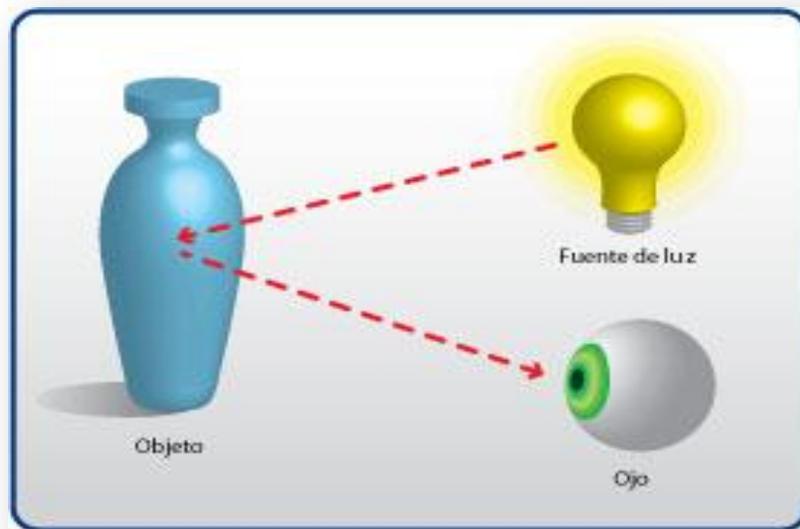
En el caso de cielos claros como lo es el de Cochabamba este fenómeno se registra hacia el horizonte. En la ciudad de Cochabamba con la presencia de la Cordillera del Tunari el horizonte se produce con un ángulo menor que  $90^\circ$ , por esto la iluminancia recibida aumenta hacia estos horarios sin llegar a las máximas teóricas para estos climas.

### IV. 4. El hombre y la luz.

Además de las fuentes de luz natural en la forma final que llega al plano de trabajo esta nuestro mecanismo visual y su conducta.

Para establecer cualquier proceso de comunicación debe haber tres componentes infaltables; el emisor, el mensaje y el receptor. En el proceso comunicativo visual interviene también un decodificador, el cerebro. (Lazlo, 2003)

El ojo (el receptor) recibe la información exterior (el mensaje u objeto de comunicación) que le llega por impulsos luminosos (el emisor) y a los que transforma en señales comprensibles para el cerebro, (el decodificador), este esquema se puede observar en la figura.



Figuras IV. 3.: Esquema del proceso de comunicación visual

Si analizamos esta conducta se encuentra una serie de factores que intervienen en este proceso visual, que son los factores fisiológicos y los factores objetivos del proceso visual.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

### **IV. 4. 1. Factores Fisiológicos.**

#### **• Acomodación**

Es la facultad que tiene el ojo de enfocar y ubicar a diferentes distancias los objetos. (Menos de 20 cm a infinito)

#### **• Adaptación**

Es la facultad del ojo de funcionar con niveles de iluminación muy distintos que van desde los 100.000n lux o más (cielo sin obstrucciones en verano) a 50 lux o menos (cielo cubierto). El ojo se adapta más rápido de un nivel bajo a uno alto que viceversa.

#### **• Sensibilidad a los colores**

El ojo no es sensible por igual a todos los colores de que se componen el espectro visual. Se puede decir que hay dos tipos de visiones; visión fótica o diurna que es la adaptación del ojo a iluminancia alta, es por esto que hay una adecuada definición de colores. Y la visión escotópica o nocturna es cuando el ojo se adapta a luminancias bajas, por lo tanto no se distinguen los colores.

#### **• Visión Estereoscópica**

El ojo transmite al cerebro por separado la distancia a que esta un objeto y el relieve del mismo (por referencia al tamaño, perspectiva y claroscuro) El cerebro combina todos estos datos en una imagen coherente y tridimensional.

Por más que se trate de factores directamente relacionados, estos tienen una interrelación con la fuente luminosa al que estén sometidos. Esta fuente, sea cual fuese, permitirá que todos estos procesos se desarrollen normalmente y con un nivel de estímulo saludable.

### **IV. 4. 2. Factores Objetivos.**

Entre los factores objetivos se encuentran la dimensión del objeto, el tiempo y la velocidad de percepción. Además de la agudeza visual, la luminancia y el contraste que se vinculan principalmente como consecuencia de la calidad de la fuente luminosa, se describen a continuación.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### • Agudeza Visual

Se trata de la capacidad de distinguir dos puntos próximos entre sí. Está directamente relacionada con el nivel de iluminación y aumento al aumentar este.

### • Luminancia

Es el brillo fotométrico, es decir, la cantidad de luz que una superficie refleja, transmite o emite en dirección a los ojos. Cuanto mayor sea la proporción de la luz incidente y luego reflejada o transmitida o la luz emitida en dirección a los ojos, mayor será la definición que ese objeto tendrá, por supuesto siempre que este se encuentre dentro de los límites para que no cause deslumbramiento. Con este parámetro se mide la iluminación que existe en un espacio, en unidades de "lux".

### • Contraste

Es la diferencia entre la luminancia de un objeto y el de su fondo observada simultánea o consecutivamente.

### IV. 4. 3. Sensación Luminosa.

Como se ha mencionado anteriormente, la vista nos relaciona con los objetos ubicados alrededor. Este sentido nos permite distinguir la diversidad de formas, colores, posiciones y movimientos.

Si una persona se encuentra dentro de un cuarto totalmente a oscuras, por más abiertos que tenga los ojos, no podrá ver nada. Esto es consecuencia de que el ojo humano es impresionado por la luz, entonces se toma conciencia de que es gracias a esta, que se cuenta con una sensación luminosa.

La percepción que se obtiene de los objetos se percibe básicamente por la luz reflejada de estos, y por las diferencias en sus propiedades de brillantez y color.

*Brillantez:* Esta en función de la cantidad de luz que recibe el ojo humano

*Color:* Se relaciona con la distribución de las longitudes de onda de la luz, de su calidad espectral. Esta es una de las características más importantes para determinar la fuente de luz que se va a utilizar en un espacio. El color de la luz depende de la longitud de onda de la radiación que la produce. No existe una teoría absoluta pero es incuestionable que el color o colores que los ocupantes de un espacio arquitectónico perciben, tiene una

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

relación directa con el estado emocional, anímico y con respuestas fisiológicas ya definidas. El color de la luz reflejada determina el color del objeto.

Cuando la luz llega a un objeto, parte de esta se absorbe y parte se refleja y llega al ojo.

### **IV. 5. proyectando con iluminación natural.**

La componente global de la iluminación natural representa la luz del sol y del cielo o bóveda celeste, y depende de las condiciones de cielo predominantes y de la orientación de edificios en entornos urbanos construidos, y la componente reflejada del exterior, proviene de la luz reflejada por las fachadas opuestas y por las calles siendo considerada como una fuente complementaria para iluminar espacios habitables. Ante esta afirmación, un recinto urbano puede ser utilizado como un instrumento que facilite el acceso a la iluminación natural, a través de la optimización de la morfología del espacio.

#### **IV. 5. 1. La Orientación.**

“La bioclimatología es una rama de la climatología que relaciona al clima con la actividad humana y su salud” (*Norte F. 2000*). La Arquitectura Bioclimática es una rama de la arquitectura que diseña edificios teniendo en cuenta, los recursos y presiones del clima. La orientación juega un papel de importancia primordial. En efecto. La energía solar ingresa al espacio dependiendo de la orientación de los cerramientos transparentes o traslucidos, generando condiciones de confort térmico y/o lumínico, formales o no.

Al conocer la orientación de un edificio se puede predecir el comportamiento de la luz dentro de este, el ingreso de luz directa puede ser causa de discomfort lumínico. Una solución eficaz a los problemas de este tipo es la utilización de las protecciones apropiadas para que la componente directa no intervenga dentro del espacio al azar, sino que sea prediseñada de acuerdo a los requerimientos de las actividades a desarrollar en su interior.

La orientación e también un factor que condiciona la intensidad de iluminación que se puede disponer en determinado momento en el interior.

#### **IV. 5. 2. Obstrucciones y Disponibilidad lumínica.**

Una obstrucción es un obstáculo que intercepta la luz natural que proviene del sol no permitiéndole que llegue a otro destino o cambiando la dirección de la componente percibida por este último. Se consideran dos grupos de obstrucciones: a) externas al edificio, que a su vez pueden dividirse en naturales y artificiales e b) internas o propias.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

Como obstrucciones externas naturales se pueden considerar las siguientes:

- Vegetales de gran magnitud o trepadoras que entorpezcan la entrada de luz natural al local.
- Topografía del lugar, por ejemplo si el edificio se encuentra en un valle, una barrera de gran importancia sería la sombra que haga una montaña con respecto al recorrido solar diario y la ubicación de la construcción.

Dentro de las obstrucciones externas-artificiales se consideran todo elemento construido por el hombre que proyecte sombra interponiéndose entre la trayectoria solar y un edificio, por ejemplo un edificio vecino, carteles, postes, etc. En este trabajo se hacen referencia a estos como elementos que conforman el perfil urbano.

Como obstrucciones internas, se hace referencia a los elementos que siendo una parte del espacio o edificio, disminuyen la disponibilidad solar interna. Por ejemplo: aleros, marcos y hojas de cerramientos transparentes o traslucidos, cortinas, etc.

### **IV. 5. 3. La dirección de la luz.**

De acuerdo a la ubicación que tenga una abertura que proporcione luz natural, dentro de la volumetría de un edificio se realiza la siguiente clasificación:

- Iluminación lateral.

Es la producida por una abertura ubicada sobre un muro lateral del edificio. Pueden ser unilateral o bilateral.

La iluminación unilateral genera una gran luminosidad al interior, sin embargo, el fenómeno producido por este tipo de iluminación es fuente de irregularidad entre los niveles de luminancia que hay cerca de la abertura y lejos de la misma. Esto en ocasiones genera discomfort lumínico ya que provoca reflejos, deslumbramiento y contrastes altos de brillantez.

La iluminación bilateral, incluye una abertura adicional sobre el muro opuesto a la primera. Esta situación contrarresta la irregularidad por la aparición de una ventana que, ubicada sobre otro lado del espacio equilibra la iluminancia que llega al interior. En ambos casos es de relevancia la orientación, ya que si se ubica una abertura hacia el ecuador se gozará de una iluminación controlable todo el día, mientras que si se abren hacia el occidente u oriente, la luz será directa y muy intensa, de difícil manejo una parte del día y el resto tendrá baja intensidad.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

- Iluminación Cenital

Aconsejada especialmente para cielos cubiertos. Existe también una relación entre altura y abertura. Las aberturas con esta ubicación se denominan de formas diferentes de acuerdo a su configuración y ubicación sobre el techo de una construcción. Esto es de especial interés para el presente ya que en muchas construcciones de la historia se incorporaba este tipo de aberturas, por otorgar cierto modernismo y prestigio.

- Iluminación combinada

Es característico en los edificios históricos encontrar aberturas laterales y cenitales. Esto se denomina iluminación combinada. Otro caso de esto se produce donde no está claramente dividido muro y techos.

### **IV. 5. 4. Beneficios otorgados por el uso de la Iluminación Natural.**

El uso de las energías renovables se vuelve cada vez más imprescindible. Por esta razón se debe realizar un minucioso trabajo de revalorización de la iluminación natural, como integrante de los recursos renovables del planeta.

El sol es una fuente energética cuya tecnología para su aprovechamiento se encuentra al alcance de más personas cada vez más, esto es un factor de considerable importancia.

La iluminación natural tiene las siguientes ventajas fundamentales:

- Eficiencia lumínica

La iluminación natural de un ambiente se puede lograr con niveles suficientes en cuanto a intensidad y excelente en cuanto a calidad ya sea para distinguir formas o colores.

- Economía

El uso de la iluminación natural, reduce el consumo energético. En efecto, disponer de sistemas de iluminación natural apropiados, evita el uso de iluminación artificial durante el día con mayor incidencia en edificios de oficinas, edificios del sector terciario como entidades educativas, hospitales, museos, etc. La tecnología de su utilización es relativamente sencilla y rápidamente amortizable con los ahorros generados.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- Amigable con el medio ambiente

En el aspecto ambiental la disminución de la demanda energética aparece como consecuencia una disminución de la polución que se entrega a la atmosfera, cuando se trata de centrales térmicas o nucleares. Cuando se trata de centrales hidroeléctricas se beneficiaría el medio ya que la degradación del ecosistema natural se vería menos perjudicado y no sería necesaria la constante construcción de represas para este fin. Constituye una herramienta de gran valor en la arquitectura sustentable.

- Amigable con la naturaleza humana

El beneficio sobre el ser humano recae en la relación directa con el entorno. La medicina moderna establece que la relación entre el periodo diario y el ciclo natural humano es importante porque el primero le otorga al segundo una ubicación temporal. La lectura que hace el cuerpo humano del proceso diario, le proporciona niveles de salud psíquica y física ya que ayuda a la regulación cíclica del cuerpo humano, vinculando con el día, la noche y las estaciones.

Además de las variaciones que proporciona la luz natural suponen una constante de estimulación para el ojo del ser humano, el que se lubrica permanentemente. A diferencia de la consecuencia usual de la iluminación artificial que seca la pupila por falta de trabajo del lagrimal.

### IV. 5. 5. Luz y espacios.

La iluminación natural es una herramienta válida como fuente de luz para espacios interiores. Esta fuente no solo proporciona suficiente intensidad sobre el espacio, que se traduce en cantidad lumínica, sino que proporciona una calidad excepcional.

Existen obras de arquitectura que prestan testimonio de los logros alcanzados con este tipo de iluminación cuando se pretende conquistar ambientaciones especiales en los espacios. Se puede citar la arquitectura egipcia, romana, gótica, como también a maestros de la arquitectura moderna, mencionados anteriormente.

Ya se ha mencionado que los requerimientos lumínicos de un espacio están ligados a las actividades que se desarrollen dentro de este. Por medio de la iluminación natural se puede llegar a los requerimientos que una mayoría de espacios exigen. Permite llegar a abastecer en un 60 a 90% las exigencias lumínicas durante las horas del día con luz, generando así hasta un 90% de ahorro energético. (*Manual ELI, Pattini, 2002*)

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Fuente luminosa	Eficacia (lm/W)
Sol	60- 117 (según altitud)
Cielo claro	150
Cielo promedio	125
Lámpara incandescente (150w)	16- 40
Turbo fluorescente (150w)	50- 80
Lámpara de sodio de alta presión	40- 140
Lámparas fluorescente compacta (26w)	70

Tabla IV. 4.: Eficacia luminosa de distintas fuentes

Toda fuente luminosa proporciona, además de luz, calor al espacio. Generalmente se considera que el calor proporcionado por la iluminación natural es mayor. Sin embargo en la tabla se muestra que la iluminación artificial proporciona niveles de energía térmica mayores a una fuente natural, a la vez que posee un importante potencial lumínico. Esto presenta la ventaja que si se utiliza la fuente natural para iluminar se puede utilizar esta misma para la calefacción pasiva de los espacios, siempre que se considere una orientación apropiada y si se pretende no otorgar calentamiento por tratarse de la época estival es conveniente.

### IV. 6. Uso eficiente de la energía.

El diseño de la iluminación ya sea natural o artificial se debe realizar como parte integral del proyecto arquitectónico.

La sociedad moderna, mantiene todas sus actividades bajo un alto consumo energético. Al poseer la posibilidad contar con las condiciones diurnas durante la noche se produce un incremento importante en la utilización del recurso energético. Por esta razón es importante considerar para un espacio la incorporación de la iluminación natural conjuntamente con un sistema de iluminación artificial eficiente.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

Un estudio en el año 2000, se estimó que tan solo con el recambio de lámparas a sus equivalentes más eficientes (de bajo consumo) redundaría en una disminución cercana al 28% del consumo energético gastado en iluminación y el 7% del consumo total de energía eléctrica.

## **CAPITULO V**

### **LUZ NATURAL e ILUMINACIÓN DE INTERIORES.**

## **CAPITULO V**

### **LUZ NATURAL e ILUMINACIÓN DE INTERIORES.**

#### **V. 1. Introducción.**

La iluminación natural constituye una alternativa válida para la iluminación de interiores y su aporte es valioso no solo en relación a la cantidad sino también a la calidad de la iluminación.

En relación a la iluminación artificial, la iluminación natural presenta las siguientes ventajas:

- Es provista por una fuente de energía renovable. La iluminación natural es proporcionada por la energía radiante del sol, en forma directa o a través de la bóveda celeste.
- Puede implicar ahorro de energía. Una iluminación natural bien diseñada puede cumplir con los requerimientos de iluminancia de un local interior donde se realicen tareas visuales de complejidad media entre un 60-90% del total de horas de luz natural, lo que tiene un potencial de ahorro en energía electrónica de hasta 90% en edificios de uso diurno, como por ejemplo escuelas, oficinas, industrias y edificios residenciales.
- Puede proporcionar niveles de iluminancia más elevados en las horas diurnas, para una considerable parte del año, que los obtenidos con la luz eléctrica mediante instalaciones económicamente sustentables. Se puede, mediante la iluminación natural, obtener una iluminancia homogénea interior de alrededor de 1000 lux.
- La luz solar directa introduce menos calor por lumen que la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica.
- Tiene la particularidad de ser dinámica; está continuamente cambiando a lo largo del día y de los meses del año. En este sentido es importante destacar que la visión humana está desarrollada de manera que evidencia cierta adaptación a las características de la luz natural y de sus cambios. Además, sus continuos cambios son favorables como efecto estimulante.
- Integra otros elementos que favorecen la satisfacción de las necesidades biológicas y psicológicas de ritmos naturales. Por ejemplo, haciendo visible el entorno asegura una conexión con el ambiente exterior, las radiaciones externas y las condiciones de cielo, efecto que en general es muy bien recibido por el usuario de la iluminación.
- La adecuada provisión de la luz natural a una vivienda o local puede incrementar el valor comercial de ellos.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### V. 2. Fuentes de luz natural.

El sol y el cielo son las fuentes de las que se dispone para la iluminación natural. La luz natural llega al interior de un local directa o indirectamente, dispersada por la atmósfera y reflejada por las superficies del ambiente natural o artificial.

La luminaria de la luz natural es la envolvente edilicia que admite la luz del sol en el interior de un espacio por transmisión, dispersión o reflexión de la misma. Esto incluye el cielo o bóveda celeste, así como el ambiente externo natural o construido por el hombre. Por tanto, el tipo de cielo, las superficies de la tierra, plantas y otros edificios son parte de la "luminaria natural". Estos elementos pueden hacer variar la iluminación interior de un momento a otro y de un caso a otro. Un caso es cuando no hay obstrucción sobre la abertura (ventana) y la luz natural proviene directamente desde el sol o el cielo. Otra es cuando la abertura está enfrentada a una edificación, en este caso la luz natural resulta de la luz reflejada desde el edificio de enfrente.

En consecuencia, el sol, el cielo, las obstrucciones naturales (plantas, el terreno, montañas) y las obstrucciones artificiales (edificios, construcciones) contribuyen al grado de variación de iluminación natural de los interiores. Esta variación puede cambiar parcialmente debido al movimiento del sol y los cambios en las nubes y en parte porque el follaje de las plantas y la reflexión del piso cambian con las estaciones del año.

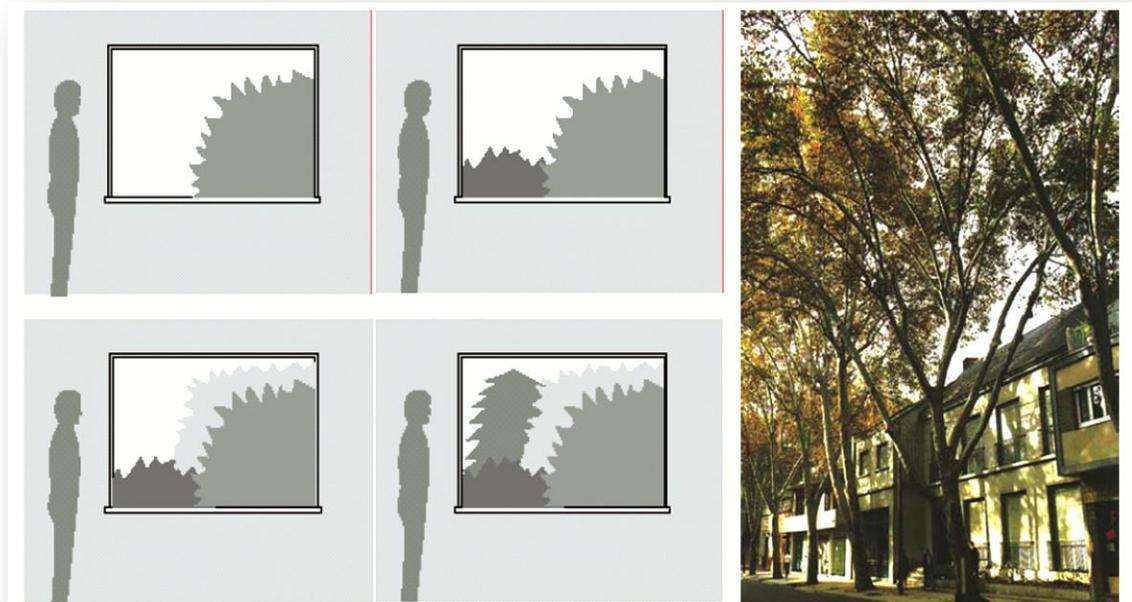


Figura V. 1.: Variación de ingreso de la luz natural debido al follaje estacional

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

El sol determina las características esenciales de la luz natural disponible, el largo de los días y sus cambios estacionales, así como los cambios de carácter que ocurren durante el día. Estas características dependen de los movimientos de la tierra, del ángulo de sus ejes y del ángulo de la superficie iluminada respecto al ángulo de incidencia del rayo de luz, denominado efecto coseno.

De la radiación total que llega a la superficie de la tierra después de atravesar la atmosfera, solo la radiación visible -380 a 780nm- es relevante desde el punto de vista de la iluminación natural.

### **V. 2. 1. Luz natural directa, indirecta y difusa.**

Se llama “luz solar directa” a la porción de la luz natural que incide en un lugar específico proveniente directamente desde el sol.

La luz solar directa se caracteriza por:

- Su continuo cambio de dirección.
- Su probabilidad de ocurrencia.
- La iluminancia que produce en una superficie horizontal no obstruida.
- Su temperatura de color.

La “luz solar indirecta” es la que llega a un espacio determinado por reflexión generalmente en muros, pisos o cielorrasos. En los climas soleados, la luz natural indirecta constituye un verdadero aporte a los sistemas de iluminación natural, mediante uso de superficies reflectoras que dirigen la luz solar directa por ejemplo al cielorraso aumentando la cantidad de luz natural disponible y mejorando su distribución.

La “luz natural difusa” es aquella que tiene aproximadamente la misma intensidad en diferentes direcciones.

### **V. 3. Tipos de cielo.**

Si bien la fuente primaria de luz natural es el sol, desde el punto de vista de la iluminación diurna de edificios, la fuente de la luz considerada para el cálculo es la bóveda celeste, excluyendo siempre la luz solar directa sobre los planos de trabajo por su gran capacidad lumínica, que genera contrastes excesivos y causa deslumbramiento. Es muy importante evitar, desde el diseño mismo, el ingreso de luz directa del sol, mediante la difusión y reflexión de los rayos solares hacia los interiores, pues de lo contrario los ocupantes de los edificios tienden a eliminar totalmente el ingreso de la luz natural y a reemplazarla por

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

iluminación artificial, cambiando las condiciones ambientales interiores y perdiendo la oportunidad de ahorrar energía eléctrica durante las horas de sol.

Según las características locales de la bóveda celeste y las estrategias de diseño, se emplea la siguiente clasificación:

- Cielo cubierto: definido para climas fríos por la CIBSE – Estandarización Británica- como un cielo cubierto en un 90% por nubes con sol no visible. Sus valores y distribuciones varían con la localización, las características climáticas, densidad y uniformidad de las nubes y condiciones atmosféricas como la turbidez. El valor medio anual de iluminancia exterior sobre una superficie horizontal que se considera para los cálculos es de 5000 lux. También determinado como cielo de luminancia uniforme, que supone una capa de nubes blancas de espesor constante y una atmosfera de turbidez constante. Cuando el cielo esta nublado, el cenit es tres veces más luminoso que el horizonte.



Figura V. 2.: Metrópoli con cielo nublado

- Cielo parcialmente despejado: con presencia estacional del sol alternada por periodos de nubosidad variable (climas templados húmedos y cálidos húmedos), la iluminancia en una superficie horizontal exterior no obstruida bajo este tipo de cielo, puede variar entre 100.000 lux (sin nubes) y 10.000 lux (con nubes interceptando el sol). Este tipo de cielo es el más difícil de predecir por la enorme variabilidad que puede presentar y por lo tanto no se dispone de un modelo específico simple.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- Un cielo claro: definido como un cielo no obstruido por nubes o por un cielo obstruido en un porcentaje menor al 30%. En cualquier caso se trata de una bóveda celeste donde el sol no está obstruido por las nubes.

El tipo de cielo, y sus correspondientes distribución de luminancias, característico del lugar donde se emplazara una construcción, puede ser establecido con precisión mediante el análisis de la frecuencia de ocurrencia del cielo claro o con nubes a partir de los datos meteorológicos locales.

### V. 4. Niveles de iluminación necesarios.

En la determinación del nivel de iluminación requerida influyen diferentes factores, tales como:

- Tamaño del objeto visual.
- Tiempo de exposición del objeto.
- Luminancia.
- Contraste.

El tamaño del objeto es el factor más importante dentro del trabajo visual por su carácter de parámetro fijo y resulta determinante en la normación de los niveles de iluminación requeridas, a medida que el objeto es más pequeño se requiere mayor nivel de iluminación. El tiempo de exposición resulta de gran importancia cuando el objeto está en movimiento. Si el tiempo de exposición visual del objeto es limitado, es necesario incrementar el nivel de iluminación para garantizar su observación en el menor tiempo posible.

El valor mínimo del coeficiente de iluminación natural o factor de día debe establecerse en cada país en dependencia del valor de la iluminación exterior y del valor de la iluminación necesaria interior en lux. Por ejemplo. Si el nivel de iluminación que se requiere en la cocina es de 300 lx y el nivel de iluminación exterior en el lugar es de 12000 lx, entonces el coeficiente de iluminación natural o factor de día necesario será:

$$e = \frac{E_p}{E_e} 100\%$$

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

$$e = \frac{300}{12000} 100 = 2,5\%$$

### V. 5. Componentes de la iluminación natural.

La iluminación natural en un punto dentro de un local se compone de los elementos siguientes:

- La luz difusa de la bóveda celeste que se recibe a través de la ventana o vano de iluminación.
- La luz reflejada por la superficie de los edificios aledaños u otras obstrucciones exteriores.
- La luz reflejada por las superficies interiores del local.
- La luz reflejada por la superficie del terreno adyacente a la ventana.

Estos componentes están determinados por distintos factores, entre ellos:

- El área de ventana y su ubicación con relación al punto analizado.
- El coeficiente de transmisión del material de la ventana, su grado de limpieza (si es transparente o translucido) y su color, si es opaco.
- Los parámetros físicos del local, en especial su profundidad y puntal.
- El color y acabado de las superficies interiores del local.
- La existencia de obstrucciones exteriores.
- El color de las superficies y distancias a que se encuentran los edificios aledaños.
- El color del terreno o superficie exterior adyacente a la ventana.

### V. 6. Datos de luz natural exterior.

El punto de partida para el aprovechamiento de luz natural en un diseño de iluminación es el conocimiento de la disponibilidad de luz exterior, tanto en sus niveles como en sus periodos de duración, de acuerdo a las horas del día y a las estaciones, sin embargo son muy pocos países en el mundo en donde se toman registros de la luz natural en forma regular.

Se trabaja usando modelos de predicción que han sido desarrollados para cuatro aplicaciones diferentes:

1. Para establecer condiciones de diseño, que se utilizan en el desarrollo de herramientas simples de diseño, o bien para establecer un cielo de diseño.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

2. Para establecer una evaluación hora-hora del recurso que luego sea introducido en herramientas complejas de simulación de consumos de energía en edificios tales como el “Radiance”, “Energy-10”, etc.
3. Para establecer promedios horarios de disponibilidad del dato en forma tabulada para el uso de arquitectos, ingenieros y diseñadores de sistemas de iluminación.
4. Como una herramienta de investigación que ayude a comprender el recurso de luz natural y el desarrollo de nuevas maneras de evaluar los sistemas de iluminación solar.

### V. 7. Iluminación natural de los interiores.

En el desarrollo preliminar del diseño de un edificio, así como en el diseño de los elementos que han de captar, dirigir y distribuir la luz natural, el criterio visual interior y los requerimientos básicos de iluminación deben ser prioritariamente conocidos y definidos. Los diseñadores deben determinar los parámetros de disponibilidad de luz natural para la localidad donde se emplazara el edificio y la selección de los datos apropiados de luz natural que se usaran como base para la propuesta de diseño.

#### V. 7. 1. Objetivos de diseño.

El diseño debe procurar optimizar la orientación de las plantas de los edificios para permitir dentro de las posibilidades de los terrenos, el acceso de la luz natural a la mayoría de los locales. En la figura se muestran locales, con distintas formas y orientaciones, y se indica en cuales casos la situación es más favorable.

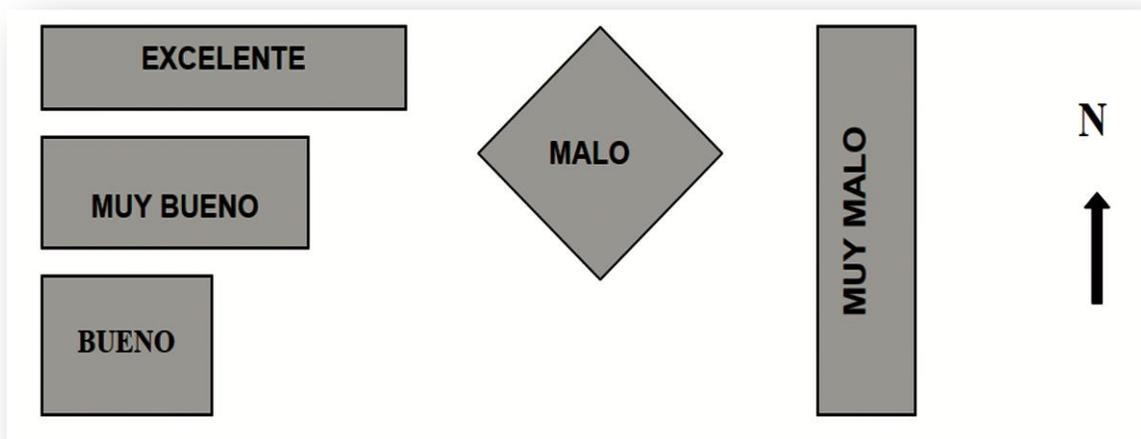


Figura V. 3.: Orientaciones favorables y desfavorables de los edificios para que la mayoría de los espacios tengan acceso a la luz natural.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

En cuanto a las ventanas utilizadas para el mejor aprovechamiento de luz natural en la iluminación de interiores, los objetivos de diseño son:

- Maximizar la transmisión de luz por unidad de área vidriada (marcos y hojas de ventanas esbeltas).
- Controlar la penetración de luz solar directa sobre el plano de trabajo.
- Controlar el contraste de claridad dentro del campo visual de los ocupantes, especialmente entre las ventanas y las superficies circundantes del local.
- Minimizar el efecto de reducción de ingreso de radiación debido al ángulo de incidencia de la luz. Esto significa que aventanamientos ubicados en la parte alta de los muros producen más iluminancia que una ventana más baja de la misma área.
- Minimizar el deslumbramiento de velo sobre los planos de trabajo, resultante de la visión directa de la fuente de luz en las ventanas superiores.
- Minimizar las ganancias de calor diurno durante el periodo de verano.
- Maximizar las ganancias térmicas diurnas en invierno para permitir la calefacción natural de los espacios.
- Proveer sombra las áreas vidriadas para evitar sobrecalentamientos estacionales o deslumbramientos según la orientación de la fachada donde está ubicada la ventana.

### **V. 7. 2. Sistemas de iluminación natural.**

Llamamos sistema de iluminación natural al conjunto de componentes que en un edificio o construcción se utilizan para iluminar con luz natural, la cantidad, calidad y distribución de la luz interior depende del funcionamiento conjunto de los sistemas de iluminación, de la ubicación de las aberturas y de la superficie de las envolventes.

Básicamente son tres los sistemas de iluminación natural utilizados:

- Iluminación lateral
- Iluminación cenital
- Iluminación combinada

#### **V. 7. 2. 1. Iluminación lateral.**

La luz llega desde una abertura ubicada en un muro lateral, y es por eso que la iluminancia del plano de trabajo cercano a la ventana tiene un nivel alto y aporta en forma importante a la iluminación general. Si nos movemos, alejándonos de la ventana, el valor de la iluminación directa decrece rápidamente y la proporción relativa de la componente indirecta se incrementa. Sin embargo como se muestra en la siguiente figura, la cantidad

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

y distribución de la luz que ingresa lateralmente a través de una abertura en un muro depende fundamentalmente de la orientación del muro donde la misma está emplazada, debido a que en general, las ventanas orientadas al Norte reciben sol (iluminación directa) desde el amanecer hasta el atardecer, las orientadas al Este solo permiten el ingreso de la radiación directa desde el amanecer hasta el mediodía, la ubicada hacia el Oeste desde el mediodía hasta el atardecer y las emplazadas hacia el Sur no reciben aporte de iluminación directa, solo reciben iluminación difusa y reflejada.

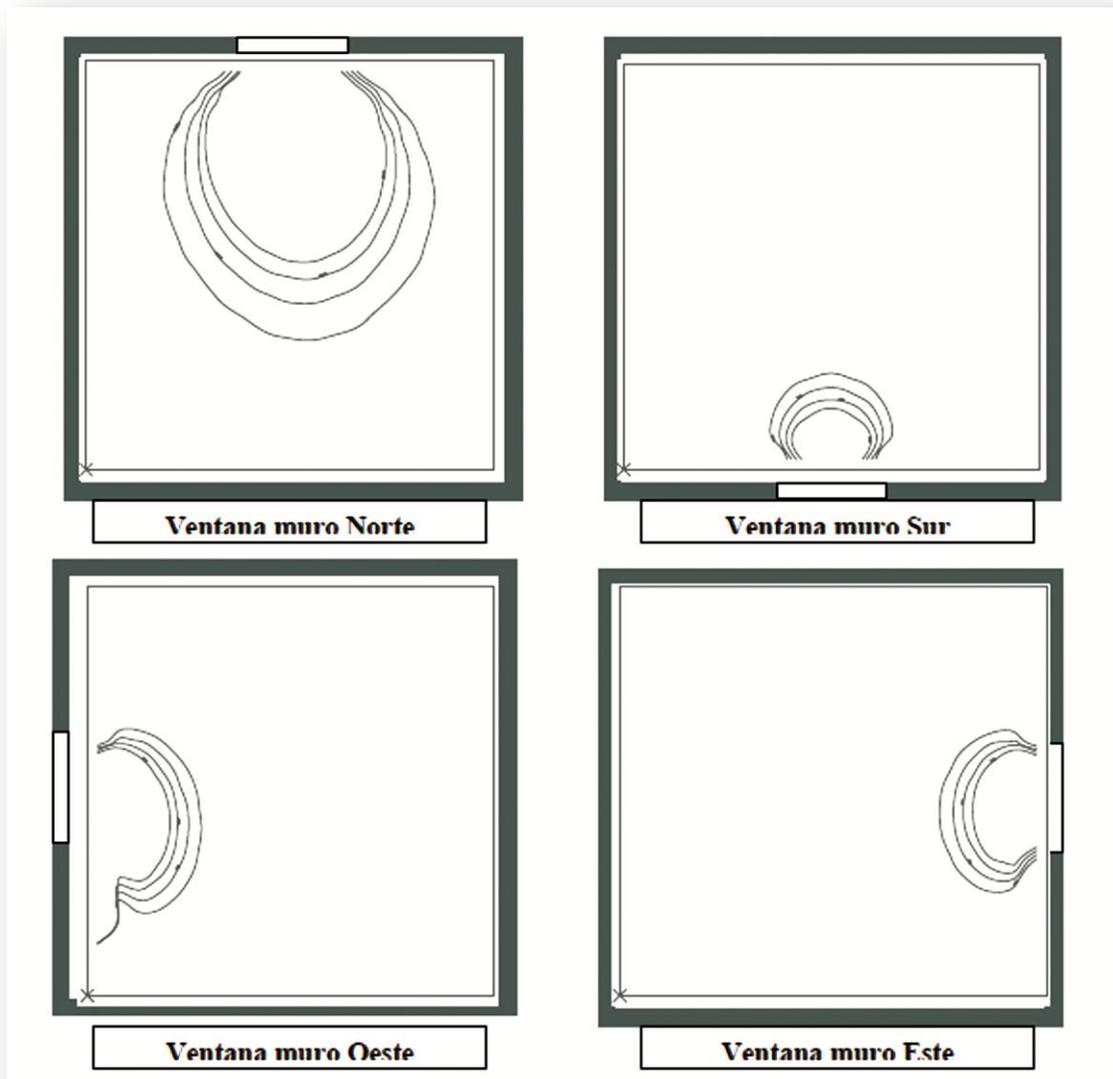


Figura V. 4.: Diferencia entre las curvas de isolux resultantes en el mismo espacio interior modificando solamente la ubicación de la ventana en los muros Norte, Sur, Este y Oeste.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### V. 7. 2. 2. Iluminación lateral y el muro norte.

En diseños de edificios que utilizan energía solar pasiva para su acondicionamiento térmico, la misma superficie vidriada (ganancia solar directa) puede ser utilizada para calefacciones durante los meses de invierno y enfriar por ventilación cruzada natural y para materializar el sistema de iluminación natural.

La ganancia térmica solar directa en fachadas verticales orientadas al norte, potencial causa de deslumbramiento, se puede controlar con un alero fijo o con sombra vegetal, bloqueando la radiación directa sobre las áreas vidriadas en los meses de verano, ingresando por lo tanto solo iluminación difusa a los interiores. En la situación de invierno, lo que se desea es el ingreso del sol en el local para ganancia térmica, cosa que ocurre naturalmente, ya que el sol tiene algunos bajos y el alero que sombreaba en verano permite el total asoleamiento de la superficie vidriada. Para evitar también el deslumbramiento y en consecuencia las molestias visuales, que produce el ingreso del sol directo en invierno a través de la ventana ubicada en la fachada norte, se puede difundir el rayo solar mediante estantes de luz interiores o difusores que redirijan o difundan la luz solar directa para iluminar, una vez que ya ingreso al local para calefaccionar, acumulándose en los elementos constructivos con masa.

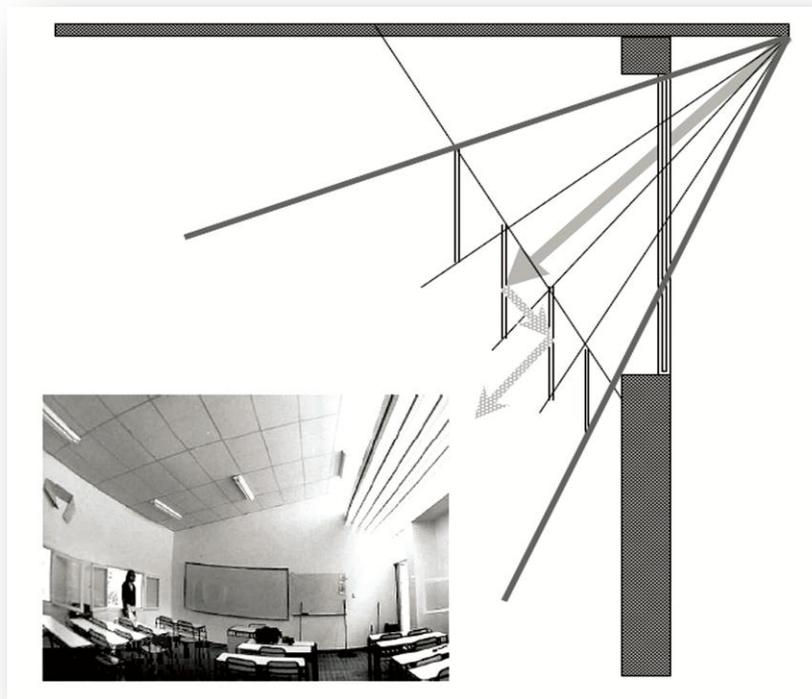


Figura V. 5.: Diseño de difusores interiores de la luz solar directa en ventanas – Fachada Norte

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

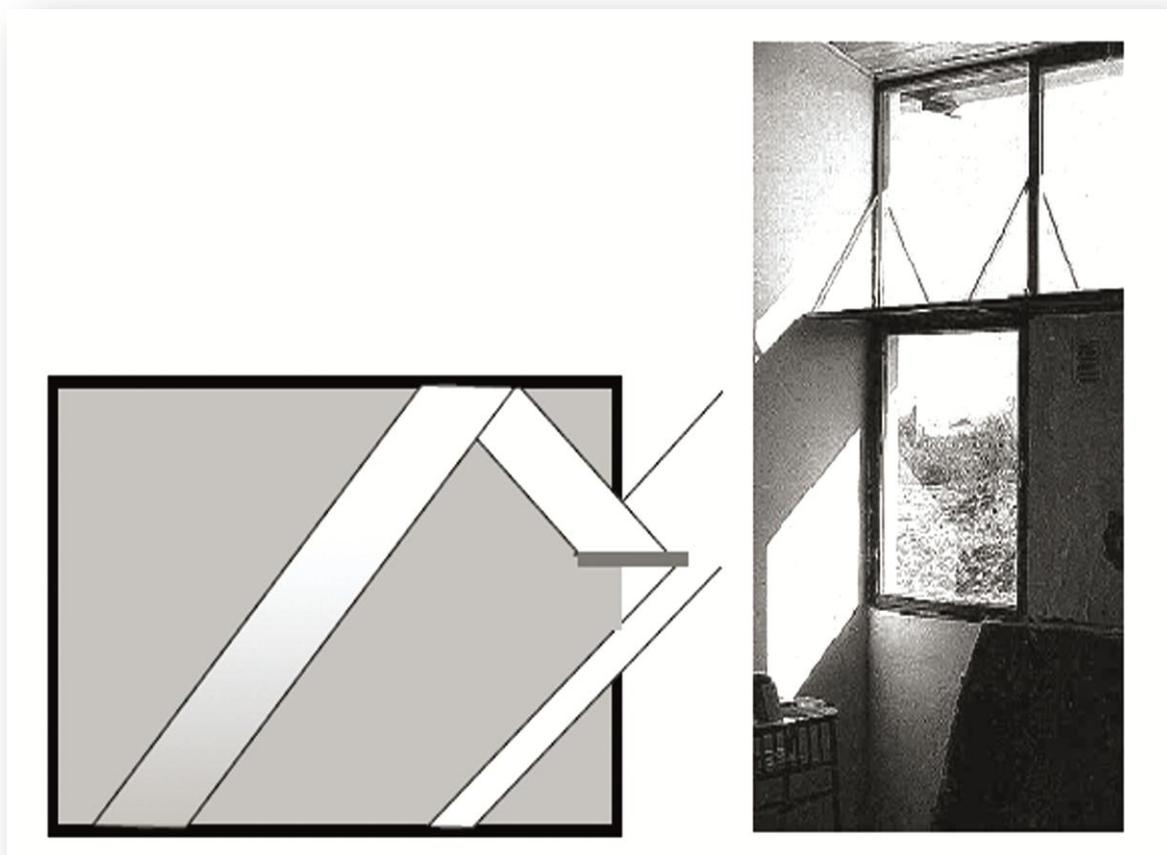


Figura V. 6.: Diseño de estantes de luz interior – exterior en ventanas de fachada Norte.

### V. 7. 2. 3. Iluminación Cenital.

Se utiliza generalmente en las localidades con predominio de cielos nublados. El plano de trabajo es iluminado directamente desde la parte más luminosa de estos tipos de cielos, el cenit. La proporción de iluminación indirecta generalmente no excede el 25%. En la figura se indican la distribución de las aberturas según su relación con la altura del local.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

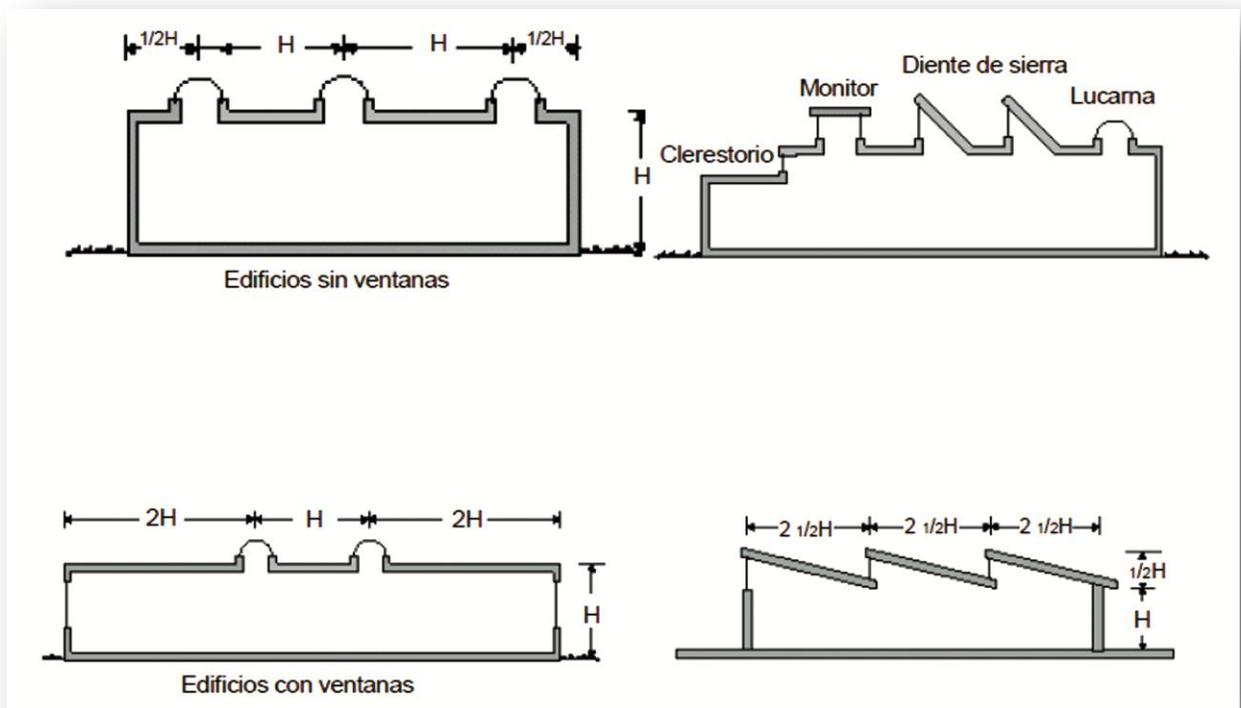


Figura V. 7.: Iluminación Cenital – Cortes de fachada.

Se muestran esquemas de aberturas para lograr: a) Iluminación cenital e b) Iluminación combinada

### V. 7. 2. 4. Iluminación Combinada.

En la iluminación combinada hay aberturas en muros y en techos. En un interior donde la envolvente no está claramente dividida en muros y techos, por ejemplo en cerramientos abovedados, se la considera como iluminación lateral si la abertura es más baja de 2.5 m; por encima de esta altura se considera iluminación cenital o superior. En la anterior figura se indica la mejor distribución en el espacio de las aberturas combinadas. En una iluminación combinada, la relación de la componente directa e indirecta de la iluminación puede ubicarse entre los dos extremos mencionados anteriormente.

### V. 8. Aplicaciones y desarrollos recientes.

Por razones de facilidad constructiva y de costos, la mayoría de los aventanamientos para iluminación natural se realizan a través de los muros laterales, El factor más importante a tener en cuenta cuando se ilumina lateralmente es la orientación.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Los diseños con iluminación unilateral tienen tres problemas que resolver:

- La mala distribución de la iluminación lateral.
- La luz solar directa, que puede causar deslumbramientos.
- El hecho de que solo los locales con un muro al exterior o al techo pueden ser iluminados con luz natural.

### V. 8. 1. Bandejas reflectoras o estantes de luz.

La distribución interior de la iluminación lateral, que ingresa por una ventana ubicada en la fachada norte, puede ser mejorada con la colocación de una bandeja o estante horizontal de material reflectante. Un estante de luz tiene el efecto de incrementar la componente reflejada y redireccionarla al cielorraso interior que trabaja como una fuente secundaria de la luz natural.

La contribución de los estantes de luz a la iluminación está directamente afectada por la reflectancia del cielorraso. El muro posterior también afecta la iluminancia, porque su aporte está limitado por su exposición directa a la luz solar y en un grado menor a la luz reflejada desde el techo.

Es un error de concepto generalizado que esta configuración aumenta la iluminación en la parte posterior del local. En la práctica, la reflectancia adicional sobre la superficie del cielorraso no incrementa la luz directa del cielo que es obstruida por el estante. La principal ventaja del estante de luz intermedio es la reducción del deslumbramiento desde el cielo a los lugares próximos a la ventana, como se muestra en la figura V. 8.

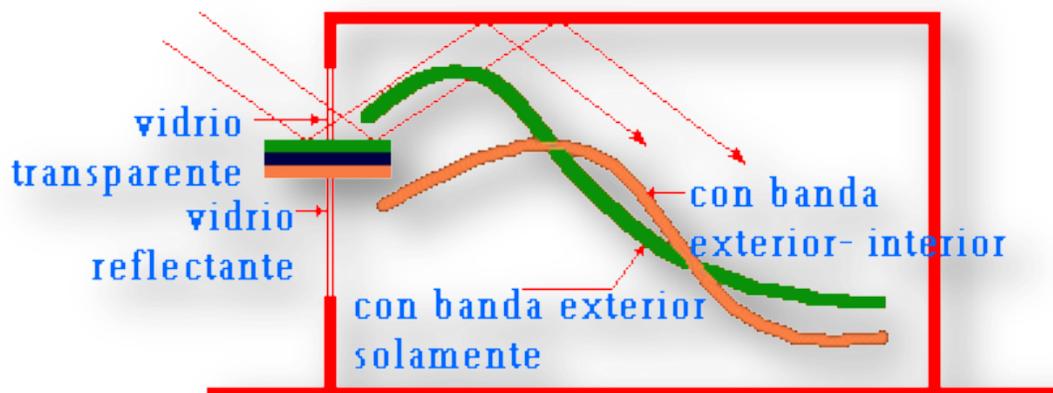


Figura V. 8.: Efectos de un estante de luz o bandejas reflectoras

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### V. 8. 2. Nuevos materiales.

Se ha extendido la utilización de nuevos materiales que se aplican sobre los estantes de luz, como por ejemplo el “sistema Valra”, que utiliza un material reflectivo flexible que puede ajustarse estacionalmente. También se han desarrollado materiales difusores reflectivos basados en el mismo principio, formados por tablillas fijas que con la finalidad de optimizar su mantenimiento, y en consecuencia máxima duración con efectividad a lo largo del tiempo, se los puede colocar entre dos paños de vidrio.

### V. 8. 3. Vidrios prismáticos.

Se utiliza el efecto que produce un prisma de redirigir la luz por refracción, produciendo un efecto similar al de los estantes de luz. Al llegar la luz del sol directamente a las superficies de los múltiples prismas del vidrio o material plástico, es redirigida hacia el cielorraso. Con cielo nublado su efecto es despreciable. Estas placas prismáticas se colocan entre dos vidrios transparentes, en la parte superior de la ventana. Pueden construirse fijos o permitir algún tipo de movimiento de acuerdo a las estaciones. Una sofisticación es la realización de una película prismática adherente que se puede ser aplicada sobre la superficie de la ventana.



Figura V. 9.: División hecha de vidrios prismáticos

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### V. 8. 4. Sistemas con hologramas.

Tienen una propuesta similar a la anterior, pero la difracción es creada por estructuras microscópicas y los elementos ópticos holográficos pueden ser usados tanto en soporte móvil como fijo. El efecto de arcoíris puede hacer que no sea adecuado para todas las aplicaciones.

### V. 8. 5. Lumiductos.

Estos sistemas son utilizados cuando un local no tiene posibilidades de recibir la luz natural porque no tiene ningún muro expuesto al exterior o bien porque se considera insuficiente la luz natural que ingresa. Tiene tres partes constitutivas; Un captador de luz solar, un conductor de luz solar y un emisor de luz al interior del local o boca de salida.

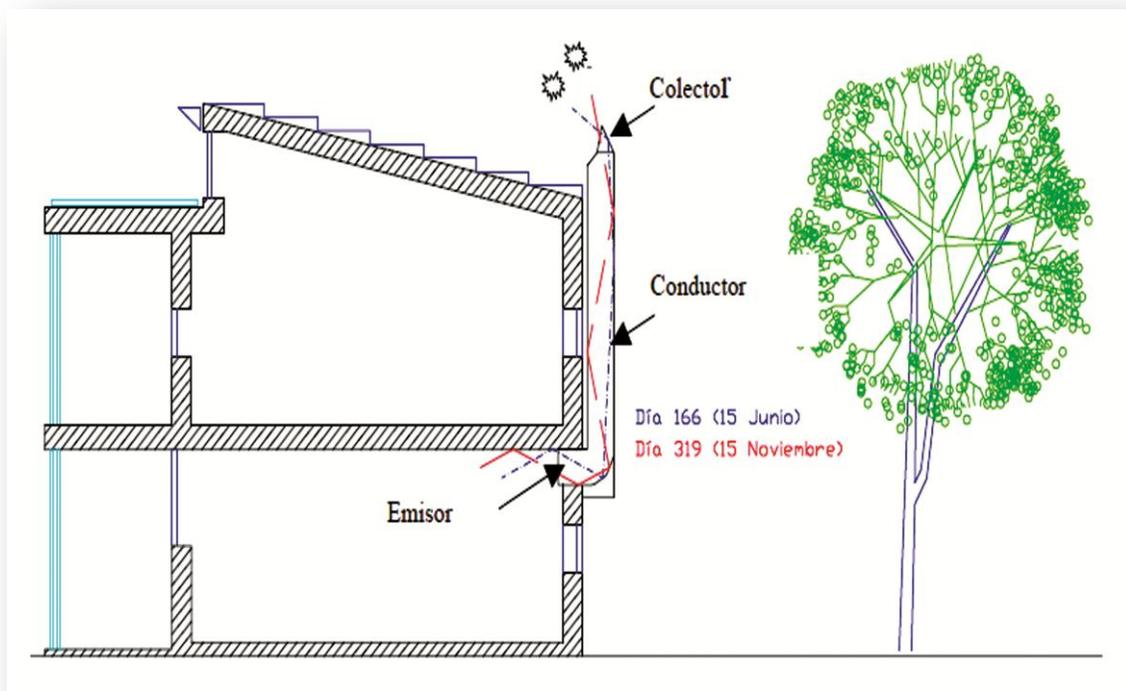


Figura V. 10.: Diseño de lumiducto (con la indicación de sus componentes) para aulas de planta baja.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### V. 9. Instrumentos de medición.

Los instrumentos para medir cantidades fotométricas o colorimétricas se dividen en instrumentos de laboratorio y de campo. Los primeros son más sofisticados y por tanto más caros, mientras los segundos son pequeños y manuales. El flujo luminoso y las propiedades de color de una fuente de luz, así como la distribución de intensidad luminosa de una luminaria, se miden generalmente en un laboratorio ya que implican la disponibilidad de equipamiento sofisticado y del desarrollo de metodologías complejas. De todos modos, las cantidades que en general se necesitan medir en trabajos de campo son la “Iluminancia” y la “Luminancia”, las cuales se miden con el “Luxímetro” y el “Luminancímetro”.



Figura V. 11.: Instrumentos de medición – Luxímetro.

Un medidor de iluminancia (luxímetro) tiene tres características importantes: sensibilidad, corrección de color y corrección coseno. La sensibilidad se refiere al rango de iluminancia que cubre, dependiendo si será usado para medir luz natural, iluminación interior o exterior nocturna. Corrección de color se refiere a que el instrumento tiene un filtro de corrección, para que el instrumento tenga una sensibilidad espectral igual a la del Observador Standard Fotopico. La corrección coseno significa que la respuesta del medidor de iluminancia a la luz que incide sobre él desde direcciones diferentes a la normal sigue la ley de coseno.

El luminancímetro está diseñado para medir la luminancia media sobre un área especificada. Posee un sistema óptico que enfoca la imagen sobre un detector. Mirando a través del sistema óptico el operador puede identificar el área sobre la que está midiendo la luminancia, y usualmente muestra la luminancia promedio sobre esta área. Las características más importantes de los luminancímetros son su respuesta espectral, su sensibilidad y la calidad de su sistema óptico. Al igual que un luxímetro, un buen luminancímetro tiene una respuesta espectral acorde con la curva de sensibilidad espectral del observador estándar. La sensibilidad exigida al instrumento depende de las

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

condiciones bajo las cuales se usara el mismo. La calidad de su sistema óptico puede ser medida por su sensibilidad a la luz del área exterior al área de medición.



Figura V. 12.: Instrumentos de medición - Luminancímetros

Recientemente han comenzado a aparecer luminancímetros basados en cámaras de video que capturan la imagen en forma digitalizada (Rea y Jeffrey, 1990). Si bien estos instrumentos todavía son caros proveen una manera de medir luminancias de escenas que cambian espacialmente y en el tiempo.

### V. 10. Mediciones en modelos a escala

La evaluación de la luz natural en modelos a escala (Pattini y otros, 1993) es muy utilizada porque además de permitir un análisis cuantitativo (valores interiores medidos) otorga datos cualitativos de la distribución de la iluminancia interior. La luz no tiene dimensión escalar, por lo tanto, los valores de iluminancia medidos en maqueta serán los mismos que se registraran en el local de interés. El único factor de posible distorsión está referido a las reflectividades de las superficies interiores, es decir que habrá que utilizar en el interior de las maquetas superficies con valores de reflexión similares a los que se utilizaran para pintar el local en la realidad.

La evaluación en modelos a escala puede realizarse bajo una bóveda celeste natural o en cielo artificial. Este último permite solo estudiar configuraciones comparativas, ya que no permite el análisis de la presencia estacional del sol. En general, los cielos artificiales reproducen las condiciones exteriores similares a las de la bóveda celeste uniformemente cubierta.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.



Figura V. 13.: Maqueta – Modelo a escala.

Para medir la cantidad de luz interior de las maquetas se utiliza un luxímetro, midiendo sobre una grilla que simula la altura del plano de trabajo, o bien con varios sensores de lectura simultánea.

### V. 11. Conclusiones.

La iluminación natural constituye un recurso sustentable para la iluminación de los ambientes educativos y representa el mejor beneficio para el aprendizaje.

Para el aprovechamiento de la luz natural en ambientes educativos y sus partes constituyentes, es necesario comprender los principios de la iluminación natural, para integrarlos adecuadamente desde el inicio del proceso de diseño. Esta comprensión comienza con el conocimiento adecuado del sol y sus radiaciones luminosas para la obtención de clasificaciones sobre aprovechamiento de luz natural derivan del conocimiento que tienen los países que poseen datos y modelos verificados.

En cuanto al desarrollo preliminar del diseño de una entidad educativa, el criterio visual interior y los requerimientos básicos de iluminación deben ser definidos a priori, teniendo

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

en cuenta disponibilidad de la luz natural regional como un requerimiento para realizar los cálculos de valores absolutos y relativos de luz natural. Es fundamental el conocimiento, tanto de la cantidad como de la duración y características de la luz natural en el Hemisferio Sur.

El aprovechamiento de la luz solar ofrece una real oportunidad para el ahorro de energía eléctrica, con los consiguientes beneficios ambientales que ello otorgaría, en espacios creados para el bienestar, en el marco de un desarrollo y utilización responsable de los recursos naturales que aun hoy disponemos.

**CAPITULO VI**

**ILUMINACIÓN EFICAZ, CALIDAD y**

**FACTORES HUMANOS.**

## **CAPITULO VI ILUMINACIÓN EFICAZ, CALIDAD y FACTORES HUMANOS**

### **VI. 1. Influencia de la iluminación sobre el ser humano.**

La iluminación tiene la potencialidad de modificar no solamente el estado de operación del sistema visual sino también de afectar la manera en que el ser humano realiza una tarea o se desenvuelve en un medio ambiente luminoso. En este sentido, la iluminación puede actuar como un factor positivo, favoreciendo el desempeño de las personas, o puede influir negativamente sobre la respuesta de las mismas, lo que, a su vez, y dependiendo del contexto, puede afectar la productividad.

El ser humano posee tres sistemas a través de los cuales puede influir la forma en que una persona se desempeña en una dada situación: el sistema circadiano, el sistema visual y el sistema perceptual (*Boyce, 2000*).

La iluminación regula el ritmo de la fisiología del ser humano, y el de casi todos los seres vivientes. El ciclo día-noche regula el comportamiento humano a partir de las variaciones de los ritmos hormonales que ocurren en el periodo de las 24 horas y cuya manifestación más evidente es la alternancia entre estar despierto y dormido. El órgano que controla estos ciclos en el ser humano es el núcleo supraquiasmico que está vinculado directamente a la retina a través de células ganglionales que reciben señales de una zona muy densa de foto receptores. De esta manera, la radiación luminosa, y más precisamente la iluminancia retinal, actúa a través del sistema circadiano y puede alterar el desempeño humano modificando las bases funcionales del resto del cuerpo, con consecuencias no solamente en los aspectos visuales sino también en los cognitivos.

El efecto de la iluminación sobre la visión es el más evidente y conocido de los efectos que produce la luz sobre el rendimiento humano. El sistema visual humano procesa de forma eficiente, la imagen que del mundo exterior forma su sistema óptico sobre la retina.

Es importante decir que, aunque el impacto de las condiciones de iluminación a través de los sistemas circadiano, visual y perceptual ha sido considerado separadamente, en la práctica esto no ocurre, el impacto es global y por lo tanto es necesario considerar un balance entre los tres sistemas.

### **VI. 2. Calidad de la iluminación.**

La importancia de las investigaciones en el campo de la iluminación se evidencia a partir de datos que indican que el consumo de energía eléctrica relacionada con la iluminación

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

corresponde, según el caso, entre el 25 y el 50% de la demanda energética total en edificios.

Con el tiempo se fue asociando el criterio de eficiencia no solamente a la disminución del costo sino al mejoramiento de las condiciones de iluminación en consonancia con los objetivos de la misma. En este camino, junto a las crecientes innovaciones tecnológicas surgidas en el campo de la producción de luz, en términos de mayor vida útil, mayor eficiencia luminosa, mejor índice de rendimiento de color, sistemas de control de luz, etc., se fueron incorporando las exigencias que surgen de considerar los factores humanos.

En la actualidad un buen diseñador de iluminación debe ser consciente de la importancia de tener en cuenta la calidad de la iluminación en su forma más global e incorporar todos los resultados disponibles en este sentido para lograr ambientes con mejor calidad de iluminación. (*Miller y McGowan, 2000*)

No hay una clara definición de “Calidad de la iluminación” existiendo una gran cantidad de aproximaciones para definirla, desde la búsqueda de índices fotométricos simples calibrados a partir de respuestas subjetivas (*Bean y Bell, 1992*), de resultados de procesos de diseño holísticos basados en patrones de luz (*Loe y Rowlands, 1996*), de determinaciones de las condiciones de iluminación que tienen impactos deseables sobre la eficiencia de una tarea, la salud y el comportamiento (*Veit y Newsham, 1998*), o la sistematización de las características de la iluminación que aumentan nuestra habilidad para discriminar detalles, color, forma, textura y terminación de las superficies sin disminución del confort (*Boyce y Cuttle, 1998*).

### VI. 3. Efectos de la iluminación sobre el rendimiento visual supraumbral.

En la mayoría de los casos en los que nos movemos, realizando tareas como leer un libro, escribir en una computadora, manejar un auto, buscar un rendimiento en un estante, detectar una falla en una plaqueta de circuitos electrónicos, cocinar, etc., el sistema visual no trabaja en condiciones umbrales.

El rendimiento visual es un continuo desde la eficiencia visual umbral hasta el rendimiento en condiciones supraumbrales. En el umbral justo se ve, justo se discrimina o reconoce, etc., cerca del umbral el estímulo se ve siempre pero la precisión con que la tarea se realiza esta limitada y toma más tiempo. En el supraumbral siempre se ve el estímulo pero ahora interesa lo bien que se ve, es decir, establecer cuáles son las mejoras condiciones para realizar una determinada tarea. (*Yonemura, 1981*).

Si bien el rendimiento visual supra umbral está referido al rendimiento de tareas que son fácilmente visibles, las condiciones de iluminación influyen sobre la velocidad y la

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

precisión con que el sistema visual procesa la información extraída de los estímulos, especialmente influye la “iluminación retiniana”, que está determinada por la luminancia del campo visual y, en consecuencia, por la iluminancia sobre las superficies presentes en ese campo y por las características ópticas de las mismas. Pensemos en leer un libro con un nivel muy bajo de iluminación pero en condiciones en que las letras sean perfectamente visibles: lo podríamos leer, pero lo leeríamos lentamente y con dificultad.

### VI. 4. Rendimiento visual, confort visual y productividad

La mayoría de las tareas en general, poseen tres componentes: visual, cognitiva y motora. La componente visual se refiere al proceso de extracción de la información relevante para la realización de la tarea utilizando el sentido de la visión. La componente cognitiva es el proceso por el cual los estímulos sensoriales son interpretados y se determina una acción apropiada. Cada tarea es única cuando se realiza el balance entre sus componentes: visual, cognitiva y motora, y por lo tanto en el efecto que las condiciones de iluminación tiene sobre el rendimiento de una tarea.

El rendimiento visual se puede afectar directamente si se cambian las condiciones de iluminación y en consecuencia, el efecto de la iluminación sobre el rendimiento de la tarea depende de la estructura de la tarea y específicamente del rol de la componente visual con relación a las componentes cognitiva y motora.

*Boyce (1996)* encuentra que los valores de iluminancia que surgen del modelo de Rendimiento Visual Relativo son considerados oscuros, no confortables e inaceptables. Esto puede explicarse por el nivel de iluminancia calculado a partir del modelo para la realización de una tarea de lectura sobre papel impreso de contraste 0,7 y tamaño de carácter tipo Arial 10, es de 100 lx, mientras que las normas (*IESNA, 2000*) recomiendan para una situación similar 500 lx.

Otra investigación (*Kirschbaum y Tonello, 1997*) logra acotar más precisamente estos resultados. En la misma los observadores juzgan los niveles de iluminancia entre 250 lx y 1235lx sobre un texto presentado en un escritorio, según una escala de cinco puntos entre Insuficiente y Excesivo, los resultados indican que un 76% de los observadores consideran al nivel de 1200 lx como óptimo, elevándose este porcentaje a un 90% al considerar las respuestas entre las categorías óptimo y suficiente, mientras que un valor de 600 lx fue considerado en un 50% como suficiente y en un 70% entre óptimo y suficiente. Estos resultados acuerdan con las normas que sugieren valores entre 500 lx y 750 lx para tareas educativas.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

### **VI. 5. Iluminación y su efecto sobre el confort visual.**

Algunas situaciones que con frecuencia provocan la disminución de confort. Cada tarea posee un determinado grado de dificultad visual. Una alta exigencia visual provoca una pérdida de confort visual. Por ejemplo, en el caso de un texto con letras pequeñas la reacción usual es acercar la tarea a los ojos para incrementar el tamaño angular de las letras, lo que a su vez implica ajustar los mecanismos de acomodación de los ojos para mantener definida la imagen sobre la retina. Este ajuste puede llegar a producir fatiga muscular y, en consecuencia reducción del confort visual.

Otra situación es cuando el observador no encuentra información relevante para extraer (subestimación) o bien cuando existe excesiva información (sobrestimulación) logrando en ambas situaciones incomodidad.

La falta de confort visual puede dar origen a una gran variedad de síntomas: enrojecimiento, inflamación, picazón, hormigueo y lagrimeo de los ojos; dolores de cabeza y migraña, problemas gastrointestinales, dolores y molestias asociados con la mala postura, etc. Sin embargo, la reducción de confort visual no es la única fuente posible de estos síntomas, por lo cual es de gran importancia considerar la naturaleza del entorno visual antes de adjudicar algunos de estos síntomas a las condiciones de iluminación.

### **VI. 6. Impresiones de la luz.**

La iluminación de un dado espacio inevitablemente contribuye a crear impresiones en las personas. La luz le da un carácter al espacio, este puede ser dramático, depresivo, aburrido, relajante, interesante, funcional, etc. Estas impresiones pueden ser buenas o malas, apropiadas o inapropiadas, firmes o vagas, pero existen, produciendo efectos negativos, positivos o neutros. Los aspectos negativos producen falta de confort, mientras que los positivos crean sentimientos de placer.

En un trabajo de diseño en términos de iluminación es necesario tener en cuenta las normas para ciertas tareas como lectura, dibujo, etc., un diseñador debe ser capaz de poder hacer un uso correcto de la iluminación a fin de reforzar la atención hacia algo de interés, crear impresiones de espacialidad, estimular sensaciones de intimidad, calidez o excitación, etc., dependiendo de la interacción espacio-actividad.

### **VI. 7. Conclusiones.**

La diferencia entre el tipo de diseño que toma base en normas y recomendaciones y uno de buena calidad está centrado en las demandas del contexto, de la moda y de la oportunidad. Según el contexto, un sistema de iluminación natural puede ser atractivo en

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

una oficina pero no en un ambiente educativo donde puede requerirse un ambiente más pasivo.

Por lo dicho, cuando se afirma que iluminar es una mezcla de arte y ciencia, precisamente se hace referencia a que una buena iluminación no surge solamente de aplicar técnicas a través de recomendaciones sino que quien diseña debe ser capaz de interpretar el espacio en términos de las necesidades de las personas que ocuparan el mismo, de modo que el mismo transmita impresiones positivas, de valorizar la arquitectura o estilo del espacio y de contribuir a un uso eficiente de la energía. Si se entiende el rol de un diseñador de este modo los beneficios económicos llegan por añadidura. Por estos motivos, es crucial comprender los mecanismos mediante los cuales las condiciones de iluminación afectan a las personas: visibilidad, estado de ánimo, impresiones y fotobiología.

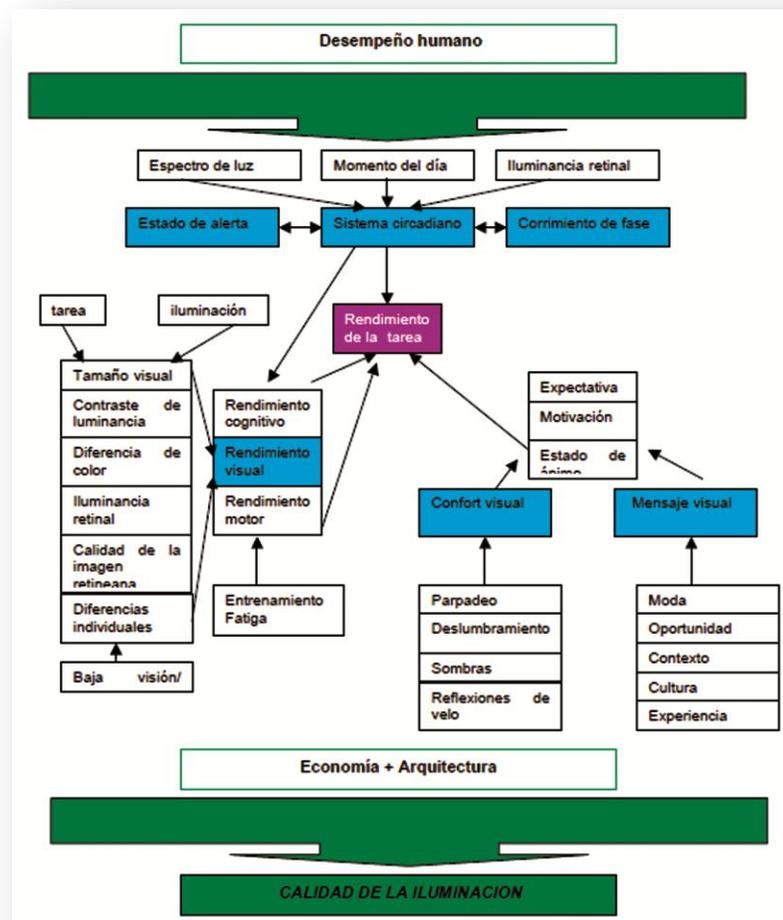


Tabla VI. 1.: Marco conceptual que incluye los tres caminos: circadiano, visual y perceptual, a través de los cuales las condiciones de iluminación influyen sobre el desempeño humano y que definen la calidad de iluminación. Las flechas indican la dirección del efecto.

**CAPITULO VII**

**VENTILACIÓN NATURAL y FACTORES DE PROTECCIÓN.**

## **CAPITULO VII**

### **VENTILACIÓN NATURAL y FACTORES DE PROTECCIÓN.**

#### **VII. 1. Introducción.**

La “Ventilación” en términos constructivos es uno de los elementos naturales que permiten realizar el cambio de aire dentro de un ambiente reciclando el CO<sub>2</sub> y su uso más efectivo es el control del confort térmico dentro de un espacio arquitectónico, logrando que estos al ventilarse, bajen sus sensaciones de temperatura ambiental.

La ventilación natural se provoca por una diferencia de temperaturas o de presión entre las fachadas de un edificio y permite evacuar los aportes de calor solares e internos.

En todas las situaciones climáticas con aporte calorífico, lo más importante es limitar los aportes solares, para evitar que la temperatura se eleve. Las salidas de aire permiten evacuar las cargas térmicas del edificio producidas por las maquinas eléctricas, la iluminación y los ocupantes.

Para optimizar la ventilación natural es recomendable tomar las siguientes medidas:

- Evaluar el potencial de ventilación en función del sitio.
- Exponer las fachadas a los vientos dominantes en los meses más cálidos.
- Alejar el edificio de los obstáculos que impidan el libre flujo del viento.
- Proteger la piel del edificio de los rayos solares.
- Dimensionar las aberturas y los dispositivos que favorecen las salidas de aire en los espacios interiores.
- Anticipar el acomodo interno con el fin de que la circulación del aire sea canalizada sin roces.

En climas cálidos y secos podemos además humectar el aire y refrescar por el fenómeno de la evapotranspiración y aprovechar el frío nocturno por la inercia del edificio.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

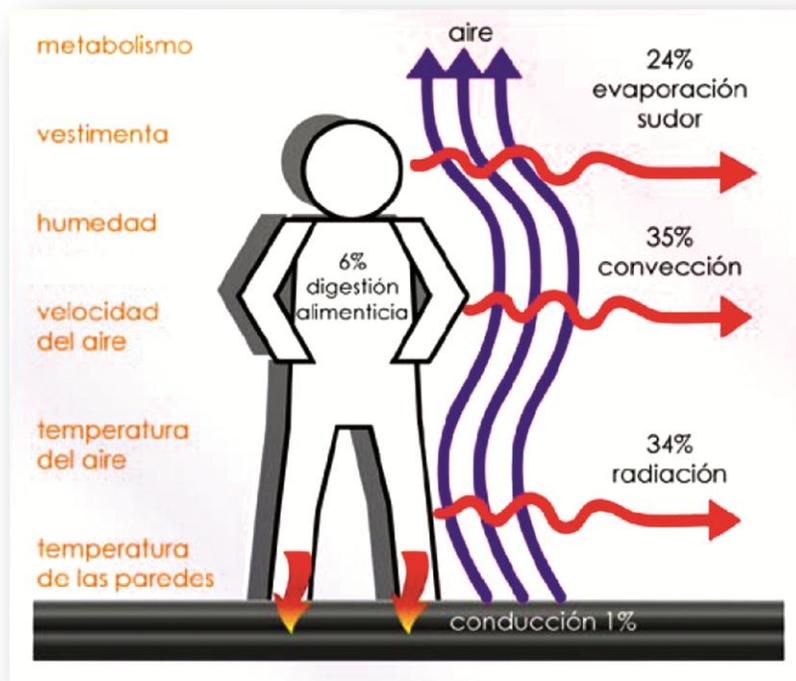


Figura VII. 1.: Porcentajes de pérdidas térmicas por evapotranspiración.

Las distancias importantes entre las construcciones, permiten al viento pasar sin obstáculos y refrescar los ambientes, en climas cálidos las partes orientadas al Norte y Sur son levantadas del piso, con el fin de favorecer la circulación transversal.

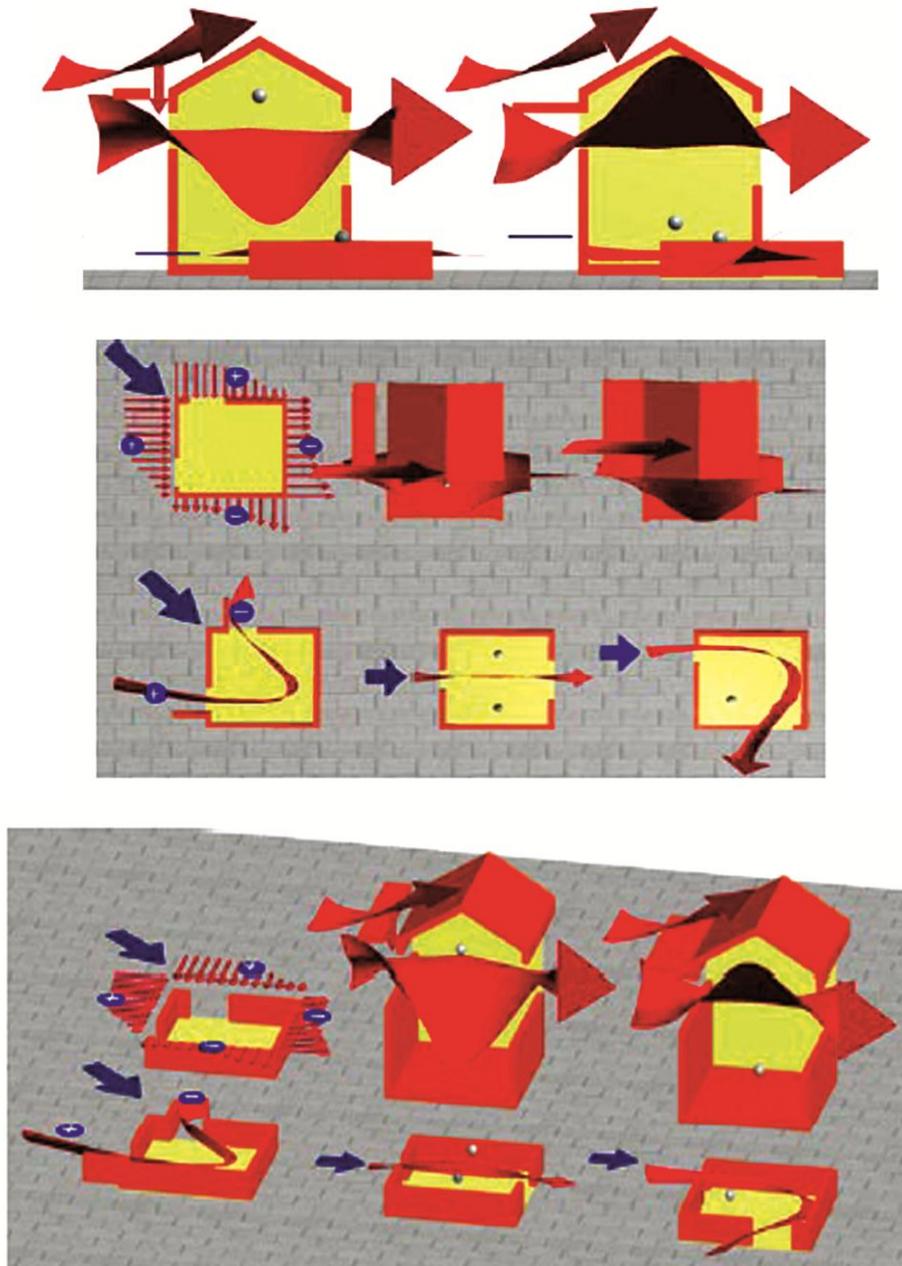
En otros climas las soluciones constructivas son de acuerdo a la inercia térmica del lugar. Como en los climas cálido y seco, donde las cuatro fachadas de las casas de patio, protegen el patio central del sol durante el día y evacuan el calor en la noche.

### VII. 2. Sistemas auxiliares de ventilación.

Los sistemas auxiliares de ventilación mecánica, como los ventiladores de techo, son de gran ayuda porque compensan la insuficiencia de ventilación natural, cuando no hay brisa. Los ventiladores de techo son menos ruidosos y consumen poca energía, a la vez que reparten el aire por la habitación en forma pareja. Mientras más grandes sean sus aspas, más eficaz es el ventilador y las aspas metálicas son preferibles a las de madera. De ninguna manera se pueden poner a una altura inferior a 2,50 metros libres.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

En casos extremos, la climatización puede ser necesaria y complementaria a la ventilación natural. Algunos sistemas evaporan el líquido de la habitación y otros soplan aire. Sin embargo, este sistema debe considerarse desde el diseño del edificio, para lograr máximo beneficio a un bajo costo energético, es preferible usar climatización en espacios de pequeña dimensión y utilizarlo de manera intermitente.



Figuras VII. 2.: Sistemas de ventilación natural.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### VII. 2. 1. Protección Solar.

El factor solar es la relación entre la energía solar a través del ventanal protegido y el aporte de energía a través de un ventanal no protegido. Sabemos que en climas cálidos, el concepto básico es la protección de lo construido de los rayos solares. Materiales aislantes, revestimientos reflectantes, pantallas que den sombra, representan algunos sistemas de protección.

En el hemisferio sur es la fachada Norte la que recibe el sol. En las zonas cálidas que bordean el Ecuador, hay que privilegiar una implantación Este-Oeste porque reciben un sol bajo durante la mañana y parte de la tarde. Los dispositivos de protección difieren según la orientación de la superficie que deben proteger. El sol es más alto sobre las paredes orientadas al Norte y al Sur. Diferentes tipos de pantallas permiten parar, reflejar o frenar el flujo solar. En fachada Norte y Sur los aleros, y los espacios intermedios atenúan la incidencia de los rayos solares. Al Este y al Oeste, las salientes verticales protegen del sol bajo, en la mañana y en la tarde. La vegetación externa participa en la protección solar, así como toldos, postigos, cortinas y persianas.

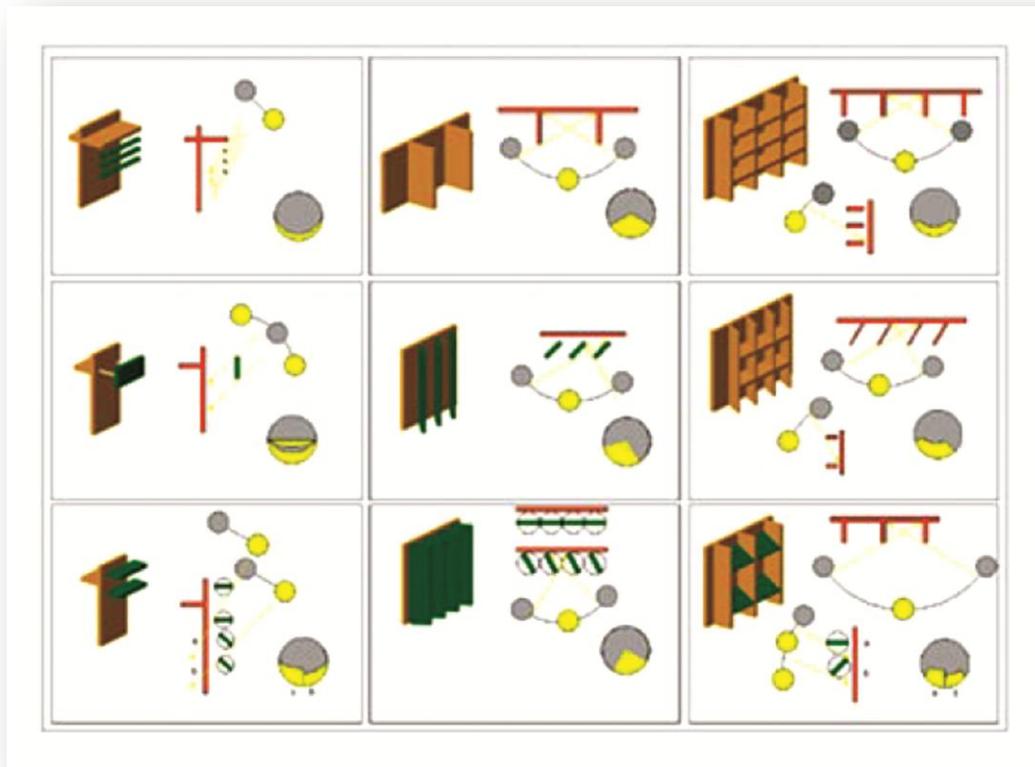


Figura VII. 3.: Sistema modular de lamas.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

La altura y el azimut del sol varían según el día y la hora, así como las sombras proyectadas. Para estudiar la protección de paredes y aberturas de un edificio de la radiación solar, es indispensable conocer la localidad, el movimiento del sol, y las sombras. Lo ideal es elaborar diagramas solares, para conocer el comportamiento durante todo el año. La eficacia del sistema dependerá de la pertinencia en la elección del dispositivo en función de la orientación de la superficie a proteger y de su buen dimensionamiento.

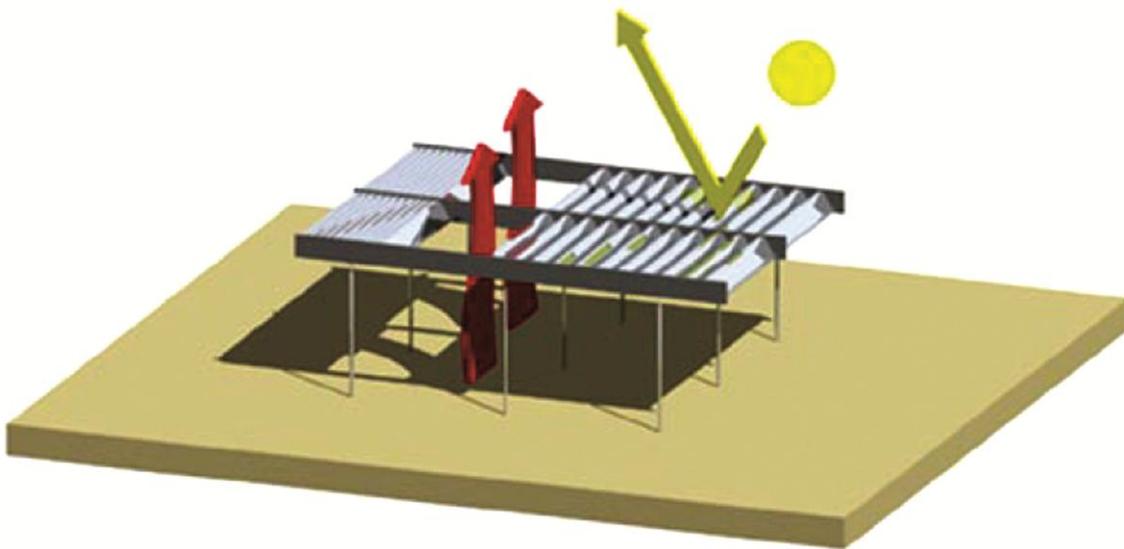


Figura VII. 4.: Protección solar y Ventilación.

### VII. 2. 2. La Vegetación.

La vegetación permite dar sombra, filtrar el polvo en suspensión, hacer de pantalla a los vientos al mismo tiempo que favorece la ventilación, limpia la atmosfera, oxigena el aire y lo refresca por evapotranspiración.

La vegetación participa en la protección solar, aportando sombra y creando un microclima. La escogencia de las especies es importante, porque la calidad de la sombra depende de la densidad del árbol. El follaje de un árbol puede filtrar del 60 a 90% de la radiación solar y un buen tapiz vegetal reduce la radiación solar reflejada.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

La vegetación es una herramienta eficaz de protección solar y de control de la radiación: permite estabilizar la temperatura del aire por retención de agua en sus hojas y por evaporación de agua en la superficie. Cuando el agua entra en contacto con el aire caliente no saturado, se producen dos fenómenos: sucede un intercambio de calor entre el aire y el agua, y por otra parte la evaporación baja de temperatura del aire, al extraer la energía necesaria para su evaporación. Impide a la temperatura nocturna bajar bruscamente y mantiene la temperatura diurna más baja que la atmosfera.

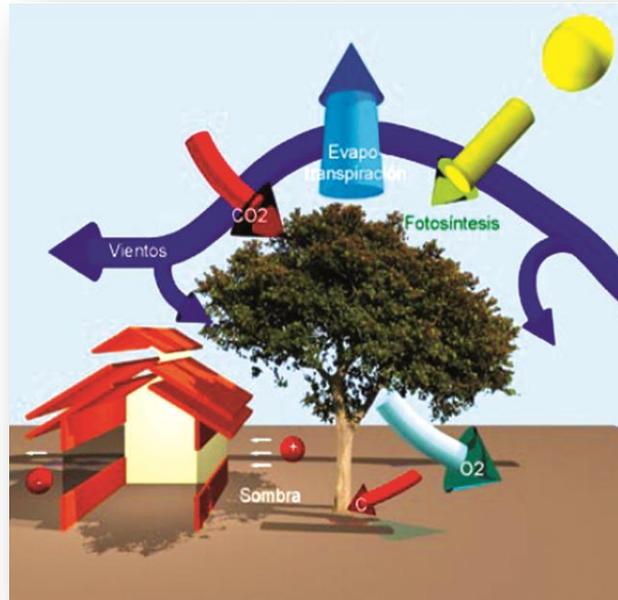


Figura VII. 5.: Influencia de la vegetación.

La vegetación crea un microclima con temperaturas más bajas y un grado de hidrometría más elevado. Esto permite acercarse al nivel de bienestar más adecuado.

La vegetación acciona sobre la calidad del aire captando el carbono por el fenómeno de la fotosíntesis, que lo transforma en oxígeno.

La vegetación impide el recalentamiento del suelo y su evaporación, permite controlar la erosión, atenúa los ruidos circundantes y regula la circulación del viento alrededor de las construcciones. Las plantaciones crean zonas de altas y bajas presiones, favoreciendo la circulación del viento entre las construcciones. Los árboles que juegan un papel protector solar, deben tener troncos altos para no frenar la circulación del viento.



Figura VII. 6.: Microclima urbano.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Por otro lado en los lugares de climas húmedos, existe el problema de que la sobreabundancia de vegetación alrededor de las construcciones, presenta un problema para su mantenimiento.

Las plantaciones cercanas a las construcciones, disminuyen la radiación solar directa, reflejada y difusa. Si además se suma una fuente de agua, se crea un microclima refrescante. Los espacios exteriores contiguos a la construcción, necesitan un tratamiento climático. La buena ventilación se logra con la buena orientación de los espacios externos, hacia los vientos dominantes. Se recomiendan por lo menos tres metros de vegetación contigua al edificio y 2/3 de pantallas solares en la periferia.

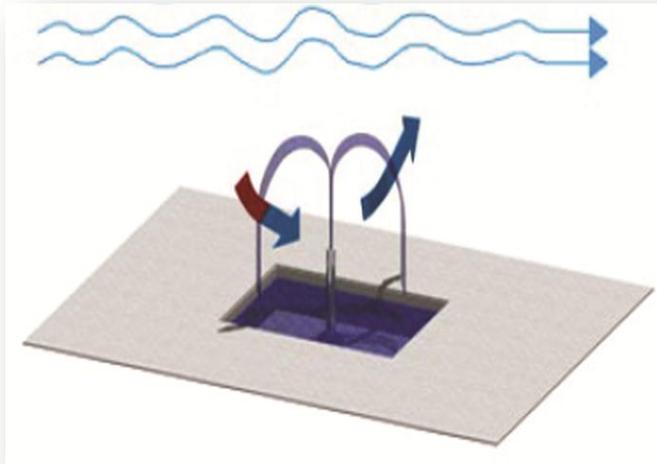


Figura VII. 7.: Microclima refrescante.

El análisis urbano permite explotar el potencial del sitio, ligado al contexto urbano. La topografía y el ambiente de proximidad del sitio influyen también la ventilación natural de los edificios.

### VII. 3. Características del viento.

Las características del viento varían en función del ambiente, de la rugosidad del suelo, de la estratificación térmica y de la altura. El viento característico de un sitio se define por la combinación de su velocidad y de su intensidad de turbulencia.

Los obstáculos próximos a los edificios influyen la ventilación de los edificios. Los efectos varían según la distancia, la altura, la porosidad, la posición del edificio en relación al obstáculo y el volumen de las construcciones. La geometría y el volumen de la construcción también producen variaciones en el viento. La desviación de los fluidos, esta también ligada a la turbulencia existente del viento.

La velocidad y la orientación del viento alrededor de un edificio, difieren de las del viento meteorológico. Los alrededores pueden frenar o bien acelerar la brisa natural, porque existen zonas de alta y baja presión.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

La ventilación natural se inscribe en la concepción global del edificio. En climas húmedos es necesario eliminar el máximo de obstáculos para que el aire circule fácilmente. La ventilación cruzada se produce de la fachada de alta presión a la de baja presión. Esta diferencia de presión se debe al viento o bien a una diferencia de temperaturas entre la fachada en sombra y la fachada soleada.

### **VII. 4. Protección contra el viento.**

El comportamiento de una casa construida de forma convencional es tal que sus pérdidas térmicas debido a la infiltración pueden ser 2.5 veces mayores con un viento de 40 km/h que las contabilizables a 10 km/h.

Puesto que las pérdidas térmicas por renovación de aire pueden llegar a constituir la mitad de las pérdidas totales, los sistemas de protección de viento tendrán un efecto importante en el comportamiento del edificio.

Para una mayoría de profesionales, una ventilación natural significa la incorporación de grandes ventanales que cuando están abiertos admiten un suficiente caudal de aire para refrigerar la vivienda y las personas. Limitados a esta idea no es de extrañar la tendencia a obviar el planteamiento de la ventilación natural, ya que este concepto lleva aparejado importantes desventajas; su costo, la dificultad de controlar el sobrecalentamiento de unos ventanales expuestos al sol y sobre todo, que cuando más calor hace y cuando más esperamos que la ventilación nos provea de confort, es cuando abrir las ventanas provoca un efecto aún más negativo.

Con una superficie de ventanas del orden del 10% de la superficie en planta, es posible conseguir del orden de 30 renovaciones por hora con lo que dependiendo de la inercia térmica del edificio, llegaríamos a conseguir una temperatura interior uno o dos grados mayor que la del exterior.

Curiosamente, este caudal de aire capaz de enfriar la casa difícilmente creara velocidades de viento dentro, superiores a 0,025 m/s, insuficientes para afectar la sensación de confort.

Por debajo de los 28°C y 75% de humedad relativa una velocidad de aire de 1 m/s es todo lo que necesitamos para entrar dentro del ámbito del confort.

De los sistemas de ventilación actuales, el ventilador de techo es el más eficaz, con un consumo que oscila entre los 50W y los 100W según funciones a baja o alta velocidad.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

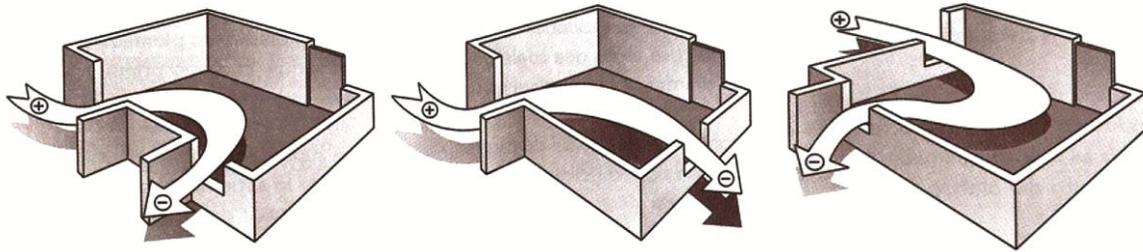


Figura VII. 8.: Los elementos adosados al exterior de las ventanas, crean zonas de presión positiva y negativa que provocan una ventilación razonablemente efectiva.

### VII. 5. Principios del flujo de viento en un hecho arquitectónico.

Entender el comportamiento del flujo de aire alrededor de un edificio es básico para diseñar adecuadamente un sistema de ventilación.

Según la figura, el edificio crea una zona de presión positiva a barlovento que obliga al viento a dirigirse hacia los laterales aumentando su velocidad y creando zonas de succión o presión negativa. En la zona de sotavento, se crea un remolino que también provoca una zona de succión, aunque menos potente que en los laterales.

Con ese patrón básico de presiones podemos adelantar que con unas entradas de aire en la zona de presión positiva y unas salidas en la de presión negativa, tendremos garantizado que el aire circule por la vivienda.

Este flujo natural se puede adaptar a nuestras necesidades de ventilación con una entrada a barlovento y dos salidas en los laterales. Puesto que el viento puede muy bien incidir con un cierto ángulo, esta configuración de ventanas en tres paredes adyacente mejora sensiblemente la ventilación cruzada. (Sevilla, A. *Manual de Arquitectura*, 2000)

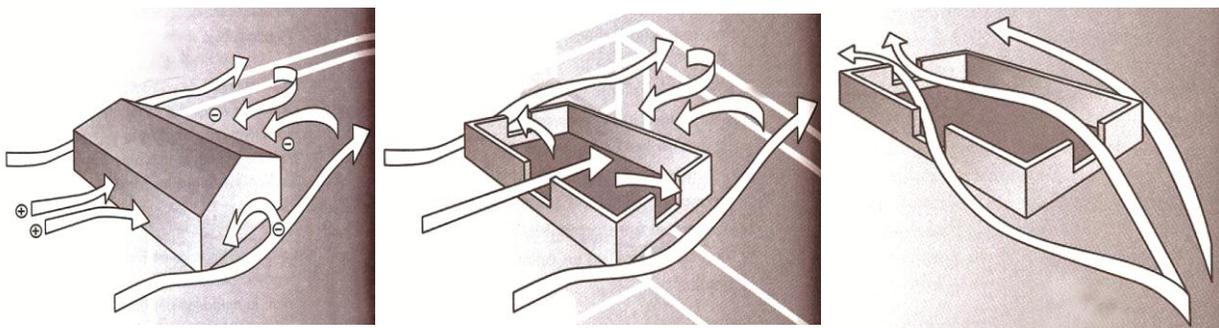


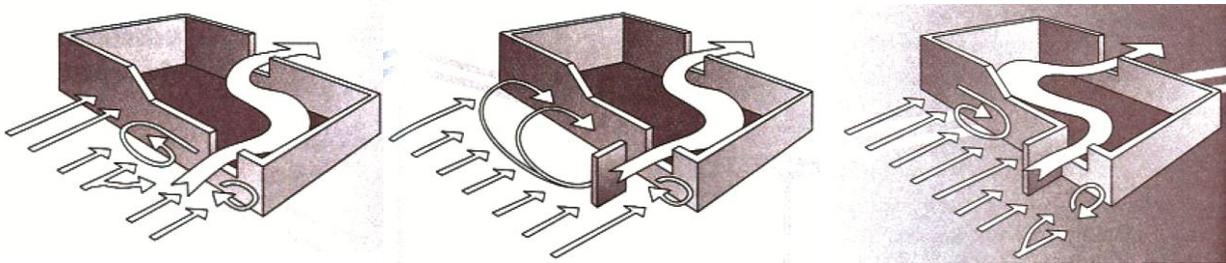
Figura VII. 9.: Zonas de presión positiva y negativa, con el viento incidiendo por una esquina, se consigue una óptima ventilación.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### VII. 5. 1. Construcciones con una sola pared de ventilación.

Aunque la pared este a barlovento por muchas ventanas que tengamos, difícilmente conseguiremos una ventilación apropiada a no ser que mediante algún artilugio como contraventanas o parasoles, creemos zonas de diferente presión.

Por más que la eficacia de estos diseños este más que probada, no está de más mencionar que su efectividad está limitada al mantenimiento de una dirección de viento, que garantice que una ventana se encuentre en zona de presión positiva y la otra zona negativa por lo que una sola ventana, no hace ningún efecto.



Figuras VII. 10.: Las protecciones exteriores modifican el flujo interior.

### VII. 5. 2. Efecto de mallas mosquiteras o similares.

La reducción del caudal de aire que inducen las mallas o cortinas anti insectos es proporcional a su espesor. O sea, en condiciones normales limitan drásticamente la efectividad de la ventana. De usarse, cuanto más alejado este la malla del hueco de la ventana, menor será su efecto de bloqueo.

### VII. 6. Análisis de las ventanas.

#### VII. 6. 1. Situación.

Situada en el centro de la pared, el aire que entra por la ventana mantiene su flujo una distancia próxima al tamaño de la ventana y a continuación, se disipa.

Si la ventana se coloca cerca del techo o de alguna pared, el flujo de aire tiene tendencia a circular “barriando” estas superficies.

Puesto que la estrategia general es la de enfriar el edificio, las ventanas situadas cerca de alguna pared del techo, son más efectivas que las situadas en el centro.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

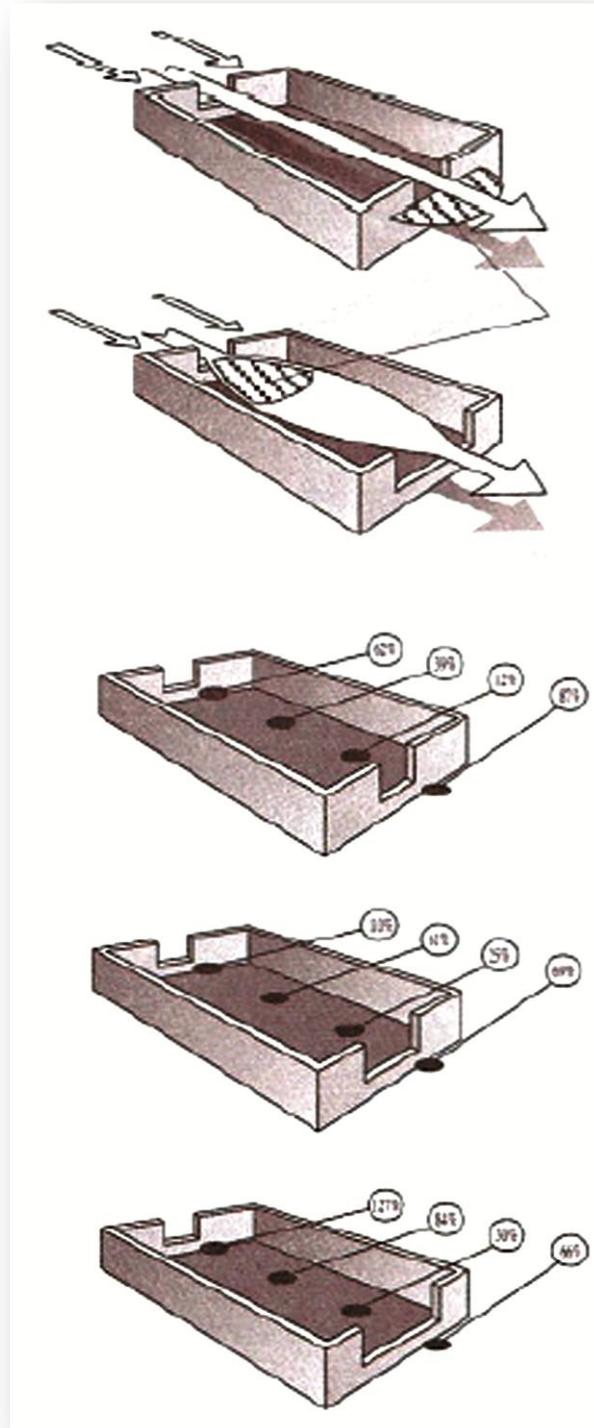
En cuanto a la ventana de salida y puesto que seguimos optando por el enfriamiento de la habitación, debe instalarse de forma que provoque un cambio de dirección a fin de acelerar la mezcla de aire y el enfriamiento de las superficies.

### VII. 6. 2. Tamaño.

Dejando aparte el cálculo de cual deberá ser el tamaño para garantizar el flujo, dejemos que en todo caso, para una determinada superficie es mejor diseñar ventanas de entrada y salida de igual tamaño de cara a maximizar el flujo de aire.

### VII. 6. 3. Forma.

Aunque la literatura no llega a ponerse de acuerdo en la cuantía, sí que lo hace en lo básico. Una ventana alargada en su longitud horizontal, no solo induce más flujo sino que lo hace sobre un mayor ángulo de incidencia de la dirección del viento.



Figuras VII. 11.: Según las dimensiones relativas de las ventanas de salida, tendremos unas velocidades interiores.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

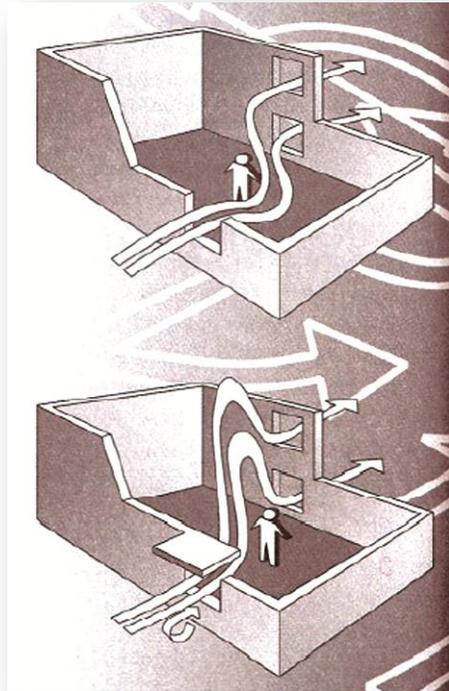
### VII. 7. Ventilación natural.

Convenientemente diseñado, la ventilación natural puede aportar una parte substancial de las necesidades de refrigeración de la edificación.

Es más, en algunos lugares, las condiciones climatológicas son tales que para conseguir el confort, la estrategia más válida y eficaz, es la de ventilar la vivienda.

Así pues, dedicaremos un esfuerzo especial al análisis de aquellas estrategias que nos permitan canalizar el viento de forma adecuada a nuestras necesidades.

Figuras VII. 12.: Los cambios de dirección barren más área pero disminuye la velocidad



### VII. 8. Estrategias.

Con ser muchas las ventajas de la ventilación natural no podemos obviar que para las condiciones de clima existente y para el tipo de edificación medio, el manejo apropiado de la ventilación no es inmediato.

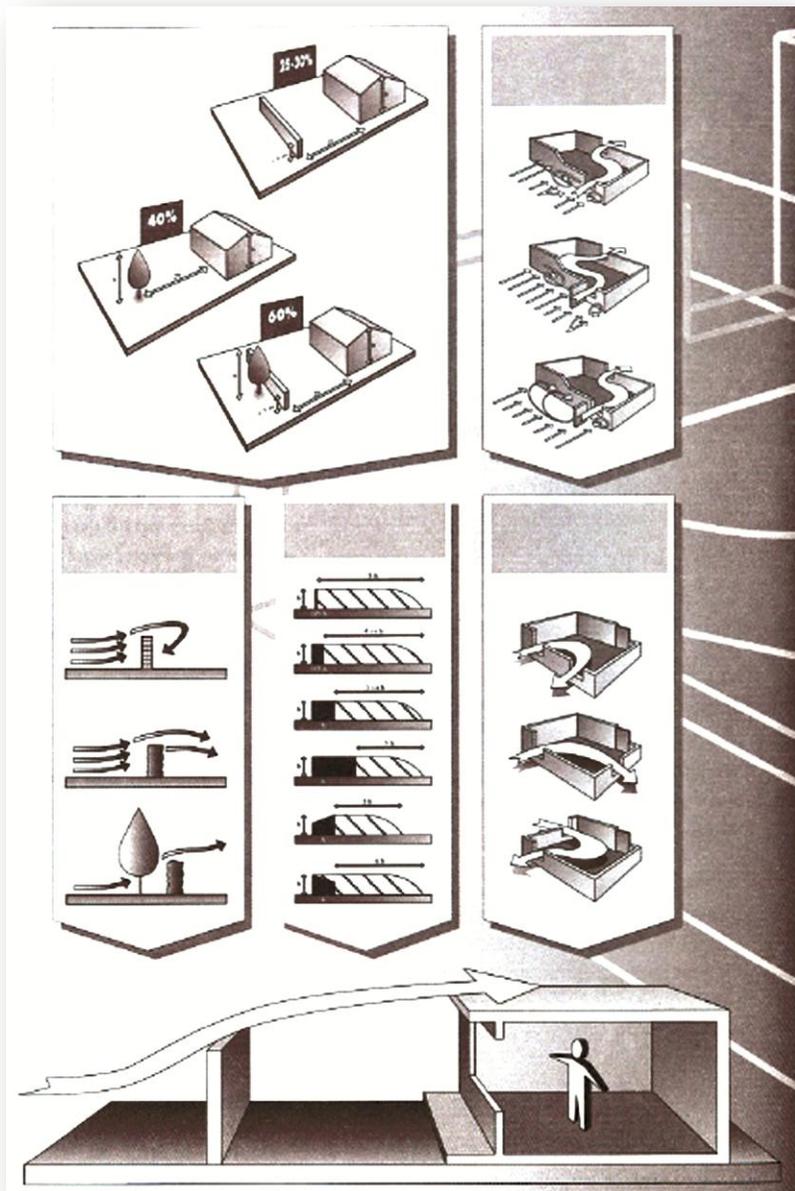
Hay que procurar esas 30 renovaciones por hora, pero solo cuando la temperatura exterior sea inferior a la de la edificación. Durante el día utilizaremos los ventiladores de techo para mover el aire y por la noche, servirán para inducir el flujo deseado.

A modo de resumen, podemos usar las siguientes estrategias:

- **Orientación y forma del edificio.-** Un edificio rectangular de la anchura de una habitación con su eje situado perpendicular a los vientos dominantes, facilita la estrategia de ventilación natural. Lo contrario es igualmente válido para protegerlo del viento.
- **Setos y muros.-** Árboles, arbustos, muros, etc., son elementos a nuestro alcance para mejorar nuestro esquema de ventilación, especialmente en aquellos casos en los que el edificio no está orientado de forma óptima.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- **Orientación de las ventanas.-** Para conseguir una ventilación completa de la habitación hay que situar la ventana de salida de forma que el viento debe hacer algún cambio de giro.
- **Diseño de las ventanas de entrada.-** La circulación por el interior de la habitación está regulada de forma primordial, por la situación de la ventana, su forma geométrica y el que tenga o no elementos de protección.
- **Diseño de las ventanas de salida.-** Las ventanas de salida permiten diseñar los cambios de dirección y regulan primordialmente la velocidad del aire que circula por el interior.



Figuras VII. 13.: Protección del viento para reducir infiltraciones de aire, la refrigeración por ventilación natural puede controlarse mediante vegetación exterior y un diseño de ventanas adecuado.

**CAPITULO VIII**  
**NOCIONES DE CLIMA.**

## **CAPITULO VIII NOCIONES DE CLIMA.**

### **VIII. 1. Variables climáticas.**

El clima es una integración en tiempo, de los estados físicos del ambiente y caracteriza un lugar geográfico determinado. El tiempo es el estado momentáneo del ambiente atmosférico en un lugar determinado. Antes de tratar los diferentes tipos de clima tenemos que conocer los factores que lo forman a escala global. Estos factores climáticos, influenciados por la radiación solar, son fundamentalmente la temperatura, la humedad del aire y la velocidad del viento.

#### **VIII. 1. 1. Temperatura del Aire.**

El aire deja pasar fácilmente el calor y es transparente a las ondas electromagnéticas cortas. La temperatura del aire, no es consecuencia directa de los rayos del sol. La temperatura del aire es consecuencia de un complejo balance energético por el cual la radiación que llega al suelo (de la cual una parte es absorbida) se trasforma en calor, elevando su temperatura y finalmente calentando el aire.

El resultado es que la temperatura de aire comienza a elevarse a partir de la salida del sol llegando a un máximo de tres horas después de paso del sol por el meridiano. A partir de este momento el balance comienza a ser negativo y se pierde energía por radiación hacia las altas capas de la atmosfera. En climas cálidos húmedos la amplitud térmica es pequeña, a diferencia de lo que sucede en los climas cálidos secos donde la variación puede ser superior a los 30°C.

La temperatura del aire depende también de la latitud, pues esta determina la cantidad de radiación solar diaria y anual, así como también de la proximidad al mar o a zonas húmedas y de la altitud.

#### **VIII. 1. 2. Humedad relativa del Aire**

Se refiere al contenido de vapor de agua de la atmosfera. El vapor de agua se incorpora al aire por evaporación (de los mares, superficies húmedas, lagos, ríos) luego es transportado y distribuido sobre la superficie de la tierra por los vientos. La capacidad del aire de retener vapor de agua se incrementa con la temperatura, es decir, mayor en zonas ecuatoriales y menor hacia los polos. La humedad relativa es una forma útil de expresar la humedad absoluta, ya que es la relación entre la humedad contenida por el aire y la máxima que podría contener a igual temperatura y presión, la cual se mide en porcentaje.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

El bienestar térmico está influenciado básicamente por la relación entre la humedad y la temperatura. El aire caliente y húmedo es sofocante, por lo que para climas cálidos y húmedos es necesaria la circulación del aire para renovar con aire excesivamente seco produce una sensación de enfriamiento y se reduce la tolerancia del hombre para resistir temperaturas altas, es por ello que en los climas fríos y/o cálidos secos es necesario humedecer el aire para obtener confort.

### **VIII. 1. 3. Viento.**

Los vientos son corrientes horizontales en la atmosfera, causadas por las diferencias de temperatura y presión atmosférica, originadas a su vez por el calentamiento desigual de la superficie terrestre. Mientras de un lado de la tierra el sol calienta el suelo, el aire y el agua, del otro lado de la tierra, que no está recibiendo radiación solar, todo se enfría por la irradiación del calor al espacio.

Existen además características locales que determinan la aparición de corrientes de aire o vientos locales. En las periferias urbanas la velocidad es mayor que en las zonas urbanas densas. Sin embargo es estos centros el aire puede encauzarse entre los edificios, canalizándose por las calles donde no encuentre obstáculos y alcanzar altas velocidades. Su velocidad y dirección son impredecibles para su caracterización, y es muy diferente de la que se registra en las estaciones meteorológicas que se encuentran siempre en los espacios abiertos.

### **VIII. 2. Tipos de clima.**

Existe una amplia variedad de climas, con denominaciones también muy variables según la clasificación climática empleada. En general, las clasificaciones climáticas establecen determinadas categorías definidas por una serie de condiciones sobre parámetros climáticos, para definir ya sean los ecosistemas o las franjas geográficas latitudinales.

La clasificación de Koppen es la más difundida entre los geógrafos y, por tanto, necesaria para comprender la bibliografía referente a esta temática. El clima según la clasificación de Koppen queda caracterizado por un grupo, el subgrupo y la subdivisión. Los datos necesarios para definir el clima según Koppen son básicamente la temperatura y las precipitaciones. En la tabla VII. 1. se puede ver toda la tabla de clasificación según este autor.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

		Humedad					
Temperatura		S	W	f	m	w	s
A	Tropical	-	-	Ecuatorial Af	Monzónico Am	Sabana Aw	Sabana As
B	Árido	Estepario BS	Desértico BW	-	-	-	-
C	Templado	-	-	Pampeano o chino Cfa, Oceánico Cfb	-	Pampeano Cwa, Cwb	Mediterráneo Csa, Oceánico de veranos secos Csb
D	Continental	-	-	Continental Dfa, Dfb, Subártico Dfc, Dfd	-	Manchuriano Dwa, Dwb	-
		T		F		H	
E	Frío	Tundra ET		Polar EF		Alta montaña H	

Tabla VIII. 1.: Clasificación de Koppen.

### VIII. 2. 1. Clima tropical (A)

Se caracteriza porque todos los meses tienen una temperatura media superior a los 18°C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación. Bajo estas condiciones se da el bosque tropical. La segunda letra en los subgrupos hace referencia al régimen de precipitaciones.

### VIII. 2. 2. Clima árido o seco. (B)

Se caracteriza porque las precipitaciones anuales son inferiores a la evaporación. En este tipo de climas la segunda letra de los subgrupos explica el grado de aridez y la tercera letra explica las temperaturas.

### VIII. 2. 3. Clima templado. (C)

Se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor de 18°C y superior a -3°C, y la del mes más cálido es superior a 10°C. Las precipitaciones exceden a la evaporación. Es el clima donde se han formado los bosques meso térmicos. En esta clasificación la segunda letra de los subgrupos explica el régimen de lluvias y la tercera

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

letra explica el comportamiento de las temperaturas. En este tipo de clima la variación de las condiciones climáticas es más suave pero hace del sujeto de estudio un problema más complejo.

La arquitectura tiene mayor variedad que en los climas extremos y las respuestas arquitectónicas dependen más de los aspectos tecno constructivos. Se presentan distintos problemas al mismo tiempo: el invierno puede ser frío seco o frío húmedo. Tiene épocas intermedias en las que puede presentarse excesos de frío o calor por cortos periodos de tiempo.

### **VIII. 2. 4. Clima continental o templado frío (D)**

Se caracteriza porque la temperatura media de mes más frío es menor de  $-3^{\circ}\text{C}$  y la del mes más cálido es superior a  $10^{\circ}\text{C}$ . Las precipitaciones exceden a la evaporación. Es el clima donde se dan los bosques micro térmicos. En esta clasificación la segunda letra de los subgrupos explica el régimen de lluvias y la tercera letra explica el comportamiento de las temperaturas.

### **VIII. 2. 5. Clima frío (E)**

Se caracteriza porque la temperatura media del mes más cálido es inferior a  $10^{\circ}\text{C}$ . Es un clima excesivamente frío por lo que las estaciones desaparecen.

## **VIII. 3. El clima de Bolivia.**

Las clasificaciones que se han realizado sobre el clima de Bolivia son múltiples. Una de las más difundidas es, como se ha mencionado en acápites anteriores la clasificación de Köppen, según la cual se tiene:

### **VIII. 3. 1. Climas lluviosos tropicales (A)**

Clima tropical siempre húmedo (Af)  
Clima tropical húmedo con corta sequía (Am)  
Clima tropical de sabana con invierno seco (Aw)

### **VIII. 3. 2. Climas secos (B)**

Clima de estepa con invierno seco y frío (Bswk)  
Clima de estepa con invierno seco y caliente (Bswh)  
Clima de estepa con invierno seco y muy caliente (Bswh)

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### VIII. 3. 3. Climas meso térmicos o templados (C)

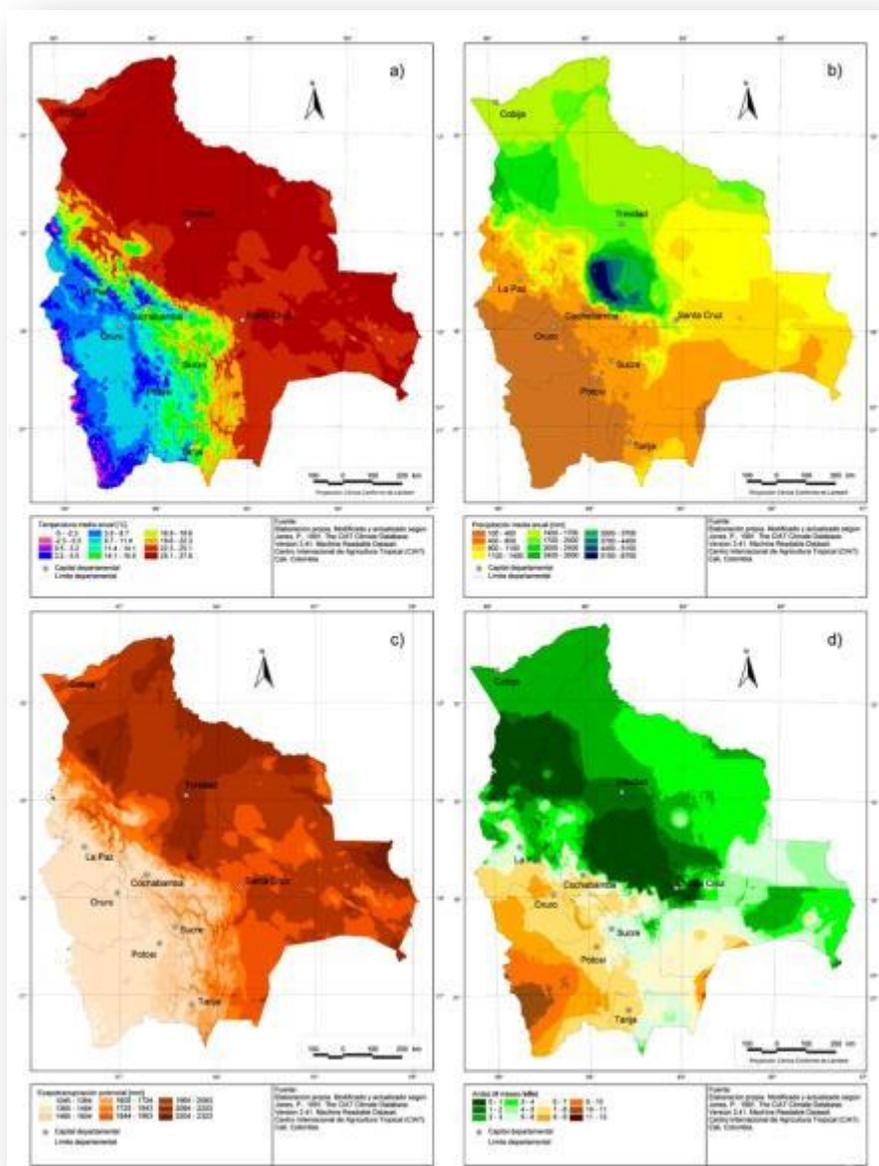
Clima templado con invierno seco y caliente (Cwa)

Clima templado con invierno seco frío (Cwb)

### VIII. 3. 4. Climas fríos (E)

Clima de tundra (ET)

Clima de alta montaña.



Figuras VIII. 2.: Mapas climatológicos de Bolivia. a) Patrones de temperatura media anual. b) Patrones de la precipitación media anual, c) Evapotranspiración potencial calculada según fórmulas de Thornwaite (1948), d) Isohigromenas según la fórmula de Lauer (1952).

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

### **VIII. 4. Distritos biogeográficos en Bolivia.**

Sin embargo, existe una clasificación más generalizada por su sencillez y que considera como factor principal la altitud de cada zona geográfica tradicional del territorio boliviano. Esta clasificación define el clima en tres zonas: el clima de la zona andina, el clima de la zona sub andina (valles, quebradas y yungas) y el clima tropical de los llanos. Dentro de cada uno de ellos se puede insertar alguno o varios de los clasificados según Koppen.

#### **VIII. 4. 1. El clima de la zona andina.**

Este clima se puede sub clasificar en tres: el clima de la cordillera Occidental, el del altiplano o meseta andina y el de la cordillera Real u Oriental.

#### **VIII. 4. 2. El clima de la cordillera Occidental.**

Se caracteriza por un clima muy frío, donde las precipitaciones pluviales son muy escasas en esta zona.

#### **VIII. 4. 3. El clima del altiplano o meseta andina.**

Se caracteriza también por ser frío debido a la falta de vegetación y carece de humedad atmosférica, posee escasos niveles de evaporación debido a su altitud con respecto al nivel del mar, que alcanza los 6000 msnm. Su temperatura mínima puede llegar alcanzar los 26°C bajo cero.

#### **VIII. 4. 4. El clima de la cordillera Real u Oriental.**

Esta zona es muy fría en su zona occidental, debido a los vientos que vienen del Pacifico. Las precipitaciones son importantes, lo que influye en la presencia de grandes masas de vegetación como la zona de los Yungas.

#### **VIII. 4. 5. El clima de los valles y quebradas.**

Es un clima templado con temperaturas medias anuales entre los 14°C y 18°C. Algunos de estos valles están situados en la subpuna presentan temperaturas medias mayores a los 20°C, con lluvias abundantes y vegetación exuberante.

#### **VIII. 4. 6. El clima de la yunga.**

Se diferencia de los valles por poseer menor altitud, es decir menores a 3000 msnm., pudiendo llegar a los 700 msnm. Son más cálidos que los valles y poseen humedades

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

mucho mayores y altas precipitaciones pluviales. Las temperaturas máximas de esta zona pueden tener máximas extremas que pueden alcanzar los 35°C.

### **VIII. 4. 7. El clima de la zona subandina.**

Esta zona climática agrupa las siguientes subzonas:

- Región tropical de sabana, con temperaturas medias entre 22°C y 26°C.
- Región tropical de selva, las temperaturas llegan a ser de 26°C a 28°C y se acentúan por su sequedad en la zona del sur.
- Región tropical del bosque, las temperaturas bordean los 38°C o más.
- El clima de los llanos del norte o de la amazona, con alturas que no superan los 500 msnm., presenta altas precipitaciones que pueden producirse prácticamente todo el año.
- El clima de los llanos del centro o de Chiquitos, existen áreas de bosque frondoso y humedad elevada, con temperaturas medias de hasta 26°C y abundantes lluvias en verano.
- El clima de los llanos del sur o de la Plata, la temperatura media anual es de 30°C y llega a presentar temperaturas máximas de entre 40°C y 45°C en verano y mínimas de 3°C bajo cero en invierno, estas últimas influenciadas por los vientos del sur. Las lluvias son intensas aunque van disminuyendo conforme se desciende hacia el sur.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

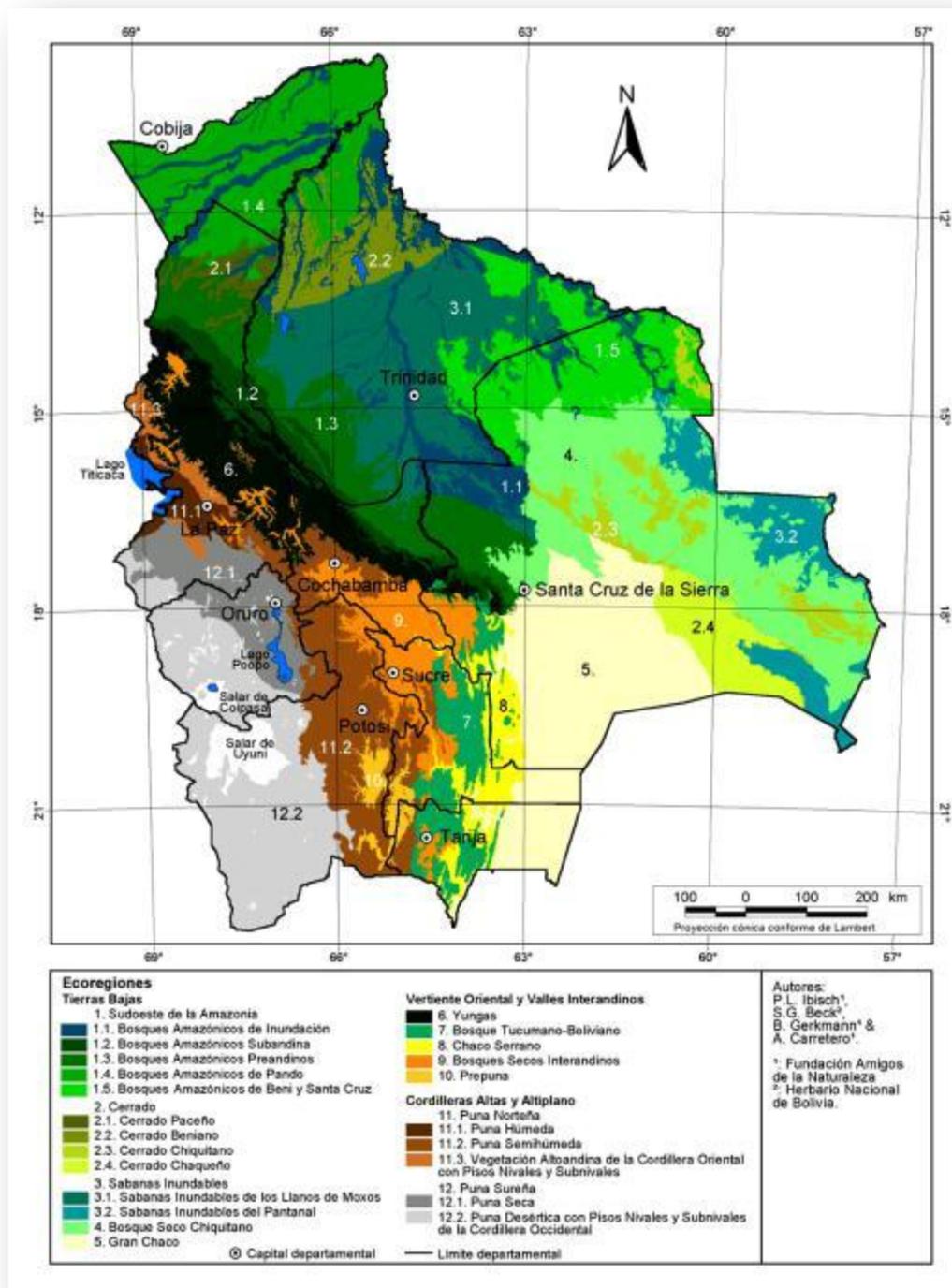


Figura VIII. 3.: Mapa de las eco regiones de Bolivia.

**CAPITULO IX**  
**CARACTERIZACIÓN CLIMATICA DE**  
**COCHABAMBA.**

## **CAPITULO IX**

### **CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE COCHABAMBA.**

#### **IX. 1. Introducción.**

El clima es uno de los factores que inciden de manera más importante en las condiciones de confort térmico, de allí la importancia de tener un conocimiento claro y preciso de las características climáticas de lugar de emplazamiento de un proyecto cualquiera.

En nuestro caso particular el análisis climático de Cochabamba se hace indispensable, pues es a partir de este análisis que se determinaran los requerimientos bioclimáticos de confort térmico, es decir, las condiciones que debiera cumplir cualquier edificio para proporcionar a sus usuarios el bienestar térmico al cual tanto nos hemos referido.

En el presente capítulo, efectuaremos el análisis climático de la ciudad de Cochabamba, empleando para ello las estadísticas meteorológicas de la ciudad y utilizando las herramientas de evaluación del confort térmico. Al concluir este análisis habremos determinado las necesidades bioclimáticas de la ciudad de Cochabamba y tendremos la base principal del análisis del comportamiento térmico de las edificaciones seleccionadas.

La ciudad de Cochabamba se halla ubicada en el Municipio de Cochabamba (sección capital de la provincia del Cercado). Su radio urbano abarca cinco de los ocho distritos municipales correspondientes a la sección. Se constituye en el centro poblado más importante del departamento y aglomera al 85,93% de la población total de la sección municipal, en contraposición, su extensión territorial abarca tan solo el 1,81% de la superficie total del municipio.

#### **IX. 2. Análisis climático.**

El clima está conformado por numerosos parámetros, sin embargo los que inciden más directamente en el confort térmico son: Temperatura, radiación, humedad y velocidad del aire.

Para efectuar el presente estudio se han empleado las estadísticas meteorológicas de un periodo de 10 años correspondiente a la estación Cochabamba- aeropuerto, que presenta datos más complejos con relación a la estación Cochabamba-ciudad. La estadística meteorológica para las dos estaciones locales se hallan insertadas en él.

Para poder emplear los índices de valoración del confort térmico requeriremos los valores mensuales de temperatura máxima, mínima y media, así como la humedad relativa, las

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

precipitaciones y los vientos, que son los parámetros que se detallan a continuación en la tabla 5 (y corresponden a la media de los valores para un periodo de 10 años).

Parametros Ambientales	Unid.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total-Extrema
														Promedio
Temperatura Máxima Extrema	°C	35,6	31,8	32,0	33,4	31,0	30,0	29,8	30,6	32,0	33,2	34,5	34,8	E. 35,6
Temperatura Máxima Media	°C	24,5	24,1	24,8	25,6	25,0	24,0	24,0	25,1	26,1	27,2	27,0	25,5	P. 25,2
Temperatura Media Ambiente	°C	19,1	18,7	18,8	18,3	16,1	14,8	14,5	16,4	18,6	20,5	20,4	19,8	P. 18,0
Temperatura Mínima Media	°C	12,1	11,9	10,9	8,4	3,9	1,4	1,4	3,9	7,3	9,9	11,4	12,0	P. 7,8
Temperatura Mínima Extrema	°C	4,8	5,1	2,0	-1,2	-4,8	-5,2	-5,2	-5,6	-3,2	0,1	3,6	5,2	E. -7,0
Humedad Relativa	%	57	60	56	49	42	39	38	38	38	38	44	51	P. 45
Direc. Prev. y Vel. Media del Viento	nudos	NW-2	NW-2	SE-2	SE-1	C-0	C-0	C-0	C-0	N-3	N-3	SE-3	SE-2	P. SE-2
Precipitación Total	mm.	124,6	99,8	64,9	17,2	5,3	1,8	1,8	5,4	7,0	16,9	46,1	91,9	T. 482,4
Días con Precipitación		15	14	10	4	1	1	1	1	2	5	7	13	T. 73,4

Tabla IX. 1.: Parámetros Ambientales de Cochabamba.

### IX. 2. 1. Temperaturas

Las temperaturas presentan una gran oscilación térmica, sin embargo se puede apreciar que las medias están cercanas a la condiciones de confortabilidad.

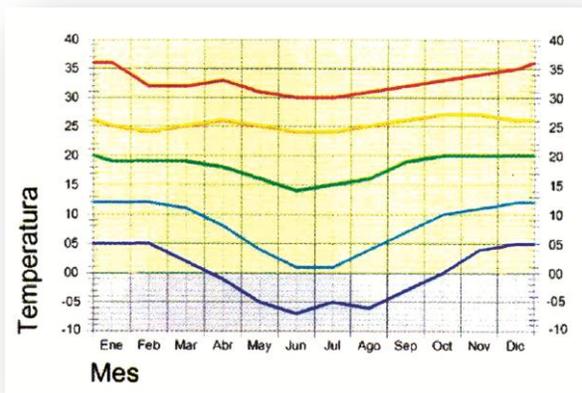
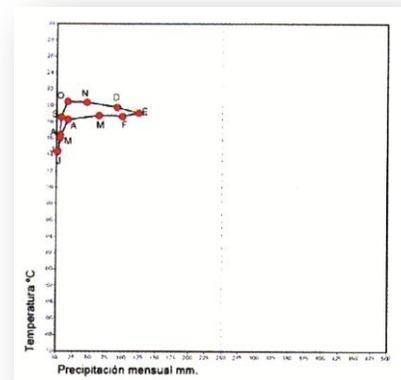


Gráfico IX. 2.: Temperaturas de Cochabamba.

### IX. 2. 2. Hiterógrafo.

Bioclima de tendencia tropical continental de valle. Templado de mediana fluctuación térmica los meses de verano y alta fluctuación los meses de invierno. De baja intensidad pluviométrica concentrada en la estación de verano.

Gráfico IX. 3.: Hiterografía de Cochabamba.

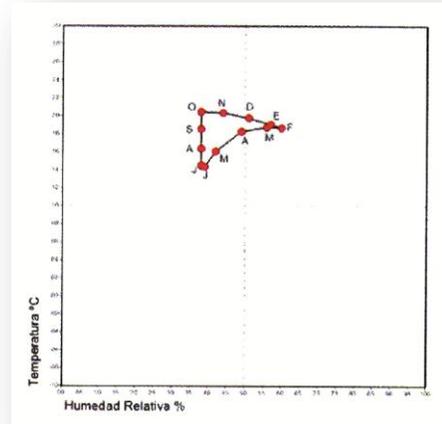


## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### IX. 2. 3. Climógrafo.

Presenta clima templado, seco con alta diferencia de humedad relativa anual. Por la tendencia del clima continental, los periodos de mayor humedad coinciden con el periodo de precipitaciones.

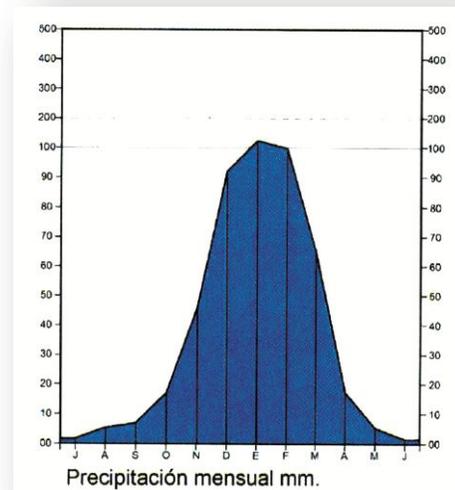
Grafico IX. 4.: Climografía de Cochabamba.



### IX. 2. 4. Precipitación total.

Clima con precipitación baja, de unos 482 mm. Anuales, predominante en la estación de verano. El mes de Enero supera los 100mm. La estación de invierno se considera muy seca por la ausencia de lluvias en la zona.

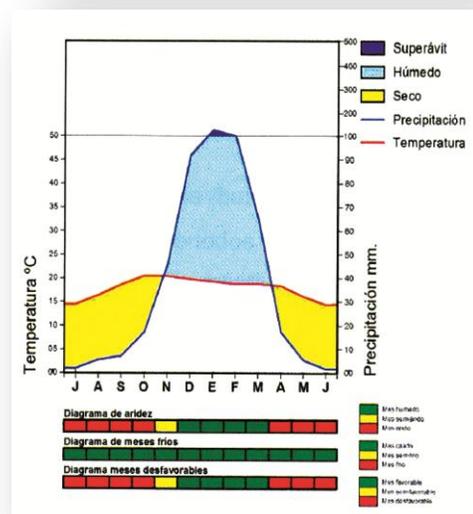
Grafico IX. 5.: Precipitación de Cochabamba.



### IX. 2. 5. Ombrotermica.

Clima compuesto, de Abril a Octubre seco, Noviembre a Marzo húmedo con superávit en Enero y Febrero. El índice de Martonne califica como árido de Abril a Octubre, semiárido Noviembre, húmedo Diciembre a Marzo. Térmicamente cálido todo el año. Los factores limitantes térmicos e hídricos definen como desfavorables de Abril a Octubre, semi favorable Noviembre, y favorable de Diciembre a Marzo.

Grafico IX. 6.: Ombrotermica de Cochabamba.



## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### IX. 2. 6. Rosa de los vientos.

La ciudad de Cochabamba se ubica en un gran valle en la cordillera del Tunari, límite de la llanura amazónica boliviana, con características microclimáticas muy especiales. Se encuentra en la latitud 17°24' Sur, y está a 2548 msnm. Se puede definir como clima templado variable con una media anual de 18°C, y una humedad relativa media anual de 45%, la cual puede considerarse como ambiente seco. Un régimen deficitario de precipitaciones con una concentración en el periodo de verano, sin embargo la proximidad de la cordillera y la cercanía a los llanos de la cuenca amazónica incrementan la humedad relativa del aire.

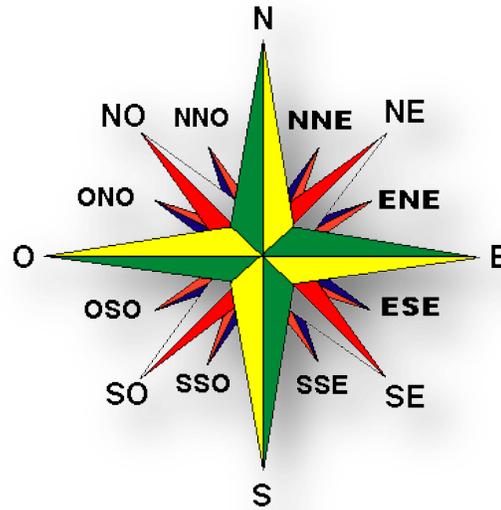


Figura IX. 7.: Rosa de los Vientos.

La baja carga de humedad en el aire hace que las temperaturas sean muy variables en periodos anuales y diarios, la diferencia media anual es de aproximadamente 18°C y que en periodos de invierno puede alcanzar a 23°C.

Presenta una nubosidad media que alcanza los 4/8 de la bóveda celeste, sin embargo los periodos invernales se torna con el cielo descubierto.

El régimen de vientos es turbulento por las características topográficas con una predominancia anual de dirección sureste.

De acuerdo al diagrama bioclimático ombrotermico de Gaussen-Walter, se califica como desfavorable y semi favorable de Abril a Octubre, pero influenciado principalmente por la aridez y no así por la temperatura, los meses de Noviembre a Marzo se consideran favorables.

### IX. 3. Calculo de temperatura y humedad relativa horarias.

Para poder emplear el diagrama psicométrico en la evaluación climática de Cochabamba es necesario obtener los valores correspondientes al comportamiento horario de la temperatura y de la humedad relativa.

Para obtener la temperatura horaria se emplean los valores provistos por la estadística meteorológica para la temperatura máxima (la cual se genera a primeras horas de la tarde, aproximadamente a las tres) y la temperatura mínima (que se da bordeando las

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

seis de la mañana), para ello aplicaremos tres fórmulas básicas, las cuales varían con respecto de los periodos del día, la fórmula 1 corresponde al periodo comprendido entre la media noche y la hora en la que se dé la temperatura mínima (01:00 – 06:00 hrs.), la fórmula 2 se aplica al periodo comprendido entre la hora en que se registra la menor temperatura y la hora en la que se registra la mayor temperatura (07:00 – 15:00 hrs.) y finalmente la fórmula 3 es aplicable al periodo de tiempo entre la hora de mayor temperatura y la media noche (15:00 – 24:00 hrs.).

(1) Periodo de tiempo: 01:00 - 06:00 hrs.

$$T_c = \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - \left( \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right) * \left( \frac{\text{COS}[\pi (H_{\min} - H_c)]}{24 + (H_{\min} - H_{\max})} \right)$$

(2) Periodo de tiempo: 07:00 - 15:00 hrs.

$$T_c = \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - \left( \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right) * \left( \frac{\text{COS}[\pi (H_{\min} - H_c)]}{(H_{\min} - H_{\max})} \right)$$

(3) Periodo de tiempo: 15:00 - 24:00 hrs.

$$T_c = \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - \left( \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right) * \left( \frac{\text{COS}[\pi (24 + H_{\min} - H_c)]}{24 + (H_{\min} - H_{\max})} \right)$$

Figura IX. 8.: Cálculo de temperatura y humedad relativa.

Dónde:

- $T_c$  = Temperatura para la hora de cálculo
- $T_{\max}$  = Temperatura máxima media de la estadística para el mes de cálculo.
- $T_{\min}$  = Temperatura mínima media de la estadística para el mes de cálculo.
- $H_c$  = Hora de cálculo.
- $H_{\max}$  = Hora que se registra la temperatura máxima (15:00).
- $H_{\min}$  = Hora en que se registra la temperatura mínima (06:00).
- 24 = Constante que representa las 24 horas del día.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Para calcular la humedad relativa horaria partimos del concepto de que esta tiene un comportamiento inverso al de la temperatura, es decir: cuando se da la mayor temperatura se registra la menor humedad, y viceversa, para obtener, entonces las humedades horarias a partir de los datos conocidos de humedad relativa media mensual, emplearemos el diagrama psicrométrico de Givoni, el cual incluye las curvas de comportamiento de la humedad. Para ello procederemos de la siguiente manera:

1. Trazamos líneas verticales por los puntos correspondientes a las temperaturas media, máxima y mínima, marcando así el ámbito de comportamiento de la humedad.
2. Posteriormente trazamos una línea horizontal sobre el punto de intersección entre la vertical correspondiente a la temperatura media y la curva típica de la humedad relativa.
3. Finalmente se procederá a la lectura de los valores de humedad relativa que se hallan dados por las intersecciones entre las temperaturas horarias obtenidas y la línea horizontal trazada en el paso (2), relacionando estos puntos con las curvas de humedad relativa.

A manera de ejemplo se muestra, la obtención de humedades relativas horarias para el mes de Junio, en el cual cada "x" roja representa la intersección de temperaturas horarias y humedades.

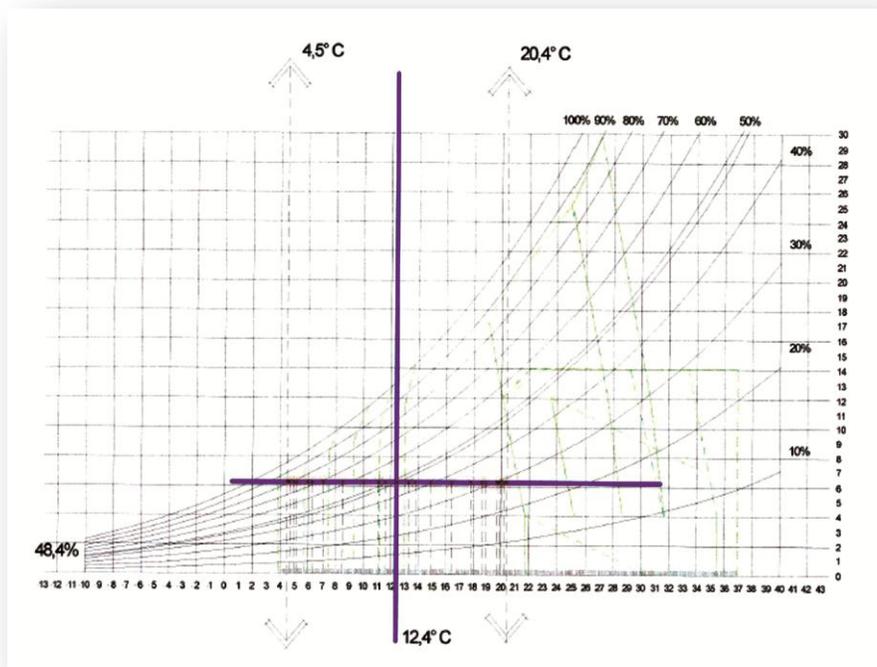


Figura IX. 9.: Diagrama psicrométrico.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Obtenidas así las humedades y temperaturas horarias para todos los meses del año podemos elaborar la tabla IX. 10. síntesis que se muestra a continuación:

hora	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	temp. °C	% HR	temp. °C	% HR	temp. °C	% HR	temp. °C	% HR	temp. °C	% HR														
01-00	14.9	74.8	14.6	78.3	14	78.3	12.2	79.3	8.6	71.8	8.4	70.3	6.4	68.8	8.6	65.1	11.5	66.9	13.7	57.2	14.9	62.8	1.5	59
02-00	13.9	75.3	13.7	82	12.9	80.5	10.9	77.7	7	76.6	4.7	75.2	4.7	73.6	7	68.5	10.1	63.7	12.4	60.6	13.7	66.3	1.4	72.4
03-00	13.1	81.1	12.9	86	12.1	83.7	9.8	81.2	5.7	86.8	3.3	78.4	3.3	77.8	5.7	73.1	8.9	66.8	11.4	63.3	12.7	69.1	13.1	76.2
04-00	12.6	83.2	12.4	87.2	11.4	86.1	9.1	83.8	4.7	85.6	2.3	82.5	2.3	80.6	4.7	75.8	8	66.1	10.6	65.3	12	71.2	12.6	77.3
05-00	12.2	84.6	12	88.5	11	87.5	8.6	85.5	4.1	86.4	1.6	84.4	1.6	82.4	4.1	77.4	7.5	76.5	10.1	66.6	11.5	72.6	12.1	78.6
06-00	12.1	85	11.9	89	10.9	87.1	8.1	84.7	3.9	85.1	1.4	83	1.4	81	3.9	76.1	7.1	75	10.1	67.7	11.5	73	12.1	79
07-00	12.6	83.2	12.4	87.2	11.4	86.1	9.1	83.8	4.7	85.6	2.3	82.5	2.3	80.6	4.7	75.8	8	66.1	10.6	65.3	12	71.2	12.6	77.3
08-00	13.9	75.3	13.7	82	12.9	80.5	10.9	77.7	7	76.6	4.7	75.2	4.7	73.6	7	68.5	10.1	63.7	12.4	60.6	13.7	66.3	1.4	72.4
09-00	15.9	79.8	15.7	74.2	15.2	72.3	13.7	68.4	10.4	66.2	8.4	64.6	8.4	63.2	10.4	60.1	13.1	56.6	15.2	53.4	16.2	58.8	16.2	65.1
10-00	18.3	62	18	65	17.9	62.5	17	57.5	14.5	54	12.7	52	12.7	51	14.5	49	16.7	46	18.6	45	19.2	50	18.8	58.5
11-00	20.7	63	20.3	55.8	20.5	52.7	20.3	46.6	18.5	41.8	17	38.4	17	38.8	18.5	37.9	20.3	36.4	21.9	36.6	22.2	41.2	21.3	47.9
12-00	22.7	45.7	22.3	48	22.6	44.5	23.1	37.3	21.9	31.4	20.7	28.7	20.7	28.4	22	28.5	23.3	28.3	24.7	28.4	24.7	32.7	23.5	40.6
13-00	24	49.8	23.6	42.8	24.3	38.9	24.9	31.2	24.2	24.4	23.1	21.5	21.4	24.3	22.2	25.4	22.9	28.3	26.5	24.7	26.4	28.8	25	35.7
14-00	24.6	39	24.1	41	24.6	37	25.6	29	25	22	24	19	24	19	25.1	20	28.1	21	27.2	23	27	27	26.5	34
15-00	24.4	39.4	24	41.5	24.7	37.5	25.4	29.5	24.8	22.8	23.8	18.6	23.8	19.6	24.9	20.6	25.9	21.5	27	23.4	26.9	27.4	26.4	34.4
16-00	24	43.8	23.6	42.8	24.3	38.9	24.9	31.2	24.2	24.4	23.1	21.5	23.1	21.4	24.3	22.2	25.4	22.9	26.5	24.7	26.4	28.8	25	35.7
17-00	23.5	42.9	23.1	46	23.6	41.3	24.2	33.8	23.2	27.4	22.1	24.6	22.1	24.4	23.3	24.9	24.6	26.2	25.7	26.7	26.7	30.9	24.4	37.8
18-00	22.7	45.7	22.3	48	22.6	44.5	23.1	37.3	21.9	31.4	20.7	28.7	20.7	28.4	22	28.5	23.3	28.3	24.7	28.4	24.7	32.7	23.5	40.6
19-00	21.7	49.2	21.4	51.7	21.7	48.3	21.6	41.7	20.3	36.2	19	33.7	19	33.2	26.4	32.9	21.9	32.1	23.4	32.5	37.2	37.2	22.4	34
20-00	20.7	53.2	20.3	55.8	20.5	52.7	20.3	46.6	18.5	41.8	17	38.4	17	38.8	18.5	37.9	20.3	36.4	21.9	36.6	22.2	41.2	21.3	47.9
21-00	19.6	57.5	19.2	60.2	19.2	57.5	18.7	51.9	16.5	47.8	14.9	46.6	14.9	44.8	16.8	43.3	18.5	41.4	20.2	40.7	20.7	45.5	20.1	52.1
22-00	18.3	62	18	65	17.9	62.5	17	57.5	14.5	54	12.7	52	12.7	51	14.5	49	16.7	46	18.6	45	19.2	50	18.8	58.5
23-00	17.1	69.5	16.8	66.7	16.5	67.5	15.3	63.1	12.4	66.2	10.5	60.4	10.5	57.2	12.4	54.7	14.9	50.9	16.9	49.3	17.7	54.5	17.4	63.9
24-00	15.8	79.8	15.7	74.2	15.2	72.3	13.7	68.4	10.4	66.2	8.4	64.6	8.4	63.2	10.4	60.1	13.1	56.6	15.2	53.4	16.2	58.8	16.2	65.1

Tabla IX. 10.: Síntesis de temperaturas y humedades en Cochabamba.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### IX. 4. Climograma del bienestar adaptado.

Hasta este momento hemos podido determinar las temperaturas y humedades para todas las horas del día y por cada mes del año, para ello nos hemos servido del diagrama psicométrico de Givoni sin embargo, la verdadera utilidad de este diagrama se centra en la determinación de las zonas de confort, así como los mecanismos a partir de los cuales es posible controlar las deficiencias climáticas para alcanzar el confort térmico.

El Diagrama de Givoni presenta catorce zonas diferenciadas las cuales nos muestran el comportamiento del clima y proporciona las estrategias propuestas para alcanzar el confort térmico. Para determinar la zona a la cual corresponde la temperatura de análisis se procede de la siguiente manera: Marcar los puntos correspondientes a cada hora del mes de análisis (el procedimiento es el mismo para todos los meses) ubicándolos a partir de la intersección de la temperatura horaria y las curvas de humedad del diagrama. Determinar la estrategia que corresponda según la zona en la cual se ubica el punto identificado. Trasladar los resultados obtenidos a una tabla horaria para configurar la Isopleta.

El clima se puede considerar como compuesto ya que las tres sensaciones se encuentran en un día en la mayoría de los meses del año. Las sensaciones de bienestar inician a media mañana en todo el año, y finalizan cinco horas después del ocultamiento del sol, excepto los meses de invierno con tres horas.

Las sensaciones de bienestar son continuas en los meses de invierno, sin embargo en las demás estaciones se pueden apreciar los cambios desde los fríos, pasando por los bienestar y llegando a los cálidos. Estas últimas sensaciones se dan a partir de las 13:00 y concluye a las 16:00.

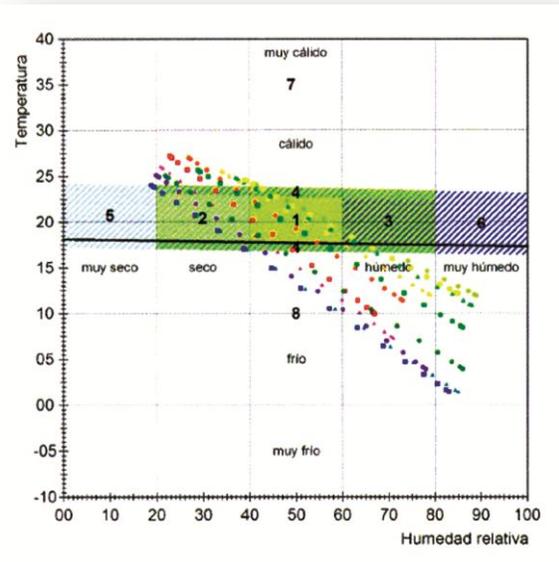


Grafico IX. 11.: Isopleta de valores.

Los bienestar nocturnos se dan al inicio de la noche, en lo que se denomina la noche útil, con sensaciones de bienestar saludable y admisible predominantemente.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
01:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio
02:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio
03:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio
04:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio
05:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio
06:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio
07:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio
08:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio
09:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio
10:00	B. +/- Húmedo	B. +/- Húmedo	B. +/- Húmedo	B. Admisible	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable
11:00	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Admisible	B. Admisible	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. Saludable	B. Saludable
12:00	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Admisible	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. Admisible	Cálido	Cálido	B. Admisible
13:00	Cálido	B. Admisible	Cálido	Cálido	Cálido	B. +/- Seco	B. +/- Seco	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido
14:00	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	T. A. +Seco	T. A. +Seco	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido
15:00	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	T. A. +Seco	T. A. +Seco	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido
16:00	Cálido	B. Admisible	Cálido	Cálido	Cálido	B. +/- Seco	B. +/- Seco	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido
17:00	B. Admisible	B. Admisible	B. Admisible	Cálido	B. Admisible	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. Admisible	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido
18:00	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Admisible	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. Admisible	Cálido	Cálido	B. Admisible
19:00	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. +/- Seco	B. Admisible	B. Admisible	B. Saludable				
20:00	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Admisible	B. Admisible	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. +/- Seco	B. Saludable	B. Saludable
21:00	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	Frio	Frio	Frio	Frio	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable
22:00	B. +/- Húmedo	B. +/- Húmedo	B. +/- Húmedo	B. Admisible	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	B. Saludable	B. Saludable	B. Saludable
23:00	B. Admisible	B. Admisible	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	B. Admisible	B. Saludable	B. Admisible
24:00	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio	Frio

Tabla IX. 12.: Sensaciones térmicas.

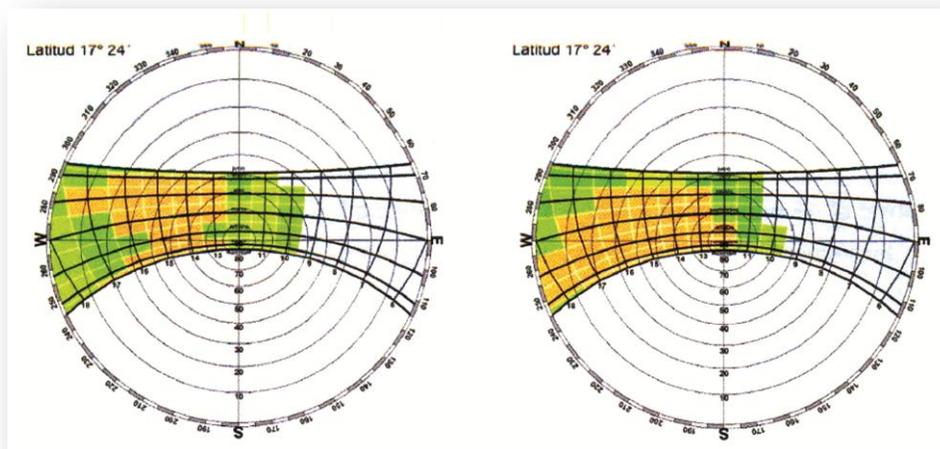
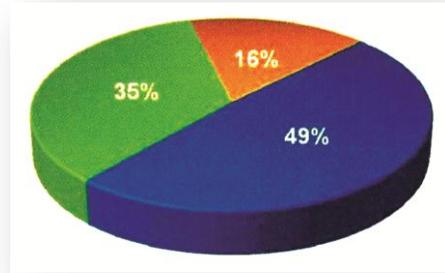


Grafico IX. 13.: Estereográfica – sensaciones.

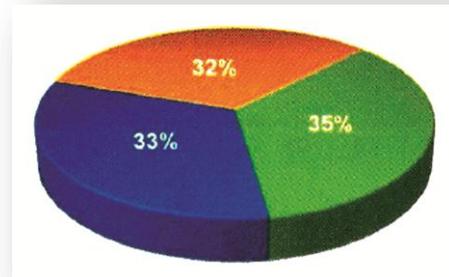
## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### Porcentaje de sensaciones por periodo de 24 horas.

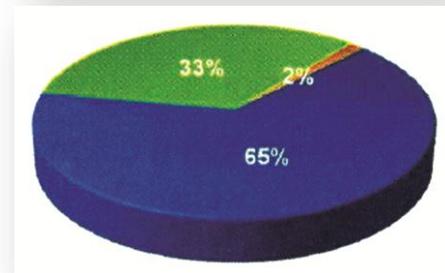
Cochabamba tiene un clima compuesto un análisis anual de 24 horas se puede observar la predominancia del frío con 49% equilibrada con las sensaciones de bienestar y calor juntas.



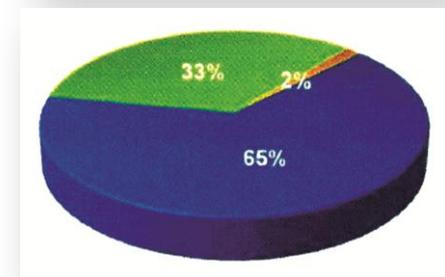
El día es muy particular ya que las tres sensaciones presentan los mismos valores, 35% de bienestar, 33% de frío y 32% de calor.



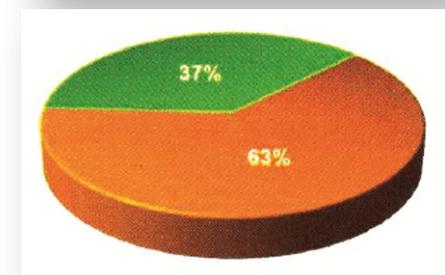
La mañana se considera fría con 65% del tiempo y el restante como bienestar, y la tarde se considera cálido con 63% de sensaciones de calor y el restante de bienestar, lo que califica como un clima muy oscilante.



Finalmente la noche es predominante fría con un valor de 65% y el restante 35% de bienestar. Las sensaciones de bienestar presentan un desfase de aproximadamente 4 horas respecto a la aparición del sol en la bóveda celeste.



Las sensaciones de calor predominan en la tarde a lo largo de todo el año excepto el periodo invernal.



Tablas IX. 14.: Porcentajes de sensaciones.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### IX. 5. Climograma de estrategias bioclimáticas.

El clima de la ciudad de Cochabamba considerado como de bienestar presenta la mayor variabilidad tanto estacional como diaria. Dicha situación se expresa fundamentalmente en las estrategias requeridas para la generación del bienestar.

Se puede observar una alta oscilación diaria, con la demanda de estrategias de acumulación de calor para las horas nocturnas, el calentamiento por ganancias internas al inicio del día hasta media mañana, luego se percibe un equilibrio térmico hasta el mediodía, iniciándose un periodo cálido demandando una estrategia de acumulación en la masa de la envolvente, y finalmente un nuevo periodo con equilibrio térmico.

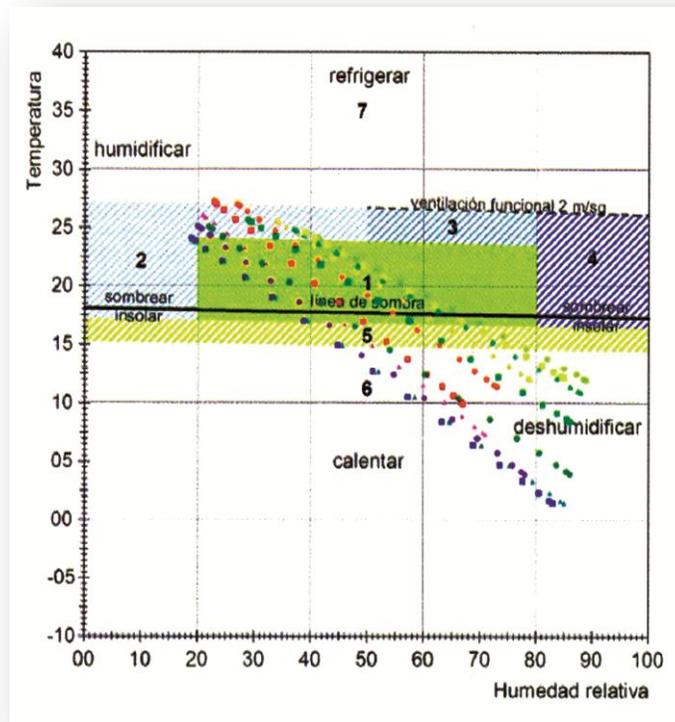


Grafico IX. 15.: Climograma de estrategias.

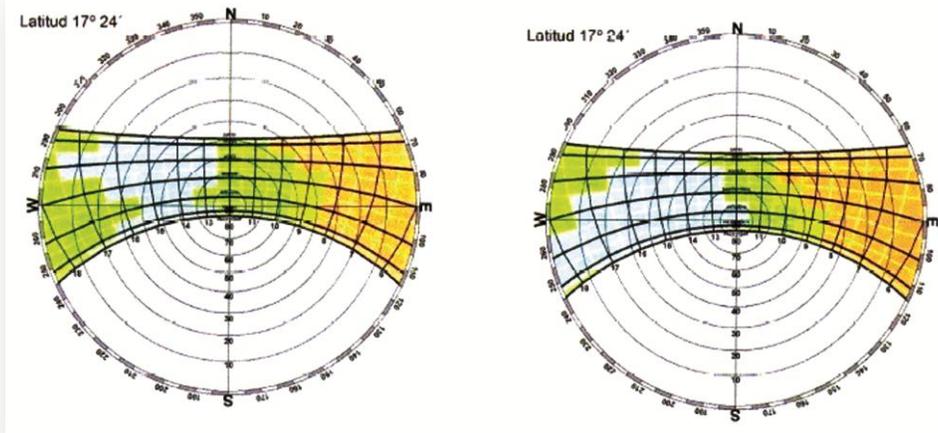
A diferencia de otras ciudades del valle, los periodos de calor por la tarde son constantes, incluso es posible percibir una hora en el mes de Octubre con una demanda de enfriamiento activo por la alta temperatura.

En estos climas la disposición de la masa térmica es determinante en la generación del bienestar térmico.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
01:00	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	I. Term.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.							
02:00	I. Term.											
03:00	I. Term.											
04:00	I. Term.											
05:00	I. Term.											
06:00	Cal. Sol. Pas.	Cal. Sol. Pas.	Cal. Sol. Pas.	I. Term.	Cal. Sol. Pas.	Cal. Sol. Pas.	Cal. Sol. Pas.	Cal. Sol. Pas.				
07:00	Cal. Sol. Pas.											
08:00	Cal. Sol. Pas.											
09:00	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	Cal. Sol. Pas.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.					
10:00	Eq. Term.											
11:00	Eq. Term.											
12:00	Eq. Term.											
13:00	I. Term.	Eq. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.
14:00	I. Term.	Enf. Act.	I. Term.	I. Term.								
15:00	I. Term.											
16:00	I. Term.	Eq. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.
17:00	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	I. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.
18:00	Eq. Term.	I. Term.	I. Term.	Eq. Term.								
19:00	Eq. Term.											
20:00	Eq. Term.											
21:00	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.
22:00	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	Cal. Gan. Int.	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.
23:00	Eq. Term.	Eq. Term.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	I. Term.	Cal. Gan. Int.	Eq. Term.	Eq. Term.	Eq. Term.
24:00	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	I. Term.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.	Cal. Gan. Int.					

Tabla IX. 16.: Bienestar térmico.



Gráficos IX. 17.: Estereográficas – estrategias.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Porcentaje de sensaciones por periodo.

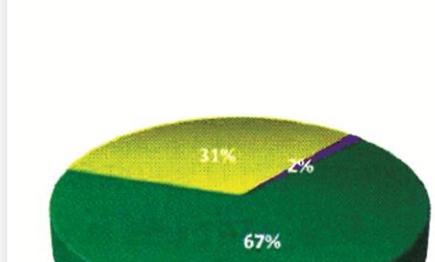
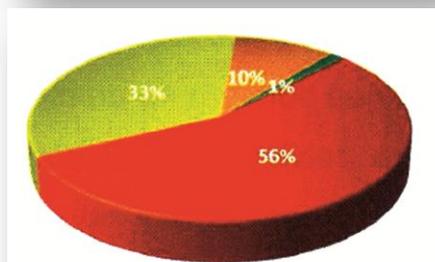
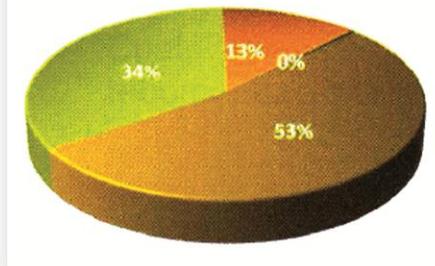
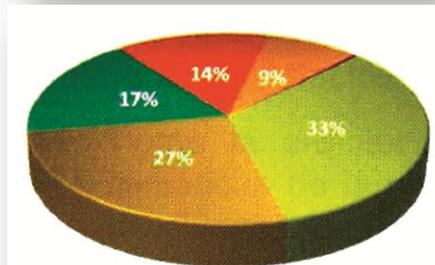
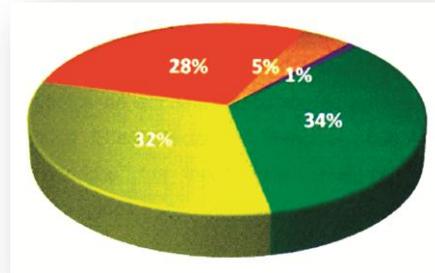
Cochabamba presenta un clima muy complejo en términos de estrategias bioclimáticas para acondicionamiento. Sin embargo la masa térmica sigue siendo la estrategia de mayor utilidad, ya que sumadas ambas hacen 44%, un 33% de equilibrio térmico y 23% de requerimientos de ganancias directas.

Tablas IX. 18.: Porcentajes de sensaciones.

Durante la noche la masa térmica devolverá el calor ganado a lo largo del día, y durante el día la misma masa devolverá el frío nocturno, esa estrategia representa el 34% del periodo diurno.

Por las mañanas es importante la apertura de los espacios internos al sol hasta antes del mediodía, y por las tardes es muy importante la protección adecuada de vanos ya que serán generadores de calor excesivo en interiores.

El calor vespertino en esta ciudad puede llegar a extremos en los que incluso se puede requerir acondicionamiento artificial, debido a su escasa humedad relativa del aire, es el caso de las 14:00 de mes de Octubre, sin embargo esta estrategia es despreciable ya que no llega al 1%. La ventilación como estrategia para la sensación térmica es innecesaria.



## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### IX. 6. Método de Mahoney

Los cuadros de Mahoney fueron desarrollados en el año 1969 a partir del trabajo de los consultores Robert Mathew y Jonhson Marshall, destinado a elaborar proyectos de escuelas secundarias de Nigeria, con el financiamiento del Banco Mundial. El arquitecto Carl Mahoney de la asociación de Escuelas de arquitectos de Londres, fue incorporado el equipo como responsable de los estudios climatológicos.

Las tablas fueron desarrolladas para responder dos aspectos básicos que debían enfrentar los arquitectos del equipo.

- Como la arquitectura debía concebirse en respuesta a las variaciones climáticas de la zona, puesto que Nigeria presentaba una gran diversidad de climas, desde el cálido húmedo en el litoral, hasta el cálido seco en la parte continental del país.
- Cuál era la región geográfica donde se deberían aplicar las recomendaciones desarrolladas a partir del análisis climático.

Desde esos tiempos y por más de treinta años el Método de Mahoney ha sido utilizado en muchos países y contextos climáticos. El método toma como base los parámetros climáticos de un lugar específico, los cuales son anotados en las planillas y luego son comparados con límites de confortabilidad preestablecidos, a partir de comparaciones el método permite identificar problemas climáticos determinantes y luego las recomendaciones técnicas para el proyecto.

El trabajo de Carl Mahoney fue publicado por primera vez en una monografía de la ONU el año 1971, en el que Mahoney comparte la autoría con *Martin Evans* y *Otto Koenigsberger*. Este último trabajo hacia nuevas consideraciones a partir de la implementación en más de 50 contextos climáticos diferenciados y exponía ejemplos validados de recomendaciones en seis tipos de climas diferentes. Esta publicación circulo solo en niveles de organismos gubernamentales y tuvo una distribución restringida en ámbitos académicos y de investigación.

Fue incluido en el "*Manual of Tropical Housing*", publicación realizada por *Koenigberger*, *Ingersoll*, *Mayhew* y *Szokolay* en el año 1974, y más conocido en su versión española publicada en 1977, a partir de este año las tablas se dieron a conocer en diversos idiomas.

#### IX. 6. 1. Desarrollo

El método fue desarrollado a partir de una investigación para obtener información básica sobre el impacto del clima sobre las edificaciones y las condiciones de confortabilidad que

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

se generaban, el trabajo se desarrolló a lo largo de un año. Los meses fueron clasificados en una escala de confort de cinco puntos. Fueron identificados también los meses en que deberían ser utilizadas estrategias bioclimáticas de calentamiento o enfriamiento.

La investigación demostró una variación de la zona de confort en función de la temperatura media anual, el TMA. De acuerdo a las investigaciones de Bedford en el año 1961 se habían demostrado que la zona de confort varía con la temperatura media mensual, y posteriormente Humphreys en el año 1975 comparó diversos estudios de campo y ecuaciones de regresión obtenidas, relacionando una temperatura de confort con la media mensual.

Para simplificar un análisis de confort fueron establecidas tres rangos para el TMA, mayor a 20°C, entre 15 y 20%, y por debajo de 15°C, y cuatro grupos de humedad relativa, hasta 30% de humedad relativa, entre 30 y 50%, entre 50 y 70% y por encima de 70%. Los límites de confort fueron establecidos para el periodo diurno y nocturno.

Las temperaturas medias mensuales, máximas y mínimas, fueron comparadas con los límites de confort, obteniéndose un diagnóstico inicial de la sensación térmica, calor, confort y frío. Los datos mensuales de estrés térmico, juntamente con las informaciones climáticas, definen un grupo de indicadores bioclimáticos para el proyecto, los mencionados indicadores son seis, tres referidos a climas húmedos y tres referidos a climas áridos.

Las recomendaciones del proyecto son, por tanto, obtenidas a partir de un análisis de todos los meses del año, se pueden obtener recomendaciones en términos de forma y volumetría, orientación y espaciamientos en tres edificaciones, componentes constructivos, posición y tamaño de aberturas y características térmicas de cerramientos verticales y horizontales.

### **IX. 6. 2. Ventajas y Limitaciones**

Si bien ya es larga la data de la aparición del método, aun ahora es poco conocido, y apareciendo solamente en círculos académicos y de investigación, trabajos presentados en congresos y cursos de postgrado, a partir de los diferentes estudios de validación en estos niveles se han detectado las siguientes limitaciones:

- Fue desarrollada para climas calientes, por los indicadores que presenta. Los climas templados y fríos son generalizados.
- Fue desarrollado como una herramienta práctica para construcciones en países en vías de desarrollo, y no como una herramienta específica de investigación dentro del enfoque de la arquitectura pasiva.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- El objeto inicial del método fueron las edificaciones escolares, luego fueron adaptadas para viviendas de interés social.

A pesar de esas limitaciones, según Martin Evans, el método es muy práctico y tiene sobretodo aplicaciones didácticas, y se considera una herramienta muy útil al inicio de un proyecto con un enfoque bioclimático.

- Es claro porque presenta un proceso muy simple, conjugando Datos climáticos, análisis de confort térmico y define las estrategias bioclimáticas.
- Es versátil, ya que las tablas pueden ser desarrolladas muy rápidamente y además pueden ser adecuadas en herramientas informáticas.
- Es aplicable ya que los datos fundamentales que demanda el método están en función de la normativa meteorológica mundial, por lo que pueden ser llenados con las planillas proporcionadas por cualquier estación meteorológica.
- Es práctica ya que establece recomendaciones relativas a componentes constructivos.

Empleando los datos climáticos de la estadística metrológica proporcionada por el SENAMHI evaluaremos el clima de Cochabamba inicialmente por el método de Mahoney que nos proporcionara las recomendaciones generales y de detalle para la adecuación de la arquitectura al clima de la ciudad. El procedimiento se detalla a continuación:

1. Se incorpora los valores climáticos requeridos (tablas 1 a 5)
2. Se identifica el grupo de humedad (tabla 3) según los parámetros propuestos (tabla A).
3. Se determina los límites de confort (tabla 6) con referencia a la temperatura media anual (TMA) obtenida de las estadísticas meteorológicas. Para seleccionar los límites se debe tener en cuenta, además, los grupos de humedad que correspondan según el procedimiento del paso anterior.
4. Se efectúa el diagnostico (tabla 7) comparando las temperaturas mensuales de la estadística con los límites diurno y nocturno definidos en el paso anterior.
5. Se determina la sensación térmica diurna y nocturna (tabla B) empleando para la valoración la tabla C.
6. Se seleccionan los indicadores que se emplearan para la determinación de las recomendaciones (tabla 8) empleando para ello la tabla 9 de aplicabilidad. Es importante tener en cuenta que para seleccionar un indicador se deben cumplir cada una de las condiciones: sensación térmica (tabla B), precipitación (tabla 4), grupo de humedad (tabla 3) y DMM (diferencia media mensual en tabla2).
7. Finalmente se obtienen las especificaciones recomendadas (tabla 10) y las recomendaciones de detalle (tabla 11) a través de la simple comparación de los indicadores seleccionados en el paso anterior con las condiciones establecidas en

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

las tablas. Cabe mencionar que, al igual que en el paso anterior, para seleccionar uno de los caminos propuestos en la tabla es preciso que se cumplan todas las condiciones.

### SITUACION

Localidad	Cochabamba
Longitud	66° 06'
Latitud	17° 27'
Altitud	2548 m.s.n.m.
Clima	BSwk

### TEMPERATURA DEL AIRE (°C)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Alta	TMA
Máx. Med. Mensual	24.5	24.1	24.8	25.6	25.0	24.0	24.0	25.1	26.1	27.2	27.0	25.5	27.2	14.3
Min. Med. Mensual	12.1	11.9	10.9	8.4	3.9	1.4	1.4	3.9	7.3	9.9	11.4	12.0	1.4	25.8
Diferencia M. Mensual	12.4	12.2	13.9	17.2	21.1	22.6	22.6	21.2	18.8	17.3	15.6	13.5	Baja	DMA

### HUMEDAD RELATIVA, PRECIPITACION, VIENTO

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Valor mensual HR	57	60	56	49	42	39	38	38	38	38	44	51
Grupo de Humedad	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Precipitación Total	125	100	65	17	5	2	2	5	7	17	46	92
Viento Dominante	NW	NW	SE	SE	C	C	C	C	N	N	SE	SE

### LIMITES DE CONFORT

Grupo HR	TMA por encima de 20°C		TMA 15°C a 20°C		TMA por debajo de 15°C	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21
2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

### GRUPO DE HUMEDAD

Grupo de Humedad	Humedad relativa
1	Menor a 30%
2	31% - 50%
3	50% - 70%
4	Mayor a 71%

### SENSACION TERMICA

Simbolo		
C	Caliente	Si la media está por encima del límite
O	Confort	Si la media está por entre los límites
F	Frio	Si la media está por debajo del límite

Tablas IX. 19.: Método de Mahoney.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### DIAGNOSTICO: °C

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TMA
Máx. Media mensual	24.6	24.1	24.8	26.6	26.0	24.0	24.0	25.1	26.1	27.2	27.0	25.5	14.3
Confort diurno: superior	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	26	
Confort diurno: inferior	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	19	
Mín. Media mensual	12.1	11.9	10.9	8.4	3.9	1.4	1.4	3.9	7.3	9.9	11.4	12.0	
Confort nocturno superior	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	19	
Confort nocturno inferior	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Sensación térmica: diurna	O	O	O	O	O	O	O	O	O	C	O	O	
Sensación térmica: nocturna	O	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	O	

### APLICABILIDAD

	Indicador	Sensación térmica		Precip.	Grupo de Humedad	DMM
		Día	Noche			
Movimiento aire esencial	H1	C			4	
		C			2,3	Inf. 10°
Movimiento aire deseable	H2	O			4	
Protección lluvias requerida	H3			Sobre 200		
Capacidad térmica necesaria	A1				1,2,3	Sup. 10°
Dormitorio exterior	A2		C		1,2	
		C	O		1,2	Sup. 10°
Protección al frío	A3	F				

### RESUMEN DE DATOS

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sensación térmica: diurna	O	O	O	O	O	O	O	O	O	C	O	O
Sensación térmica: nocturna	O	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	O
Precipitación Total	125	100	65	17	5	1	2	5	7	17	46	92
Grupo de Humedad	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3
D.M.M.	12.4	12.2	13.9	17.2	21.1	22.6	22.6	21.2	18.8	17.3	15.6	13.5

### INDICADORES

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tota
Húmedo: H1													0
H2													0
H3													0
SECO: A1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
A2													0
A3													0

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Totales de indicadores de la Tabla 2					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	0	12	0	0

Volumetría								
			0-10				1	Orientación eje mayor este-oeste
			11, 12		5-12			
					0-4	X	2	Planeamiento compacto con patio central

Separación								
11, 12							3	Separación amplia para penetración de brisa
2-10							4	Como 3, protección al viento caliente y frío
0-1						X	5	Planificación de volúmenes compactos

Movimiento de aire								
3-12							6	Habitaciones en una sola fila para provisión permanente del movimiento del aire
1-2			0-5					
			6-12				7	Habitación en doble fila, provisión temporal del movimiento del aire
0	2-12							
	0-1					X	8	No se necesita movimiento de aire

Aberturas								
			0, 1		0		9	Aberturas grandes 40 – 80 %
			11, 12		0, 1	X	10	Aberturas muy pequeñas 10 – 20%
Cualquier otra condición							11	Aberturas medias 20 – 40%

Paredes								
			0-2				12	Paredes ligeras, pequeño tiempo de retardo
			3-12			X	13	Paredes internas y externas pesadas

Tejados								
			0-5				14	Tejados ligeros, aislados
			6-12			X	15	Tejados pesados, mas de 8 h de t. de retardo

Dormitorios exteriores								
				2-12			16	Dormitorios en el exterior

Resguardo de la lluvia								
		3-12					17	Protección contra la lluvia copiosa

Tablas IX. 21.: Especificaciones recomendadas



## **CAPITULO X**

# **TRAZADO DE LA CARTA SOLAR PARA LA CIUDAD DE COCHABAMBA.**

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### CAPITULO X

### TRAZADO DE LA CARTA SOLAR PARA LA CIUDAD DE COCHABAMBA.

#### X. 1. Introducción

Existe una variedad de representaciones graficas de la trayectoria solar, que permite analizar la incidencia solar en los espacios habitables, sean estos abiertos o cerrados. La representación más versátil para este proceso es la carta solar estereográfica, a continuación se presenta la explicación del proceso de construcción de esta herramienta.

#### X. 2. Construcción de la Carta Solar Cilíndrica

Para un mejor entendimiento de la geometría solar en la ciudad de Cochabamba, se procede con el trazado de los arcos solares de la bóveda celeste sobre el plano del observador o de proyección. Para este proceso se recurre a la geometría mongeana o diedrica.

Inicialmente se trazan el triado y se construyen las vistas oeste, sur y planta de la bóveda celeste, finalmente se procede al abatimiento en el plano vertical, de los tres planos.

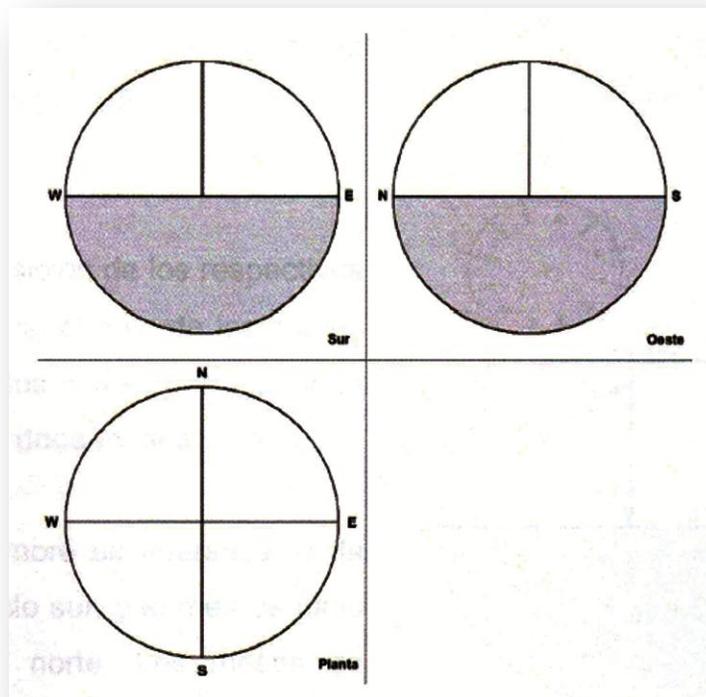
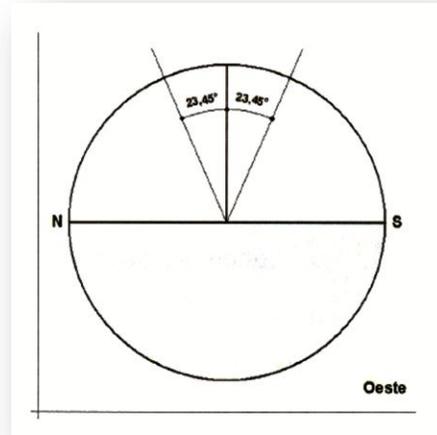


Figura X. 1.: Geometría Diedrica.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

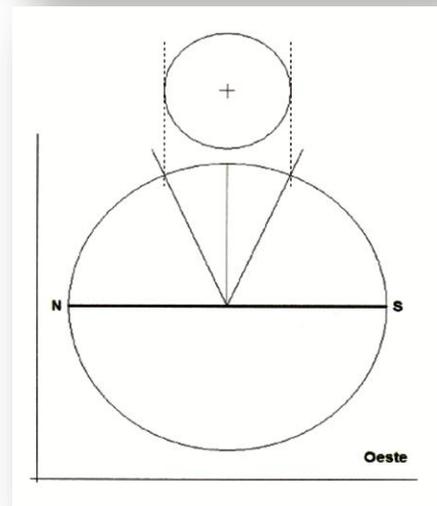
El siguiente paso es el trazado de la declinación solar en la vista oeste, y desde un punto del observador. La declinación tiene un valor constante  $23^{\circ}27'$ , y es la relación angular del ecuador celeste con el plano de la eclíptica.

Figura X. 2.: Trazado declinación Solar.



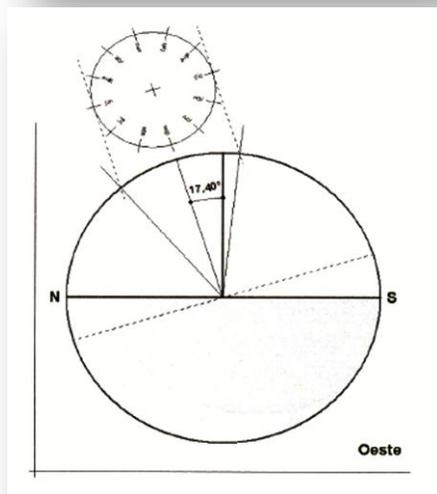
Teniendo la base referencial de la declinación, se proyecta el círculo base de los meses en el cual indicara la trayectoria solar sobre la bóveda celeste. Este proceso se traza en el diedro oeste. Las líneas en las cuales se encuentra inscrito el círculo de los meses corresponden a dos paralelas a la perpendicular de la línea de tierra, en este caso definida por NS.

Figura X. 3.: Proyección de círculo base.



Para ubicar la posición de los respectivos meses, se divide el círculo de los meses en doce partes, los cuales corresponden a los respectivos doce meses.

Figura X. 4.: División de meses.

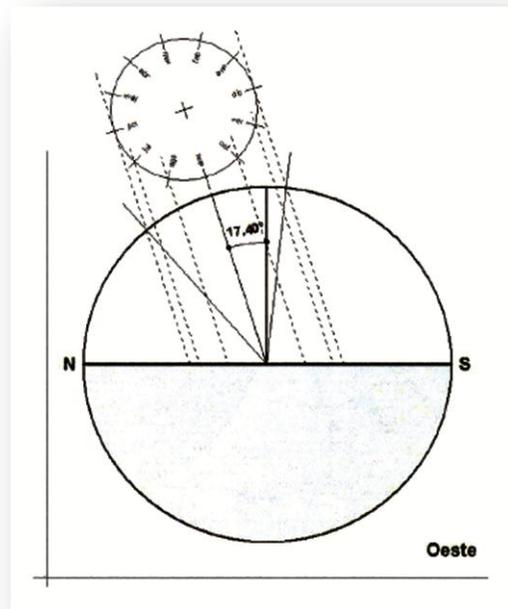


## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

El mes de diciembre se interseca en la parte del hemisiciclo sur, y el mes de junio en el hemisiciclo norte. Los meses de septiembre y marzo se encuentran alineados y concurren hacia el centro de la bóveda celeste. Estos meses se proyectan equidistantes a los meses de junio y diciembre. El grafico representa la trayectoria solar para una latitud  $17^{\circ}24'$  correspondiente de la ciudad de Cochabamba. Que resulta de abatir la línea perpendicular entre el centro de la bóveda celeste y el cenit, el valor del abatimiento es igual al valor de la latitud. Dicho rebatimiento en sentido contrario, es decir hacia el norte.

Una vez realizado el rebatimiento para la latitud de la ciudad de Cochabamba, se procede a la proyección de los arcos solares para todos los meses del año. En este caso se puede observar, que gran parte del año las posiciones solares a medio día estarán en el hemisiciclo norte, y tan solo los meses de noviembre/enero y diciembre en el hemisiciclo sur. Esa es una de las razones de las orientaciones norte para habitaciones y estancias.

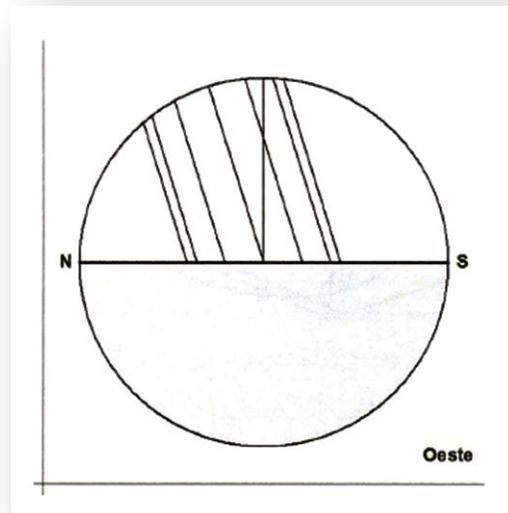
Figura X. 5.: Proyección de los arcos solares.



Existe una correspondencia entre algunos meses, es decir, que dos meses opuestos poseen una trayectoria similar a lo largo el año.

Junio  
Julio – Mayo  
Agosto – Abril  
Septiembre – Marzo  
Octubre – Febrero  
Noviembre – Enero  
Diciembre

Figura X. 6.: Proyección de meses.



## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Los arcos de la trayectoria solar corresponderán al corte que realizan los planos de los meses correspondientes a la superficie de la esfera o bóveda celeste.

### Trazado de horas.

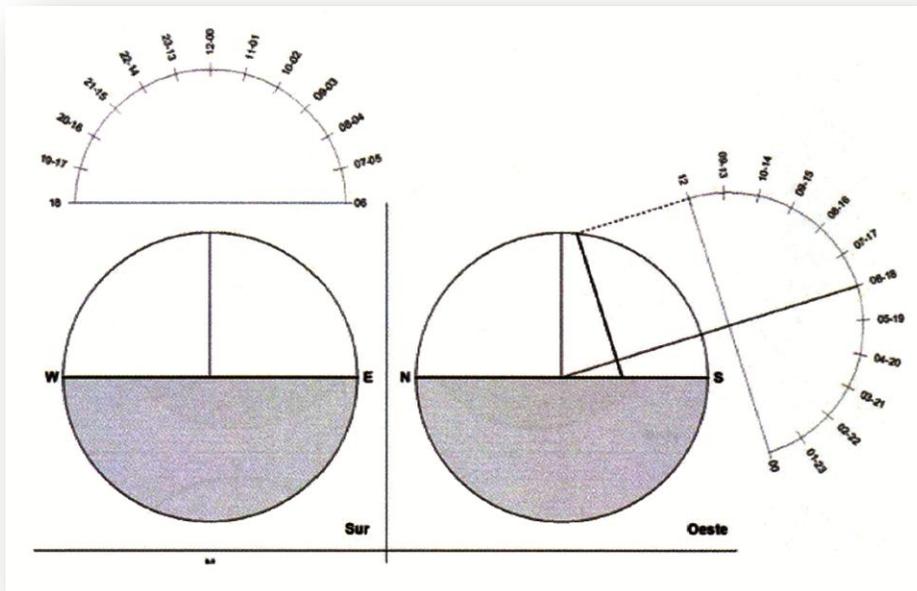


Figura X. 7.: Trazado de horas.

Para el trazado de las horas se toma como ejemplo el arco solar del mes de diciembre.

El arco de las horas se considera que posee el mismo radio que el arco del correspondiente mes, por tanto cada radio de cada mes será diferente. Esta dimensión de radio se utilizara tanto en alzado como en planta. El centro de dicho arco esta sobre la línea de tierra abatida con el valor de la latitud.

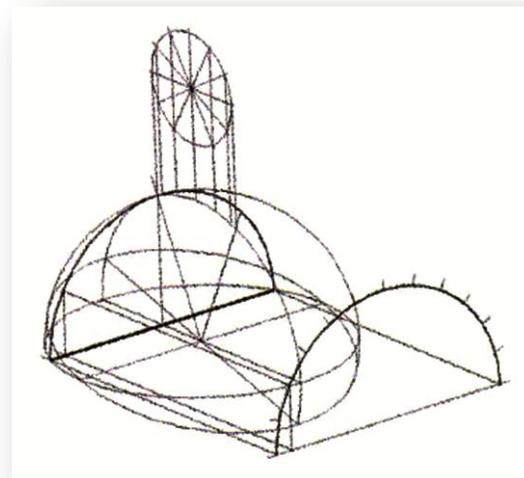


Figura X. 8.: Abatimiento de arco.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Las horas son equidistantes en el arco y cada 15°, en vista oeste el medio día se encuentra en el punto más alto del arco, y en el caso de la vista sur, el medio día se encuentra al centro del arco.

Proyección de las horas en el plano del observador.

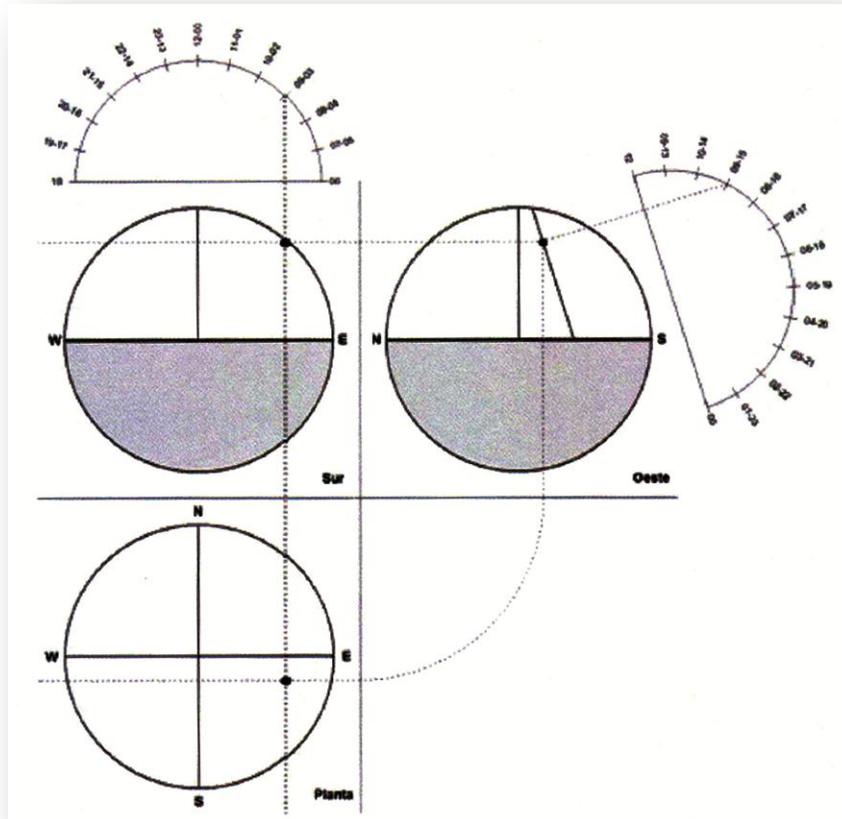


Figura X. 9.: Proyección de horas.

Para el proceso de trazado de la ubicación de una hora determinada, en este caso las 09:00 am, que por el abatimiento coincide con las 15:00, se traza una paralela a la línea de tierra abatida y se interseca con el arco más correspondiente, en este caso diciembre. En la vista sur, con la ayuda del círculo de las horas, se procede a encontrar el punto a partir de la intersección de la vertical de la respectiva hora, las 09:00 de la mañana, con la horizontal de la hora en la vista oeste. Finalmente el trazado para el plano del observador o carta esférica, será la intersección de las perpendiculares de las vistas oeste y sur.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Trazado de la proyección cilíndrica del mes de diciembre.

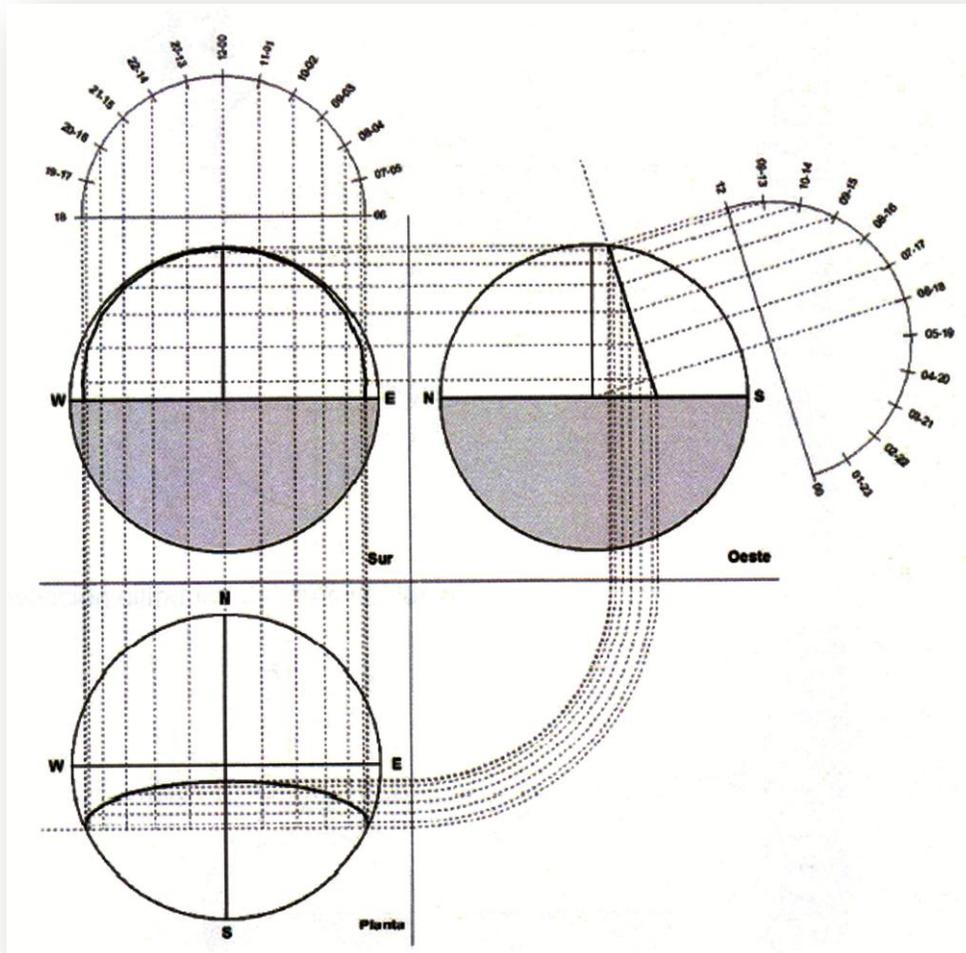


Figura X. 10.: Proyecciones mes de Diciembre.

Desarrollando las demás horas de acuerdo al anterior método, se logra completar las horas correspondientes al mes de diciembre. En el diedro se puede observar dicho mes en las vistas, oeste y sur, y además la planta.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Proyección cilíndrica del mes de Septiembre y Marzo.

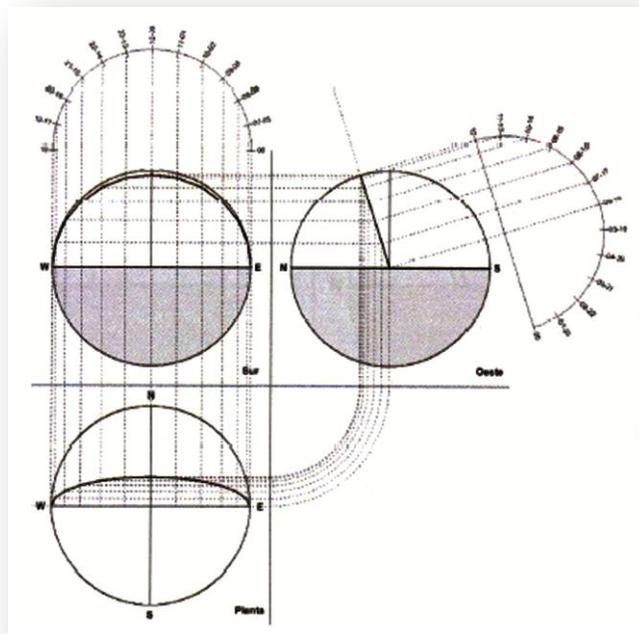


Figura X. 11.:  
Proyecciones mes de  
Septiembre y Marzo.

Proyección cilíndrica del mes de Junio.

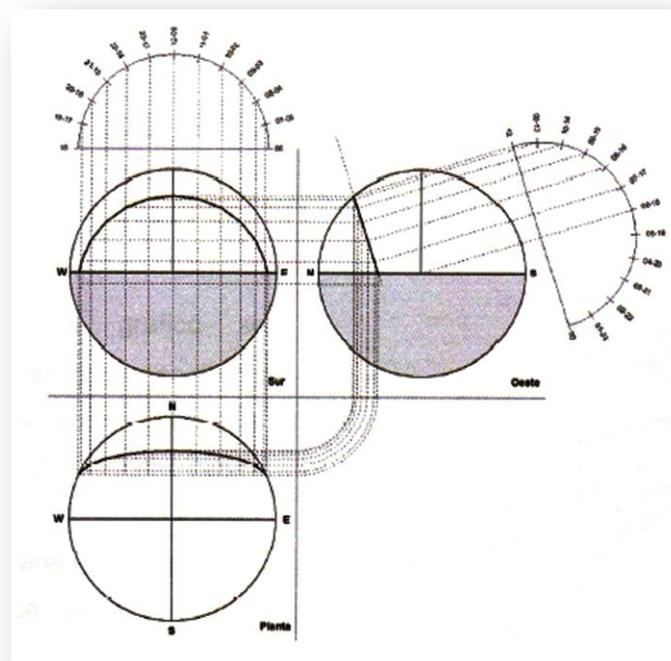


Figura X. 12.:  
Proyecciones mes de  
Junio.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Proyección cilíndrica final.

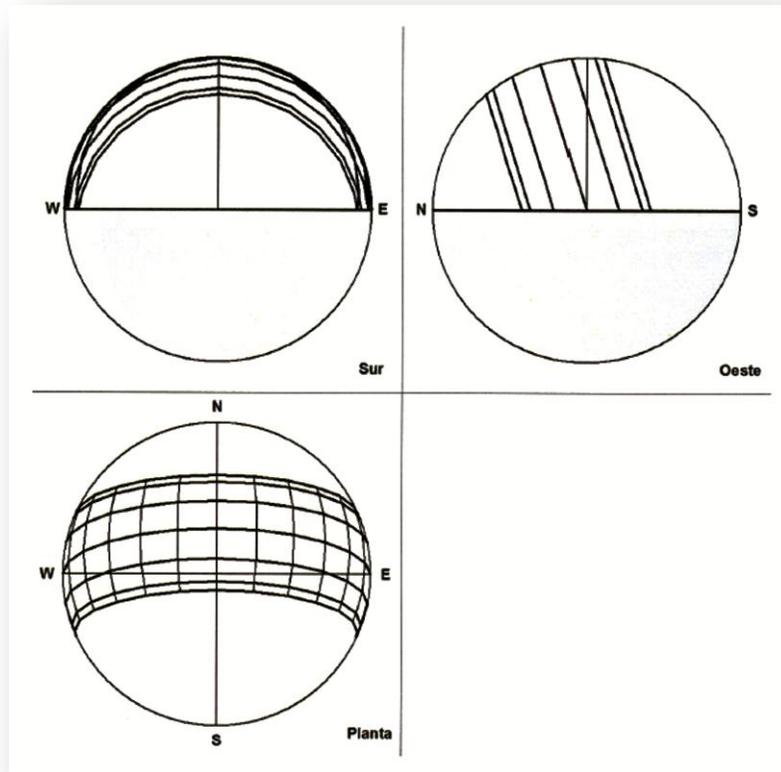


Figura X. 13.: Proyección Cilíndrica.

En el presente grafico se presentan las proyecciones de los arcos solares para todos los meses de la vista oeste, sur y planta.

En la parte derecha de presenta una isométrica de los mismos arcos.

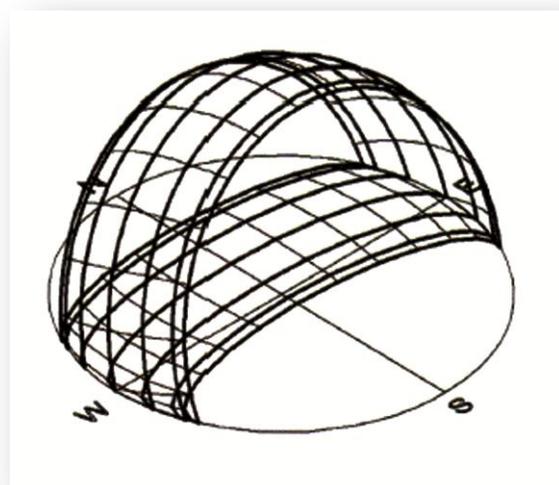


Figura X. 14.: Isométrica de arcos.

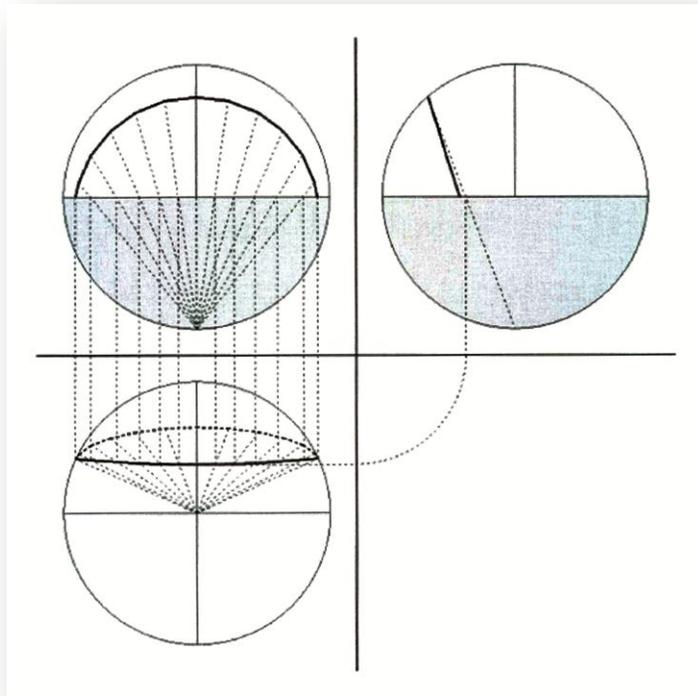
## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### X. 3. Construcción de la Carta Solar Estereográfica

El proceso de estero grafiado de la carta cilíndrica se realiza a partir de la proyección cónica de las horas de los arcos de la trayectoria solar, en el caso presente se representa el mes de Junio, hacia el nadir de la esfera celeste.

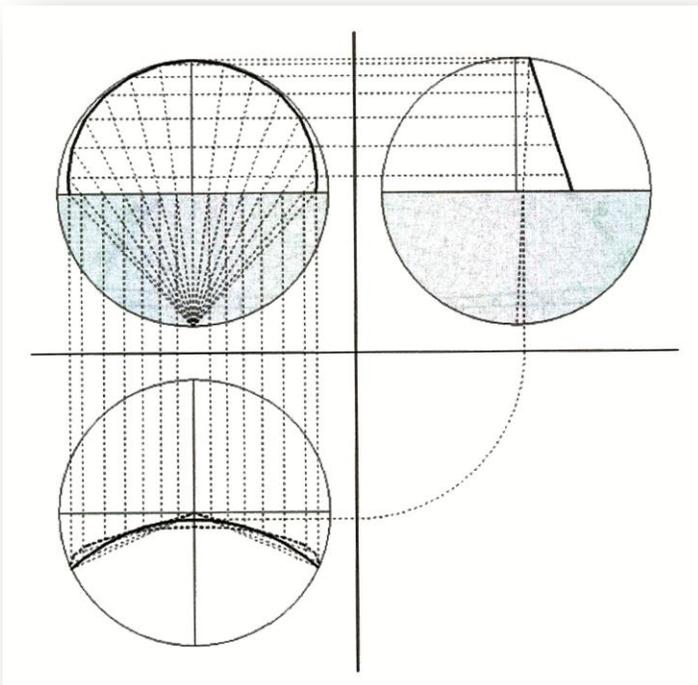
En el ejemplo se observa el estero grafiado de la 09:00 de la mañana del mes de Junio.

Figura X. 15.: Proyección estereográfica mes de Junio.



En la gráfica se presenta el proceso del mes de Diciembre, cabe resaltar que las 6 de la mañana ya se dispone de sol sobre el horizonte.

Figura X. 16.: Estereográfica mes de Diciembre.

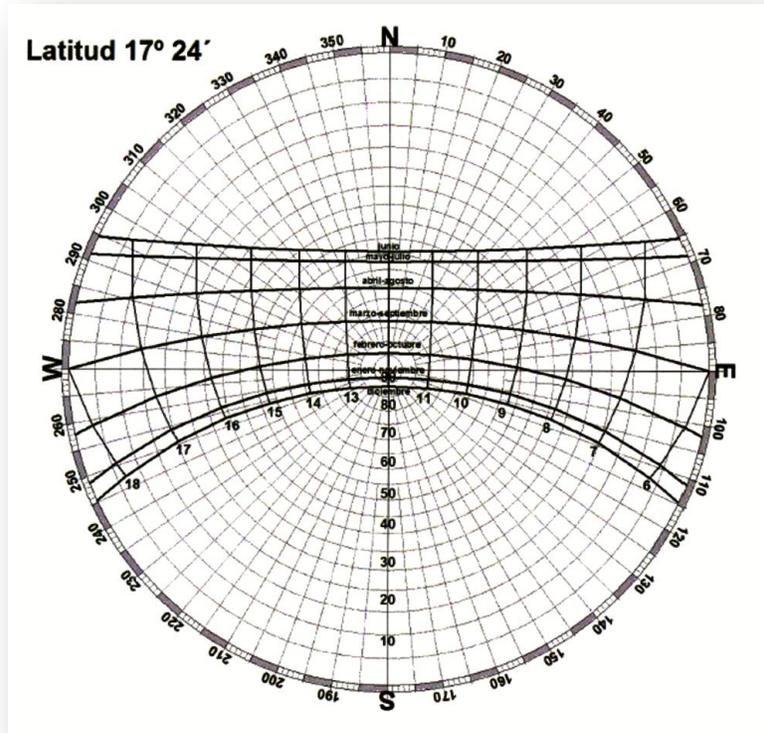


# Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

## X. 4. Carta Solar Estereográfica para la ciudad de Cochabamba

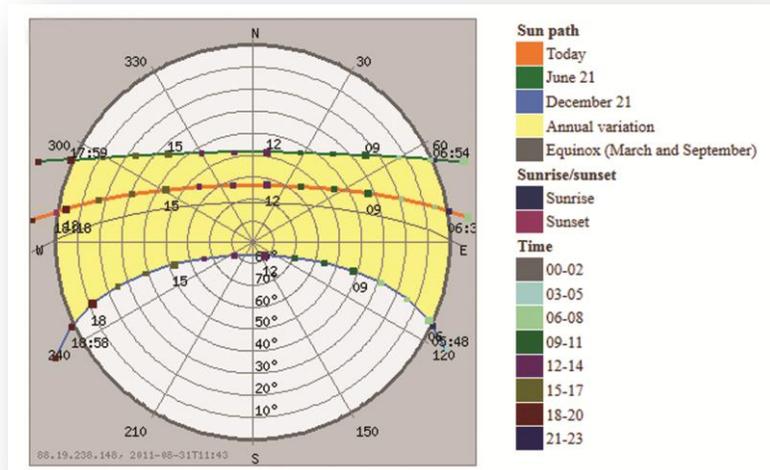
A diferencia de la carta cilíndrica, que dispone de arcos paralelos, la carta estereográfica presenta arcos convexos. El mes de junio es el arco superior y se puede observar el inicio del día antes de las 7 de la mañana y concluyendo después de las 17:00. El mes de diciembre inicia antes de las 6 de la mañana y concluye después de las 18:00.

Figura X. 17.: Carta Solar Estereográfica Cochabamba



La carta se utilizara para la ubicación de la posición solar en las diferentes horas del día a lo largo de todo el periodo anual.

Figura X. 18.: Estereográfica - fuente (Gaisma.com)



## **CAPITULO XI**

# **CONTROL DE LA LUZ SOLAR EN AULAS DE ESCUELAS SOLARES PASIVAS EN COCHABAMBA, BOLIVIA.**

## **CAPITULO XI**

### **CONTROL DE LA LUZ SOLAR EN AULAS DE ESCUELAS SOLARES PASIVAS EN COCHABAMBA, BOLIVIA.**

#### **XI. 1. Introducción**

Las técnicas de acondicionamiento de espacios mediante la combinación de niveles mejorados de conservación y utilización pasiva de energías naturales han alcanzado, a nivel mundial, madurez tecnológica como consecuencia de trabajos de investigación y desarrollo. Las técnicas de iluminación natural de edificios fueron una consideración primaria en el diseño durante siglos de desarrollo histórico de la arquitectura. A partir de las primeras décadas de este siglo, con el perfeccionamiento de la tecnología de iluminación artificial, comenzó en periodo en el que se le presta muy poca atención a la iluminación natural en el diseño.

Las técnicas de ILUMINACION NATURAL se han desarrollado en fechas relativamente recientes poniéndose a punto una serie de métodos de cálculo y estrategias tecnológicas que involucran el diseño de espacios determinados y las tipologías edilicias que los posibiliten. Se apunta a la necesidad de una visión integradora de las tecnologías Bioclimáticas y de la iluminación natural, en las que ambos tipos de requerimientos deben compatibilizarse y optimizarse, mediante un diseño adecuado.

En Bolivia, existe poca investigación en los aspectos de diseño bioambiental, a pesar de que la transferencia al sector estatal y al medio socio-productivo sigue presentando importantes dificultades.

Al igual que para las tecnologías de conservación y uso de energías naturales, las soluciones desarrolladas para las tecnologías de “daylighting” en los países industrializados, no son directamente transferibles a naciones en vías de desarrollo. Una serie de factores indican la necesidad de la adaptación de dichas soluciones o a la creación de alternativas tecnológicas determinadas por las condiciones locales: variables climáticas, tecnologías disponibles, condiciones de uso social, disponibilidad de energía y fundamentalmente factibilidad económica.

#### **XI. 2. Las Escuelas**

En las edificaciones escolares, las condiciones lumínicas del ambiente interior son fundamentales para una serie de tareas visuales que se cumplen dentro de este ámbito, el mismo que requiere niveles de iluminación adecuados durante periodos diurnos, en los que un ambiente lumínico deficitario producirá disconfort visual y un consecuente decrecimiento en la eficiencia. Por otra parte, el factor de ocupación en las escuelas se

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

centra en un ciclo diario, siendo esto coincidente con la mayor disponibilidad de luz natural exterior.

La ciudad de Cochabamba presenta un serio déficit en grados de confort visual dentro de las entidades educativas, esto debido a que en algunos casos la mala orientación, falta de tecnología, malas gestiones políticas y fundamentalmente la falta de un soporte económico para la edificación, obligan a los grupos de asociados de estas entidades a buscar soluciones momentáneas y empíricas a los problemas que presentan en términos de confort lumínico.

### XI. 3. Las Aulas

En el presente trabajo solo se analiza la iluminación natural del local principal de los edificios escolares: El Aula, debido a que es el espacio interior más representativo de las actividades que se realizan en este tipo de edificios.

Es también importante mencionar que el aula es el espacio escolar al que corresponde el mayor consumo de energía para iluminación, por lo tanto es el que más colaboraría en el potencial ahorro de energía, a través de la luz natural como la fuente principal de la iluminación interior.

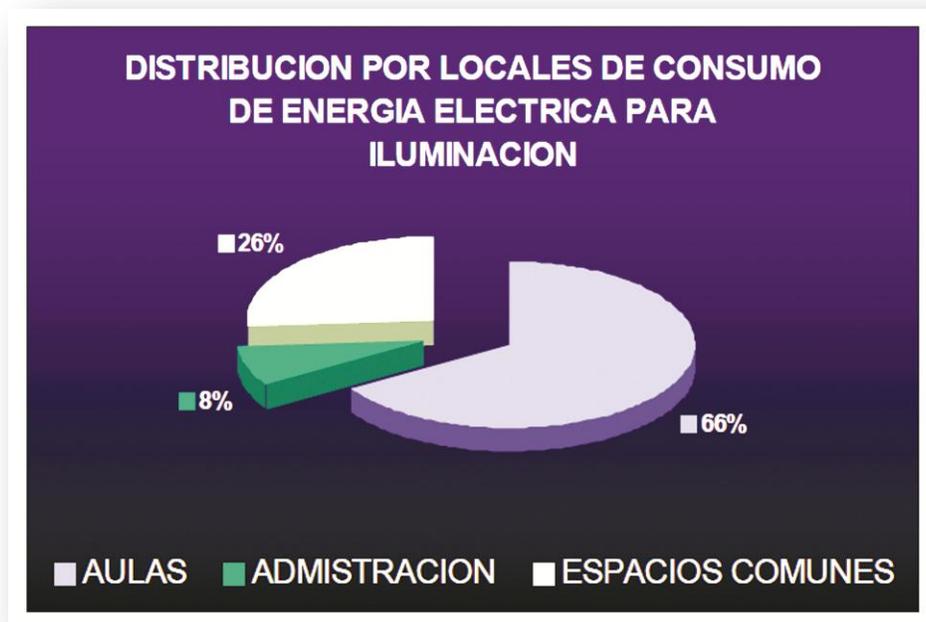


Figura XI. 1.: Distribución del consumo de energía eléctrica para iluminación en distintos locales de edificios escolares de Cochabamba.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### XI. 4. El comportamiento luminoso de las aulas según su orientación.

Mucho se ha discutido y aun hoy se discute sobre el efecto de la orientación en planta que deben tener las aulas y su relación con el acondicionamiento natural de estos espacios. En términos generales se ha difundido que la orientación Sur, es la más adecuada para la iluminación natural simplificándose de esta manera el tratamiento de la radiación directa que pudiese ingresar en algún momento del año, esto perjudica la aplicación de estrategias como la ganancia solar directa para calefacción solar pasiva, en los periodos invernales, principalmente en regiones como Cochabamba donde el balance térmico anual hace que las necesidades de acondicionamiento sean mayores en invierno que en verano. Esto se ve reflejado cuando “todos” los años los días de la vacación invernal colegial es incrementada debido a las bajas temperaturas causales de afecciones respiratorias en la juventud.

Por otra parte, las escuelas concentran su año escolar en los meses con temperaturas templadas y frías, con sus vacaciones anuales en los meses de verano. Si el aula es orientada al Este, solo tendrá posibilidad de captación solar directa para calefacción pasiva hasta el mediodía solar, perdiendo el aporte de las restantes horas del día, si



Figura XI. 2.: Iluminación y orientación del Aula.

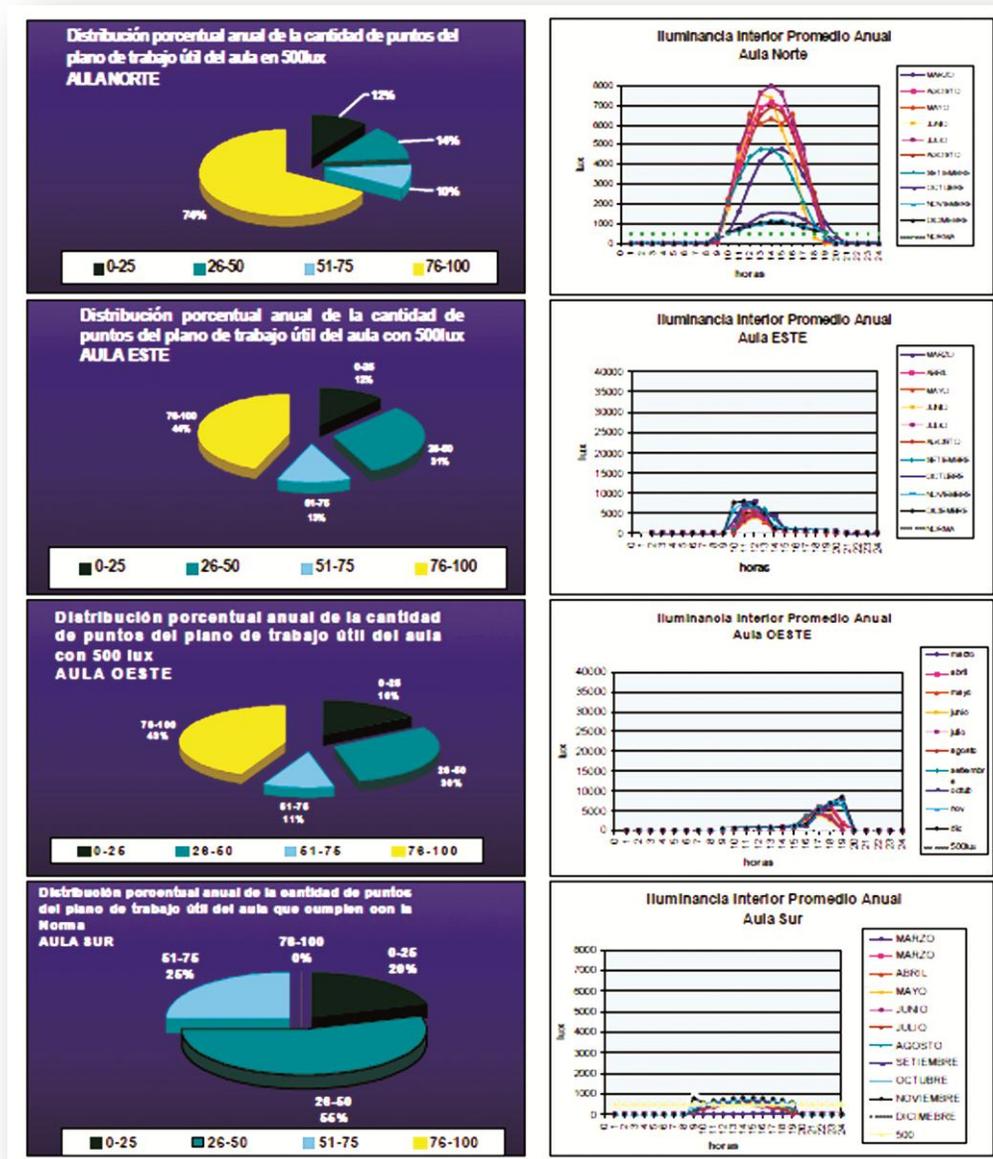
es orientada al Oeste, solo recibirá radiación directa a partir del mediodía solar, durante las horas de la tarde. Si orientamos al aula al Norte tendremos una situación beneficiosa todo el año si son comprendidos y aplicados algunos principio de diseño, que se refiere a sombreado estacional de verano (aleros) que eliminen todo aporte de radiación directa sobre la superficie vidriada, evitando sobrecalentamientos, mientras que en los meses de invierno ingresa la radiación directa necesaria para calefacciones.

Para esta situación especial de invierno es necesario mediante el diseño difundir o re direccionar la radiación solar directa, con estrategias de iluminación natural conocidas como estantes de luz, tablillas difusoras o reflejantes. Para que esto sea eficiente desde el punto de vista energético, debe partirse de la orientación del aula que permita el mayor aprovechamiento del recurso natural disponible durante la mayor cantidad de tiempo posible.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### XI. 5. Análisis y Resultados.

A fin de cuantificar la cantidad y duración del recurso de luz natral disponible para iluminar un aula de dimensiones y características establecidas en los Criterios y Normativas básicas de Arquitectura escolar, elaboradas por el Ministerio de Educación Nacional para los edificios nuevos a partir de la aplicación de la Ley de reforma educativa, se efectuaron simulaciones con el software Lumen Micro 2000. El periodo tomado para el cálculo corresponde al año escolar, de Marzo a Diciembre y desde la 8 a las 18 hrs respectivamente.



Gráficos XI. 3.: Resultado de las simulaciones para una misma aula orientada al Norte, Este, Oeste y Sur.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

En las tablas se ilustran resultados obtenidos para la misma aula pero en cuatro orientaciones distintas: Norte, Este, Oeste y Sur. Los gráficos de la izquierda, presentan la distribución porcentual anual de la cantidad de puntos del plano de trabajo útil del aula (calculados a una altura de 0.80 m del piso, altura de un pupitre escolar) cuyo valor de iluminancia es como mínimo 500 lux (valor recomendado por normas para aulas); tomando los siguiente rangos: 0-25%, 26-50%, 51-75% y 76-100% del plano de trabajo útil considerado como la superficie de piso del aula con un espacio no útil perimetral de 0.70 m.

Los gráficos de la derecha muestran la variación horaria y mensual del valor de iluminancia promedio del mencionado plano de trabajo útil.

### XI. 6. Resultados y Conclusiones.

Los resultados ilustran el potencial de las cuatro orientaciones principales de una misma aula, para Cochabamba, en cuanto a cantidad y duración de la luz natural interior como fuente principal de iluminación. Como muestran los resultados la orientación que mayor potencial (rango de 76-100% del plano de trabajo útil) tiene para aplicar estrategias conjuntas de acondicionamiento térmico y lumínico es la Norte, con un 74% del tiempo de uso de aula que cumple con la recomendación de que en todo el plano de trabajo útil esta en 500 lux, para el aula orientada al Este, esto ocurre solo con un 43% (principalmente en horas de la tarde) y para el aula Sur el 0% en este rango considerado como óptimo.

La utilización de aulas orientadas al Norte será beneficiosa, siempre y cuando se trabaje mediante el diseño con difusión y control de la luz solar, principalmente en invierno cuando la radiación solar ha ingresado para calefacción y se coloquen difusores o reflectores en el interior para distribuir la luz natural.



Tablas XI. 4.: Interior aula de escuela. Antes (foto izquierda) y después (foto derecha) de la colocación de las tablillas difusores (Policarbonato traslucido).

**CAPITULO XII**

**EVALUACIÓN Y PROPUESTAS PARA LA  
ILUMINACIÓN NATURAL EN AULAS DE  
COCHABAMBA.**

## **CAPITULO XII EVALUACIÓN Y PROPUESTAS PARA LA ILUMINACIÓN NATURAL EN AULAS DE COCHABAMBA.**

### **XII. 1. Introducción**

Dentro de las condiciones básicas de habitabilidad a considerar en el diseño de locales escolares, se encuentra la necesidad de brindar adecuados niveles de iluminación natural, tanto en cantidad como calidad, de manera tal de asegurar el normal desarrollo de las actividades en ellos previstas, lo que traerá como consecuencia la disminución del uso de la iluminación artificial y por lo tanto del consumo energético.

Una adecuada iluminación natural significa niveles aceptables de iluminación, o sea que responda a los mínimos establecidos por las normas, así como la obstrucción de la radiación solar directa sobre los planos de trabajo. La falta de consideración de dichas condiciones básicas conducirá a la necesidad de emplear iluminación artificial, aun en horarios en que el recurso natural exista, con el consiguiente costo energético y/o generara situaciones de confort lumínico que determinara que la tarea visual sea forzada, con negativas consecuencias físicas en el individuo, tales como fatiga, disminución en el rendimiento intelectual y en el aprendizaje, entre otras.

Este estudio, que tuvo como objeto principal analizar la iluminación natural en situaciones prototípicas de aventanamientos de las escuelas de la ciudad de Cochabamba y definir, a partir de las mismas, soluciones adecuadas de diseño, partió de la premisa que “el ambiente luminoso natural es un recurso vital para el bienestar dentro de las escuelas, debiéndose diseñar de modo que, tanto estudiantes como docentes puedan realizar sus tareas visuales de la manera más efectiva, en un contexto psicológico y físico adecuado.”

### **XII. 2. Metodología**

Se trabajó a partir de la definición de las situaciones prototípicas de aventanamientos de las escuelas de la ciudad. A partir de ello, se realizó el análisis del comportamiento lumínico de un aula, con las situaciones prototípicas de aventanamientos, unilateral y bilateral sin protección solar, para lo cual se realizaron mediciones en modelos a escala empleando el Cielo Celeste Artificial para la situación de Cielo Cubierto, mediciones en el exterior, para las condiciones de cielo claro y se completaron con la aplicación “Day light”.

A partir de los resultados obtenidos se plantearon diferentes soluciones de diseño para los aventanamientos, con los objetivos de mejorar las condiciones de iluminación en el interior, por un lado, y obstruir la radiación solar directa sobre los planos de trabajo, por otro.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Se completó el estudio con la determinación del comportamiento térmico de cada prototipo analizado. Los cálculos se realizaron utilizando el programa Quick2 y un software desarrollado para evaluar comparativamente los prototipos.

### XII. 3. Estudio de casos

A partir del análisis de las condiciones de aventanamientos de 100 escuelas se determinaron las situaciones más frecuentes en el diseño de las ventanas en las escuelas de la ciudad, parte de los resultados alcanzados se encuentran sintetizados en el gráfico.



Tablas XII. 1.: Características de los aventanamientos de las aulas de escuelas en Cochabamba.

Los resultados alcanzados permitieron observar que, el 77% de las escuelas presenta condiciones de aventanamiento unilateral, así mismo solo un 9% de la totalidad de las escuelas reveladas poseen protecciones solares en las ventanas.

#### XII. 3. 1. Investigación de campo y apoyo fotográfico

Debido a gran número de casos analizados, solo se ejemplificaran y mostraran los más significativos dentro de su propia caracterización. Mostrando la realidad actual de la situación escolar en la ciudad de Cochabamba dentro del tema lumínico arquitectónico.

Este apoyo fotográfico resume un recorrido por los establecimientos educativos en la ciudad de Cochabamba, desde aquellos que se encuentran en el casco viejo de la ciudad, dentro el centro histórico, hasta aquellos establecimientos emplazados en las zonas rurales de esta capital.

Se procede a clasificarlos y también a mostrar su situación lumínica dentro de las propias aulas, tratando de mostrar las mismas con sus propios usuarios en situación de trabajo.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- 1era Categoría - Clase social alto – Gran infraestructura.



Figuras XII. 2.: Colegio Calvert



Figuras XII. 3.: Colegio Tiquipaya



Figuras XII. 4.: Colegio Carachipampa

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- 2da Categoría – Clase social media – Entidades educativas renombradas.



Figuras XII. 5.: Colegio Salesiano Bon Bosco



Figuras XII. 6.: Colegio La Salle



Figuras XII. 7.: Colegio Santa María

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- 2da Categoría – Edificación histórica.



Figuras XII. 8.: Colegio Nacional Sucre



Figuras XII. 9.: Colegio Bolívar



Figuras XII. 10.: Colegio Mejillones

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- **3era Categoría** – Entidades educativas en infraestructura domiciliar.



Figuras XII. 11.: Colegio Boliviano Brasileiro



Figuras XII. 12.: Colegio San Pablo



Figuras XII. 13.: Colegio Santa Bárbara

150

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- 4ta Categoría – Clase social baja



Figuras XII. 14.: Colegio 6 de Agosto



Figuras XII. 15.: Escuela Tambillo



Figuras XII. 16.: Escuela Suchitepéquez

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- 4ta Categoría



Figuras XII. 17.: Escuela San Rafael



Figuras XII. 18.: Centro Escolar Tiahuanaco



Figuras XII. 19.: Escuela Nueva vida

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- 4ta Categoría – Rurales.



Figuras XII. 20.: Entidades educativas rurales

### XII. 4. Descripción del modelo

Teniendo en cuenta los resultados alcanzados se trabajó con un aula prototípica de 6,70 m por 6,70 m, definida a partir de considerar la superficie mínima requerida por alumno para un número máximo de treinta estudiantes, establecidas en el Documento “Criterios y Normativa Básica de Arquitecturas Escolar”.

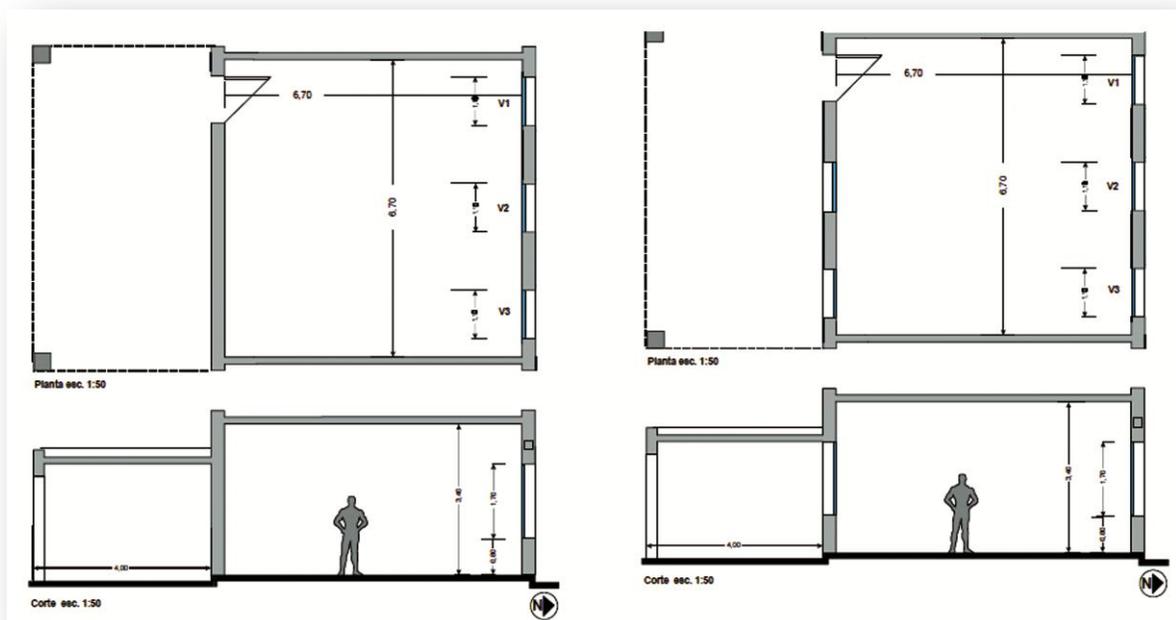
Se trabajó con el prototipo orientado hacia el Norte y Sur, teniendo en consideración que una recomendación básica de diseño es que se debe evitar orientar las aulas hacia el Este y Oeste, por las conocidas dificultades que presentan las mismas para el control de la radiación solar.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Para la definición de las superficies vidriadas del prototipo se trabajó con las situaciones típicas de aventanamientos identificadas en el estudio de casos, la unilateral, o sea ventanas en un solo lado del local, y la bilateral, ósea ventanas en dos muros opuestos, en donde uno de los lados se encuentra protegido ya sea por una galería o por la circulación.

Al dimensionar el área vidriada para el prototipo base unilateral, condición más desfavorable, se consideró la superficie mínima establecida en el Documento “Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar”, en los requisitos establecidos para la iluminación natural.

En la definición de los prototipos básicos, se tuvo en cuenta lo detectado en los estudios de casos, donde las soluciones de aventanamiento más frecuentes, son las ventanas sin protección solar alguna, o con protecciones como celosías, cortinas de enrollar exteriores o cortinado interior, que presentan el inconveniente de que al ser empleadas para impedir el ingreso del sol, impide también el ingreso de la luz.



Figuras XII. 21.: Prototipos base unilateral y bilateral.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Una vez definidos los prototipos, se modelaron los mismos en una maqueta en escala 1:10 y se realizaron las mediciones de los niveles de iluminación interior, para las condiciones antes mencionadas, sobre dieciséis puntos interiores.



Figuras XII. 22.: Maqueta modelo - Mediciones en el cielo Artificial.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### XII. 5. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos a partir de las mediciones de niveles de iluminación en el cielo artificial y del balance energético se resumen en la tabla XII. 23.

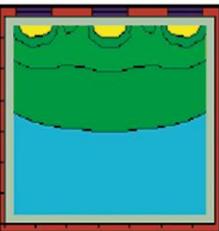
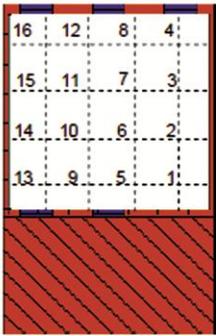
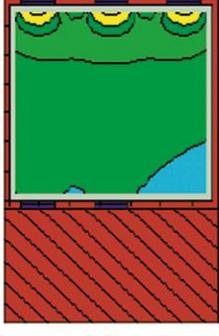
	Ubicación punto de medición	Punto medic.	CLD (%)		Valores daylight	Curvas de CLD (Daylight)	Consumos de energía para acond. artificial	
			cielo artific.	daylight			Calef. kW/h	Enfr. kW/h
UNILATERAL		1	1,4	1,4	Mínimo: 1,21 % Máximo: 24,6 % Promedio: 3,97 % Mín./Máx.: 0,05 Uniformidad: 0,3		2209	1032
		2	1,9	1,8				
		3	3,1	3				
		4	10,6	9,8				
		5	1,4	1,4				
		6	1,8	1,8				
		7	3,1	3,1				
		8	7,4	7,3				
		9	1,4	1,4				
		10	1,8	1,8				
		11	3,1	3,1				
		12	7,4	7,3				
		13	1,4	1,4				
		14	1,9	1,8				
		15	3,1	3				
		16	10,6	9,8				
BILATERAL		1	2,4	2,0	Mínimo: 1,75 % Máximo: 29,42 % Promedio: 4,77 % Mín./Máx.: 0,06 Uniformidad: 0,37		2815	900
		2	3,0	2,5				
		3	4,1	3,7				
		4	12,5	11,1				
		5	3,8	2,7				
		6	3,3	2,7				
		7	4,7	4,0				
		8	8,8	8,5				
		9	4,6	2,8				
		10	3,7	3,0				
		11	4,4	4,0				
		12	8,6	8,6				
		13	5,0	3,3				
		14	3,7	3,0				
		15	4,6	4,0				
		16	12,6	11,4				

Tabla XII. 23.: Mediciones en el cielo artificial, cálculos con Daylight y consumos energéticos de los diferentes prototipos de análisis.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Al analizar el comportamiento de los prototipos se pudo observar que:

- la situación más conveniente es la iluminación bilateral, ya que para condiciones de cielo cubierto, los coeficientes de iluminación diurna, son superiores a los de iluminación unilateral. Considerando un incremento en la superficie vidriada del 40%, los valores promedios alcanzados para condiciones de cielo cubierto son: según las mediciones en el cielo artificial, para la situación de iluminación unilateral es de 3,8% y para la bilateral del 5,6% y según los valores calculados con "Daylight" estos valores son de 3,97% y 4,77% respectivamente.
- Para la condición de cielo claro, puede apreciarse que todos los prototipos presentan ingreso de la radiación solar en algún periodo del año, siendo para el caso de iluminación unilateral, la orientación sur la que ofrece menor incidencia de la radiación solar directa.
- Para las situaciones de base analizadas, pude concluirse que si bien las orientaciones este y oeste no fueron consideradas por las conocidas dificultades que presentan para el control de la radiación solar en locales de trabajo, las orientaciones norte y sur presentan la necesidad de plantear elementos que obstruyan dicha radiación y los elementos usualmente empleados en las escuelas son: celosías, cortinas de enrollar, cortinados interiores, etc., los que obstruyen el ingreso de la luz por lo que debe recurrirse a la iluminación artificial para suplir dicha carencia, con los consiguientes costos energéticos.



Figura XII. 24.: Prototipos base con iluminación bilateral, ventanas al Norte, cielo claro, Julio 10:00 hrs.

Figura XII. 25.: Prototipos base con iluminación bilateral, ventanas al Sur, cielo claro, Diciembre 08:00 hrs.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### XII. 6. Propuesta de Diseño

En base a los estudios realizados, se realizan propuestas de diseño de aventanamientos tendientes a alcanzar soluciones superadoras de los problemas detectados.

Se plantean protecciones solares considerando el requisito básico de obstruir durante todo el año la incidencia de la mancha solar directa sobre los planos de trabajo y teniendo en cuenta la necesidad de permitir el ingreso de la radiación solar directa en el periodo invernal al interior de los locales, de modo de permitir calefaccionar en forma pasiva los mismos y de impedir el ingreso de sol en el periodo estival.

Se plantean, básicamente bandejas de luz las cuales cumplen con doble función, evitan la incidencia de la mancha solar sobre los planos de trabajos a la vez de reforzar (por reflexión de la luz) la iluminación natural en las zonas más alejadas a las ventanas. Los parasoles se dimensionan con el método de trayectoria solar en proyección cilíndrica desarrollada.

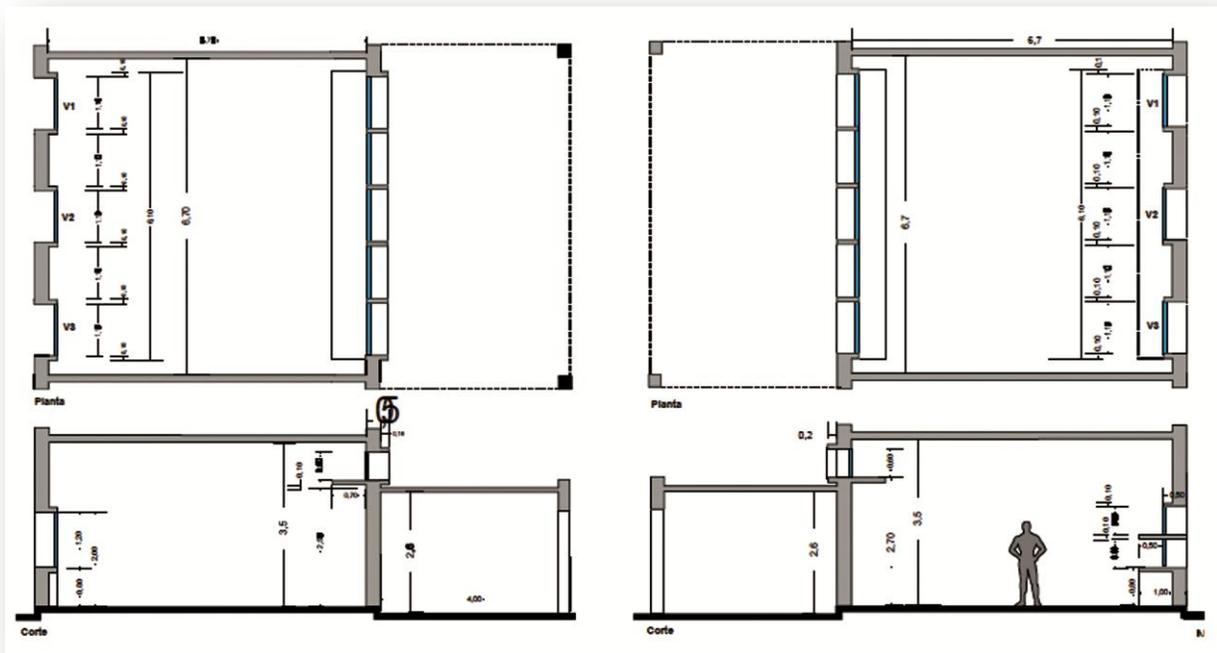


Figura XII. 26.: Prototipos con iluminación bilateral con bandeja al Norte y con bandeja al Sur.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

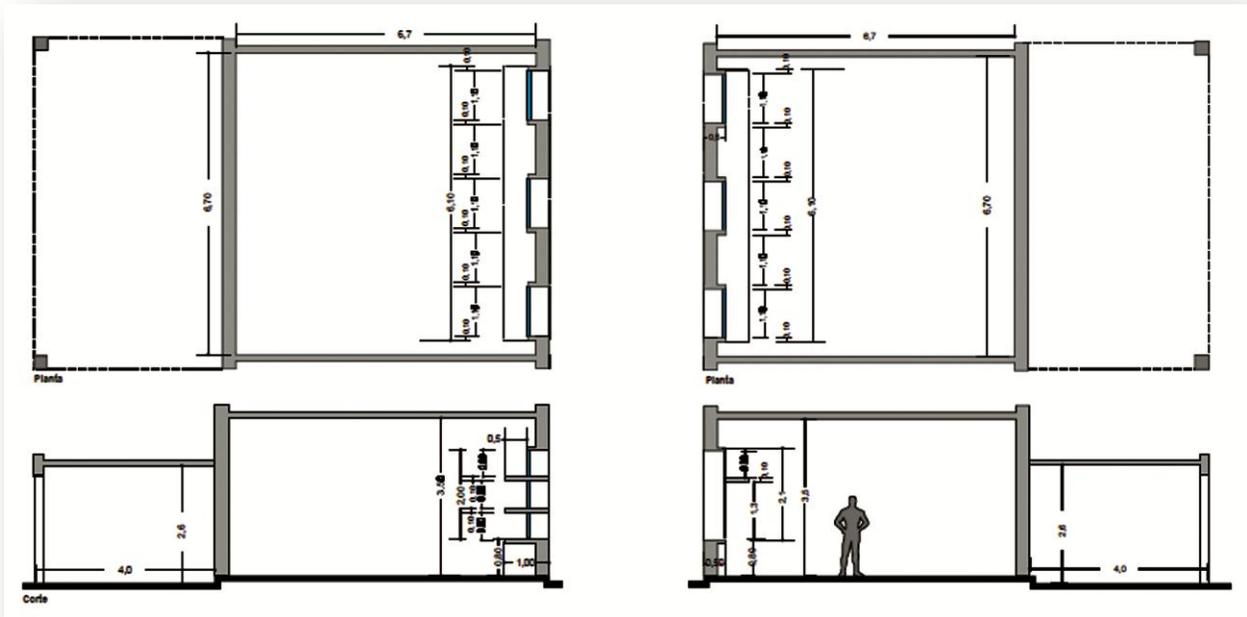


Figura XII. 27.: Prototipos con iluminación unilateral con ventanas al Norte y con ventanas al Sur.

Entendiendo que “los modelos físicos son, por lejos, la mejor herramienta para el diseño de la iluminación natural porque debido a la física de la luz no se introduce errores de escala e ilustra tanto la cantidad como la calidad del sistema de iluminación”, a la vez de permitir modelizar con mayor precisión los casos a estudiar es que se determinó el comportamiento lumínico de las propuestas con la medición en modelos a escala y el Cielo Celeste Artificial.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

En la tabla XII. 28. se muestran los resultados de las mediciones en el cielo artificial de las propuestas de diseño para los aventanamientos.

	Mediciones de CLD en cielo artificial (%)	Consumos energía p/acond. artificial		Mediciones de CLD en cielo artificial (%)	Consumos energía p/acond. artificial	
	BANDEJA AL NORTE	Calef. kW/h	Enfr. kW/h	BANDEJA AL SUR	Calef. kW/h	Enfr. kW/h
UNILATERAL		2405	1028		2947	593
BILATERAL		2618	797		2732	894

Tabla XII. 28.: Mediciones en cielo artificial del prototipo con los aventanamientos propuestos.

### XII. 7. Análisis de las propuestas

Prototipos con iluminación unilateral:

- La presencia de bandejas de luz, determina una mayor iluminación en las zonas más alejadas de la ventana, sobre todo para las condiciones de cielo claro. Siendo la situación más conveniente la de bandeja orientada al Norte, la cual recibe en mayor proporción la incidencia directa de la radiación solar, en donde se

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

verificaron niveles de iluminación superiores a la condición de ventanas sin bandejas, registrándose en los puntos más alejados de la ventana un incremento en el orden del 71% (Junio a las 12:00 hrs.)

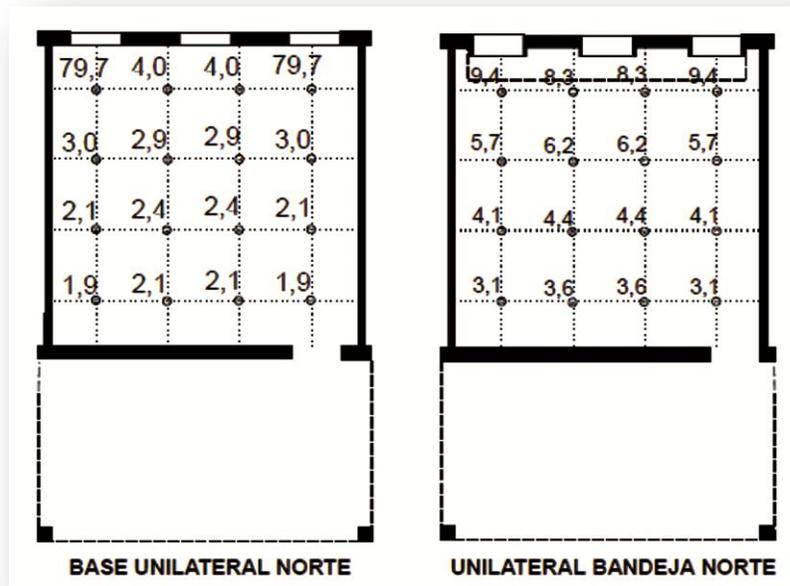


Figura XII. 29.: Niveles de CLD para los prototipos con iluminación unilateral al norte en cielo claro en Julio a las 12:00 hrs.

- Las bandejas de luz, posibilitan impedir la incidencia de la radiación solar sobre los planos de trabajo, como se observa en las figuras XII. 30. y XII. 31.



Figura XII. 30.: Prototipos base con iluminación unilateral, ventanas al Norte, cielo claro, Julio 12:00 hrs.

Figura XII. 31.: Prototipo con bandejas de luz, iluminación unilateral, ventana Norte, cielo claro, Julio 12.00 hrs.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- En el caso de bandeja orientada al Norte, esta recibe incidencia del sol para el periodo frío, beneficiando la ganancia de calor en el interior del local. Siendo necesaria, para tal situación un 20% menos de energía adicional para la calefacción, que el prototipo con ventanas al Sur.
- Las bandejas permiten además, una distribución más uniforme de la iluminación en el interior del local.

La razón de uniformidad (UR), se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$UR = D_{fmin} / D_{favg}$$

Dónde:

$D_{favg}$  es el promedio de CLD en el espacio.

$D_{fmin}$  es CLD mínimo del local.

Para la situación de cielo claro se mejora notablemente la distribución de la luz, se observa que para Julio a las 12:00, en los prototipos de ventanas orientadas al Norte, la razón de uniformidad es de 0,16 para el modelo sin bandejas y de 0,55 para el que posee bandejas.

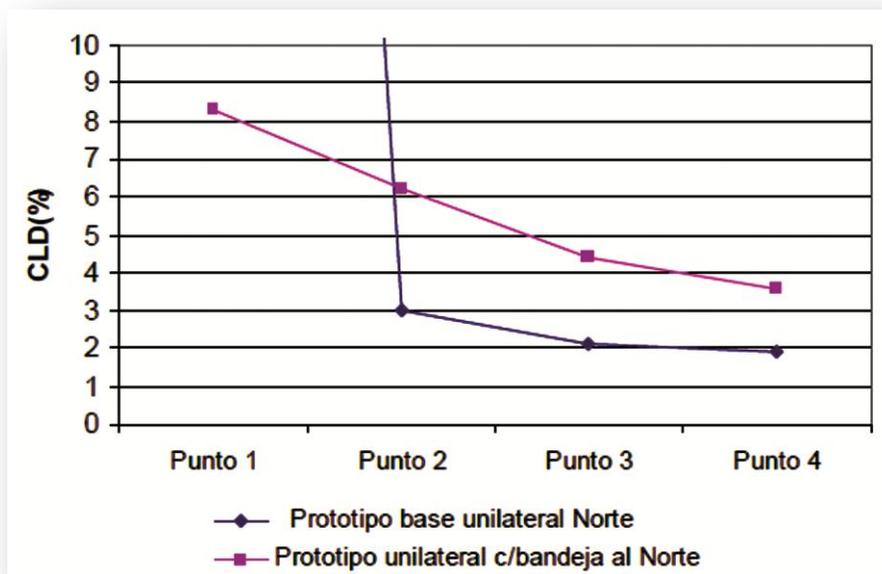


Figura XII. 32.: Niveles de CLD para los prototipos con iluminación unilateral al Norte en cielo claro en Julio a las 12:00 hrs.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Para la situación de cielo cubierto, en el prototipo sin bandejas el valor de uniformidad obtenido es de 0,36, para la situación con bandejas, en las ventanas orientadas al Norte de 0,59 y en las orientadas al Sur de 0,43. Se observa por lo tanto que si bien el mayor promedio de iluminación se presenta para la condición de ventanas con bandejas orientadas al Sur, debido a que los parasoles son de menores dimensiones y obstruyen en menor proporción la bóveda celeste, la situación más conveniente es la de ventanas orientadas al Norte.

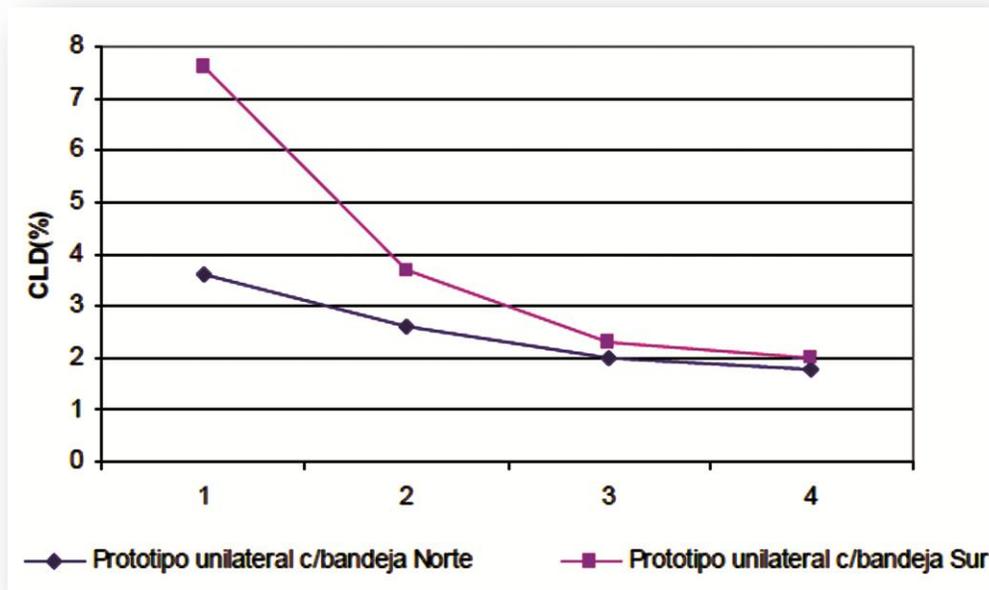


Figura XII. 33.: Niveles de CLD en cielo cubierto para los tipos con iluminación unilateral.

Prototipos con iluminación bilateral:

- La iluminación bilateral permite una distribución más uniforme de la luz, se pudo observar que para la situación de cielo cubierto, en el caso de aventanamiento unilateral con bandejas al Sur, el valor de uniformidad es de 0,43, en cambio, para la condición de ventanas bilaterales los valores de uniformidad máxima se encuentra en el orden de 0,79.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

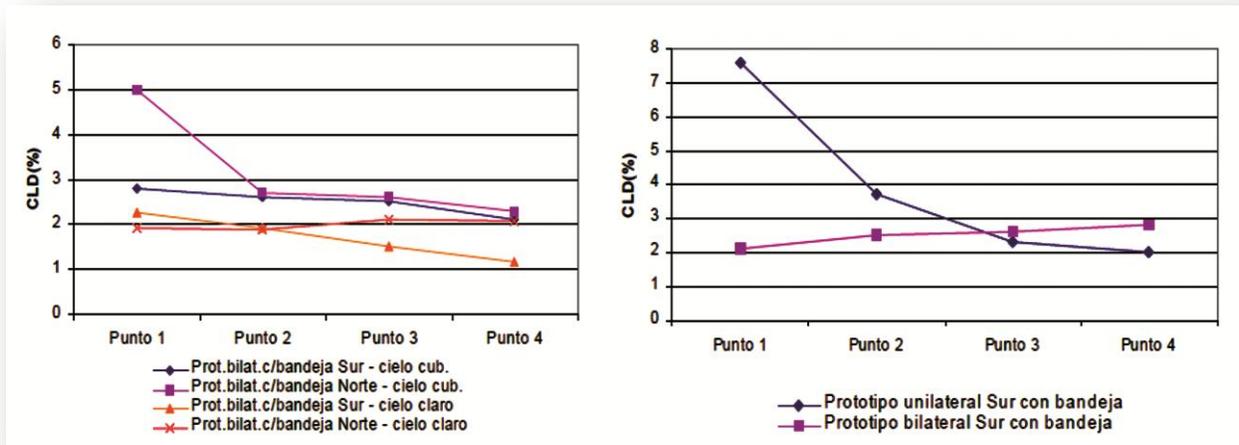


Figura XII. 34.: Valores de CLD para los prototipos con iluminación unilateral y bilateral en cielo cubierto.

Figura XII. 35.: Valores de CLD para prototipos con iluminación bilateral.

- Las bandejas permiten una distribución más uniforme de la iluminación en el interior del local. Para la situación de cielo cubierto, en el prototipo sin bandejas el valor de uniformidad obtenido es de 0,43, en cambio para la situación con bandejas, en el prototipo de bandejas orientadas al Norte es de 0,58 y en las orientadas al Sur de 0,79.

Para la condición de cielo claro, para Junio a las 10:00 hrs para las situaciones con bandejas, la uniformidad, considerando los puntos medios del local, para el prototipo con bandejas al Norte es de 0,95 y el prototipo al Sur, de 0,67.

Se observa por lo tanto, que si bien el mayor valor de uniformidad para la condición de cielo cubierto se da en el prototipo con bandejas al Sur, para la condición de cielo claro, la mayor uniformidad se da en el prototipo al Norte, sumando a la situación de mayor promedio de iluminación interior.

- Las bandejas de luz, posibilidad obstruir la radiación solar directa a impedir la incidencia de la misma sobre los planos de trabajo. La posibilidad de tener ventanas al Norte en todas las situaciones, determinar requerimientos en energía para la calefacción similares para los casos de prototipos con bandejas al Norte o Sur.

Al analizar el comportamiento térmico de los prototipos, puede concluirse en forma sintética que:

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

Es muy poco significativa la influencia parcial del comportamiento térmico interno de los distintos diseños de aberturas, ya que si bien se encuentran variaciones máximas para los distintos prototipos, cuando se analizan únicamente los muros Norte y Sur (33% para calefacción y 76% para enfriamiento), para el caso de considerar el aula completa y con un funcionamiento estimado como probable, las diferencias son menores al 7%.

### **XII. 8. Conclusiones**

A partir del estudio realizado puede concluirse que:

La situación de iluminación natural que presentan las escuelas de Cochabamba, las cuales en su mayoría poseen aventanamientos unilaterales y carecen de protecciones solares, no garantiza el cumplimiento de las condiciones mínimas de iluminación natural por lo que es necesario el planteo y transferencia de soluciones de diseño para mejorar el comportamiento lumínico de las mismas.

La modelización a escala y posterior evaluación lumínica con el uso de Cielo celeste artificial, permitió alcanzar resultados y conclusiones válidas para la definición de alternativas superadoras. Entre las cuales se puede sintetizar que:

El uso de bandejas de luz, mejora notablemente el comportamiento lumínico en los locales analizados, ya que a la vez de obstruir la radiación solar directa, permite una mayor uniformidad, evitando situaciones de deslumbramiento y excesivos contrastes.

La situación más conveniente para la condición de aventanamiento bilateral es la desarrollada en el prototipo con bandejas orientadas hacia el Norte, ya que a la vez de obstruir la radiación solar, permite el aprovechamiento de la misma para calefacción solar pasiva.

Para la situación de aventanamientos unilaterales, se observa también que la situación más favorable es la de ventanas con bandejas, orientadas hacia el Norte.

En la consideración del comportamiento térmico, se observa que para la función planteada, aula de escuelas en hilera y en planta baja, considerada en medianera con otras aulas similares, que es el caso más común para las escuelas relevadas es prioritaria la consideración de las cargas internas y el adecuado diseño de protecciones solares, de la aislación de techos y paredes exteriores, de la ventilación natural y del enfriamiento nocturno. Con un planteo correcto de la envolvente y de estas otras consideraciones bioclimáticas, la forma en que se realicen las aberturas deja de tener una importancia fundamental desde el punto de vista térmico, siendo el rendimiento de la iluminación natural, en cantidad y calidad, el factor de mayor peso.

## **CAPITULO XIII**

# **CRITERIOS PARA EL SISTEMA DE DISEÑO MODULAR CON LUZ NATURAL**

## **CAPITULO XIII**

### **CRITERIOS PARA EL SISTEMA DE DISEÑO MODULAR CON LUZ NATURAL**

#### **XIII. 1. Introducción**

Como ya se ha explicado, la luz natural procedente de la bóveda consta de tres componentes:

- El haz directo procedente del sol.
- La luz natural difundida en la atmosfera (incluidas nubes), que es la componente difusa del cielo.
- La luz procedente de reflexiones en el suelo y objetos en el entorno exterior.

El color de la luz natural o diurna resulta de la mezcla aditiva de la luz coloreada procedente de cuatro fuentes: el cielo azul, la luz solar, de color más amarillo, el suelo o terreno, que si está cubierto de vegetación es verde y finalmente las otras superficies reflectantes de variados colores.

#### **XIII. 2. Parámetros de Diseño**

Como base de partida para la consideración de un correcto diseño de iluminación de un edificio, deben resolverse una serie de premisas, de entre las que pueden destacarse las siguientes:

- El haz directo procedente del sol.
- La iluminación debe facilitar la orientación y definición de la situación de una persona en el espacio y en el tiempo.
- La iluminación debe integrarse en el diseño arquitectónico y de interior; es decir, planificarse desde el principio y no agregarse en una fase posterior.
- Las diversas opciones de forma, color y materiales de la iluminación deben reforzar los objetivos del diseño arquitectónico y de interior en vez de actuar independientemente.
- La iluminación debe crear una sensación y atmósfera adaptadas a las necesidades y expectativas de las personas (formal, íntima, oficial, sobria, económica, brillante, atenuada, hogareña, valiosa, amplia, acogedora, hostil, etc.).
- La iluminación debe facilitar y promover la comunicación entre las personas.
- La iluminación debe definir principios y transmitir mensajes que vayan más allá de la simple claridad; debe expresar algo.
- La iluminación debe ser original en sus formas básicas de expresión; no debe ser un producto de masas que simplemente reproduzca lo ya existente.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

Sobre la base de estas premisas, a fin de controlar la calidad de la luz ambiental, el diseñador debe manejar un conjunto de parámetros relevantes, que incluyen:

- La elección del lugar, orientación, forma y dimensiones del edificio, para aprovechar las ventajas de la aportación de luz natural e impedir sus inconvenientes inherentes a la presencia del sol y de su trayectoria.
- La selección de la abertura de penetración de la luz natural y su orientación, factor esencial para el control de la calidad de iluminación; por ejemplo, un diseñador sabe que la luz sur, rica en azules procedente de la parte de cielo sin sol, está relacionada con la sensación de “frío”, por el hecho de que la temperatura de color es mayor que la del haz solar directo.
- Las superficies exteriores de los edificios actúan entre ellas. Los parámetros superficiales, que son una variable de diseño para un edificio, resultan restrictivos para los edificios contiguos; esto es debido al hecho de que el color de la luz reflejada desde las superficies de un edificio está influenciado por el color de las otras superficies reflectantes.
- Las superficies del suelo que rodean al edificio, cuya contribución es importante en días de cielos descubiertos, sin nubes, porque la luz incidente sobre las fachadas es reflejada desde el suelo.
- La iluminación debe facilitar la percepción y reconocimiento del entorno de las personas.

### **XIII. 3. Tipología de espacios**

Hay dos niveles tipológicos que condicionan el diseño de la edificación desde el punto de vista de la iluminación de interiores:

- la interacción entre el edificio y el espacio abierto iluminado con un cielo luminoso
- la relación entre el edificio y la sala interior iluminada que recibe su luz del exterior.

#### **XIII. 3. 1. Situación: Forma del edificio e implantación**

El diseño de luz natural debe comenzar en la etapa de distribución del lugar de ubicación, antes de considerar en detalle las ventanas. La razón para ello es que los grandes obstáculos que rodean al edificio pueden tener un impacto tanto en la cantidad de luz que alcanza las ventanas como en la distribución de la luz dentro de una sala.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

La implantación del lugar de edificación es también el factor más importante que afecta a la disponibilidad de luz solar dentro de un edificio. Para el diseño solar pasivo, que constituye la mayoría de las ganancias solares en invierno, es especialmente importante considerar el grado de obstrucciones u obstáculos.

### XIII. 3. 1. 1. Características de la situación

Una pendiente orientada al norte experimentará mayores temperaturas que una pendiente orientada al sur, y es probable que quede protegida de los fríos vientos del norte así como que reciba una radiación solar incrementada. La pendiente en cualquier dirección reducirá la cantidad de luz natural que alcanza las ventanas que miran hacia la pendiente.

La figura muestra cómo esta situación aumenta el espacio necesario del edificio para dar las mismas iluminancias de luz natural en la pared de la ventana.

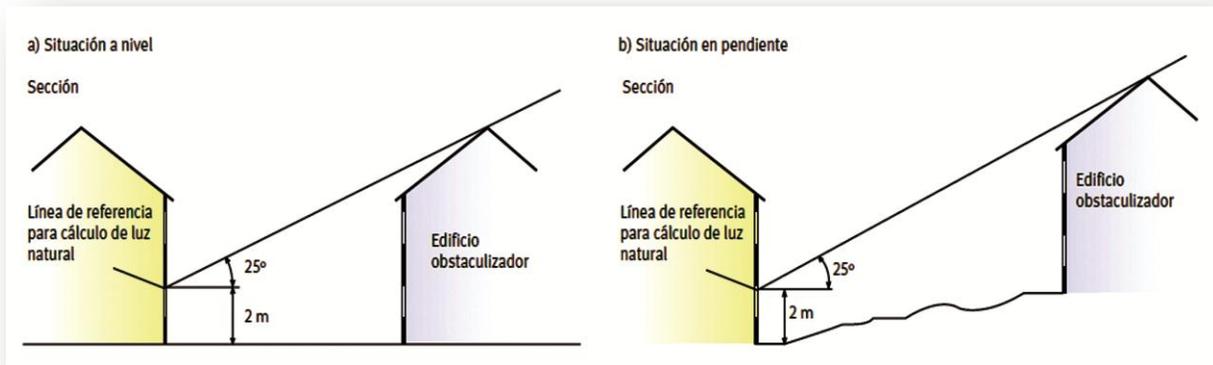


Figura XIII. 1.: La formación de sombras resulta un problema menor cuando la superficie donde se ubicara el edificio esta nivelada que cuando está en pendiente.

### XIII. 3. 1. 2. Contaminación atmosférica y ruido

En ubicaciones muy sucias o contaminadas, pueden ser necesarias ventanas cerradas herméticamente y ventilación mecánica o aire acondicionado. Los depósitos sucios en las ventanas pueden requerir acristalamiento adicional o un programa riguroso de mantenimiento. Las claraboyas horizontales se ensucian rápidamente y precisan ser limpiadas frecuentemente. Por esta razón deben evitarse en lugares

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

sucios o contaminados. El acristalamiento inclinado se ensucia más rápido que las ventanas verticales.

También en zonas muy ruidosas, es necesario el diseño cuidadoso de las ventanas. El aislamiento acústico puede ser mejorado utilizando un cristal más grueso o laminado o materiales absorbentes del sonido.

El principal conflicto se plantea entre la protección acústica y la ventilación. Una ventana abierta proporciona un aislamiento de sonido muy pequeño, mientras que los agujeros de ventilación tienden a reducir el rendimiento de una unidad doblemente acristalada. De ahí que cada situación requiera una solución específica.

### XIII. 3. 2. Profundidad del edificio y tamaño total

La iluminación lateral en un edificio establece un límite a la profundidad del mismo para que pueda ser iluminado satisfactoriamente durante el día. En un edificio típico con una altura de la parte superior de la ventana de 2,5 m y una anchura de sala de 3,75 m, la luz natural puede penetrar aproximadamente 6 m hacia adentro desde la vertical de la ventana. Esto establece una limitación al diseño, produciendo plantas que son de 12 m de profundidad. Esta limitación puede contrarrestarse mediante el uso de ventanas altas relacionadas con espacios altos, que permiten que la luz natural alcance mayor profundidad.

Reflectancia Rb	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
Ancho de sala (m)	3	10	3	10	3	10
Altura de la parte superior de la ventana (m)						
2,5	4,5	6,7	5,4	8	6,8	10
3	5	7,7	6	9,2	7,5	11,5
3,5	5,4	8,6	6,5	10,4	8,1	13

Tabla XIII. 2.: Profundidades límite de salas iluminadas lateralmente (en metros).

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Si un edificio se ilumina mediante ventanas situadas en lados opuestos del edificio, la profundidad máxima que puede ser iluminada con luz natural de modo satisfactorio, es dos veces la profundidad límite de la sala, desde la pared de una ventana a la pared de la otra ventana.

La iluminación cenital se desarrolló con la finalidad de permitir construir edificios de mayor profundidad, para introducir más luz hacia el interior por medio de claraboyas, lucernarios, cúpulas u otros tipos de elementos de iluminación cenital. También se usa para edificios especiales, tales como pabellones deportivos: puede sustituir con ventajas a las ventanas laterales que pueden provocar deslumbramiento cuando se intenta seguir la trayectoria de bolas o pelotas. La iluminación cenital puede también causar deslumbramiento si no está bien diseñada, pero a menudo es un problema de diseño más fácil de resolver que el de reducir el deslumbramiento procedente de ventanas laterales.

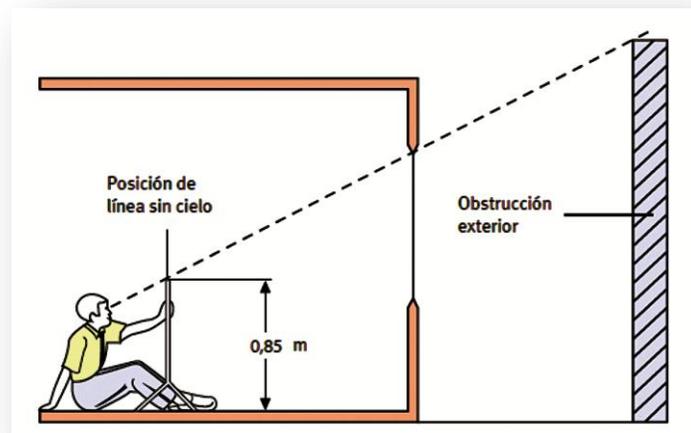
### XIII. 3. 3. Línea de Cielo

Se define como línea sin cielo a aquella a partir de la cual no se recibe luz del cielo directa. Si un área significativa del plano de trabajo se encuentra más allá de ésta, la distribución de la luz natural en la sala parecerá pobre y se requerirá alumbrado artificial suplementario.

En el trazado de la línea de cielo, los puntos clave están en la parte superior de las esquinas de la ventana. Estos son, normalmente, los últimos puntos en los que puede verse el cielo. De ahí que la posición de la línea sin cielo pueda ser alterada aumentando la altura de la parte superior de la ventana o ajustando la parte posterior de la fachada del edificio.

Si la sala y los obstáculos externos ya existen, la posición de la línea sin cielo puede ser medida directamente, pero en la mayoría de los casos su posición tiene que ser encontrada a partir de dibujos.

Figura XIII. 3.: Modo de medir la línea sin cielo teniendo en cuenta situación de ventanas y obstáculo exterior.



## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- a) Obstrucción horizontal larga paralela a la ventana. La línea sin cielo es también paralela a la ventana.

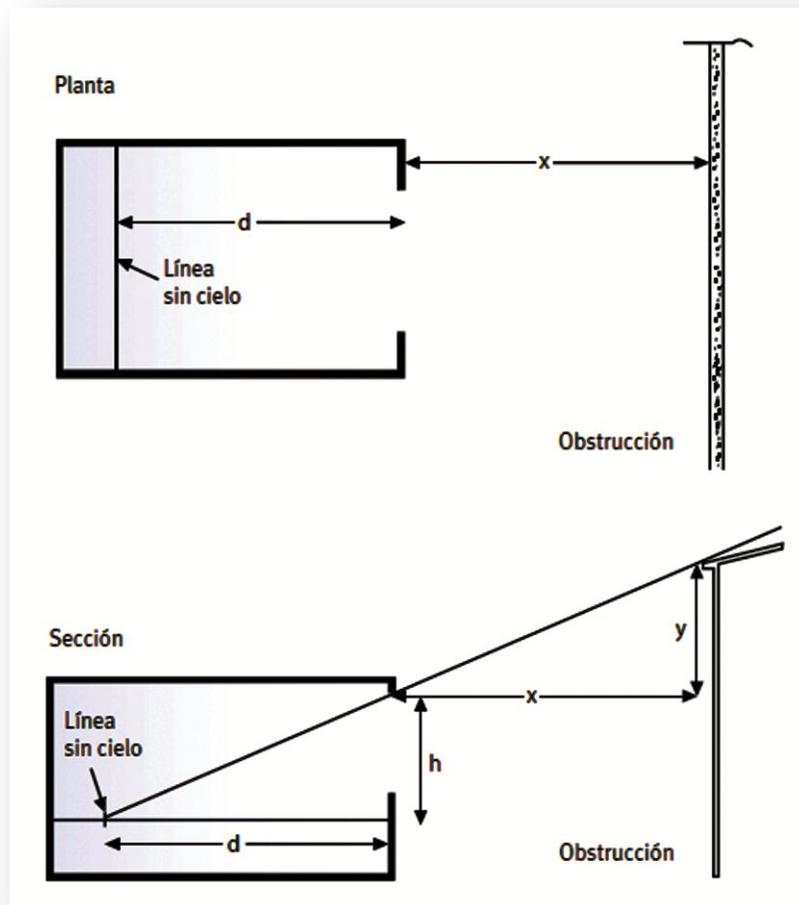


Figura XIII. 4.: Cuando la obstrucción es paralela a la ventana, la línea sin cielo también lo es.

- b) Obstrucción horizontal más estrecha paralela a la ventana. CD es parte de la misma línea sin cielo, pero ahora los puntos al Norte de DE pueden recibir luz procedente de los alrededores de la esquina A del obstáculo, y los puntos al Sur de CF pueden recibir luz también de los alrededores de la esquina B. Así el área sin cielo es de forma trapezoidal. Si el obstáculo AB hubiera sido incluso más estrecho, el área sin cielo sería de forma triangular, y con la misma forma si la obstrucción fuese mayor.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

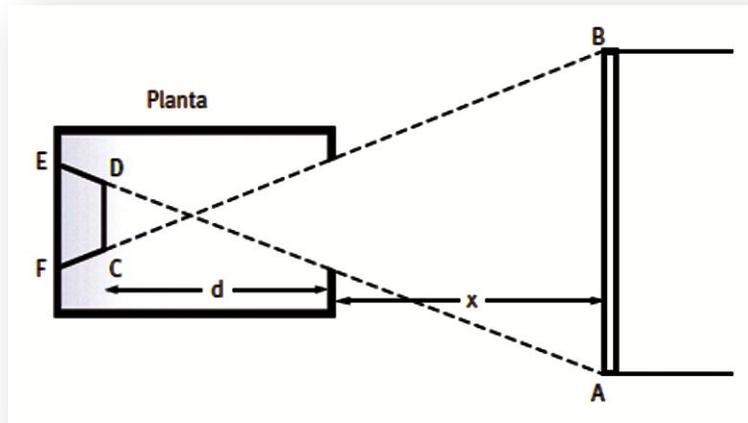


Figura XIII. 5.: Cuando la obstrucción es más estrecha el área sin cielo es trapezoidal o incluso triangular.

- c) Obstrucción horizontal perpendicular a la pared de la ventana y que sobresale desde ella. La parte de la línea sin cielo (DB) discurre paralela a la obstrucción. Sin embargo, los puntos del triángulo EBC pueden recibir luz del cielo alrededor de la esquina F; los puntos del triángulo ABD pueden ver el cielo sobre la parte superior del obstáculo. La figura asume que la pared de la ventana es despreciablemente delgada. Si la pared de la ventana es gruesa, el área sin cielo será mayor.

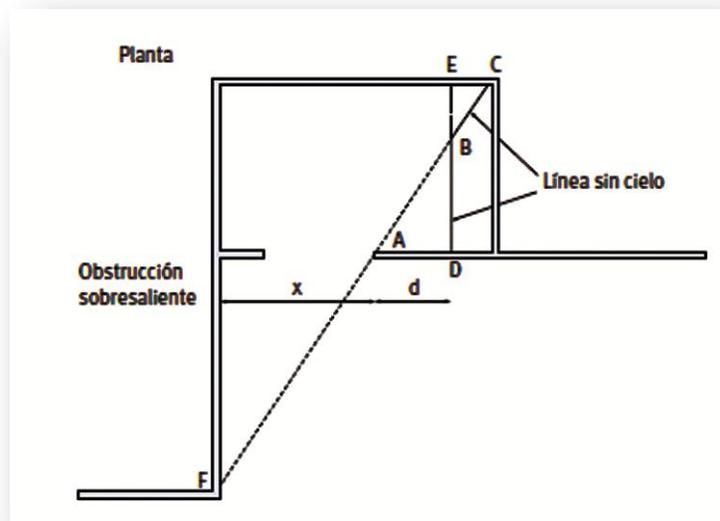


Figura XIII. 6.: Para un obstáculo sobresaliente de la pared la línea sin cielo se desplaza paralela al obstáculo.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

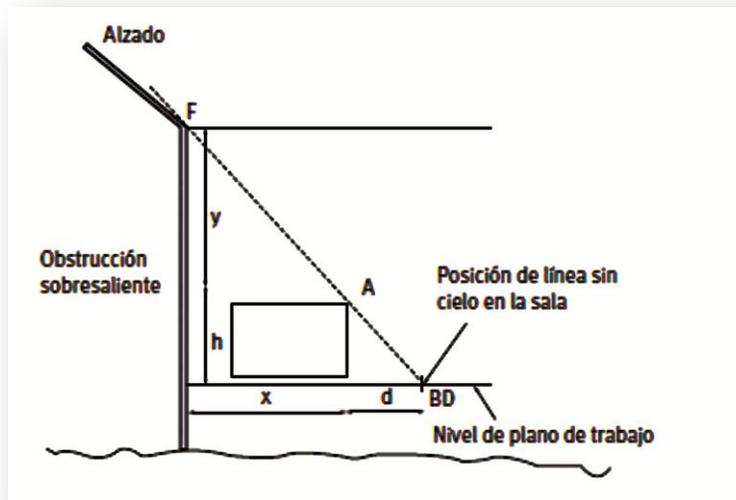


Figura XIII. 7.: Para un obstáculo sobresaliente de la pared la línea sin cielo se desplaza paralela al obstáculo.

Donde hay más de una ventana, la línea final sin cielo rodeara estas áreas que no pueden recibir luz de cielo directa desde ninguna de las ventanas. Esto puede ser evaluado considerando entonces. Para una sala con ventanas en más de un lado sucede a menudo que todos los puntos del plano de trabajo reciben luz del cielo directa a través de una ventana u otra.

La línea sin cielo y el límite de las profundidades de la sala en cada lado introducirán un límite a la profundidad del edificio que puede ser iluminada con luz natural satisfactoriamente. Si el edificio necesita ser más profundo que esto, las opciones son:

- Claraboyas
- Un atrio o patio
- Un núcleo con perímetro de iluminación natural

### XIII. 3. 4. Orientación del edificio

La orientación de una fachada de un edificio, y por tanto de las ventanas situadas en él, influyen en gran medida en la iluminación interior. Hay dos aspectos importantes:

- El ajuste del edificio en su ubicación y su relación con el recorrido del sol;

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- Permitir que la gente conozca donde se encuentra en el interior de un edificio. Este sentido de orientación proviene del contacto con el mundo exterior, y puede ser obtenido a partir de la percepción de la luz natural, incluso aunque no haya visión hacia el exterior.

La orientación de la ventana con relación al sol afectará significativamente a la ganancia solar y al grado consiguiente de penetración de luz solar.

- Por ejemplo, una ventana que mira al sur admite poca radiación solar comparada con una que mira al norte, este u oeste. Cuando una fachada mira al norte, el sol estará alto en el cielo durante la parte más calurosa del día en verano, y consiguientemente la penetración solar podrá evitarse de modo efectivo utilizando apantallamiento. Por esta razón a menudo se elige como orientación de un edificio la que sitúa su eje más largo alineado en sentido este-oeste, con apantallamiento solar previsto en la cara norte.
- Si el sobrecalentamiento constituye un problema potencial serio en términos de insolación, el noroeste es la peor orientación, debido a que la luz solar no solamente es intensa en primavera y otoño, sino que también tiene un bajo ángulo de incidencia, lo que la hace difícil de apantallar.



Figura XIII. 8.: Una correcta orientación mejora notablemente la iluminación en un ambiente educativo.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Los efectos de obstrucciones y la orientación en la disponibilidad de luz solar pueden ser encontrados utilizando una carta solar estereográfica. La siguiente figura muestra la carta solar estereográfica de Cochabamba. Este diagrama es una proyección del cielo completo; el horizonte está representado por el círculo exterior y el cenit (el punto del cielo directamente en la vertical) por el punto en el centro. Los círculos concéntricos representan líneas de alzado constante por encima del horizonte. La escala perimetral proporciona el acimut, el soporte en grados desde el sur.

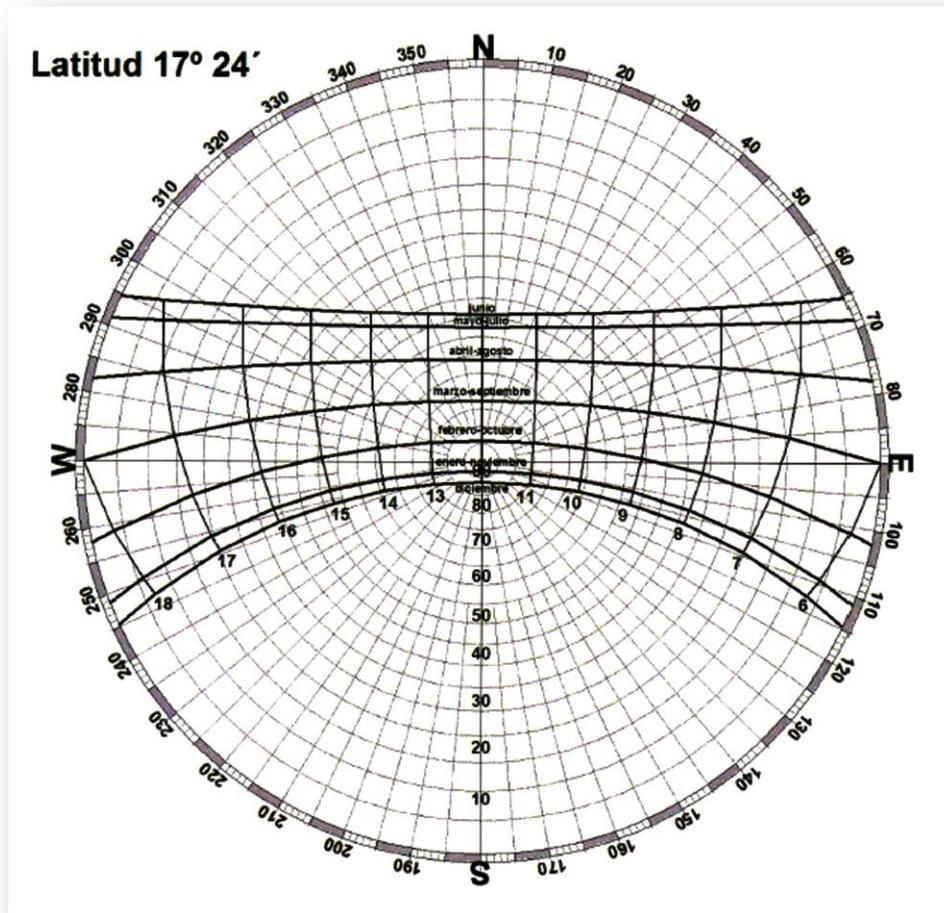


Figura XIII. 9.: Carta Solar Estereográfica de Cochabamba.

### XIII. 4. Criterios para la Sostenibilidad

Existen conceptos, elementos y necesidades que norman cualquier diseño arquitectónico, estos mismos inciden de manera importante al momento de aprovechar las llamadas energías renovables, las cuales ayudan a llegar al concepto de Arquitectura Sostenible.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Se puede decir que el “Urbanismo Sostenible” se basa en diseñar en el sentido que asegura que la zona transformada mantendrá un equilibrio capaz de asegurar que hijos, nietos y biznietos habiten el mismo espacio y que este se mantenga saludable, socialmente cohesionado y sin que ello implique distorsionar el equilibrio de otras zonas.

De estas necesidades, una fracción debe corresponder a la iluminación y ventilación natural, que no se percibe solo como un factor de cantidad sino como la calidad del contraste conseguido entre los valores de iluminación del interior y de los que se perciben en el exterior.

Preceptos que orientan acerca de cómo conseguir un nivel aceptable de iluminación natural:

- Diseñar las aberturas de forma que la luz directa no incida directamente sobre los objetos a iluminar. No sobre dimensionar las ventanas que no tengan una orientación Norte, más que en el caso de quedar protegidas por una vegetación densa y de hoja perenne.
- Basar la entrada de iluminación natural por las ventanas situadas en las orientaciones Sur y Norte, y utilizar aleros y parasoles para controlar el exceso de luz y calor. En cualquier caso considerar que la relación entre la superficie acristalada y la superficie habitable oscile entre un 5% y un 15%.
- **Forma:** En general podemos afirmar que las formas lineales tienen un comportamiento térmico mejor durante todo el año si se alargan en dirección Este – Oeste ya que tienen más posibilidades de captar radiación en invierno.
- En cuanto a la ventilación las mejores posibilidades son estas formas alargadas, si están orientadas en dirección perpendicular al viento dominante. Si se orientan adecuadamente pueden crear espacios exteriores protegidos al viento creando microclimas muy agradables
- **Forma interior:** Lumínicamente la calidad de distribución dependerá de la situación de la ventana respecto de la forma. Espacios irregulares o alargados con entrada por un extremo tienen luz poco homogénea.
- **La Piel:** Es el elemento que permite la relación interior – exterior. La piel como conjunto de barreras, filtros y conectores que posibilitan el intercambio energético entre el edificio y el exterior.
- **Perforación:** Esta nos indica el grado de hermeticidad de la piel al paso del aire. Lumínicamente refiere a que normalmente a mayor perforación, mayor posibilidad de iluminación aunque esta dependerá del tipo de tratamiento de la fachada. Climáticamente una alta perforación consiste en que las condiciones interiores

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

tienden a igualarse con las del exterior. La perforación asegura la ventilación (imprescindible en climas húmedos, contraproducente en climas extremos).

- **Transparencia:** Es la capacidad que tiene el edificio para dejar pasar la radiación solar directa. En términos lumínicos, mayor grado de transparencia comporta una mayor iluminación. Climáticamente indica que cuanto más transparente sea mi edificio, mayor capacidad de captación de energía radiante directa tendrá, y si existen superficies interiores que puedan recibir esta radiación y almacenarla se producirá el Efecto Invernadero, que es uno de los pilares en los que se basa la “Arquitectura Bioclimática” para la calefacción de los edificios.
- **Color:** Característicamente importante, colores más claros son más reflectantes y colores más oscuros son más absorbentes. Se debe tener en cuenta que cuanto más absorbente es una superficie también es más emisora. Lumínicamente más que el propio edificio donde si se tiene influencia es en los edificios próximos, ya que una piel clara reflejara más radiación lumínica. Climáticamente los colores claros son muy reflectores y por tanto comportan una menor captación de energía calórica. Los colores oscuros potencian la absorción de radiación solar y por tanto la entrada de calor, pero también la emisión.
- **Color Interior:** Los colores claros favorecen las reflexiones, mientras que los oscuros lo hacen con la absorción. Lumínicamente los colores claros reflejan mejor la luz natural obteniendo niveles interiores más altos, mejor aprovechamiento de la luz, tener en cuenta el efecto psicológico del color (Paz, tensión, etc...). Climáticamente los colores oscuros favorecen la absorción de radiación, con lo que mejoraremos el funcionamiento de elementos captadores con inercia.
- **Forma urbana:** Dependerá de las obstrucciones del cielo que cada tipo puedan presentar. Estructuras urbanas más densas y con calles más estrechas y cerradas (casco antiguo) ofrecen peor iluminación natural.
- **Compacidad:** En términos lumínicos cuando más compacto sea el edificio más dificultades tendremos de iluminar naturalmente los espacios centrales del mismo. Desde un punto de vista acústico, cuanto más compacto sea el edificio mejor aislamiento exterior, ya que tiene menor superficie de contacto con el exterior. Esto influye en su propia ventilación natural.
- **Porosidad:** Lumínicamente a mayor porosidad, mayor posibilidad de iluminar las zonas interiores del edificio, su acción está limitada por la profundidad del patio y por tanto las zonas mejor iluminadas son las que estén más cerca de las caras abiertas del patio. La ventilación se ve notablemente influenciada y mejorada a mayor porosidad.
- **Esbeltez:** Mayor esbeltez se convierte en mayor facilidad de iluminación natural, ya que las fachadas están más cerca de la zona central. Edificio esbelto tiene mejor luz.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- **Pendiente:** Dependerá de la obstrucción que la pendiente pueda presentar. Podemos decir que las pendientes disminuyen las posibilidades de captación de luz natural.
- **Agua:** Reflexiones en el agua pueden ser molestas o agradables. Efecto dinámico de la luz reflejada. Se deberá vigilar las orientaciones a levante y ponientes debido a menor altura del sol.
- **Vegetación:** la vegetación puede producir obstrucciones a la radiación directa y difusa. Es importante la variabilidad de la vegetación a lo largo del año (Hoja caduca).

### XIII. 5. Sistemas Lumínicos

La arquitectura contemporánea divide los sistemas lumínicos en tres grupos de componentes de captación de luz natural:

1. **Sistema lumínico de Conducción.** (Espacios de luz intermedios, galerías, porches, invernaderos, patios, atrios, conductos de iluminación, pozos de luz y conductos de sol).
2. **Sistema lumínico de Paso.** (Ventanas, balcones, muros traslucidos, lucernarios, cubierta monitor, cubierta de diente sierra, techo traslucido, claraboyas, cúpulas, linternas, membranas).
3. **Sistema lumínico de Control.** (Pantallas flexibles, toldos, opacos o difusores, cortinas, aleros, pantallas, filtros solares, persianas, lamas).

Todos estos componentes o elementos constructivos Influyen notablemente en la ventilación de los ambientes escolares, mejorando el reciclado del CO<sub>2</sub>.

#### XIII. 5. 1. Componentes o elementos de captación de luz natural

Para utilizar los componentes y elementos de captación de la luz natural en arquitectura con una mínima efectividad, es preciso conocer su comportamiento. La mayoría de las veces un componente produce consecuencias muy diferentes en términos de iluminación o condiciones térmicas según las circunstancias, por lo que hay que seleccionar cuál de los efectos es más importante. A continuación se describen algunos de estos componentes o elementos ilustrados con imágenes.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- **Galería**

Una galería puede describirse como un espacio de luz cubierto unido a un edificio. Puede abrirse al exterior o puede estar cerrada mediante cristales. Permite que la luz natural entre en las partes interiores de un edificio conectado a la galería por elementos de paso.

Proporciona un nivel de iluminación reducido y de menor contraste en las zonas interiores adyacentes a la galería.



Figura XIII. 10.: Colegio Don Bosco

- **Porche**

Un porche es un espacio de luz cubierto unido a un edificio a nivel del suelo, abierto al entorno exterior. Es un espacio intermedio que permite la entrada de luz natural a las partes del edificio directamente conectadas al porche y las protege contra la radiación solar directa y la lluvia.

Normalmente un porche tiene el equivalente en altura a una planta de construcción pero a veces puede llegar a dos plantas.



Figura XIII. 11.: Perspectiva Modular.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- **Patio**

Un patio es un espacio encerrado por las paredes de uno o varios edificios y está abierto al exterior por su parte superior y a veces en una dirección. Los patios tienen propiedades luminosas similares al espacio exterior pero a través de ellos se reducen la iluminación con luz natural y la ventilación.



Figura XIII. 12.: Perspectiva Modular.

Los acabados de las paredes que lo encierran influyen sobre las prestaciones de iluminación del patio: con colores luminosos o superficies especulares, por ejemplo, se aumentan los niveles de iluminación.

- **Atrio**

Un atrio es un espacio cerrado lateralmente por las paredes de un edificio y cubierto con material transparente o translúcido.

Es un espacio interior de un edificio que permite la entrada de luz a otros espacios interiores unidos a él por elementos de paso. Proporciona un nivel de iluminación reducido y de menor contraste con relación a los espacios conectados al atrio, por lo que tiene un pequeño impacto en el uso de alumbrado con luz natural.



Figura XIII. 13.: Perspectiva Interior.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Sus dimensiones pueden variar dependiendo del tamaño del edificio. Normalmente ocupa la altura total del edificio. La cubierta puede consistir en una estructura metálica que soporta el acristalamiento. Los acabados interiores deben tener una elevada reflectancia para asegurar la buena penetración de luz natural.

Sus ventajas principales son:

- Admite luz natural en espacios profundos que de lo contrario estarían lejos de una ventana.
- Puede introducir un elemento de espaciosidad en un interior de trabajo, con vistas internas atractivas, particularmente donde hay ornamentos vegetales.
- Proporciona orientación visual y un foco para la circulación, ayudando a los ocupantes a retener un sentido de la dirección.
- Son elementos potenciales de ahorro de energía, pues reducen la pérdida de calor comparado con las paredes de un patio abierto equivalente.
- Las superficies interiores están protegidas de la intemperie, de modo que las paredes y las ventanas que miran al atrio no necesitan ser herméticas. Esto proporciona oportunidades para absorción acústica y tratamientos decorativos.

Los principales inconvenientes del atrio son:

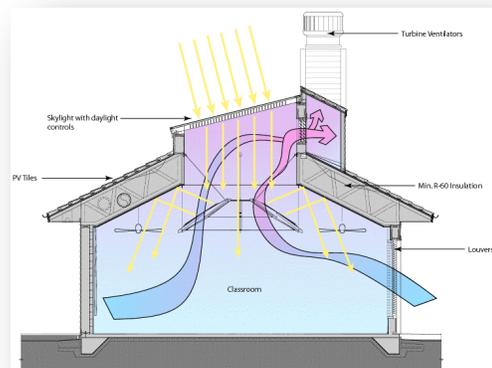
- Ocupan espacio del suelo, en distintos niveles, que de otra manera podrían ser ocupados. Alternativamente, el área de la planta completa del edificio podría ser reducida.
- Aunque el acristalamiento del atrio admite luz natural abundante, no penetrará lejos en espacios adyacentes a menos que el atrio esté articulado, en planta y sección, para dar a los interiores circundantes una vista directa del cielo.

Pueden añadirse elementos de control ajustables para evitar sobrecalentamientos.

### • Conducto de luz

Un conducto de luz puede conducir luz natural a zonas interiores de un edificio que no están unidas de otro modo al exterior. Sus superficies son acabadas con materiales reflectantes de luz natural a fin de dirigir la luz natural difusa hacia abajo.

Figura XIII. 14.: Conducto de luz.



## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

La parte superior del conducto debe poder abrirse para permitir la ventilación natural o estar cerrada con materiales transparentes.

- **Conducto solar**

Es un espacio diseñado para reflejar haces solares a espacios interiores oscuros; puede también proporcionar ventilación. Las superficies son recubiertas con acabados muy reflectantes, tales como espejos, aluminio, superficies muy pulidas o pintura, a fin de reflejar la radiación solar.

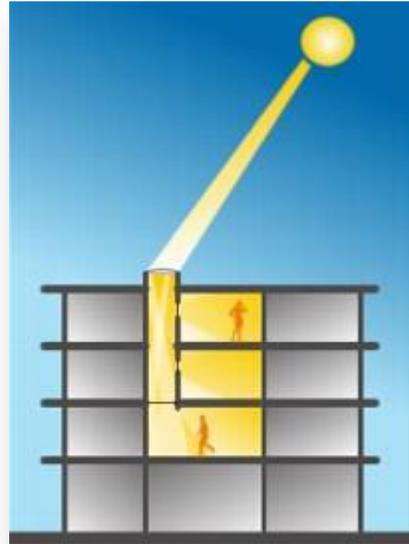


Figura XIII. 15.: Conducto Solar.

- **Pared translúcida**

Construida con materiales translúcidos, forma parte de un cierre vertical en un edificio. La superficie separa dos ambientes luminosos, permitiendo la penetración lateral de luz y difundiéndola a través del material translúcido.



Figura XIII. 16.: Pared Traslúcida.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- **Muro cortina**

Un muro cortina implica una superficie vertical translúcida o transparente continua sin función estructural, que separa el interior del exterior de un edificio. Generalmente consiste en un bastidor metálico que soporta dicha superficie transparente o translúcida.



Permite la penetración lateral de luz natural y la ganancia de luz solar directa e intercambios de vistas, pero no siempre la ventilación. Incrementa el nivel luminoso en zonas próximas al muro cortina.



Figura XIII. 17.: Detalle Muro cortina.

Figura XIII. 18.: Muro cortina.

- **Claraboya**

Una claraboya se define como una abertura horizontal o inclinada construida en la cubierta.

Permite la penetración cenital de luz natural en el espacio situado bajo el, protegiendo a veces contra la radiación directa o dirigiéndola hacia espacios inferiores. Aumenta el nivel de luz en el interior.

La abertura se suele cubrir con vidrio o plástico transparente o translucido, y dicho cierre puede ser fijo o abatible.



Figura XIII. 19.: Claraboya.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- **Techo translucido**

Un techo translucido se define como una abertura horizontal parcialmente construida con materiales translucidos, que separa el espacio interior del exterior o dos espacios interiores superpuestos.

Permite la entrada cenital de luz natural difundida a través del material translucido al espacio inferior, proporcionando una iluminación uniforme. Sus dimensiones pueden ser similares o menores al área inferior iluminada.



Figura XIII. 20.: Techo translucido.

- **Cúpula**

Permite la iluminación cenital del espacio situado bajo ella. Puede ser de vidrio, material acrílico o policarbonato. Cuando esta perforada está hecha de materiales de construcción opacos y las perforaciones pueden estar cubiertas por los materiales translucidos anteriores.



Figura XIII. 21.: Cúpula de vidrio.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- **Membrana**

Una envolvente de membrana consiste en una superficie translúcida o transparente que encierra total o parcialmente un espacio.

Permite la entrada global de luz al espacio y proporciona un nivel de iluminación interior de bajo contraste. Puede estar hecha de vidrio, policarbonato o material acrílico, soportados por un bastidor.



Figura XIII. 22.: Membrana.

### XIII. 5. 2. La Ventana. Elemento principal en la edificación para el aprovechamiento de la luz natural.

La ventana es una abertura típica en los edificios con multitud de funciones a desarrollar, entre las que se pueden incluir: la entrada de luz natural; la visión y relación con el mundo exterior; la actuación como elemento de ventilación para la renovación del aire; aislamiento térmico y acústico; barrera contra el ruido y protector de deslumbramiento.

Como se puede deducir, tienen también un importante impacto sobre la eficiencia energética de un edificio. El diseñador no siempre será capaz de reconciliar las demandas conflictivas de estas misiones: será necesaria su priorización y por ello a continuación se analizan las más importantes de estas funciones relacionadas con la iluminación.

Desde el punto de vista de entrada de luz natural, en general es mejor situar la ventana en una posición alta y dimensionarla adecuadamente.

La segunda función en importancia que desempeña una ventana es que la vista a su través permite que las personas perciban el mundo exterior, su evolución dinámica asociada con los cambios de la luz del cielo, la luz solar y la estación; contribuyendo todo ello a que el ser humano satisfaga su imperiosa necesidad de estar en contacto con la naturaleza.

Si el aspecto que se ha de favorecer es la vista exterior, el tamaño de la ventana y la altura de la parte inferior desde el suelo son extremadamente importantes. Cuanto más baja este, mas favorablemente permitirá la vista exterior. La visión del exterior, sin

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

embargo, ha de ser equilibrada con la conservación de la privacidad. La privacidad puede ser controlada utilizando cortinas y persianas. También proporcionan un modo de reflejar la luz eléctrica de nuevo a la habitación en vez de perderla al exterior, pero esto requiere una reflectancia moderadamente elevada de la superficie interior.

El diseño de ventanas presenta como tercera misión, menos relacionada con la iluminación pero muy implicada en el tema de las necesidades caloríficas o de refrigeración de un edificio, la de formar parte de una estrategia global de ventilación del edificio, excepto en el sector terciario. Esto necesita ser considerado en la etapa de planificación. La opción más simple es proporcionar aire fresco controlado local y manualmente.

En un edificio ventilado naturalmente, las ventanas que pueden abrirse permiten que se elimine un exceso de calor para impedir un sobrecalentamiento en días calurosos y proporcionar una ventilación saludable y confortable en otros días. Para esta tercera función, su posición es mucho más importante que su tamaño.



Figura XIII. 23.: Fotograma acristalamientos.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

En la práctica estas tres funciones se combinan en la mayor parte de los tipos de ventana. De hecho, las condiciones de luz natural y térmicas están a menudo en conflicto entre sí: es decir, cuanto mayor es el área de ventanas mayor es la cantidad de luz natural, pero también mayores son las pérdidas y ganancias de calor, a menos que se introduzcan otros elementos para contrarrestar estos efectos.

### **XIII. 5.2.1. Acristalamiento**

Si hay más de una ventana en la misma sala o habitación, la suma de superficies de todas las ventanas debe ser considerada desde un punto de vista luminoso en relación al área de la sala. Es decir, si hay una ventana grande o varias ventanas pequeñas con el mismo área total, la cantidad de luz admitida en la sala será la misma, ya que la relación entre el acristalamiento y la iluminación media con luz natural en una sala es aproximadamente lineal; pero hay que tener en cuenta que se ven afectadas la distribución de luz, la visión y la ventilación natural.

Dependiendo de la relación entre la superficie de la ventana y las superficies interiores del local (paredes, techos y suelos) puede hacerse la siguiente clasificación:

- Muy bajo acristalamiento: menor del 1%
- Acristalamiento bajo: 1-4%
- Acristalamiento medio: 4-10%
- Elevado acristalamiento: 10-25%
- Muy alto acristalamiento: mayor de 25%

Como regla general, un acristalamiento elevado o muy alto puede provocar problemas de control térmico y deslumbramiento. Un acristalamiento bajo o muy bajo puede producir niveles de iluminación excesivamente bajos, especialmente donde predominan los cielos cubiertos, la contaminación atmosférica o donde los edificios adyacentes reducen la disponibilidad de luz natural.

### **XII. 5. 2. 2. Forma**

Las formas de las ventanas pueden diferir. Una primera aproximación es definir la relación entre altura y anchura. De este modo las ventanas pueden ser clasificadas como:

- Ventana Horizontal
- Ventana Vertical
- Ventana Intermedia

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

La forma de la ventana influye principalmente sobre la distribución de la luz en el espacio iluminado, la calidad de visión y el potencial para la ventilación natural.

Con ventanas horizontales la iluminación del interior es una banda paralela a la pared de la ventana, que produce poca diferencia en la distribución de la luz a lo largo del día, con poco deslumbramiento. La dimensión horizontal relativamente grande permite una vista panorámica.

Con ventanas verticales la iluminación del interior es una banda perpendicular a la pared de la ventana, produciendo así una distribución luminosa muy variable a lo largo del día. Esta forma de ventana ofrece mejor iluminación en las zonas más alejadas de ella; sin embargo hay un mayor deslumbramiento. Las vistas exteriores son limitadas horizontalmente pero pueden contener una mayor profundidad de campo, combinando el fondo y las vistas a media y gran distancia.

### **XII. 5. 2. 3. Posición**

La posición de una ventana puede ser descrita mediante la situación horizontal y vertical en la pared en la que está colocada. Cuanto más alta está una ventana mayor es la profundidad de penetración de luz natural, lo que produce una mejor distribución en la sala iluminada. La altura de la parte inferior de la ventana determina la vista exterior.

Una ventana en posición central produce una mejor distribución de luz en el interior, mientras que una ventana en esquina provoca menos deslumbramiento.

### **XII. 5. 2. 4. Orientación**

Con respecto a la orientación de una ventana, se hace referencia a la orientación geográfica ya que el trayecto del sol puede tener una gran influencia sobre la iluminación natural. Desde el punto de vista de iluminación, las ventanas orientadas al este y al oeste se consideran equivalentes y los efectos producidos son los mismos, aunque tienen lugar en diferentes momentos del día.

- Las ventanas orientadas al Norte proporcionan niveles luminosos elevados y prácticamente constantes, elevada ganancia de energía en invierno y media en verano.
- Las ventanas orientadas al este y al oeste proporcionan niveles de iluminación medios, pero variables a lo largo del día, con elevada ganancia de energía en verano y baja en invierno.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### XIII. 6. Componentes de control de la Luz Natural

Hay varios modos de controlar la cantidad y distribución de la luz natural que entra en un espacio:

- El tamaño y posición de las aberturas de las ventanas en la fachada determina la mayor parte del potencial para utilizar la luz natural.
- Las características de transmisión del acristalamiento determinan el máximo flujo de luz natural.
- Los sistemas de control, que abarcan desde los elementos estáticos simples (como los voladizos) hasta los dinámicos (persianas, cortinas o acristalamientos regulables) y las combinaciones de ambos. Las soluciones correctas comienzan con los sistemas estáticos y la posterior incorporación de los elementos dinámicos en aquellos lugares en que sean necesarios.

De entre los múltiples sistemas de control de la luz natural, es conveniente resaltar aquí algunos de los más importantes:

#### Tabique divisorio

Un tabique tradicional o simple es definido como un elemento de control colocado en un componente de paso que divide dos ambientes, permitiendo que la vista y la luz pasen a su través.

Se compone de un bastidor que soporta una o varias superficies transparentes que pueden ser de vidrio, policarbonato, material acrílico o poliéster.



Figura XIII. 24.: Tabique divisorio.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### División óptica

La división óptica es un elemento de control que permite el paso de la luz, pero no la visión, colocado en un componente de paso que divide dos ambientes y modifica las características de la radiación que pasa a su través.

La luz natural pasa a través de esta división y se difunde, cambia de dirección o controla su intensidad, dependiendo de las características de la división.

Está formada por un bastidor que soporta una o varias superficies tratadas, vidrios coloreados, espejados, translúcidos y películas termocrómicas u holográficas.



Figura XIII. 25.: Material translucido.

### Toldo

Un toldo es un elemento de control de luz hecho de un material flexible opaco o difusor colocado en el exterior de un componente de captación para obstaculizar o difundir la radiación solar directa.

Proporciona una iluminación de bajo contraste en la zona próxima al toldo y una sombra parcial o total para la ventana cuando así se requiere. Su modo de proteger de la luz solar permite evitar la penetración directa sin impedir la visión del exterior.



Figura XIII. 26.: Toldo.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### Cortina

Es un elemento de control, hecho de un material flexible o rígido, colocado en el interior de una abertura para proteger contra la visión a su través y para proteger las zonas interiores próximas a la abertura, obstaculizando total o parcialmente o difundiendo la radiación solar.



Figura XIII. 27.: Cortina.

Puede enrollarse o retirarse lateralmente, dejando la ventana abierta a la radiación y a la visión cuando se desee. Puede ser opaca para oscurecer totalmente el interior.

### Persiana

La persiana es un elemento exterior o interior que se dispone en las ventanas para controlar la penetración de la luz solar directa o incluso de la luz natural.



Figura XIII. 28.: Persianas.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### Voladizo

Es una parte del edificio que sobresale horizontalmente de la fachada por encima de un elemento de entrada de luz natural.

Protege las zonas próximas a las aberturas del edificio, obstruyendo la radiación solar directa de ángulos elevados. Da como resultado un nivel de iluminación interior menor y proporciona apantallamiento solar.



Figura XIII. 29.: Voladizo.

### Estantes de luz

Está generalmente colocado horizontalmente por encima del nivel de los ojos, en un elemento vertical de entrada de luz, dividiéndolo en una sección superior y otra inferior.

Protege las zonas interiores próximas a las aberturas contra la radiación solar directa y dirige la luz que incide sobre la superficie superior al techo interior. Proporciona así sombra en verano y hace la distribución luminosa interior más uniforme.

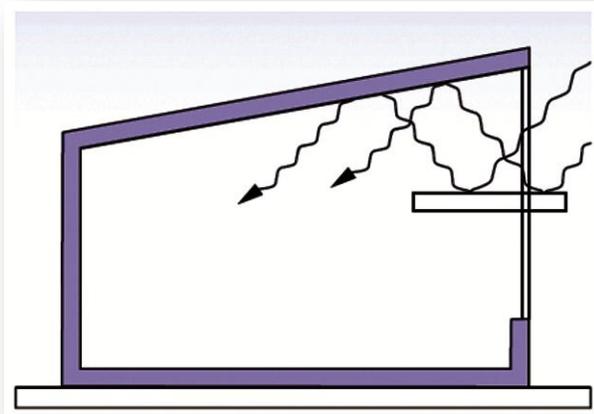


Figura XIII. 30.: Estante de luz.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### Apantallamiento vertical

Es un elemento de control situado en el exterior de la fachada de un edificio y fijado verticalmente sobre uno o ambos costados de la abertura. Intercepta la radiación directa que incide sobre la ventana.

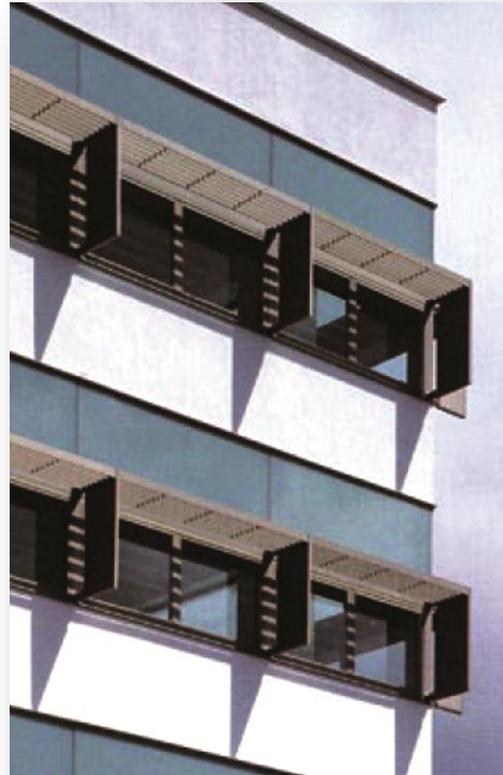


Figura XIII. 31.: Apantallamiento vertical.

### Celosias

Una celosía se define como un elemento exterior o interior compuesto por láminas situadas en la totalidad de una abertura vertical.

Las láminas pueden ser fijas o móviles, cuando son móviles pueden ser ajustadas de acuerdo con el ángulo del sol y con los requisitos del apantallamiento. Las láminas pueden estar hechas de materiales de construcción, cuando se encuentran en el exterior, o de otros materiales cuando se encuentran en el interior.

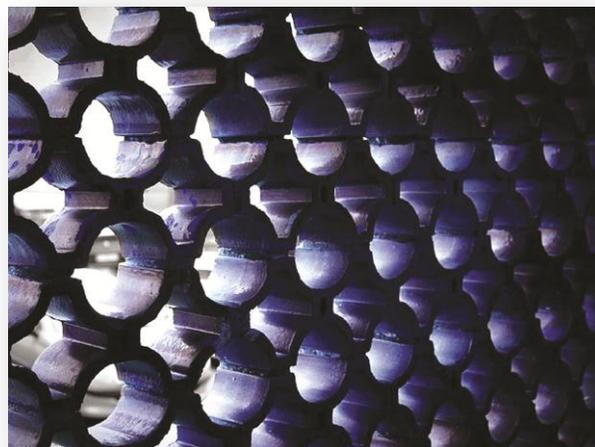


Figura XIII. 32.: Material prefabricado.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### Para lumen

Los para lúmenes son una serie de lamas paralelas horizontales o verticales exteriores que pueden ser fijas o regulables. Así, cuando las lamas están cerradas forman un panel, actuando como una obstrucción solar que puede oscurecer totalmente el ambiente interior.



Figura XIII. 33.: Lamas paralelas exteriores.

Resumiendo, hay elementos estáticos y dinámicos para el control de la luz natural y a su vez estos elementos pueden ser interiores y exteriores. La posición y diseño de los elementos fijos que forman parte de los sistemas de luz natural, tales como voladizos y estantes de luz, se basan en la trayectoria solar. Son parámetros importantes la orientación y los obstáculos de la fachada.

Desde el punto de vista de la carga térmica los elementos de control de la luz natural, según sean exteriores o interiores, tendrán un comportamiento diferente.

### XIII. 6. 1. Modos de controlar la penetración de luz natural con componentes diseñados

A continuación se recogen mediante tres ejemplos las consecuencias de algunos de los sistemas de control de luz natural más comunes en los edificios hoy día.



Figura XIII. 34.: La ventana sin protección de la luz directa crea demasiado contraste en el interior de la sala.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

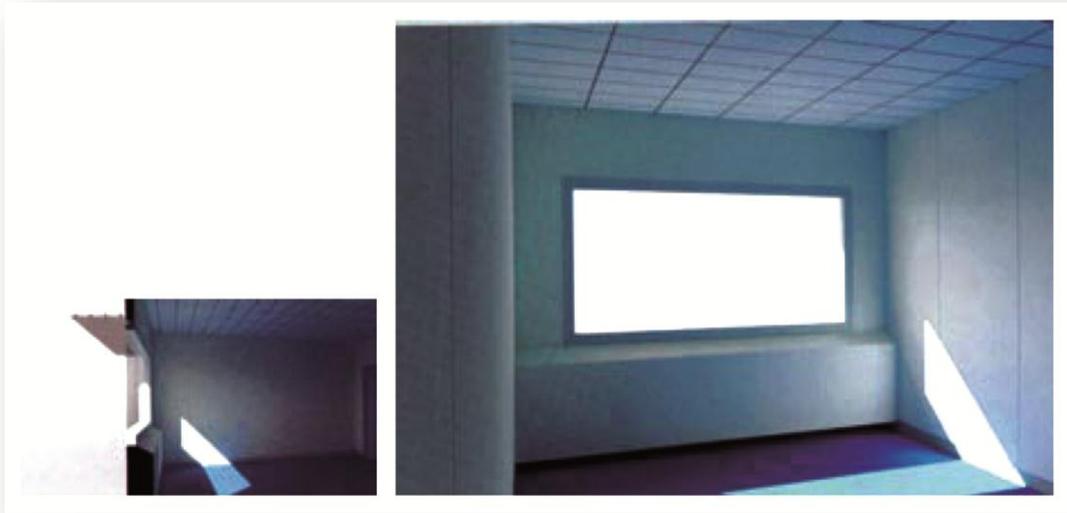


Figura XIII. 35.: La ventana con voladizo es suficiente en posiciones cenitales del sol, pero en posiciones más bajas permite aún demasiado contraste.

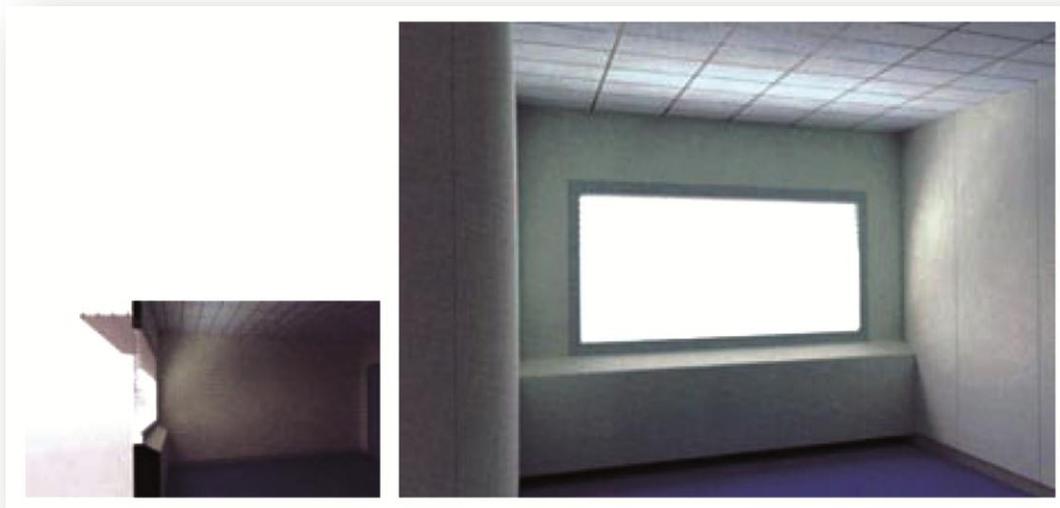


Figura XIII. 36.: Ventana con voladizo y persianas horizontales.

Este último caso, ventana con voladizo y persianas horizontales, proporciona buena protección contra la luz solar directa y con una adecuada posición de las lamas divide la luz natural en una componente ascendente y otra descendente, contribuyendo la primera a reflejarse en el techo e iluminar la sala a mayor distancia de la ventana.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

En las aulas las persianas pueden ser horizontales o verticales. Se prefieren los materiales ligeros y difusores, ya que los oscuros afectan negativamente a la relación de luminosidad de la fachada y los materiales reflectantes proyectarán puntos brillantes sobre las paredes y el techo. Las lamas que componen la persiana deberán ser estrechas, ya que cuanto más anchas son, mayores y más incómodos serán los contrastes de luz y sombra. Las persianas estilizadas, horizontales y de colores claros son las que ofrecen el mejor control sobre la luminosidad y la distribución de la luz.

La mayoría de los sistemas de control de la luz natural reducirán el nivel medio de iluminación natural en la sala, por lo que una combinación de demasiados sistemas puede dar lugar a una superficie de entrada de luz en la fachada mayor de lo aceptable desde el punto de vista térmico.

Como ya se ha enunciado, el aspecto más importante de la abertura es su tamaño y su emplazamiento. En los atractivos edificios transparentes actuales, muchos de los problemas de iluminación se deben a las excesivas dimensiones de las áreas acristaladas. Sin los sistemas de apantallamiento apropiados, se crearán amplias superficies brillantes y una iluminación por reflexión, de manera que los usuarios tenderán siempre a tener cerradas las persianas. Con ello el edificio transparente terminara siendo opaco.

En cuanto a los ventanales, también ocasionan problemas térmicos que suelen ser resueltos con cristales o laminas termo reflectantes. Estas láminas crean a su vez otro problema visual que es la alteración leve del color de la luz solar, produciendo la sensación de que el mundo exterior es sombrío y monótono.

Deben evitarse los elementos de color oscuro en la fachada, por ejemplo en los cercos de ventanas o persianas. La razón es que los contrastes producen “ruido visual” que obliga a la vista a adaptarse continuamente, lo que resulta fatigoso y al mismo tiempo un motivo innecesario para cerrar las persianas.

En el peor de los casos (cielo totalmente cubierto), el diseño de las ventanas debe garantizar como aportación mínima la mitad de la luz diurna requerida.

### **XIII. 6. 2. Sistemas manuales de control de la luz natural**

Estos sistemas permiten que el usuario controle manualmente la cantidad y calidad de la luz natural en las aulas. Pueden variar desde cortinas tradicionales difusoras, persianas interiores o exteriores o incluso integradas en el acristalamiento de la ventana, hasta sofisticados sistemas de apantallamiento de la luz destinados a optimizar la cantidad y calidad de la incidencia de la luz natural.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### XIII. 6. 3. Sistemas automáticos de control de la luz natural

Los sistemas automáticos pueden realizar las mismas acciones que los sistemas manuales, inclinando o girando láminas horizontales/verticales, bajando o subiendo cortinas, haciendo girar sistemas de seguimiento del sol, etc., y todo ello motivado por una causa externa, tal como la aportación de luz solar directa o la incidencia de luz solar en un ángulo inadecuado para la iluminación interior de la sala.

Los sistemas de control que responden a la luz natural consisten en detectores o sensores, que miden el flujo incidente, y un sistema de control que actúa de acuerdo con la señal del elemento detector. Un ejemplo de estos sistemas son los apantallamientos controlados en base a la incidencia de la luz solar directa, que usan un detector situado en el tejado que mide la radiación total sobre una superficie y controla la inclinación de las lamas.

### XIII. 7. Diferentes sistemas – diferentes ejemplos

Dentro de los aportes más significativos al proceso de diseño arquitectónico en proyectos destinados a entidades educativas, están el aprovechamiento de la iluminación cenital y el uso de Lúmenes (lamas, parasoles, bandejas reflectoras, etc...). A continuación veremos una serie de ejemplos reales del uso de estos elementos del diseño arquitectónico.

- **Iluminación cenital**

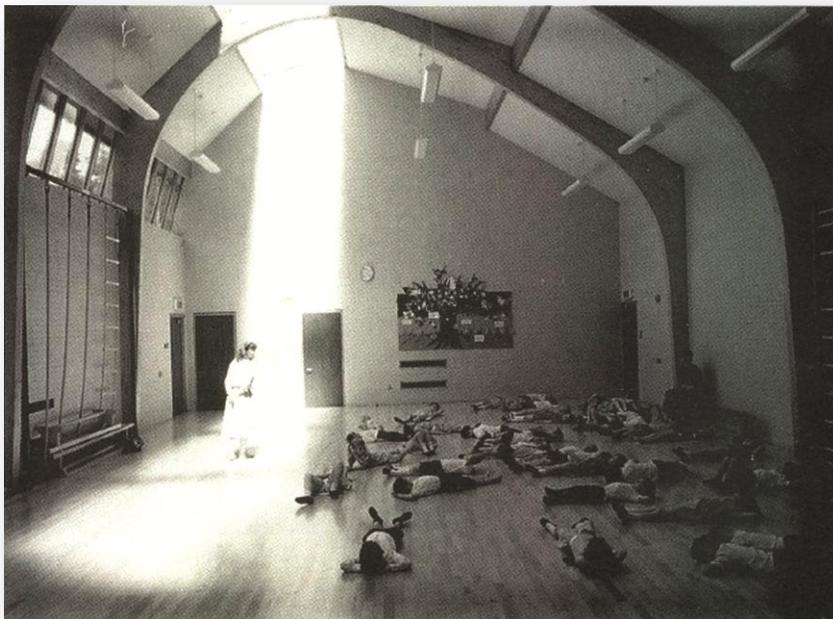


Figura XIII. 37.: Bordon Whitehill School, Hampshire.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

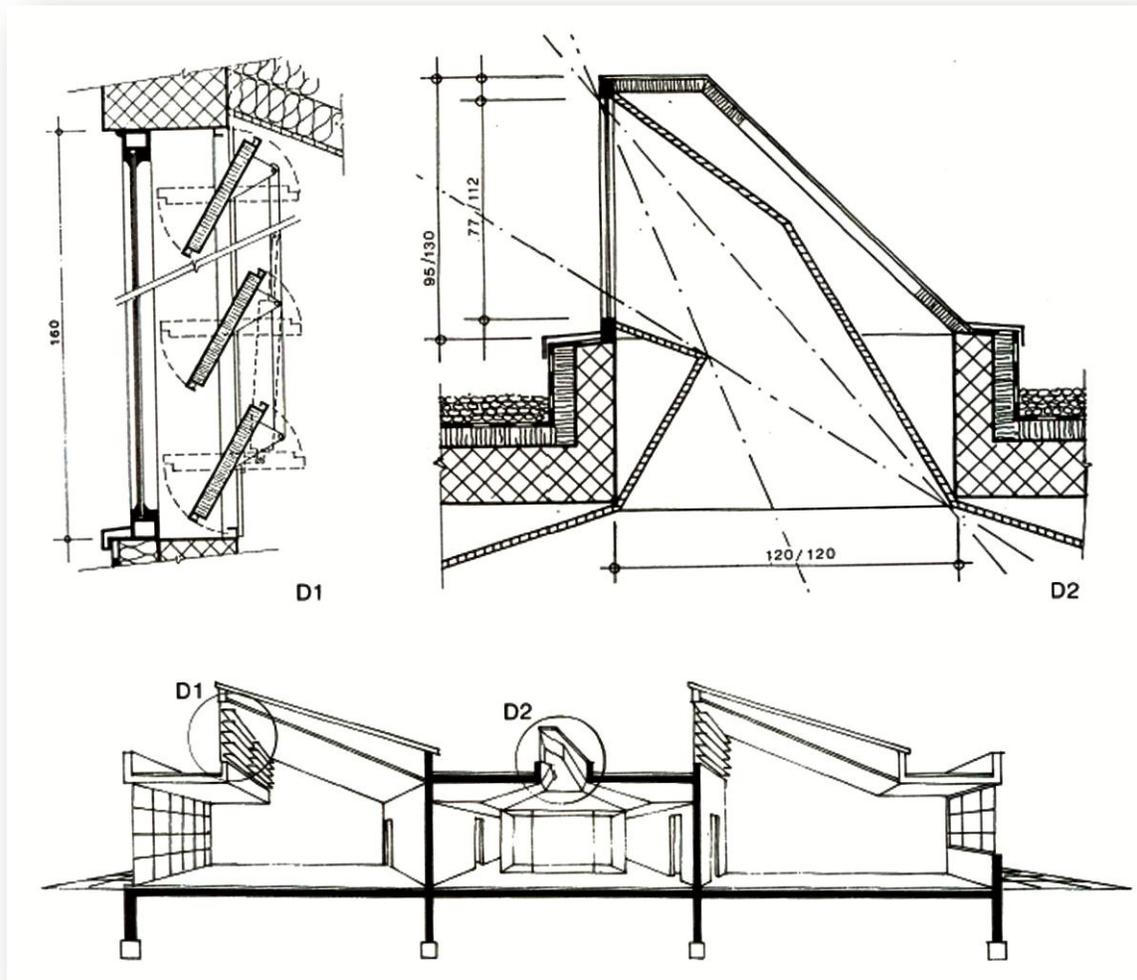


Figura XIII. 38.: Detalle constructivo – Conducto Solar – Lúmenes.

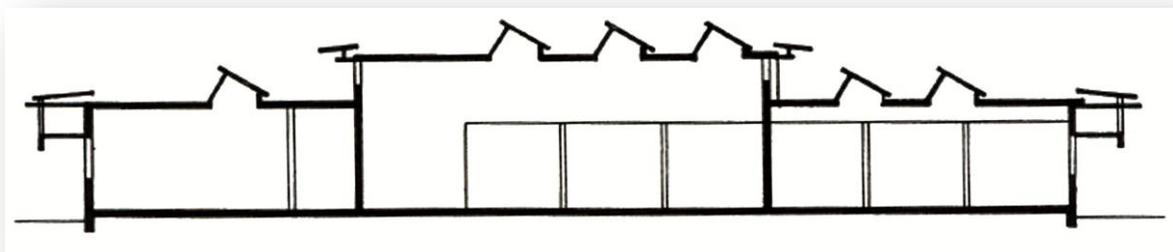


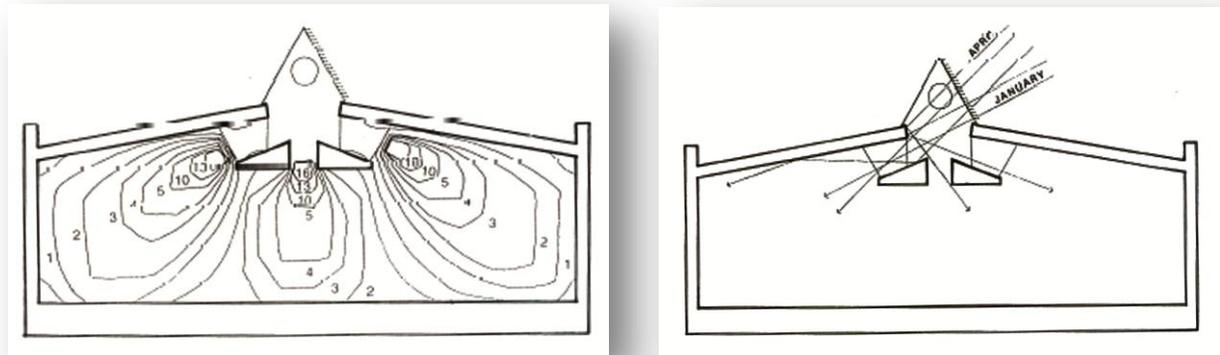
Figura XIII. 39.: Corte – Crookham Junior School – Detalles conductos solares.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

El Centro ATAM del Dr. Arq. Jaime López Asiain en Mairena del Aljarafe, Sevilla, España. Utiliza este sistema donde su uso modular constructivo mejora las condiciones de iluminación natural notablemente dentro del establecimiento.



Figuras XIII. 40.: Centro ATAM – Detalles iluminación cenital.



Figuras XIII. 41.: Detalle control iluminación cenital.

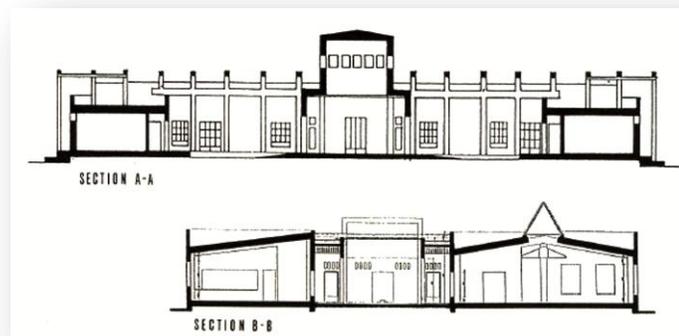
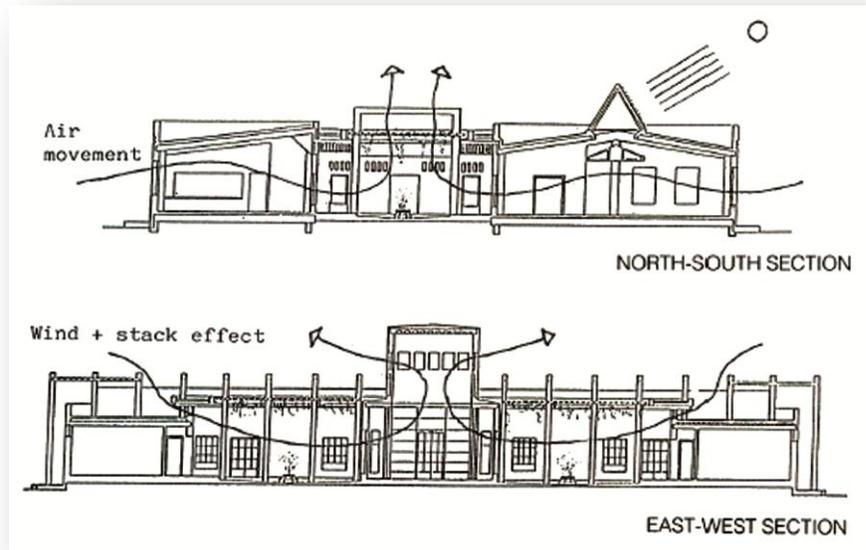


Figura XIII. 42.: Centro ATAM - Corte transversal.

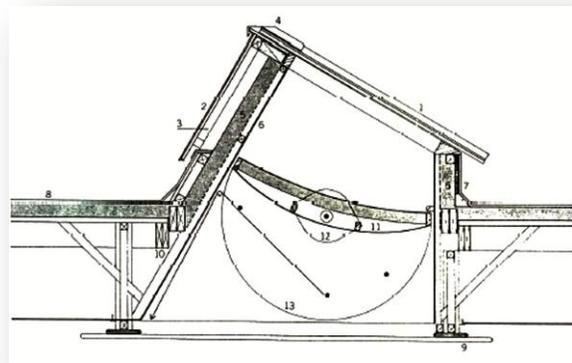
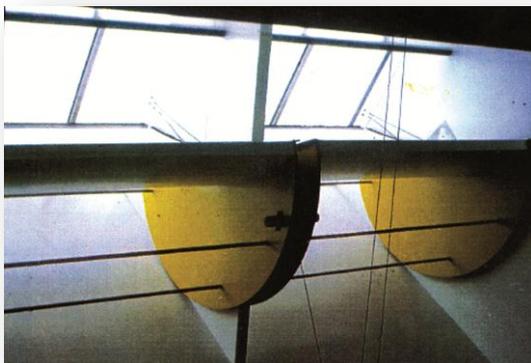
## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

El uso del sistema de aberturas para la iluminación natural apoya significativamente al circuito de ventilación dentro el establecimiento, logrando establecer sensaciones atmosféricas dentro de los rangos aceptables del confort térmico.



Figuras XIII. 43.: Centro ATAM - Circuito de ventilación natural .

Estos sistemas arquitectónicos de iluminación cenital, también vienen acompañados de otros sistemas de controladores de esta misma luz cenital que ingresa a los ambientes educativos. Estos están definidos por los ángulos de la radiación incidente y por su diseño propio arquitectónico, como respuesta al deslumbramiento de los ambientes educativos.



Figuras XIII. 44.: Controladores de la luz cenital – Crookham Junior School. UK

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Las construcciones educativas contemporáneas de educación primaria, ya tienen un sistema de modulación de los ambientes escolares, estos se diseñan y disponen en forma octogonal. Esta forma simétrica de los ambientes educativos ofrece excelentes condiciones para la iluminación natural, su forma dinámica mejora las condiciones de orientación y permite explotar la iluminación cenital debido a la forma de su diseño.

El Centro Day Care de Atenas, Grecia, fue construido dentro de estos parámetros técnico constructivos para unidades educativas de educación primaria.



Figura XIII. 45.: Centro Day Care y guardería, Atenas, Grecia.

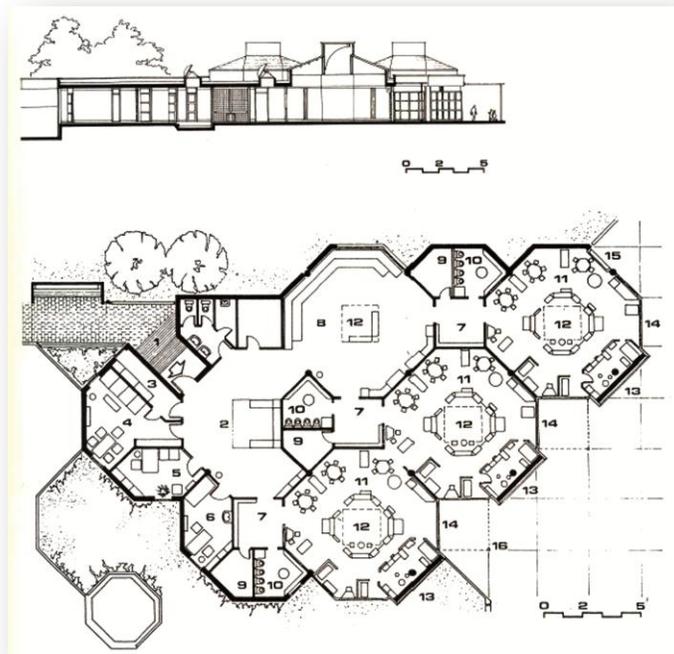
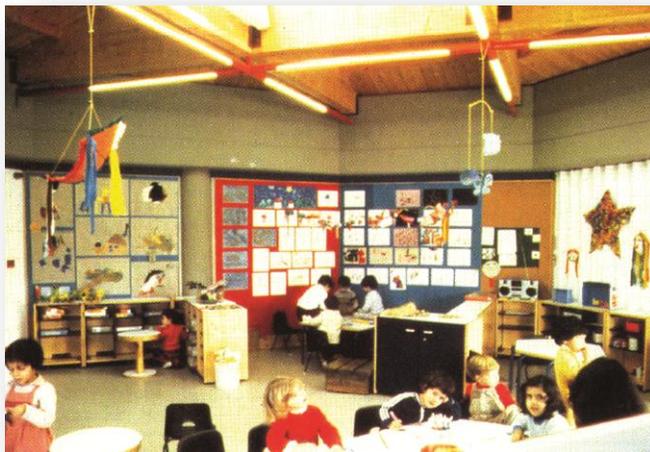


Figura XIII. 46.: Disposición octogonal - Planta - Day Care Center, Atenas, Grecia.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.



Figuras XIII. 47.: Explotación de la Iluminación cenital en unidades educativas. Day Care center, Grecia.

Esta misma disposición o forma de diseño para las aulas educativas ofrece cualidades y ventajas inmejorables para la ventilación natural dentro de dichos ambientes.

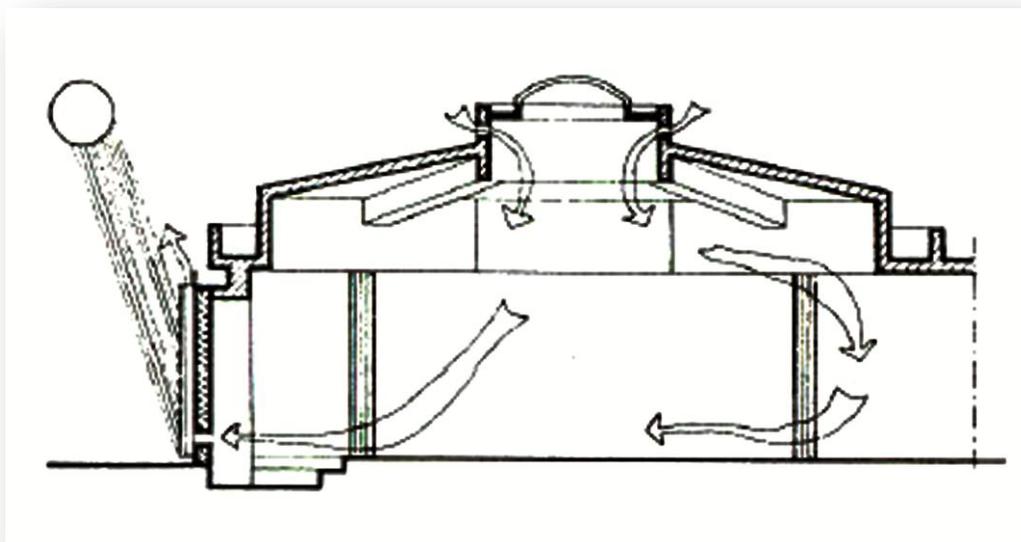


Figura XIII. 48.: Ventilación natural - Day Care Center, Grecia.

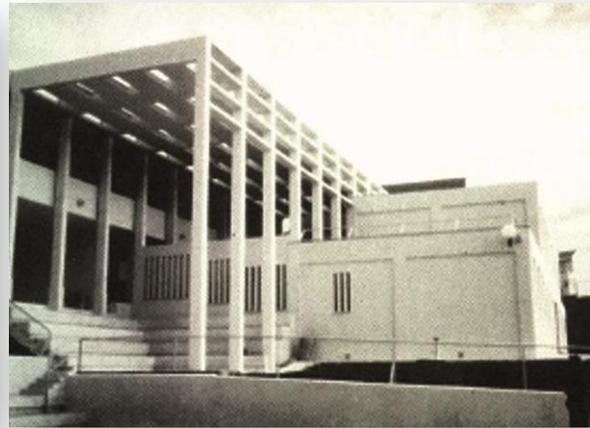
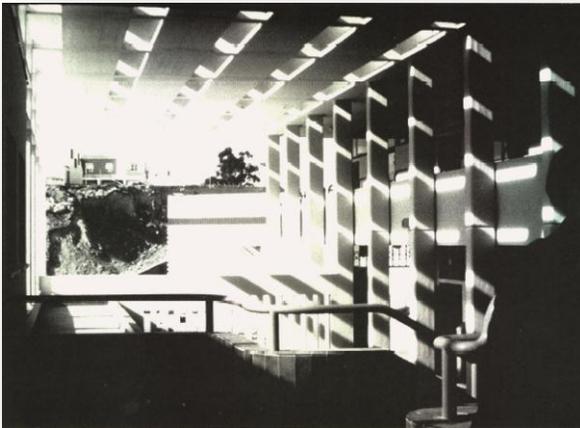
## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- **Control Luminancia – Lúmenes**

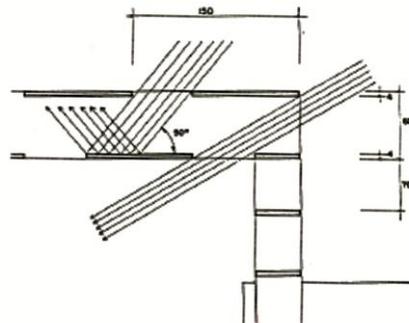
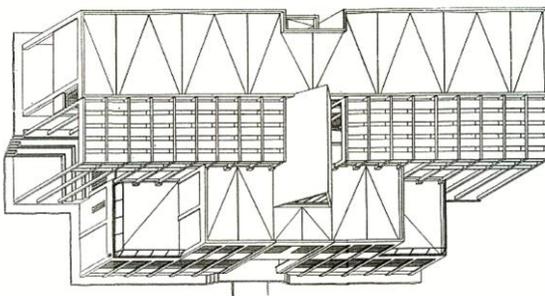
Otro factor importante que aporta al proceso de diseño del sistema arquitectónico para unidades educativas es sin duda el control de la reflexión solar, ya sea en los ambientes interiores como en los ambientes exteriores y comunes de los centros educativos.

Estos elementos de protección regulan la incidencia solar en los ambientes interiores y dan forma a espacios virtuales con iluminación natural en los ambientes exteriores.

Un ejemplo de esta herramienta de diseño está plasmado en la Escuela Primaria de Almería, España. Donde el atrio principal de la escuela está protegido por un diseño de pérgola maciza hecha de pantallas protectoras. Estas mismas filtra los rayos solares en diferentes ángulos, dependiendo de la estación del año en que se encuentre, logrando una iluminación difusa formidable y solucionando el tratamiento cenital del espacio virtual común dentro el centro educativo.



Figuras XIII. 49.: Escuela primaria de Almería,



Figuras XIII. 50.: Perspectiva – Detalle constructivo.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Otro ejemplo del control de la radiación solar para generar iluminación difusa, son aquellos elementos prefabricados que en estos tiempos modernos ofrecen una infinidad de herramientas y soluciones para el diseño de cualquier proyecto arquitectónico.

En el Liceo Albert Camus en Frejus, Francia del estudio de arquitectos Norman Foster & Partners, se utilizaron elementos de fierro prefabricados que controlan la iluminación directa sobre la aulas y permite el paso de iluminación difusa.



Figura XIII. 51.: Lycee Albert Camus. Frejus, Francia.

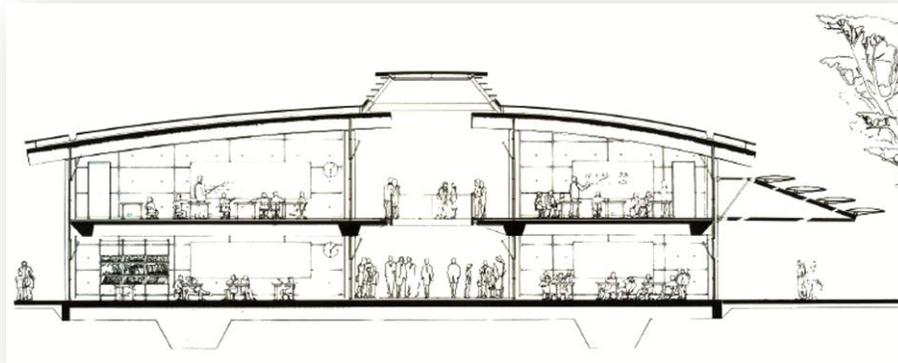


Figura XIII. 52.: Corte transversal - Lycee Albert Camus. Frejus, Francia.

Esta disposición en la forma del diseño arquitectónico, favorece al circuito de ventilación natural dentro de dicho centro de estudios, teniendo recambios constantes.

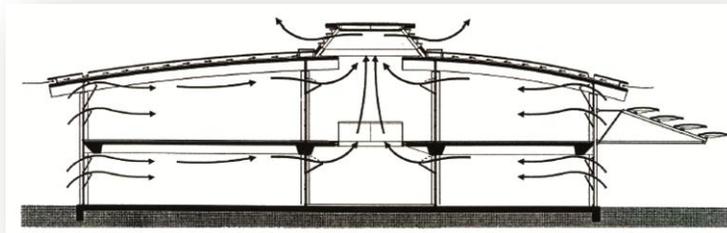


Figura XIII. 53.: Ventilation natural - Lycee Albert Camus.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

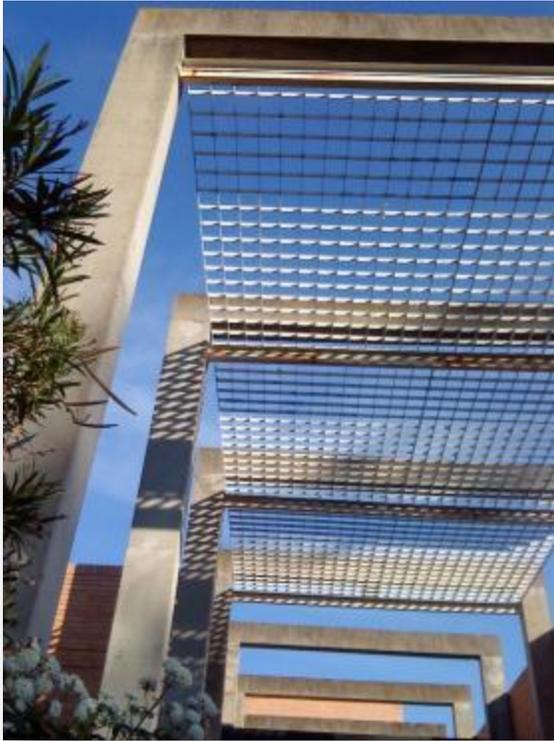


Figura XIII. 54.: Controladores de iluminación directa – Centro ATAM, Mairena del aljarafe, Sevilla, España.



Figura XIII. 55.: Iluminación cenital – Atrio de la Universidad de Ingenieros de Sevilla, España.

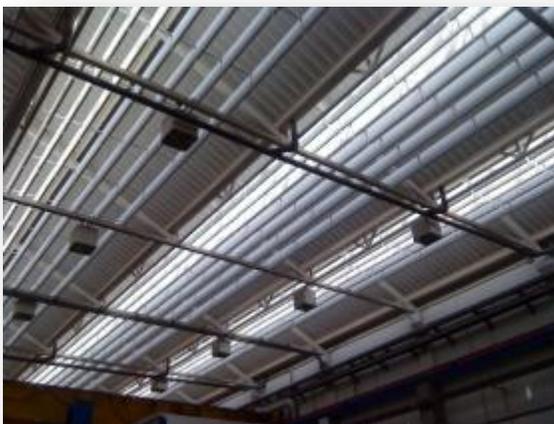


Figura XIII. 56.: Iluminación cenital – Laboratorios Universidad de Ingenieros de Sevilla, España.



Figura XIII. 57.: Iluminación cenital – Biblioteca Universidad de Ingenieros de Sevilla.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### XIII. 7. 1. El Proyecto Frog

Dentro de este interés común de elaborar sistemas modulares que mejoren las condiciones de función en los ambientes educativos, en especial del aprovechamiento lumínico en el interior de las aulas y por ende, del beneficio que el uso de las energías renovables ofrecen al ahorro económico en el costo de la energía que necesita un establecimiento educativo para su funcionamiento. Existen ejemplos de varios sistemas modulares en este campo del diseño arquitectónico.

El Proyecto Frog, nuestro ejemplo por excelencia, plantea una modulación prefabricada de ambientes educativos que dentro de sus sistemas de diseño cuenta con los diferentes factores beneficiosos estudiados en este proyecto.

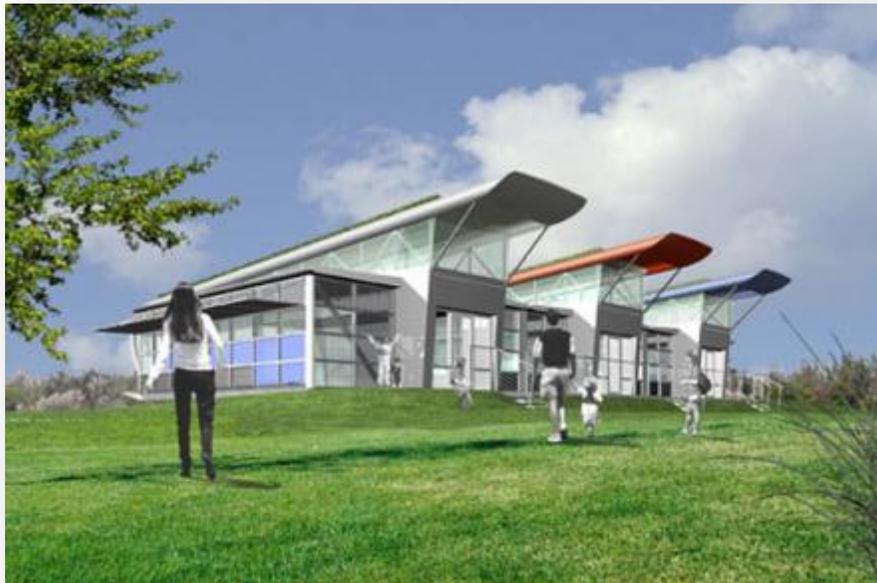


Figura XIII. 58.: Proyecto FROG.



Figura XIII. 59.: Modulaciones tipológicas - Proyecto FROG.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Este proyecto fue desarrollado con la premisa: “La idea de un edificio como herramienta educativa y no solo como edificio”, cambiando la imagen que mantenían los establecimientos educativos y mejorando en todos los factores los niveles de confort humano dentro de los ambientes educativos.

Este proyecto de arquitectura bioclimática está desarrollado con materiales no tóxicos con el medio ambiente, logrando modular un sistema customizable prefabricado de eficiencia energética y aprovechamiento lumínico para ambientes educativos.

Dotando de esta manera a los establecimientos educativos y arquitectos proyectistas de una herramienta constructiva de alta calidad tecnológica.



Figura XIII. 60.: Modulaciones tipológicas - Proyecto FROG.



Figura XIII. 61.: Watkinson School, USA.

Figura XIII. 62.: Proyecto FROG, Boston.

**CAPITULO XIV**  
**CONCLUSIONES**

## **CAPITULO XIV CONCLUSIONES**

La iluminación natural resulta la más beneficiosa tanto desde el punto de vista de la salud visual de las personas, como del ahorro de energía que se obtiene con su empleo. Resulta especialmente efectiva en los ambientes educativos debido a que estos locales, en general, son en algunos casos excesivamente grandes y pueden lograrse los niveles de iluminación requeridos para el trabajo visual que se realiza.

En Cochabamba las edificaciones escolares siempre fueron caracterizadas por un pobre diseño arquitectónico que presentaba cero beneficios al alumnado en su papel de usuario y mucho consumo eléctrico destinado a la iluminación de sus propias aulas educativas. Es debido mencionar que la iluminación natural constituye un recurso sustentable para la iluminación de los ambientes educativos y representa el mejor beneficio para el aprendizaje, además de su significativo aporte a las energías renovables y soporte al medio ambiente.

Para el aprovechamiento de la luz natural en ambientes educativos y sus partes constituyentes, es necesario comprender los principios de la iluminación natural, para integrarlos adecuadamente desde el inicio del proceso de diseño. Esta comprensión comienza con el conocimiento adecuado del sol y sus radiaciones luminosas para la obtención de clasificaciones sobre aprovechamiento de luz natural derivan del conocimiento que tienen los países que poseen datos y modelos verificados.

En cuanto al desarrollo preliminar del diseño de una entidad educativa, el criterio visual interior y los requerimientos básicos de iluminación deben ser definidos a priori, teniendo en cuenta disponibilidad de la luz natural regional como un requerimiento para realizar los cálculos de valores absolutos y relativos de luz natural. Es fundamental el conocimiento, tanto de la cantidad como de la duración y características de la luz natural en el Hemisferio Sur.

El aprovechamiento de la luz solar ofrece una real oportunidad para el ahorro de energía eléctrica, con los consiguientes beneficios ambientales que ello otorgaría, en espacios creados para el bienestar, en el marco de un desarrollo y utilización responsable de los recursos naturales que aun hoy disponemos.

Es en este sentido que se podría ayudar al confort humano dentro de las entidades académicas, logrando un diseño arquitectónico particular que aproveche la forma en beneficio del mismo estudiante/usuario.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

La diferencia entre el tipo de diseño que toma base en normas y recomendaciones y uno de buena calidad está centrado en las demandas del contexto, de la moda y de la oportunidad. Según el contexto, un sistema de iluminación natural puede ser atractivo en una oficina pero no en un ambiente educativo donde puede requerirse un ambiente más pasivo.

Por lo dicho, cuando se afirma que iluminar es una mezcla de arte y ciencia, precisamente se hace referencia a que una buena iluminación no surge solamente de aplicar técnicas a través de recomendaciones sino que quien diseña debe ser capaz de interpretar el espacio en términos de las necesidades de las personas que ocuparan el mismo, de modo que el mismo transmita impresiones positivas, de valorizar la arquitectura o estilo del espacio y de contribuir a un uso eficiente de la energía. Si se entiende el rol de un diseñador de este modo los beneficios económicos llegan por añadidura. Por estos motivos, es crucial comprender los mecanismos mediante los cuales las condiciones de iluminación afectan a las personas: visibilidad, estado de ánimo, impresiones y fotobiología.

Después de realizar las simulaciones podemos ver que los resultados ilustran el potencial de las cuatro orientaciones principales de una misma aula, para Cochabamba, en cuanto a cantidad y duración de la luz natural interior como fuente principal de iluminación. Como muestran los resultados la orientación que mayor potencial (rango de 76-100% del plano de trabajo útil) tiene para aplicar estrategias conjuntas de acondicionamiento térmico y lumínico es la Norte, con un 74% del tiempo de uso de aula que cumple con la recomendación de que en todo el plano de trabajo útil esta en 500 lux, para el aula orientada al Este, esto ocurre solo con un 43% (principalmente en horas de la tarde) y para el aula Sur el 0% en este rango considerado como óptimo.

Podemos ver que la situación de iluminación natural que presentan las escuelas de Cochabamba, las cuales en su mayoría poseen aventanamientos unilaterales y carecen de protecciones solares, no garantiza el cumplimiento de las condiciones mínimas de iluminación natural por lo que es necesario el planteo y transferencia de soluciones de diseño para mejorar el comportamiento lumínico de las mismas.

La modelización a escala y posterior evaluación lumínica con el uso de Cielo celeste artificial, permitió alcanzar resultados y conclusiones válidas para la definición de alternativas superadoras. Entre las cuales se puede sintetizar que:

El uso de bandejas de luz, mejora notablemente el comportamiento lumínico en los locales analizados, ya que a la vez de obstruir la radiación solar directa, permite una mayor uniformidad, evitando situaciones de deslumbramiento y excesivos contrastes.

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

La situación más conveniente para la condición de aventanamiento bilateral es la desarrollada en el prototipo con bandejas orientadas hacia el Norte, ya que a la vez de obstruir la radiación solar, permite el aprovechamiento de la misma para calefacción solar pasiva.

Para la situación de aventanamientos unilaterales, se observa también que la situación más favorable es la de ventanas con bandejas, orientadas hacia el Norte.

El aporte más importante y significativo de estos sistemas o técnicas de solucionar los problemas de iluminación natural y aprovecharlos en beneficio propio, vendría a ser la iluminación cenital, la cual con la ayuda del diseño arquitectónico provee una herramienta de importancia primordial al momento de diseñar o proyectar entidades educativas en nuestro particular caso, la ciudad de Cochabamba, Bolivia.

En la consideración del comportamiento térmico, se observa que para la función planteada, aula de escuelas en hilera y en planta baja, considerada en medianera con otras aulas similares, que es el caso más común para las escuelas relevadas es prioritaria la consideración de las cargas internas y el adecuado diseño de protecciones solares, de la aislación de techos y paredes exteriores, de la ventilación natural y del enfriamiento nocturno. Con un planteo correcto de la envolvente y de estas otras consideraciones bioclimáticas, la forma en que se realicen las aberturas deja de tener una importancia fundamental desde el punto de vista térmico, siendo el rendimiento de la iluminación natural, en cantidad y calidad, el factor de mayor peso.

Esto se entiende más, debido a que la ciudad de Cochabamba goza con un clima de los más benignos del planeta, ubicada en el hemisferio Sur, presenta inviernos no tan crudos y veranos relativamente suaves, donde el porcentaje de humedad relativa es la mayor preocupación o problema en términos de confort térmico.

En tal caso, se responde la hipótesis y se determinan los sistemas de iluminación natural que mejor funcionan bajo las condiciones presentadas.

Mediante este proyecto de tesis estamos aportando un referente constructivo al momento de diseñar y/o proyectar las nuevas entidades educativas a construir. Seleccionando los sistemas de control lumínico natural, que mejor funcionan, se pudo demostrar que mejoramos las condiciones de confort humano dentro de dichos ambientes educativos. Donde al momento de seleccionar, el sistema de Iluminación cenital, es la que más aporta al diseño y al uso de dichos ambientes educativos.

## **INDICE DE FIGURAS**

### **Capítulo I: INTRODUCCIÓN**

Figura I. 1.: Arquitectura Bioclimática.	12
--	----

### **Capitulo II: GEOMETRIA SOLAR**

Figura II. 1.: Núcleo Solar.	20
Figura II. 2.: Espectro Visible.	21
Figura II. 3.: Radiación Solar.	22
Figura II. 4.: Intensidad de radiación solar mundial	23
Figura II. 5.: Reflexión Lumínica.	24
Figura II. 6.: Sombra vertical en fachada – corte.	24
Figura II. 7.: Rotación de la tierra.	25
Figura II. 8.: Movimiento de traslación de la tierra.	26
Figura II. 9.: Equinoccios y Solsticios.	27
Figura II. 10.: Trayectoria Solar.	28

### **Capitulo III: DISEÑO ARQUITECTONICO BIOCLIMATICO**

Figura III. 1.: Contaminación Ambiental.	32
Figura III. 2.: Energía renovables.	33
Figura III. 3.: Energía Solar.	34
Figura III. 4.: Energía Eólica.	34
Figura III. 5.: Energía Hidráulica.	35
Figura III. 6.: Biomasa.	35
Figura III. 7.: Energía Geotérmica.	36
Figura III. 8.: Energía Mareomotriz.	36
Figura III. 9.: Energía Atómica.	37
Figura III. 10-11.: Arquitectura y Energía.	38
Figura III. 12.: Arquitectura Bioclimática.	39
Figura III. 13.: Sistemas Solares Pasivos.	40

### **Capitulo IV: ILUMINACIÓN NATURAL Y ARQUITECTURA**

Figura IV. 1.: El Espectro Electromagnético.	44
Figura IV. 2.: Museo Contemporáneo de Niteroi. <i>Arq. Oscar Niemeyer.</i>	47
Figura IV. 3.: Esquema del proceso de comunicación visual.	48

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

### Capítulo V: LUZ NATURAL e ILUMINACIÓN DE INTERIORES

Figura V. 1.: Variación de ingresos de la luz natural debido a follaje.	59
Figura V. 2.: Metrópoli con cielo nublado.	61
Figura V. 3.: Orientaciones favorables y desfavorables.	64
Figura V. 4.: Diferencia curvas isolux.	66
Figura V. 5.: Diseño de difusores interiores.	67
Figura V. 6.: Diseño de estantes de luz interior.	68
Figura V. 7.: Iluminación cenital.	69
Figura V. 8.: Estante de luz o bandeja reflectora.	70
Figura V. 9.: Vidrios prismáticos.	71
Figura V. 10.: Lumiducto – Corte – Aula en planta baja.	72
Figura V. 11.: Instrumentos de medición – Luxímetros.	73
Figura V. 12.: Instrumentos de medición – Luminancímetros.	74
Figura V. 13.: Maqueta Modelo a escala.	75

### Capítulo VII: VENTILACION NATURAL y FACTORES DE PROTECCION

Figura VII. 1.: Porcentajes de pérdidas térmicas por evaporación.	85
Figura VII. 2.: Sistemas de Ventilación Natural.	86
Figura VII. 3.: Sistemas Modular de lamas.	87
Figura VII. 4.: Protección Solar y Ventilación.	88
Figura VII. 5.: Influencia de la Vegetación.	89
Figura VII. 6.: Microclima Urbano.	89
Figura VII. 7.: Microclima refrescante.	90
Figura VII. 8.: Ventilación debido a presiones.	92
Figura VII. 9.: Zonas de presiones positiva y negativa.	92
Figura VII. 10.: Protecciones exteriores.	93
Figura VII. 11.: Velocidades de viento interiores.	94
Figura VII. 12.: Cambios de dirección de la ventilación.	95
Figura VII. 13.: Protección del Viento.	96

### Capítulo VIII: NOCIONES DE CLIMA

Figura VIII. 2.: Mapas Climatológicos de Bolivia.	102
Figura VIII. 3.: Mapa de las Eco regiones de Bolivia.	105

### Capítulo IX: CARACTERIZACIÓN CLIMATICA DE COCHABAMBA

Figura IX. 7.: Rosa de los Vientos.	110
Figura IX. 8.: Calculo de Temperaturas y Humedad relativa.	111

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Figura IX. 9.: Diagrama psicométrico.	112
---------------------------------------	-----

### Capítulo X: TRAZADO DE LA CARTA SOLAR PARA LA CIUDAD DE COCHABAMBA

Figura X. 1.: Geometría Diedrica.	128
Figura X. 2.: Trazado de Declinación Solar.	129
Figura X. 3.: Proyección de círculo base.	129
Figura X. 4.: División de meses.	129
Figura X. 5.: Proyección de los arcos solares.	130
Figura X. 6.: Proyección de meses.	130
Figura X. 7.: Trazado de horas.	131
Figura X. 8.: Abatimiento de arco.	131
Figura X. 9.: Proyección de horas.	132
Figura X. 10.: Proyecciones de Diciembre.	133
Figura X. 11.: Proyecciones mes de Septiembre y Marzo.	134
Figura X. 12.: Proyecciones mes de Junio	134
Figura X. 13.: Proyección cilíndrica.	135
Figura X. 14.: Isométrica de arcos.	135
Figura X. 15.: Proyección Estereográfica mes de Junio.	136
Figura X. 16.: Proyección Estereográfica mes de Diciembre.	136
Figura X. 17.: Carta Solar estereográfica de Cochabamba.	137
Figura X. 18.: Estereografía – <i>Gaisma.com</i>	137

### Capítulo XI: CONTROL DE LA LUZ SOLAR EN AULAS DE ESCUELAS SOLARES PASIVAS EN COCHABAMBA, BOLIVIA

Figura XI. 1.: Distribución consumo de energía eléctrica.	140
Figura XI. 2.: Iluminación y Orientación del aula.	141
Figura XI. 4.: Interior aula de escuela.	143

### Capítulo XII: EVALUACIÓN Y PROPUESTAS PARA LA ILUMINACIÓN NATURAL EN AULAS DE COCHABAMBA.

Figura XII. 2.: Colegio Calvert.	147
Figura XII. 3.: Colegio Tiquipaya.	147
Figura XII. 4.: Colegio Carachipampa.	147
Figura XII. 5.: Colegio Don Bosco.	148
Figura XII. 6.: Colegio La Salle.	148
Figura XII. 7.: Colegio Santa María.	148
Figura XII. 8.: Colegio Nacional Sucre.	149
Figura XII. 9.: Colegio Bolívar.	149

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Figura XII. 10.: Colegio Mejillones.	149
Figura XII. 11.: Colegio Boliviano Brasileño.	150
Figura XII. 12.: Colegio San Pablo.	150
Figura XII. 13.: Colegio Santa Bárbara.	150
Figura XII. 14.: Colegio 6 de Agosto.	151
Figura XII. 15.: Escuela Tambillo.	151
Figura XII. 16.: Escuela Suchitepéquez.	151
Figura XII. 17.: Escuela San Rafael.	152
Figura XII. 18.: Centro Escolar Tiahuanaco.	152
Figura XII. 19.: Escuela Nueva Vida.	152
Figura XII. 20.: Entidades educativas rurales.	153
Figura XII. 21.: Prototipos de base Unilateral y Bilateral.	154
Figura XII. 22.: Maqueta Modelo – Mediciones en Cielo artificial.	155
Figura XII. 24.: Prototipo base con iluminación Bilateral.	157
Figura XII. 25.: Prototipo base con iluminación Bilateral.	157
Figura XII. 26.: Prototipos con Iluminación Bilateral.	158
Figura XII. 27.: Prototipos con Iluminación Unilateral.	159
Figura XII. 29.: Niveles de CLD.	161
Figura XII. 30.: Prototipo base con iluminación Unilateral.	161
Figura XII. 31.: Prototipo base con bandejas de luz.	161
Figura XII. 32.: Grafico de niveles de CLD.	162
Figura XII. 33.: Grafico de niveles de CLD en cielo cubierto.	163
Figura XII. 34.: Grafico de valores de CLD.	164
Figura XII. 35.: Grafico de valores de CLD para Iluminación Bilateral	164

### Capitulo XIII: CRITERIOS PARA EL SISTEMA DE DISEÑO MODULAR CON LUZ NATURAL

Figura XIII. 1.: Formación de sombras.	169
Figura XIII. 3.: Modo de medir la línea sin cielo	171
Figura XIII. 4.: Obstrucción paralela en ventanas.	172
Figura XIII. 5.: Obstrucción más estrecha.	173
Figura XIII. 6.: Desplazamiento de la línea de cielo.	173
Figura XIII. 7.: Desplazamiento de la línea de cielo.	174
Figura XIII. 8.: Correcta orientación de aulas.	175
Figura XIII. 9.: Carta Solar estereográfica de Cochabamba.	176
Figura XIII. 10.: Colegio Don Bosco.	180
Figura XIII. 11.: Perspectiva Modular.	180
Figura XIII. 12.: Perspectiva Modular.	181
Figura XIII. 13.: Perspectiva Interior.	181
Figura XIII. 14.: Conducto de luz.	182

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

Figura XIII. 15.: Conducto Solar.	183
Figura XIII. 16.: Pared traslucida.	183
Figura XIII. 17.: Detalle Muro cortina.	184
Figura XIII. 18.: Muro Cortina.	184
Figura XIII. 19.: Claraboya.	184
Figura XIII. 20.: Techo traslucida.	185
Figura XIII. 21.: Cúpula de Vidrio.	185
Figura XIII. 22.: Membrana.	186
Figura XIII. 23.: Fotograma acristalamientos.	187
Figura XIII. 24.: Tabique divisorio.	190
Figura XIII. 25.: Material traslucido.	191
Figura XIII. 26.: Toldo.	191
Figura XIII. 27.: Cortina.	192
Figura XIII. 28.: Persianas.	192
Figura XIII. 29.: Voladizo.	193
Figura XIII. 30.: Estante de luz.	193
Figura XIII. 31.: Apantallamiento vertical.	194
Figura XIII. 32.: Material prefabricado.	194
Figura XIII. 33.: Lamas paralelas exteriores.	195
Figura XIII. 34.: Ventanas con demasiado contraste.	195
Figura XIII. 35.: Ventana con voladizo.	196
Figura XIII. 36.: Ventana con voladizo y persianas horizontales.	196
Figura XIII. 37.: Bordon Whitehill School, Hampshire	198
Figura XIII. 38.: Detalle constructivo – Conductor Solar – Lúmenes.	199
Figura XIII. 39.: Corte – Croockham Junior School – Detalle conductos	199
Figura XIII. 40.: Centro ATAM – Detalle Iluminación Cenita.	200
Figura XIII. 41.: Detalle control iluminación cenital.	200
Figura XIII. 42.: Corte transversal – Centro ATAM.	200
Figura XIII. 43.: Centro ATAM – Circuito de ventilación natural	201
Figura XIII. 44.: Croockham Junior School, UK – Control luz cenital	201
Figura XIII. 45.: Centro Day Care y guardería. Atenas, Grecia.	202
Figura XIII. 46.: Disposición Octogonal – Planta – Day Care Center.	202
Figura XIII. 47.: Explotación Iluminación Cenital – Day Care Center.	203
Figura XIII. 48.: Ventilación natural – Day Care Center, Grecia.	203
Figura XIII. 49.: Escuela Primaria Almería, España.	204
Figura XIII. 50.: Perspectiva – Detalle Constructivo.	204
Figura XIII. 51.: Lycee Albert Camus, Frejus, Francia.	205
Figura XIII. 52.: Corte transversal – Lycee Albert Camus, Frejus, Fr.	205
Figura XIII. 53.: Ventilación Natural – Lycee Albert Camus, Fr.	205
Figura XIII. 54.: Controladores de Iluminación Directa – Centro ATAM	206
Figura XIII. 55.: Iluminación Cenital – Atrio Universidad de Ingenieros, Se.	206

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

Figura XIII. 56.: Iluminación Cenital – Laboratorios Universidad Ing. Se.	206
Figura XIII. 57.: Iluminación Cenital – Biblioteca Universidad Ing. Se.	206
Figura XIII. 58.: Proyecto FROG.	207
Figura XIII. 59.: Modulaciones Tipológicas – Proyecto FROG.	207
Figura XIII. 60.: Modulaciones Tipológicas – Proyecto FROG.	208
Figura XIII. 61.: Watkinson School, USA.	208
Figura XIII. 62.: Proyecto FROG, Boston, USA.	208

## **INDICE DE TABLAS y GRAFICOS**

### **Capítulo IV: ILUMINACIÓN NATURAL Y ARQUITECTURA**

Tabla IV. 4.: Eficacia luminosa de distintas fuentes.	55
---	----

### **Capítulo VI: ILUMINACIÓN EFICAZ, CALIDAD y FACTORES HUMANOS**

Tabla VI. 1.: Marco conceptual.	82
---------------------------------	----

### **Capítulo VIII: NOCIONES DE CLIMA**

Tabla VIII. 1.: Clasificación de Koppen.	100
--	-----

### **Capítulo IX: CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE COCHABAMBA**

Tabla IX. 1.: Parámetros Ambientales de Cochabamba.	108
Grafico IX. 2.: Temperatura de Cochabamba.	108
Grafico IX. 3.: Hiterografía de Cochabamba.	108
Grafico IX. 4.: Climografía de Cochabamba.	109
Grafico IX. 5.: Precipitación total de Cochabamba.	109
Grafico IX. 6.: Ombrotermica de Cochabamba.	109
Tabla IX. 10.: Tabla síntesis temperaturas y humedad relativa.	113
Grafico IX. 11.: Isopleta de valores	114
Tabla IX. 12.: Sensaciones térmicas.	115
Grafico IX. 13.: Estereográfica – Sensaciones.	115
Tablas IX. 14.: Porcentajes de Sensaciones.	116
Grafico IX. 15.: Climograma de estrategias Bioclimáticas.	117
Tabla IX. 16.: Bienestar Térmico.	118
Grafico IX. 17.: Estereográfica – Estrategias.	118
Tablas IX. 18.: Porcentajes de Sensaciones.	119
Tablas IX. 19.: Método Mahoney.	123
Tablas IX. 20.: Método Mahoney.	124
Tablas IX. 21.: Especificaciones recomendadas.	125
Tablas IX. 22.: Recomendaciones de detalle.	126

### **Capítulo XI: CONTROL DE LA LUZ SOLAR EN AULAS DE ESCUELAS SOLARES PASIVAS EN COCHABAMBA, BOLIVIA**

## **Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.**

Gráficos XI. 3.: Resultado Simulaciones. 142

### **Capitulo XII: EVALUACIÓN Y PROPUESTAS PARA LA ILUMINACIÓN NATURAL EN AULAS DE COCHABAMBA.**

Tablas XII. 1.: Porcentajes de aventanamientos. 146

Tabla XII. 23.: Mediciones y cálculos con Daylight. 156

Tabla XII. 28.: Mediciones en Cielo Artificial. 160

### **Capitulo XIII: CRITERIOS PARA EL SISTEMA DE DISEÑO MODULAR CON LUZ NATURAL**

Tabla XIII. 2.: Profundidades límite de salas iluminadas lateralmente. 170

## **BIBLIOGRAFÍAS**

- Alemany Barreras, “*Climatología. Iluminación y acústica*”, Departamento de Ediciones ISPJAE, La Habana, Cuba, 1986.
- Anglia Polytechnic. Daylight 4.1, 1991.
- Assaf, O.; Tanides, C.; Sepilassky, N., “*Procedimiento para evaluación de sistemas de iluminación de edificios, incluyendo variables energéticas y de confort visual*”, Avance en energías renovables y medio ambientes.
- Baker, N.; Steemers, K., “*Daylight design of buildings*”, James and James, UK, 2002.
- Bardo, P.; Arzoumanian, V., “*Sol y Arquitectura*”, Editorial G. Gili, S. A., Barcelona, 1980.
- Becerril Naranjo, “*Del Sol a la Arquitectura*”, Editorial G. Gili, México, 1987.
- Boyce, P., “*Lighting and human performance: A review*”, CIBSE National conference, 2000.
- Brown G. Z., “*Sol, luz y viento, Estrategias para el diseño arquitectónico*”, Editorial trillas, México, 1994.
- Ching, F., “*Arquitectura: Forma, espacio y orden*”, Ediciones G. Gili, México, 1982.
- Ciner, “*Mapa de distribución solar en Bolivia*”, Editora J.V., Cochabamba, Bolivia, 1998.
- Corica L.; Pattini A.; de la Rosa C., “*Iluminación natural de espacios habitables en función de la morfología urbana circundante, para climas soleados*”, Avances en energías renovables y medio ambiente, Argentina, 2004.
- D.G. Rossiter, “*Preparation for MSc Thesis Research*”, ITC, Enschede, NL, 2006.
- De Mascaró, L., “*Luminotecnia y Luz Natural*”, Ediciones Summa, Madrid, 1977.
- De Mascaró, L., “*Luminotecnia y luz natural*”, Ediciones Summa, Madrid, 1977.
- Fuentes Víctor A., “*Geometría Solar*”.
- G.E. Gonzalo; S.L. Ledesma; V.M. Nota, “*Evaluación y propuestas para la iluminación natural en aulas*”, IAA, Argentina.
- García Chávez J.; Fuentes Freixanet, “*Viento y Arquitectura*”, Editorial Trillas, México, 1995.
- Givoni, B., “*Man Climate and Architecture*”, Van Nostrand Reinhold Co., 1981.
- Granados, H., “*Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo. Eficiencia energética*”, Consejo superior de los Colegios de Arquitectos de España, 2006.
- Herzog, Thomas, “*Solar Energy in Architecture and Urban Planning*”, 4ta Conferencia Europea: Energía Solar Arquitectura y Urbanismo, Berlin 1996.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “*Guía técnica: Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*”, IDEA, Madrid, 2005.
- Loe, D. y E, Rowlands, “*The art and science of lighting: a strategy for lighting design*”, Lighting research & Technology, 1996.
- López de Asían, J., “*Vivienda Social Bioclimática: Un nuevo barrio en Osasuna*”, Seminario de arquitectura y medio ambiente SAMA, Sevilla, 1996.
- Luzuriaga, J., “*Diseño para la elaboración del plan de tesis*”, PPL impresores, 2002.
- Marín Herrera, J. A., “*Sistemas especiales de control ambiental. Sistemas climáticos*”, ETSAB.
- Mc Adam, D., “*Visual sensitivities to colour differences in daylighting*”, J. Opt. Soc. Amer., 1942.
- Miller, N y T. M.C. Gowan, “*Lighting quality and how it is being applied to lighting design*”, CIBSE National Conference, 2000.
- Ministerio de Educación – Programa de infraestructura, “*Criterios y Normativas básicas de Arquitectura Escolar*”.
- Moore, F., “*Concepts and Practice of Architectural Daylighting*”, Van Nostrand Reinhold Co. NY, 1985.
- Niemeyer, O., “*Conversa de arquitecto*”,
- Olgyay, V., “*Arquitectura y Clima*”, Editorial G. Gili, Barcelona, 1998.
- Paricio, I., “*La protección solar*”, Bisagra.
- Pattini A.; Kirschbaum C., “*Evaluación subjetiva de aulas iluminadas con luz natural*”, Avances en energías renovables y medio ambiente, 1998.
- Pattini, A., “*Control de la luz Solar en aulas de escuelas*”, LAHV, Argentina.
- Pattini, A., “*Evaluación de la iluminación Natural en Edificios. Modelos a Escala*”, Avances en energías renovables y medio ambiente, 1999.
- Pattini, A., J. Mitchel y C. de la Rosa, “*Evaluación de iluminación natural en aulas mediante simulación y modelos a escala*”, ASADES, 1993.
- Pérez, P.J., “*El Sol Nuestra Estrella*”, Instituto de Geografía de la UNAM, México D.F., 1984.
- Piérola San Miguel, M., “*Tesis de grado: Tecnológico Industrial Santivañez*”, Universidad Mayor de San Simón, 2005.
- Robbins, C., “*Daylighting, Design and Analysis*”, Van Nostrand Reinhold Co., NY, 1986.
- Rui, R.; Mariz, G., “*Design interior de edificios e Iluminação Eficiente*”.
- Serra Florensa, R., “*Arquitectura y Climas*”, Editorial G. Gili, México, 1977.
- Serra Florensa, R.; Coch Roura, H., “*Arquitectura y Energía Natural*”, Ediciones UPC.

## Sistemas Adecuados de Iluminación Natural y Ventilación para Unidades Educativas: El caso particular de Cochabamba.

- Serra, R., “*Arquitectura y climas*”, Editorial G. Gili, Barcelona, 1999.
- Serra, R.; Coch H., “*Arquitectura y energía natural*”, Servei de publicacions de la UPC, 1996.
- Sevilla, A., “*Manual de Arquitectura Solar para climas cálidos*”, GEOHABITAT, 2000.
- Silvestrini, V., “*Active and passive Architecture*”, Sogesta, Permanent School on Solar Energy.
- Szokolay, Steven, “*Energía Solar y Edificación*”, Editorial Blume, Barcelona, España, 1978.
- Ugarte, J., “*Guía de Arquitectura Bioclimática*”, Instituto de arquitectura tropical, San José, Costa Rica.
- Veitch, J., “*Psychological processes influencing lighting quality*”, IES, 2001.
- Wilkins, A., “*Reading and visual discomfort*”, Lawrence Erlbaum Associates, 1993.
- Yannas, S., “*Educación en Diseño Medioambiental Sostenible*”, Le carre Bleu, Environment & Energy Programme, London, UK.
- Yannas, Simos, “*Design of Educational Buildings*”, Environment & Energy Studies Programme, Architectural Association Graduate School, London.