

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**CONFORT VISUAL: ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE ILUMINACIÓN NATURAL EN AULAS  
DEL SISTEMA DE EDUCACIÓN BÁSICA PRIMARIA EN EL AMM NUEVO LEÓN**

**Por**

**Arq. LUIS FERNANDO ROBLES MACHUCA**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN ARQUITECTURA**

**Asesor:**

**M.C. José Miguel Román Cárdenas**

**Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza N. L. México, Diciembre 2014**

## INDICE

<b>0. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	2
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b>	2
<b>1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b>	3
<b>1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN</b>	3
<b>1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b>	4
<b>1.5 HIPÓTESIS</b>	4
<b>1.6 JUSTIFICACIÓN</b>	5
<b>1.7 LÍMITES Y ALCANCES</b>	6
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	7
<b>2.1 LA NATURALEZA DE LA LUZ</b>	
<b>2.1.2 Principios físicos de la Luz</b>	7
2.1.2.1 Conceptos de luz	7
<b>2.1.3 Color y luz</b>	9
2.1.3.1 Naturaleza del color con la luz	9
2.1.3.2 Cualidades del color en las superficies	11
2.1.3.3 Magnitudes fotométricas de la luz	11
<b>2.1.4 La luz y la superficie de los objetos</b>	14
2.1.4.1 Fenómenos de la luz en los objetos	14

<b>2.1.5 Luz natural</b>	19
2.1.5.1 Conceptualización de la luz natural	19
2.1.5.2 Fuentes de luz natural	20
2.1.5.3 Radiación solar	21
2.1.5.4 Tipos de cielo	24
<b>2.2 ILUMINACIÓN NATURAL Y SER HUMANO</b>	26
<b>2.2.1 Efectos de la iluminación natural en el ser humano</b>	26
2.2.1.2 La luz natural y el ser humano	26
<b>2.2.2 Percepción y Visión</b>	27
2.2.2.1 La visión humana	27
<b>2.3 ILUMINACIÓN Y CONFORT</b>	31
<b>2.3.1 Confort</b>	31
2.3.1.1 El confort ambiental	31
2.3.1.2 Definidores ambientales	32
<b>2.3.4 Confort visual</b>	34
2.3.2.1 Condiciones del “confort visual”	34
2.3.2.2 Iluminancia	36
2.3.2.3 Luminancia	37
2.3.2.4 Deslumbramiento	39
2.3.2.5 Color	42
<b>2.3.3 Iluminación y rendimiento visual</b>	44
2.3.3.1 Concepto “rendimiento visual”	44

<b>2.3.4 Confort visual en aulas escolares</b>	45
2.3.4.1 Parámetros lumínicos en aulas de clase	45
<b>2.4 ILUMINACIÓN NATURAL EN ARQUITECTURA</b>	
<b>2.4.1 La relación entre la luz natural y la arquitectura</b>	48
2.4.1.1 Iluminación natural	48
<b>2.4.2 Iluminación del espacio arquitectónico</b>	51
2.4.2.1 Cualidades de la iluminación	51
<b>2.4.3 Luz, sombra, espacio y tiempo</b>	54
2.4.3.1 La luz y sombra como elementos esenciales en la lectura del espacio	54
<b>2.4.4 Iluminación cenital</b>	57
2.4.4.1 La luz cenital en la iluminación del espacio	57
<b>2.4.5 La iluminación natural en edificios escolares</b>	60
2.4.5.1 Iluminación natural en el aula escolar	60
<b>2.4.6 Bases compositivas de iluminación natural</b>	65
2.4.6.1 Proyección de luz	65
2.4.6.2 Componentes de paso	66
<b>2.4.7 Sistemas de iluminación</b>	67
2.4.7.1 Los sistemas de iluminación natural	70
2.4.7.2 Sistemas laterales	71
2.4.7.3 Sistemas cenitales	72

<b>2.4.8 Diseño de iluminación natural</b>	73
2.4.8.1 Uso del espacio	73
2.4.8.2 Análisis del sitio	74
2.4.8.3 Características del espacio	77
<b>2.5 INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN MÉXICO</b>	80
<b><i>2.5.1 La Arquitectura escolar en México.</i></b>	80
2.5.1.1 El rol de la Arquitectura escolar en la sociedad Mexicana	80
2.5.1.2 Antecedentes de la Arquitectura escolar en México	82
<b>2.5.2 Estado actual del aula didáctica en México</b>	89
2.5.2.1 Descentralización y nuevos retos globales en la infraestructura educativa	89
2.5.2.2 Normativa de iluminación en las aulas didácticas en México	90
<b>3. METODOLOGÍA</b>	94
<b>3.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA GENERAL</b>	
<b><i>3.1.1 Definición de parámetros</i></b>	94
3.1.1.2 Parámetros de Confort visual a evaluar	94
<b>3.1.2 Metodología de la recolección de datos</b>	95
3.1.2.1 Esquema metodológico general	95
3.1.2.2 Secuencia de recolección y análisis de datos	96
3.1.2.3 Entrevistas a personal de ICIFED e IMES	97
3.1.2.4 Sistemas de iluminación natural a evaluar	97
3.1.2.5 Prueba Visual	99
3.1.2.6 Condiciones lumínicas en aulas	99
3.1.2.7 Observación directa	99
3.1.2.8 Mediciones digitales	100
<b>3.2 UNIDAD DE ESTUDIO</b>	

<b>3.2.1 Descripción geométrica del aula didáctica de los casos de estudio</b>	101
<b>3.2.2 Descripción de los modelos de escuela a evaluar</b>	104
<b>3.3 CASOS DE ESTUDIO</b>	
<b>3.3.1 Selección de la muestra</b>	106
3.3.1.1 Criterios de selección de la muestra	106
3.3.1.2 Definición del universo	108
3.3.1.3 Definición de la muestra	109
<b>3.3.2 Selección de los casos de estudio</b>	110
3.3.2.1 Criterios de selección de los casos de estudio	110
3.3.2.2 Definición de los casos de estudio	112
3.3.2.3 Descripción de los casos de estudio	113
<b>3.4 DISEÑO Y APLICACIÓN DE PRUEBA VISUAL</b>	116
<b>3.4.1 Características de prueba visual</b>	116
<b>3.4.2 Metodología de diseño y aplicación de la prueba visual</b>	117
<b>3.5.1 Aulas para la aplicación de la prueba</b>	119
<b>3.5 MEDICIONES DE LUMINICAS EN CASOS DE ESTUDIO</b>	121
<b>3.5.1 Criterios de medición</b>	121
<b>3.5.2 Ubicación y descripción de aulas</b>	122
<b>3.6 MEDIDAS DIGITALES</b>	
<b>3.6.1 Parámetros de medición</b>	124
3.6.1.1 Software y aplicaciones	124
3.6.1.2 Diseño de vanos en sistemas de iluminación	125
3.6.1.3 Ubicación y clima	129
3.6.1.4 Definición de Parámetros de medición	130
3.6.1.5 Procedimiento general de mediciones digitales	133
<b>4. RESULTADOS</b>	

<b>4.1 EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO VISUAL</b>	134
<b><i>4.1.1 Resultados de la prueba visual</i></b>	134
<b><i>4.1.2 Análisis de las resultantes</i></b>	135
<b>4.2 MEDICIÓN DE ILUMINACIÓN EN CAMPO</b>	136
<b><i>4.2.1 Resultados de los niveles de iluminación en campo</i></b>	136
<b><i>4.2.2 Análisis de resultantes</i></b>	137
<b>4.3. MEDICIONES DIGITALES</b>	138
<b><i>4.3.1 Resultado de mediciones digitales</i></b>	138
<b><i>4.3.2 Análisis de resultantes</i></b>	141
<b>5. CONCLUSIONES</b>	142
<b><i>5.1 Conjeturas</i></b>	142
<b><i>5.2 futuras líneas de trabajo</i></b>	144

Bibliografía

## 0. INTRODUCCIÓN

### Resumen

Palabras clave: iluminación natural, sistemas iluminación natural, confort visual, aula didáctica.

La iluminación natural en las aulas didácticas de centros educativos de orden público en México, es un tema relevante pues impacta directamente en el desarrollo de la calidad del aprendizaje dentro de las mismas, ya que estas deben reunir las condiciones lumínicas necesarias para la adecuada realización de las tareas visuales en este tipo de espacios académicos.

Al respecto, las instituciones encargadas de la infraestructura educativa en el estado de Nuevo León (ICIFED), han hecho esfuerzos para que las aulas reúnan dichas condiciones. Sin embargo, aún existe un desaprovechamiento de la luz natural en el diseño de su modelo de aula didáctica tipo, el cual se ve reflejado en el gasto energético que se tiene al compensar esta falta de luz natural con luz artificial. Lo cual compromete el “confort visual” de los estudiantes por ser esta última de menor calidad que la luz natural, pudiendo afectar las actividades visuales que se realizan en el interior, así como un desgaste propio de la visión a largo plazo.

Es por lo anterior que en esta investigación nos hemos propuesto hacer un análisis sobre las condiciones actuales de iluminación natural que presentan las aulas en los planteles escolares de orden público denominados “escuelas sustentables” de nivel primaria. Así como las condiciones de confort visual que se propician en el modelo actual de “aula didáctica” con la implementación de sistemas de iluminación natural estándares, a través de simulaciones computarizadas considerando los parámetros de iluminación, luminancia y deslumbramiento, y con ello ofrecer un acercamiento hacia posibles nuevas soluciones de iluminación natural para este tipo de espacio escolar.



## CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente los organismos de la planificación y construcción de la infraestructura pública educativa del estado de Nuevo León han puesto en marcha a partir del 2012 la construcción de un dos nuevos modelos de planteles educativos en niveles escolares básicos denominados “escuelas sustentables”. Los cuales buscan reducir el consumo energético y a su vez mejorar las condiciones ambientales en su interior mediante la optimización de materiales y sistemas tecnológicos. Siendo su núcleo “el aula didáctica”, un espacio intervenido desde el punto de vista lumínico únicamente en lo que respecta a la iluminación artificial, sin presentar alguna innovación relevante en su diseño para el uso de luz natural en su interior. Ya que la estructura formal de estas aulas ha variado de manera poco significativa en comparación con la configuración que presentan los modelos anteriores de escuelas, basados aun en los diseños tradicionales implementados por el extinto organismo regulador federal CAPFCE. Desaprovechando este recurso natural que se presenta de forma abundante en la región.

Lo descrito anteriormente, ha orillado a un constante, innecesario e imprudente uso de luz artificial que se ve evidenciado en el consumo energético en horas diurnas para compensar esa falta de iluminación en dichos planteles. Lo cual, más allá de generar una situación desfavorable de tipo energético. Podría tener consecuencias fisiológicas en quienes hacen uso de estos espacios, debido a las diferencias en las cualidades lumínicas que posee la luz natural con respecto a la artificial. Pudiendo afectar la condición de confort visual en los ocupantes, que resulta indispensable tanto para el buen funcionamiento de la visión, como para el desarrollo de las actividades requeridas, que como consecuencia podría conllevar a un mayor desgaste del sistema visual, así como a un impacto negativo en el rendimiento académico de los estudiantes durante su formación básica. Siendo está integrada principalmente por el nivel primaria, que representa la etapa más extensa en la que el estudiante se desarrolla mental, física y académicamente.

En relación con la influencia que tiene la iluminación natural en los espacios educativos. Es sabido en base a estudios realizados por el (National Renewable Energy Laboratory) del (U.S. Department of Energy Laboratory) que aquellos espacios educativos que cuentan con una buena calidad de iluminación natural presentan en sus ocupantes un mayor rendimiento en sus actividades académicas, esto en base al estudio de (Patricia Plympton, Susan Conway, Kyra Epstein) (Daylighting in Schools: Improving Student Performance and Health at a Price Schools Can Afford), en donde se hace hincapié en los índices de confort visual que se pueden generar mediante la aplicación adecuada de estrategias de diseño de iluminación natural. Siendo que en varios de los casos como (Durant Road Middle School) o la (Roy Lee Walker Elementary) en los que se presentan estas condiciones de confort visual son en espacios que han implementado sistemas de iluminación cenital proyectados en base a las condiciones naturales de cada sitio. La cual complementa la iluminación lateral, logrando índices de cantidad y uniformidad superiores en relación con los planteles que carecían de esta. Diciéndonos estos resultados el cómo se puede

variar la efectividad de la iluminación natural en este tipo de espacios, con la implementación de distintos sistemas de diseño lumínico, ajustando sus elementos de captación a las condiciones del espacio y del sitio para elevar la calidad visual de este.

Estos sistemas de iluminación natural aun cuando puedan variar en su composición formal, se basen o desprenden de determinadas configuraciones elementales que se han desarrollado a través de la historia de la arquitectura y que son identificables tanto en sus características compositivas, como en la modo de captar y distribuir la luz. Dichas configuraciones han sido ejemplificadas en mayor o menor medida en una gran cantidad de edificaciones de distinto índole. Siendo estas definidas y estandarizadas en distintas tipologías por organismos internacionales en la materia como lo es la IESNA (asociación de ingeniería lumínica de norte américa) por su siglas en inglés, para su contemplación específica en el diseño de iluminación natural de los espacios.

Debido a la situación descrita anteriormente. Hemos desarrollado esta investigación con la intención de valorar tanto las condiciones de confort visual que se presentan actualmente en las aulas de clase de nivel primaria, así como aquellas que se propician con la integración de los distintos sistemas de iluminación natural estandarizados. Para así proveer de información que ayude a determinar una estrategia de diseño lumínico que favorezca la generación de un confort visual adecuado en las aulas didácticas de los modelos próximos de planteles educativos de nivel básico. Con el objetivo principal de elevar la salud visual y el rendimiento académico de sus ocupantes.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué efecto tendría sobre las condiciones de confort visual, la implementación de sistemas de iluminación natural estandarizados en el modelo actual de aula didáctica tipo ICIFED aplicado en los planteles escolares del AMM, en comparación con las condiciones que propicia este modelo con su estructura original?

## **1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo Principal**

Valorar las condiciones de confort visual que se propiciarían dentro del modelo de aula didáctica tipo ICIFED con la implementación de sistemas de iluminación natural estándares, en comparación con el modelo original.

## **Objetivos Secundarios**

- Analizar el comportamiento lumínico en términos de confort visual del aula didáctica en planteles educativos de nivel primaria de los modelos 2012 y 2013.
- Determinar los sistemas de iluminación natural estandarizados que mejor se adecuen al modelo base de aula didáctica en términos del confort visual que estos propicien.
- Identificar los valores más relevantes en los índices de confort visual que se generan con la implementación de los sistemas de iluminación estandarizados de forma digital en el modelo base de aula didáctica.

## **1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

### **Pregunta principal**

¿En qué medida pueden los sistemas de iluminación natural estandarizados propiciar un mayor confort visual en los usuarios de los usuarios al implementarse en el modelo de aula didáctica tipo ICIFED en el AMM?

### **Preguntas Secundarias**

¿Cuál es el comportamiento lumínico del aula didáctica en término de confort visual en los planteles escolares construidos en 2012 y 2013?

¿Qué sistemas de iluminación natural estandarizados se adecuan mejor modelo base de aula didáctica en términos del confort visual que estos propician?

¿Cuáles son los valores de confort visual que prevalecen con la implementación y de los distintos sistemas de iluminación natural estandarizados en el modelo base de aula didáctica?

## **1.5 HIPÓTESIS**

El implemento de sistemas de iluminación natural cenital a base de elementos de captación unidireccionales en el modelo base de aula didáctica propicia una mayor cantidad y uniformidad de iluminación, así como un balance más óptimo de luminancias que evitan zonas de deslumbramiento, lo cual favorece a un mayor nivel de confort visual en comparación con el modelo base de aula didáctica original.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

### **Conveniencia**

Resulta indispensable contar un conocimiento profundo de los temas relacionado con la iluminación natural y confort visual en los espacios de educación pública que hagan posible su entendimiento para la proyección y construcción de espacios más adecuados a las necesidades humanas y estas tengan respuesta por medio de la aplicación de soluciones que emanen de una situación específica en la que se encuentra un proyecto.

Los resultados de esta investigación Aportaran conocimiento respecto a la iluminación natural actual en aulas didácticas de carácter público, así como la posibilidad de incrementar su calidad lumínica para una proyección de espacios más congruentes con las necesidades visuales de quienes hacen uso de ellas.

Lo anterior proveerá información para la proyección de futuros modelos de aulas didácticas que contemplen la aplicación de nuevas estrategias de diseño de iluminación natural.

### **Relevancia**

Esta investigación tendrán como principales beneficiarios a los alumnos y personal docente que hagan uso de los espacios de aulas didácticas de carácter público a nivel primaria, mediante la posibilidad de generar condiciones lumínicas favorables que les permita realizar sus actividades visuales de forma adecuada, tanto para evitar el desgaste fisiológico del sistema visual, así como para ayudar a incrementar su rendimiento académico.

Dado a la naturaleza del documento A su vez se verán beneficiadas directamente las instituciones encargadas de la proyección, evaluación y construcción de infraestructura educativa de carácter público en área de estudio como lo es el ICIFED (Instituto Constructor de Infraestructura Física y Educativa) del estado de Nuevo León. Así como el INIFED nacional.

También esta información tendrá a fin de cuentas ayudar a lograr un mejor rendimiento académico, lo cual compete directamente a las instituciones de educación como la Secretaria de Educación Pública del estado SEP de N.L.

### **Aplicación práctica**

El principal problema práctico que se atenderá en esta investigación es el incremento de la calidad de la edificación educativa de carácter público desde el punto de vista lumínico, y por consecuencia el incremento de rendimiento académico de los alumnos.

Aunque no es el fin primordial de esta investigación, el hecho de aprovechar un recurso renovable de manera más eficiente en una construcción será motivo para que esta información sea tomada en cuenta por institutos evaluadores de los aspectos sustentables en la edificación, como lo es el IMES (Instituto Mexicano de la Edificación Sustentable) delegación noreste.

## **1.7 LÍMITES Y ALCANCES**

### **Límites**

- No se cuentan con antecedentes en el área de estudio de aulas didácticas de educación pública que cuenten con sistemas de iluminación distintos al unilateral y bilaterales de vanos, que permitan su evaluación en términos de funcionamiento lumínico.
- La normativa de la institución de la edificación educativa (INIFED), solo contempla en los requerimientos lumínicos, el aspecto de la “cantidad de luz” necesaria, sin hacer mención de la calidad de esta. Por lo que se tendrá que recurrir a referencias externas para evaluar los demás aspectos que conciernen a este tema.
- No se cuenta con un amplio conocimiento por parte del realizador de la investigación sobre el manejo de los distintos programas digitales de evaluación lumínica por simulación, por lo que se recurrido a tomar apoyo de capacitación con personal externo, así como de materiales instructivos para una capacitación autodidacta.

### **Resultados esperados**

- Matriz de los niveles de iluminación en aulas construidas de planteles escolares bajo el modelo 2012 y 2013.
- Matriz de los niveles de iluminancia así como de mapeos de luminancias e imágenes de alto rango dinámico HRDI, que describa de manera gráfica los resultantes de las mediciones digitales del funcionamiento lumínico del aula base sin modificaciones así como de los sistemas de iluminación natura implementados en ella.

## CAPITULO 2. MAROCO TEÓRICO

### 2.1 LA NATURALEZA DE LA LUZ

#### 2.1.2 Principios físicos de la Luz

##### 2.1.2.1 Concepto de luz

#### Luz

La conceptualización de la luz ha sido de interés constante a través de la historia de la humanidad, tratándosele de comprender de distintas maneras dado al valor que esta tiene para la vida humana, puesto que nuestro cuerpo y mente se encuentran estrechamente ligado a esta tanto en su orden físico, biológico como psicológico, dirigiendo el crecimiento y la actividad del ser humano. Por lo que resultando esta esencial para crear la vida y conservarla.



Fig. 1: Proyección de luz natural

Ya desde la época euclidiana del (s III a.c), se tenía conocimiento de la proyección rectilínea de la luz, así como de otros efectos de esta sobre las superficies como la reflexión y la transmisión. Siendo la óptica euclidiana la que puede ser vista como la primera teoría corpuscular en la cual se creía que la luz era un efluvio que partía de los ojos para palpar los cuerpos, como si estos fuesen una especie de tentáculos que daban forma a los objetos. Mientras que la concepción platónica marcaba lo opuesto, pues consideraba que los rayos provenían de los objetos, con la información de sus cualidades. Esta última teoría sería retomada tiempo después por otros filósofos y artistas como Alberti y da Vinci, quienes abundarían en su definición física, ya que la luz “durante la edad media era una cuestión metafísica y teológica de gran importancia” (Ramos, 2004: 11), y no fue hasta mediados del siglo XVII que aparecieron dos teorías que abordarían el tema de la naturaleza de la luz, la teoría corpuscular de Newton y la teoría ondulatoria de Huygens, que abordaban el comportamiento lumínico en contacto con la materia, de cual. La propuesta de Newton “supone que la luz está compuesta por corpúsculos que se propagan en línea recta, de tal forma que pueden atravesar los cuerpos transparentes y ser reflejados por los opacos” (Yáñez, 2008: 426), sin poder esta demostrar del todo dichos fenómenos. Por su parte Huygens propone la “teoría ondulatoria”, con la cual se podría demostrar las leyes de “reflexión y refracción” por medio de “ondas luminosas”.



Fig. 2: Experimentos de óptica de Newton (Cambridge Queen's Collage)

No fue hasta 1865 que el científico Maxwell desarrollo la “teoría electromagnética” de la luz, que hablaba de la similitud que tienen las “ondas luminosas” con las “ondas electromagnéticas”, ya que tienen las mismas propiedades de propagación en el espacio, esto fue posteriormente convalidado por el científico Hertz en 1887. Sin embargo, esta teoría no explicaba el fenómeno de la “radiación” sobre los cuerpos. Siendo que en 1905 el científico Albert Einstein formuló en base a los estudios previos de Max Planck, la existencia de la luz como diminutos paquetes de energía llamados “fotones”, lo cual llevo a un nuevo tipo de luz, y así concretar el entendimiento actual de esta “una luz moderna, entendida como onda y fotón” (Plummer, 2006: 10).

En términos físicos se puede decir que “La luz no es más que una radiación en particular y las radiaciones son una forma de energía que atraviesa el espacio, yendo de uno a otro lugar de forma prácticamente instantánea”. (Serra, 1999: 29). Esta radiación particular forma una pequeña franja del espectro electromagnético de la energía radiante, la cual es llamada “espectro visible”, la cual se encuentra en el margen entre los rayos ultravioleta e infrarrojos y es la que el ojo humano es capaz de percibir.

Esta energía radiante que puede ser percibida por el ojo humano (espectro visible), tiene distintas longitudes de onda que generan lo que se conoce como “color”, ya que “la luz visible es una región del espectro electromagnético cuyas ondas electromagnéticas tienen una longitud de onda que va desde el rojo (780 nm), al violeta (380 nm)” (CEI & IDAE, 2005: 13). En estos márgenes de radiación es donde se estimula la percepción visual.

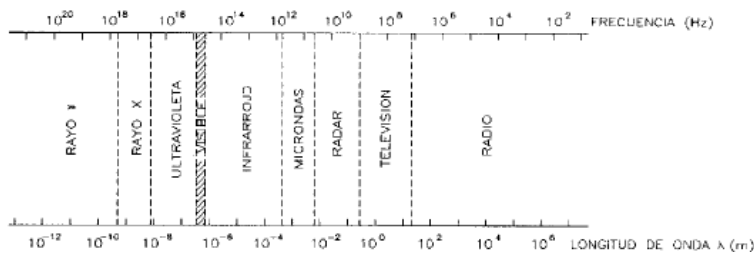


Fig. 3: Espectro radiante

Otros organismo internacionales como la IESNA de norte américa la define como la luz como la “energía radiante que es capaz de excitar la retina humana y crear una sensación visual” (IESNA, 2000: Light and the Energy Spectrum). Que, aunado al término del espectro visible, la podríamos identificar como una manifestación de energía en la forma de radiaciones electromagnéticas con la capacidad de afectar el órgano visual. En donde la radiación electromagnética representa un vehículo de transporte de energía, que puede ser interpretada como el movimiento de partículas inmatrimales (fotones), las cuales se describen por dos características cuantificables como lo es su frecuencia ( $f$  en Hertz), y su longitud de onda ( $\lambda$  en metros).

El efecto visual de la radiación, en el rango visible depende fuertemente de la longitud de onda. Puesto que el ojo humano tiene la capacidad de diferenciar las distintas longitudes de onda del espectro luminoso, percibiéndolo como un tono de luz, lo cual varían según la longitud de onda, siendo violeta y azul las longitudes más cortas y naranja y rojas las más largas. Las luces monocromáticas son radiaciones de una sola longitud de onda, mientras que las fuentes térmicas de luz como lo es del sol, emiten radiaciones en todas las longitudes de onda del rango visible,

### 2.1.3 Color y luz

#### 2.1.3.1 Naturaleza del color con la luz

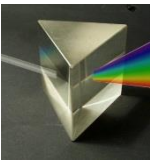


Fig. 4: División de los colores del espectro visible

#### Espectro visible

La luz que se puede interpretar con nuestros ojos, como se mencionó, se compone por el espectro visible, que corresponde a un pequeño segmento del espectro electromagnético. El cual según van desde 380 hasta 780 nanómetros (nm). Estas longitudes de onda diferentes producen los colores del espectro visible: violeta, añil, azul, verde, amarillo, naranja y rojo; rojo. Cuando se mezclan los colores del espectro visible, combinados, se crea luz blanca. Esta luz blanca es lo que vemos que emite desde una fuente tal como el sol, en donde no podemos ver los colores individuales que componen hasta que la luz entra en contacto con un objeto. Cuando la luz blanca entra en contacto con un prisma de cristal las diferentes longitudes de onda de la luz se desvían en diferentes ángulos que los separa y muestra el espectro visible de colores. Cuando esta la luz blanca incide sobre un objeto, parecerá ese objeto ser coloreado al reflejar la longitud de onda del color que vemos mientras que absorbe los otros colores del espectro visible. Esto se da puesto que mientras que la luz se comporta de forma aditiva en el color, en la pintura de las superficies, se comporta de forma sustractiva. Por ejemplo, un objeto verde al incidir la luz natural que tiene todas los colores del espectro, estos son absorbidos y solo refleja la longitud de onda verde que es la percibida por los ojos.



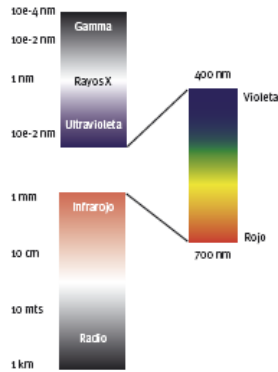


Fig. 5: Sección del espectro visible

Es necesario aclarar el concepto de color en dos aspectos fundamentales para entender su percepción en relación con la luz. Por una parte existe el color propio de la luz, el cual puede variar según la hora de día pasando desde un azul claro de la mañana hasta el ámbar cálido del crepúsculo, mientras que existe otro tipo de color, propio del objeto o cuerpo iluminado, que resulta de sus cualidades cromáticas de absorción y repelencia de las distintas ondas del espectro lumínico, lo cual genera un color propio o color “color local”, emitido por el cuerpo. Sin embargo este permanece expuesto al cambio cromático de la fuente luminosa, ya que si cambia el color de la luz, también cambiara el color del objeto, en donde “podemos hablar por tanto, de color real con referencia a la luz blanca y color aparente a una luz coloreada” (Cfr. Araujo, Ignacio, citado por: Ramos, 17).

Se puede decir entonces que la luz además de transportar energía, también cuenta con color. Siendo que el “El **color de la luz** es consecuencia del reparto de energía en las distintas longitudes de onda del espectro. (Serra, 1995: 37)”. En la que si prevalecen longitudes de onda del espectro visible que sean largas, la luz se percibirá como roja, si prevalecen la longitudes medias, esta luz parecerá amarilla o verde y si las longitudes son cortas se tendera a un tono azul. En la luz natural se combinan todas las longitudes de onda en cantidades aproximadamente iguales.

La apariencia cromática de la luz natural también puede tomar una tonalidad distinta al atravesar un cuerpo translucido con determinada pigmentación, otorgándole las cualidades cromáticas a la luz al momento de pasar por él. Como lo es el caso de los vitrales góticos o las ventanas de Ronchamp. Que a pesar de ser translucidos no eran incoloros, transformando la apariencia lumínica del interior en relación con el exterior.



Fig. 6: Ventanal de la capilla de Notre Dame du Haut en Ronchamp, Le Corbusier

### 2.1.3.2 Cualidades del color en las superficies

#### Tono, saturación y claridad

En base a la clasificación “Munsell”, “La apariencia de un campo iluminado coloreado puede ser descrito por tres atributos perceptuales: tono, saturación y claridad.” (Colombo y O`Donell, 2002, P.11). Siendo tono o matiz asociado al color predominante, sea este identificado como espectral o no. Pues “el matiz se refiere a aquella característica que lo distingue de otros colores como: rojo, verde o azul” (Yáñez, 2008: 433).

La saturación tiene que ver con la pureza del color en base a un tono. Ya que un color monocromático espectral tiene la mayor saturación, la cual describe el grado de aproximación de un color a un color puro del espectro, es decir que este describe que tan próximo esta un color rojo del rojo neutro. Se puede decir que el matiz junto con la saturación constituye lo que se podría llamar “sensación de cromaticidad”.

El brillo o claridad tiene que ver con la cantidad de luz que se recibe y refleja, esta “Es una magnitud perceptual asociada al nivel de la intensidad que emite una fuente de luz, o a la proporción de la luz incidente que es reflejada en el caso de objetos” (Colombo & O`Donell, 2002: 12). Y que en este caso permite clasificar al color en lo que se llama una escala de grises neutros, que va desde el negro con valor 0, hasta el blanco con valor 10.

En la interacción que hay entre la luz y el color del objeto se da un efecto paradójico cuando existe un exceso de luz, ya que al ser este una luz blanca o real, con su intensidad y fortaleza tiende devorar el color de los objetos.

### 2.1.3.3 Magnitudes fotométricas de la luz

#### Unidades lumínicas

La medición de las ondas electromagnéticas de todo el espectro radiante se da por medio de magnitudes radiométricas, pero en el caso particular de la cuantificación exclusiva de la radiación a la que es sensible el ojo, estas magnitudes radiométricas pasan a ser “magnitudes fotométricas”. Las cuales son comprendidas mediante cuatro tipos de unidades lumínicas (flujo radiante, intensidad, radiancia, irradiación), (Serra, 1995: 37).

Flujo luminoso, (lumen, lm)

Intensidad de luz, I (candela)

Iluminancia, E (lux, lx = lm/m<sup>2</sup>).

Luminancia, L (cd/m<sup>2</sup>).

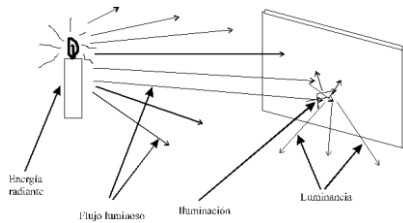


Fig. 7: Unidades fotométricas

## Flujo luminoso

El flujo luminoso muestra la cantidad de luz total emitida por una fuente luminosa “en todas direcciones” y esta deriva de la magnitud radiométrica del “flujo radiante”. Se puede decir que el “el flujo luminoso nos mide la cantidad de luz por unidad de tiempo” (EU (TAREB), 2004: 2). Percibida y evaluada en términos de respuesta visual respecto a la sensibilidad del ojo humano, siendo el lumen (lm) la unidad de flujo luminoso del Sistema Internacional SI.

Unidad (lm, lumen)

$$\phi = \frac{Q}{t}$$

Donde:

$\phi$ : flujo luminoso (cantidad de luz emitida por unidad de tiempo) en lúmenes (lm)

Q: cantidad de luz emitida en lúmenes por segundo (lm · s)

t: tiempo de duración de la emisión en segundos (s).

## Intensidad luminosa

La medición de la “cantidad de luz que desprende una fuente hacia una dirección”, es conocida como la intensidad de luz (I), que deriva de la magnitud radiante de la “intensidad de radiación”. Esta magnitud se aplica con fines más prácticos en comparación con el flujo luminoso, y esta es definida como “flujo emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección específica” (Colombo & O`Donell, 2002: 2), esta cantidad de luz es emitida por una fuente puntiforme que se propaga en una determinada dirección. Definiéndose esta intensidad como el cociente del flujo emitido en una cierta dirección en un cono de ángulo sólido, siendo su unidad de medición la candela (cd).

Unidad candela (cd).

$$I = \frac{\phi}{\omega}$$

Dónde:

I: intensidad luminosa en candelas (cd)

$\phi$ : flujo que incide sobre la superficie en lúmenes (lm)

w: ángulo sólido en estereorradianes (sr)

## Iluminancia

La iluminancia (E) “es el concepto E fotométrico más importante que mide el nivel de iluminación” (Yáñez, 2008: 434), cuya aplicación práctica es cuantificar la cantidad de luz que llega a una superficie determinada. La cual se desprende de la magnitud radiométrica de la “radiancia” y por la simplicidad de su medición es la magnitud que más se utiliza.

La Iluminancia “se define como el flujo luminoso que incide por unidad de área de una superficie dada.” (Colombo & O`Donell, 2002: 6), cuya unidad de medición del S. I. es el Lux (lx), que representa la iluminancia producida sobre una superficie de área de un metro cuadrado por un flujo luminoso de un lumen (lm) distribuido uniformemente sobre esa superficie.

Esta superficie en la que se proyecta el flujo luminoso es por lo general lo que se llama “plano de trabajo”, el cual es por lo general horizontal o vertical a una altura o distancia preestablecida en donde se ubica el o los puntos de medición.

La iluminancia sigue la ley inversa de los cuadrados, que en el caso de una fuente puntual toma la forma:

Unidad Lux (lx)

$$1\text{lx} = \text{lm} / \text{m}^2$$

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

Donde:

E: Iluminancia

$\Phi$ : Flujo luminoso

A: Área de la superficie

## Luminancia

La luminancia (L), “nos indica la claridad de una superficie emisora para un observador” (TAREB, p.), la cual se relaciona con la magnitud radiométrica de la “radiancia”. Esta característica hace referencia a la intensidad de la luz emitida en este caso por una superficie en una dirección determinada. “se define como la intensidad luminosa emitida, por la fuente o la superficie, en la dirección de un observador, dividida por el área de la fuente o la superficie vista por el observador” (Colombo & O`Donell, 2002: 7).

Siendo esta magnitud describe la luz que es realmente percibida por el ojo humano y no la iluminancia, ya que no es la luz que procede de una fuente la que es percibida (a menos que este en dirección al ojo), sino la luz que es reflejada por una superficie que la recibe. este fenómeno se puede dar de dos maneras, pudiendo ser directa, la cual es recibida desde la fuente hacia el ojo, o indirecta, que es la luz reflejada por las superficies u objetos dentro del campo visual sean estos muros, muebles, agua, etc. Y en la cual intervienen las cualidades lumínicas en materiales de los mismos (reflexión, refracción y absorción).

La luminancia en una dirección dada, en un punto dado, es cuantitativamente definido por la siguiente fórmula:

Unidad de medida es la candela sobre metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>)

$$L = \frac{I_{\alpha}}{A \cdot \cos\alpha}$$

Dónde:

L: luminancia en candelas sobre metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>)

I: intensidad luminosa en candelas en la dirección

A: área de la fuente en metros cuadrados (m<sup>2</sup>)

Cos: ángulo comprendido entre el ojo del observador y la recta normal a la fuente.

Esta magnitud fotométrica resulta fundamental para la comprensión y evaluación de otros fenómenos lumínicos de orden cualitativo, como lo es el deslumbramiento, ya que esta determina la mayor o menor impresión de claridad o brillo producida por una superficie.

## **2.1.4 La luz y la superficie de los objetos**

### **2.1.4.1 Fenómenos de la luz en los objetos**

#### **Reacciones físicas de la luz sobre la materia**

Al propagarse, los fenómenos ambientales como la luz, pueden encontrar obstáculos en esta propagación, que no son más que discontinuidades en el medio en el que se propagan. Al encontrar estos obstáculos se producen cambios en las características de los fenómenos ambientales, tanto a las que refieren a sus propiedades geométricas como a las energéticas. Y en el caso de las radiaciones electromagnéticas “la luz que incide sobre una superficie se distribuye en tres componentes: reflejada absorbida o transmitida” (Yáñez, 2008: 429).

En el comportamiento de la luz en las superficies, una parte es absorbida convirtiéndose en calor, otra puede ser transmitida a través de él, tratándose de un objeto translucido, y otra parte puede reflejarse en distintas direcciones.

En base a lo anterior se puede decir que en un energía incidente (E<sub>i</sub>), sobre una superficie, una parte de esta podría reflejarse (E<sub>r</sub>), otra transmitirse (E<sub>t</sub>), con similares reacciones, así como perderse en el interior del mismo objeto, absorbiéndolo (E<sub>a</sub>).

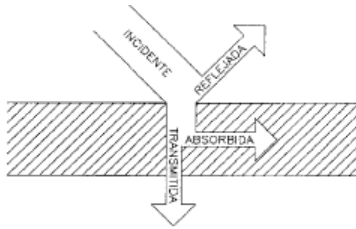


Fig. 8: Radiación en contacto con obstáculos

Si definimos como coeficientes a estas reacciones serian:

Coefficiente de reflexión = reflectancia  $r = E / E r i$

Coefficiente de transmisión = transmitancia =  $t = E / E t i$

Coefficiente de absorción = absortancia =  $E / E a i$

Desde el punto de vista arquitectónico, los valores de los materiales pueden ser una herramienta muy útil en el diseño de un entorno de aprendizaje. Ciertos materiales pueden ser utilizados para mejorar la iluminación y el rendimiento térmico de un espacio, para evitar brillos o reflejos no deseados. Por ejemplo con un vidrio específico se puede reflejar la radiación dañina del sol, para así reducir la transmisión de calor y controlar el deslumbramiento. En términos lumínicos, los materiales pueden ser utilizados para controlar y distribuir la luz en un espacio.

En el mundo real todos los materiales reflejan y absorben la luz de manera simultánea. Y esta sólo puede ser transmitida a través de materiales transparentes o translúcidos, tales como vidrio. En los cuales la luz también se refleja y se absorbe en determinadas cantidades, pero la absorción tiene lugar dentro del material siendo que la cantidad de absorción es dependiente de su tono y espesor.

El entendimiento de las características de los materiales y su reacción frente a la luz, es son una necesidad relevante dentro de la arquitectura, dado al impacto que estos tienen en la ambientación lumínica de los espacios. Puesto que construimos con la luz del mismo modo que construimos con materiales, la diferencia es que los materiales son tangibles, mientras que la luz es visual y emocional.

## Reflexión

Técnicamente hablando, la reflectancia de la luz en una superficie se define como el “Cociente entre el flujo radiante o luminoso reflejado y el flujo incidente en las condiciones dadas. ([IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-04-58] citado por CEI & IDEA, 2005:102)”. Esta reflectancia de las radiaciones electromagnéticas varía en mayor o menor medida según sea la estructura microscópica de la superficie, en donde el color se tomaría como (claro u oscuro). Esta capacidad de reflexión se puede medir en base a su “reflectancia (r)”, “reflectancia específica (r.)” o

“reflectancia media ( $r_m$ )”. Siendo la reflectancia ( $r$ ) descrita bajo la formula ( $r = \frac{I_r}{I_i}$ ) que expresa la relación entre el flujo reflejado en una superficie respecto al que incide. En la que como regla general, se conoce que “el total de flujo reflejado no superará nunca el flujo incidente y tampoco lo hará para una longitud de onda determinada” (Serra & Coch, 1995: 51).

Desde el punto de vista espectral, las superficies pueden tener un comportamiento distinto hacia las longitudes de onda, lo cual hace que la luz natural adquiera una coloración distinta al reflejarse o transmitirse en una superficie de color. Mientras que Desde el punto de vista geométrico “el acabado superficial de los cuerpos varía la geometría de la reflexión, dependiendo de la longitud de onda de la radiación incidente” (Serra & Coch, 1995: 51). En este factor geométrico de la luz es donde se dan tres tipos de reflexiones que actúan en base a las características físicas de la superficie, pudiendo ser, “especular (o regular), difusa y dispersa”, aunque en la realidad estas reacciones actúan de manera combinada en distintas proporciones. En este aspecto las propiedades de reflectancia dependen de la fuente de luz incidente y el material de la superficie. Ya que un material especular reflejará un haz incidente directa en el mismo ángulo opuesto al ángulo de incidencia, por lo tanto; el ángulo de reflectancia es igual al ángulo de incidencia. Sin embargo, la cantidad de luz reflejada se reduce porque parte de la luz también es absorbida. Así como los materiales pueden tanto absorber y reflejar la luz, también pueden tener tanto la propiedad especular como difusa y dispersa. La dispersión parcial de luz puede influir en las propiedades especulares, suavizando la luz reflejada. Esto se puede lograr a través de tratamientos superficiales del material tanto en su “grado de alisado” como en su “color”.

Tener una superficie opaca (sin transmitancia) que se describe como “especular o regular”, significa que el material refleja el haz de luz como un espejo. Así que cuando un rayo directo de la luz cae sobre la superficie opaca, este se refleja como un rayo directo. Esto se explica en base a la ley de reflexión. La cual no dice que “el ángulo de reflexión ( $r$ ) es igual al ángulo de incidencia ( $i$ ) para todas las longitudes de onda y para cualquier medio, es decir ( $i = r$ )” (Yáñez, 2008: 430).

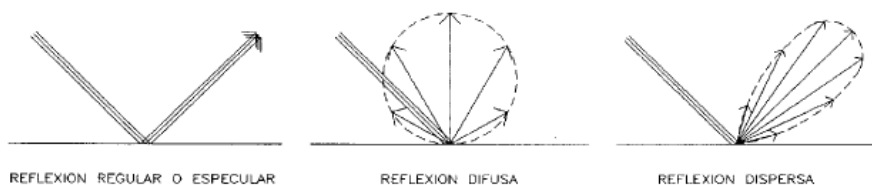


Fig. 9: Tipos de reflexión de luz en obstáculos

En la realidad es difícil que las superficies reflejen una reflexión regular, con excepción de aquellas que estén muy pulidas o cuya estructura interna molecular es muy ordenada, como es el caso de los espejos pues “el comportamiento se acerca a la reflexión regular si la medida de las irregularidades de la superficie es inferior a 1/4 de la longitud de onda de la radiación incidente.” (Serra & Coch, 1995: 59). Sin embargo la mayoría de las superficies en arquitectura presentan

reflexiones de tipo difuso, lo cual provoca que la luz natural se reparta más uniformemente por los espacios interiores. Mientras que las reflexiones regulares y dispersas son útiles para re direccionar la luz natural hacia lugares específicos.

### Índice de reflexión

La Reflectancias de los materiales dentro del espacio puede afectar considerablemente la distribución de la luz en el interior, por lo que es necesario analizar las propiedades de las superficies de los materiales tanto en su “color” como en su grado de “alisado”. Por lo que habrá que analizar su “índice de reflexión”, el como el “cociente entre la cantidad de luz incidente sobre un material y la cantidad de luz reflejada” (CEI & IDEA, 2005:107). Se expresa en tanto por ciento o en tanto por uno.

### Transmisión

La transmisión es cuando la luz que cae sobre una superficie y esta pasa en su totalidad o parcialmente a través del material y deriva hacia el otro lado del mismo. Donde al igual que sucede con la reflexión, se puede analizar la transmisión desde dos puntos de su aspecto energético como del geométrico. Técnicamente este se define como el “Cociente entre el flujo radiante o luminoso transmitido y el flujo incidente en las condiciones dadas” ([IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-04-59], citado por CEI & IDEA, 2005:102). Es decir que se expresa la cantidad de luz que pasa por el material en relación con la cantidad que incide sobre él.

Desde el punto de vista energético, la transmisión de un material dependerá de la longitud de la radiación y de su ángulo de incidencia en la superficie del material. A su vez el espesor del material puede cambiar las reacciones de transmisión (T).

Dicha transmitancia se desarrolla bajo la fórmula:

$$T = \frac{d}{e \cdot d} \cdot 1$$

En el aspecto geométrico del comportamiento de la transmisión de las radiaciones electromagnéticas, resulta similar al de la reflexión. Donde la estructura molecular interna y superficial del material provocara variaciones en la distribución dela radiación, pudiendo ser (regular, difusa o dispersa).

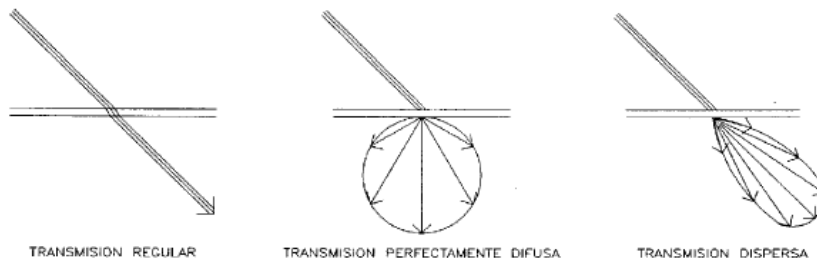


Fig. 10: Tipos de refracción en superficies translúcidas



Cuando un material que es transparente es descrito como “especular” entonces esto significa que este material tiene la capacidad de transmitir un haz de luz directa que cae sobre ella sin dispersarla o difuminarla. Otra capacidad de un material así es la visión clara que se tiene cuando se mira a través de él. Sin embargo el rayo de luz no podrá seguir en la misma dirección del que tenga cuando impacte al material, ya que este sufre una desviación en su trayecto dentro del material, dicho fenómeno es llamado “refracción”. En realidad hay una doble desviación en la trayectoria, una al ingresar al material y otra al salir esta no se dispersa o se difumina, se estaría tratando de una transmisión regular.

### **Índice o coeficiente de transmisión (t)**

Este coeficiente es definido como el “porcentaje de la luz natural en su espectro visible que deja pasar un vidrio” ((CEI) (IDEA), pg.107), este coeficiente está supeditado a la transmitancia que tenga el material, así como de su espesor.

Es necesario decir que en este fenómeno de transmisión, el coeficiente podría variar según las características de la longitud de onda de la radiación que incide, ya que en el caso del cristal, este actúa de forma efectiva en la transmisión de la radiación visible, sin embargo en la radiación infrarroja que va acompañada, este material no funciona de la misma manera, ya que este retiene dicha radiación, creando lo que se conoce como “efecto invernadero”, que posteriormente provoca que detrás del material se genera un sobrecalentamiento.

### **Absorción**

La absorción en los objetos se puede ver como un complemento de la reflexión y transmisión, en donde la radiación que incide sobre cuerpos aquella que no se refleja o se transmite es absorbida por el material. Transformase en calor, ya que “como todas las energías acaban siempre transformándose en calor al ser absorbidas por las superficies. Por esto, al final, la luz es también calor; en la naturaleza y en la arquitectura”. (Serra, 1999: 29). Por lo que este fenómeno tiene una importancia ambiental relevante por su repercusión tanto en las condiciones lumínicas como térmicas. Puesto que, la radiación que se convierte en calor al ser absorbida por estas superficies depende de la longitud de onda y del tipo de superficie, lo que indirectamente condiciona su emisión de radiación térmica.

La absorción se puede medir en base a las unidades de (absorbancia, absorbancia específica y absorbancia media)

Absorbancia (a). Relación entre el flujo absorbido por la superficie de un cuerpo respecto del incidente:

$$a = \frac{\Phi_a}{\Phi_i}$$

Con el fin de entender la diferencia entre las formas de absorción de los materiales vale la pena mencionar que para un material opaco a la absorción tendrá lugar en la superficie del material y para un material transparente la absorción tendrá lugar en el cuerpo del material. Esta es la razón por la cual la absorción depende del espesor del material.

### **Coefficiente de absorción**

Este coeficiente sería el “porcentaje de luz que la atravesar un material translucido o transparente no sale del total de luz incidente sobre dicho material” ((CEI) (IDEA), pg.107), Se expresa en tanto por ciento o en tanto por uno.

## **2.1.5 Luz natural**

### **2.1.5.1 Conceptualización de la luz natural**



Fig. 11: Eclipse lunar

### **Luz natural**

Luz del natural o luz de día, representa la combinación de tres fuentes, la luz del sol y la luz difusa del cielo, y la luz de reflexiones circundantes, la cual tiene el rasgo particular de estar en constante cambio durante el día, tanto en su intensidad, tonalidad y dirección, según las estación y el tiempo del día.

Durante siglos, la luz del día era la única fuente eficiente de luz disponible. Hopkinson (1966) denominó la luz del día como un regalo de la naturaleza, la cual siempre ha jugado un papel fundamental en el diseño de los edificios por las distintas ventajas fisiológicas y psicológicas que tiene en el ser humano Ya que “la luz solar es la base más importante de nuestra percepción y la más cómoda para nuestra visión” (Serra, 1999: 29).

El sol es venerado a lo largo de la historia como fuente de vida. Sin embargo, con el aumento de los avances en la tecnología de algunos de nosotros hemos olvidado la importancia de que el sol tiene en nuestras vidas en la tierra, y en términos de arquitectura, incluso se ha tratado evitarla. Basándonos en cambio en los sistemas de iluminación artificial en lugar de la luz solar natural, puesto que la luz del día produce problemas en términos de deslumbramiento y la ganancia de calor solar y así se hizo más fácil para cerrar hacia fuera de los edificios y reemplazarla con la

iluminación eléctrica, por su costo y facilidad de control. Sin embargo la disminución de los limitados recursos necesarios para producirla han resucitado la necesidad de luz natural en nuestros edificios y el sol una vez más puede ser venerado como fuente de vida y energía.

La luz natural respecto a la artificial representa una fuente de iluminación de mayor calidad para el bienestar del individuo en un espacio determinado ya que “es un hecho probado que los espacios iluminados con luz natural son más estimulantes y de efectos más positivos que los iluminados con la luz artificial” (Yáñez, 2008: 415), esto se debe a que desde el aspecto visual, la luz ofrece un espectro luminoso más completo y uniforme, que se traduce en un mejor rendimiento cromático de los objetos que permite percibir su verdadero color, a su vez esta luz nos da una visión más detallada de las características físicas de la plasticidad de los mismos objetos.

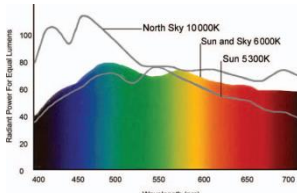


Fig. 12: Composición espectral de la luz natural

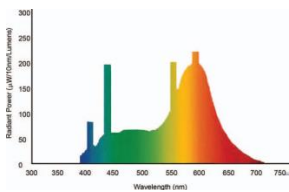


Fig. 13: Composición espectral en luz de lámpara fluorescente

### 2.1.5.2 Fuentes de luz natural

#### Luz directa, reflejada y luz celeste

El sol es la mayor fuente de energía que para nuestro planeta. En donde “la energía que llega al nivel del mar suele ser radiación infrarroja (49%), luz visible (42%) y radiación ultravioleta (9%)” (CEI & IDEA, 2005:16). De la cual se desprenden otro tipo de fuentes cuyas características van acorde a la fuente luminosa solar como lo es la luz de bóveda celeste y de la luz que se reflejan en el contexto inmediato.

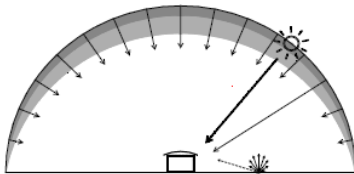


Fig. 14: Fuentes de luz (luz directa del sol, luz de la bóveda celeste, reflexiones en la superficie)

La luz solar directa es la que proviene del sol, la cual va cambiando con el movimiento de este en la bóveda celeste. Se trata de una luz por lo tanto, que desde el aspecto visual, genera condiciones poco confortables en el interior de espacios por los grandes contrastes además de sobrecalentamientos en climas donde se presenta en grandes cantidades, mientras que en climas fríos, ocurre lo contrario, su acción lumínica y térmica son favorables.

La luz proveniente de la bóveda celeste genera una intensidad menor de iluminación que va alrededor del 5 al 10% de la luz solar, aunque dicha iluminación genera una mejor distribución, ya que esta luz se da en forma difusa, proveniente de todas direcciones. Esta es una luz variable ya que en esta puede darse en un cielo despejado, parcialmente cubierto, así como completamente cubierto.

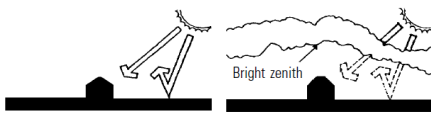


Fig. 15: Luz directa en cielo claro y cielo nublado

La luz reflejada, es aquella que proviene de las superficies exteriores, ya sea el piso, muros de edificios etc. A esta luz también se le conoce como “albedo”, el cual adquiere gran importancia al presentarse la luz directa y celeste en grandes cantidades, haciendo necesario esta fuente tanto para re direccionar la luz incidente como para controlar sobrecalentamientos, sin embargo en el caso de superficies externas con una alta reflectancia de luz, podría dar paso a deslumbramientos indeseados en el interior de espacios cercanos.

### 2.1.5.3 Radiación solar

#### Incidencia de la radiación solar

Los dos movimientos que realiza la tierra, van a determinar la cantidad y dirección de la radiación solar en una superficie determinada. que es la traslación alrededor del foco solar, y el de rotación en su propio eje. En el primero La tierra gira alrededor del sol en una trayectoria elíptica que sitúa a la Tierra a una distancia desigual del sol durante todo el año. La tierra gira alrededor de su eje norte-sur, que no es perpendicular al sol, en un ángulo de 23,5 grados con respecto a la perpendicular lo explica el cambio de temporada. El eje de la tierra está fija en su órbita alrededor del sol resultando en dos puntos extremos y dos próximos, que corresponden a los solsticios de verano e invierno y a los equinoccios de primavera y otoño. Por lo que estas condiciones tanto de la inclinación del eje de la tierra, su trayectoria elíptica de traslación y su forma esférica, hace que la irradiación solar en la superficie terrestre no sea uniforme a lo largo del año.

Los equinoccios, al igual que los solsticios ocurren dos veces cada año, el equinoccio de primavera el 21 de marzo y el de otoño el 21 de septiembre, que son las fechas en donde los dos polos se encuentran a una misma distancia del sol y que corresponden con las entradas estacionales en cada caso. Los equinoccios, se definen cuando los rayos del sol son perpendiculares a la línea ecuatorial y por lo tanto se encuentran directamente entre los extremos de los solsticios. Mientras que los solsticios corresponden en verano el 21 de junio, y al de invierno el 21 de diciembre. Estos se definen por la inclinación del eje de la tierra sobre el plano de su órbita.

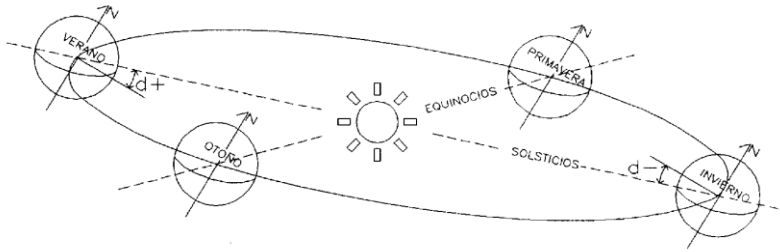


Fig. 16: Estaciones en el hemisferio norte

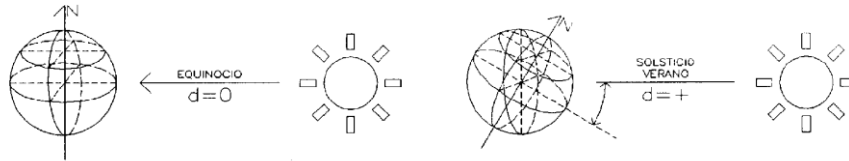


Fig. 17: Incidencia solar según la época del año

En cuanto a la trayectoria solar en las distintas temporadas, estas varían respecto a la superficie terrestre tanto en su inclinación como en su posición de origen y ocaso, siendo los solsticios los extremos en cuanto a la inclinación solar, ya que en verano el sol alcanza su punto más elevado en mediodía, mientras que en invierno se da su inclinación más baja. Entre estos puntos extremos se dan los equinoccios, los cuales coincide el recorrido solar, tanto en su inclinación como en su origen y ocaso. Es por ello que en los estudios de proyección solar, se habla de tres recorridos solares, los solsticios y el equinoccio.

La incidencia que tenga la radiación solar en la superficie terrestre dependerá tanto en su cantidad como dirección de los movimientos de la tierra respecto al sol, “Para determinar la dirección y la inclinación de la incidencia de la radiación en cada momento, debemos conocer la posición relativa del sol y del plano considerado.” (Serra & Coch, 1995: 174), esto se puede obtener de manera gráfica mediante cartas solares que describan su movimiento durante el transcurso del día como siendo la más conocida la “carta estereográfica” que nos proporcionan la altura solar (ángulo de elevación respecto a la horizontal), así como el azimut solar (ángulo positivo o negativo de desviación respecto al Sur).

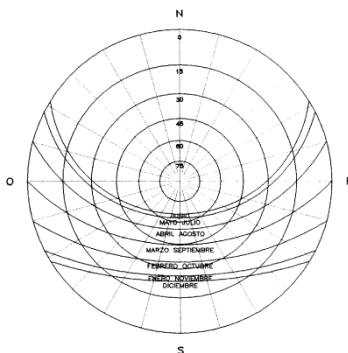


Fig. 18: Carta solar

La ubicación exacta del sol respecto a la tierra puede determinarse con tres coordenadas: la “latitud en la tierra”, la “época del año”, y el “tiempo solar”. El tiempo solar se determina por la posición del sol en el cielo. Al mediodía solar, el sol está en su posición más alta en el cielo. Esto varía de la hora estándar en función de la época del año y la diferencia longitudinal de su ubicación exacta es de la longitud de la hora oficial.

El tiempo solar, la latitud y el tiempo del año, son factores necesarios para determinar la altitud solar y el ángulo de azimut. El ángulo de altitud es el ángulo vertical de los rayos solares que golpean la tierra. Al dibujar una línea tangente a la latitud de interés en la tierra, la altitud se puede determinar como la diferencia entre la línea perpendicular de la tangente y la proyección horizontal de los rayos del sol.

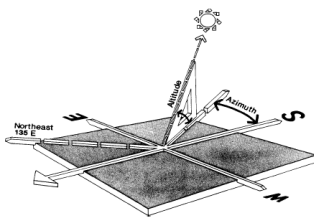


Fig. 19: Altitud y azimut

Azimut solar se determina por la distancia del sol es relativa a la verdadera sur. Para simplificar, las tablas se obtienen fácilmente para determinar la altitud y azimut ángulos para cualquier latitud dada, época del año, y la hora solar, pero es más fácil de entender la relación que estos ángulos tienen el uno al otro y la tierra a través de diagramas de trayectoria del sol.

Somos conscientes de que la tierra gira alrededor del sol, pero para simplificar su estudio, es más fácil suponer, para fines que el sol gira alrededor de la tierra. Además, debido al hecho de que el sitio de interés es tan pequeño en relación con la tierra, que se supone que es plana con un hemisferio colocado sobre una cúpula cielo. En esta bóveda celeste, las marcas de la posición del sol durante todo el día trazan el camino que el sol viaja en el sitio durante todo el año. Cuando la bóveda celeste aplanada en dos dimensiones se convierte en un diagrama del camino de sol. El cual es una herramienta para determinar la altitud solar y el azimut para cualquier latitud dada, época del año, y la hora solar. Hay dos tipos de diagramas de trayectoria del sol: vertical (proyección cilíndrica) y diagramas de trayectoria del sol (proyección estereográfica) horizontales. Este último será el que se tome para las mediciones realizadas en este estudio.

En el diagrama de trayectoria horizontal, la ruta sol está marcada a intervalos mensuales en función de los días 21 de cada mes y la hora del día está marcada perpendicularmente a la trayectoria del sol. Los círculos concéntricos son la altitud solar y las líneas radiales son el azimut.

### 2.1.5.4 Tipos de cielo

#### Condiciones de cielo

La situación del cielo es una característica indispensable en el proceso de diseño lumínico, pues este representa una de las condiciones variables en el lugar de una edificación para poder predeterminedar las condiciones de luz natural que se pueden esperar. Las cuales varían según la latitud del sitio, su clima y nubosidad. Estas condiciones de cielo están clasificadas generalmente en tres tipos, (cielo cubierto, cielo claro y cielo nublado).

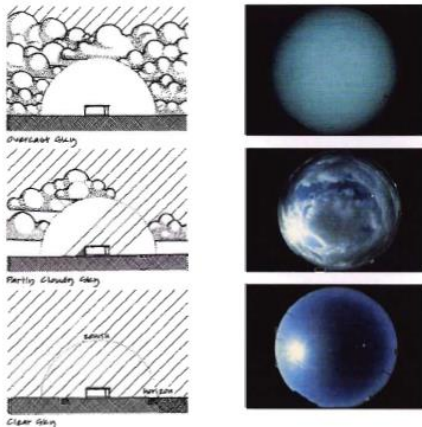


Fig. 20: Tipologías de cielo

La información de la situación lumínica del cielo se puede encontrar en forma de curvas de distribución de luminancias del cielo, que describen de manera cuantitativa la disponibilidad de luz natural y así poder analizar las opciones de diseño para los sistemas de captación, ya que “Los datos exactos y las técnicas para determinar las condiciones del cielo son importantes para juzgar las prestaciones del diseño final en términos tanto de confort visual como de uso eficiente de la energía en el tiempo” (Serra, Coch, 1995: 127).

Para el análisis de la luminancia del cielo, existen varios modelos de que proporcionan la cantidad de luminancia que estos tienen tanto en su situación de cielo cubierto, o claro. Ya que es importante en el diseño de la luz del día saber qué tipo de condición cielo es predominante al sitio. Las condiciones del cielo pueden variar entre las estaciones del año, por lo que de no haber una condición de cielo predominante en el sitio debe tenerse en cuenta varios tipos de cielo en el diseño.

#### Cielo cubierto uniforme

Este tipo de cielo es el más comúnmente utilizado en cálculos de luz natural, pues representa la situación más desfavorable de disposición lumínica al evitar la radiación directa del sol. Aunque ignorando los rayos solares directos, el cielo nublado es en realidad más brillante que un cielo

despejado debido a la cantidad de luz reflejada por las nubes. Por lo tanto, la iluminación de un cielo cubierto es bastante constante durante todo el día.

Este modelo describe las luminancias en todas las orientaciones y alturas las cuales se estudian mediante una relación entre la luminancia media del cielo y la iluminancia en un plano horizontal en donde no haya obstrucciones. Este se describe con la fórmula:

$$E_h = \pi \cdot L$$

Donde:

$E_h$  = iluminancia sobre plano horizontal (lux) h

L = luminancia media del cielo (cd/m<sup>2</sup>)

(Serra, Coch, 1995: 187).

### **Cielo claro**

Las condiciones lumínicas de los cielos despejados o claros son opuestas a los cielos nublados, estos son tres veces más brillante en el horizonte que en el cenit.

En el análisis de luminancia del cielo claro, se considera mayoritariamente la incidencia directa del sol, el cual proyecta una intensidad de aproximadamente 100.000 cd/m<sup>2</sup>. Y su respectiva posición según la hora y época del año. A su vez se agregan la aportación de la bóveda celeste que van desde los 2.000 a los 9.000 cd/m<sup>2</sup>. Así como las reflexiones de superficies exteriores (albedo).

### **Cielo nublado**

Este es el tipo más común de condición de cielo. A su vez es la más variante, ya que está clasificado como un cielo cubierto con manchas de sol a un cielo despejado con algunas nubes pequeñas. Un cielo despejado con manchas de nubes será muy luminoso gracias a los rayos directos y la Reflectancias de las nubes. Mientras que los cielos cubiertos con manchas de sol varían en niveles de iluminación a través de la bóveda celeste debido a la nubosidad dispersa.

Este cielo se consideraría como intermedio entre el cielo claro y cubierto, los cuales serían los casos extremos, por lo que en todo caso no es necesario analizar este tipo de cielo si se conocen las condiciones lumínicas de los otros dos casos. Aunque "si se conocen las dos situaciones límites, no es necesario estudiar este tipo de cielo más allá de conocer su frecuencia para cada época del año" (Serra, Coch, 1995: 189).



## 2.2 ILUMINACIÓN NATURAL Y SER HUMANO

### 2.2.1 Efectos de la iluminación natural en el ser humano

#### 2.2.1.2 La luz natural y el ser humano



Fig. 21: Proyección de luz en recámara a escala

#### Efectos en el individuo

Desde el aspecto visual, la luz nos permite ver, saber dónde estamos y que hay a nuestro alrededor, dándole forma a las cosas y al espacio, pues “-La luz es el componente esencial para toda posible comprensión de la cualidad del espacio. (Baeza, 1996: 35) ”.

Durante muchos años, el diseño ambiental y la iluminación se basa en la suposición de que sólo la luz afecta el rendimiento visual. Sin embargo se ha demostrado que la luz que entra el ojo tiene un número de otros efectos en los seres humanos. Pues existe una activación de varios órganos en el cerebro, especialmente la glándula pineal, glándula pituitaria, y la formación reticular del tronco cerebral. La luz afecta el ritmo diurno, el metabolismo, la frecuencia del pulso, presión arterial y la producción de hormonas. La luz puede incluso aumentar la defensa inmune contra ciertos tipos de infecciones. Se puede decir que desde el punto de vista biológico, “La luz afecta a nuestros cuerpos de dos maneras. En la primera, la luz incide en la retina de nuestros ojos y, a través de nuestra visión sistema, afecta nuestro metabolismo y nuestro sistema endocrino y hormonal. En la segunda, que interactúa con nuestra piel por medio de la fotosíntesis y produce vitamina D” (Boubekri, 53). Por lo que la luz natural tiene una relación directa en la salud humana. La exposición a esta nos conecta con el ciclo natural de la tierra, puesto que “la luz de día es fuente de energía que dirige el crecimiento y la actividad de todos los seres vivos” (Plummer, 2009: 6). La cual, además de exponer las cosas a la vista y darles forma, resulta igualmente esencial para el desarrollo de la vida, ayudando a prevenir enfermedades y mantener nuestros ritmos biológicos y hormonales, siendo esto responsable de predisposiciones a respuestas psicológicas y de comportamiento, tal como el estrés y el malestar.

#### Efectos no visuales

"El cuerpo humano utiliza el círculo natural de la luz y la oscuridad durante el período de 24 horas del día para regular su secuencia diaria de los cambios de sueño, suspensión, la temperatura corporal, el estado de alerta y la mayor producción de hormonas" necesarias para que el organismo funcione. Esos cambios necesarios de todos los días para los seres humanos y

mamíferos son controladas por el ritmo circadiano. La falta de exposición diaria a la luz es uno de los factores más importantes que pueden perturbar ese círculo natural del cuerpo. Esto se debe a que en el cuerpo humano hay varios ritmos circadianos que están interrelacionados y juntos tienen un tiempo de ciclo inherente de aproximadamente 24 horas. Y estos ciclos se modifican y se ven afectados por estímulos externos como la exposición a la luz.

La investigación sobre este campo ha demostrado que el correcto funcionamiento de los ritmos circadianos en liberan, entre otras hormonas, las hormonas que son responsables de la mejora de la "memoria inmediata entre diez-doce de la mañana", por lo tanto, contribuye como un factor positivo en el procedimiento de aprendizaje de los estudiantes durante las horas de escuela. Desde las seis de la tarde hasta la medianoche las hormonas que se liberan son responsables de la "memoria a largo plazo" es en su mejor momento, por lo que hay una mejor ventana de tiempo para el estudio escolar en esos horarios.

El correcto funcionamiento de los ritmos circadianos es más importante para los niños, ya que su sistema parece ser más sensible a esta variación hormonal. El diseño de iluminación natural adecuado para las aulas y las instalaciones de la escuela es fundamental para el correcto funcionamiento y la continuidad de los cuerpos de reloj natural, e igualmente importantes para el rendimiento de aprendizaje de los estudiantes.

## **2.2.2 Percepción y Visión**

### **2.2.2.1 La visión humana**



Fig. 22: Vista

#### **Característica funcional del sentido de la vista**

Los sentidos humanos son los mecanismos receptores de información tanto de las condiciones internas del individuo como del medio que nos rodea, sea este natural o artificial, como lo es el caso del espacio arquitectónico, donde este es experimentado a través de una mezcla de sensaciones perceptuales de todos estos receptores, dado que "la arquitectura es el arte de la reconciliación entre nosotros y el mundo, y esta mediación tiene lugar a través de los sentidos" (Pallasmaa, 2005: 72). Los cuales comparten características generales en su forma de operar que vendrían a ser la (especificidad, limitación, adaptación y excitabilidad).

La “especificidad” indica que cada receptor o sentido es estimulable por una energía en específico. Como lo es la “luz”. Los receptores operan dentro de unos “límites”, fuera de los cuales el estímulo no será completamente captado. En caso de que dicho estímulo se repita constantemente puede ocasionar pérdida de sensibilidad en el receptor, lo cual se denomina “adaptación”, y por último, los receptores tienen la capacidad de distinguir los estímulos diferentes según sus cantidades.

Los receptores son clasificados en 2 grupos según el tipo de información que capturan, clasificándose en (endoperceptivos y extraperceptivos). Siendo los “endoperceptivos” los que perciben el mundo interno del individuo encargados tanto del estado visceral y como del sentido de equilibrio. Mientras que los receptores extraperceptivos, que captan la información del mundo exterior son “vista, oído, olfato, tacto”, donde la vista representa “el más abstracto y cerebral de los receptores, con capacidad para percibir el detalle y con un campo de percepción muy direccional.” (Serra, Coch, 1995: 69).

### Reacción del sistema visual ante la luz

Para entender los efectos de la iluminación en el ser humano, es necesario primeramente saber las capacidades del sistema visual y la manera en que funciona. Puesto que el sistema visual abarca tanto al ojo como al cerebro, lo cuales operan de manera conjunta.

El sentido de la vista funciona principalmente mediante un órgano sumamente sofisticado como lo es el ojo. En el cual, desde el punto de vista lumínico, la “pupila” regula la cantidad de luz que ingresa al ojo, por medio de una abertura regulable, la cual entre más cerrada se encuentre, menor cantidad de luz ingresada, pero habrá una mayor nitidez y profundidad del campo visual.

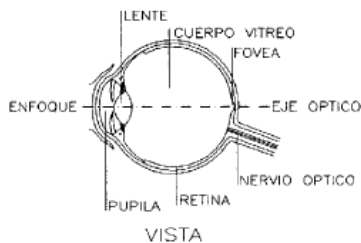


Fig. 23: Estructura del ojo humano

El “cristalino” funge como el lente del ojo que regula el enfoque y desde el cual la luz pasa hasta el globo ocular, donde incide en la retina, que es donde se forman las imágenes enfocadas por el cristalino. La “retina”, considerada por algunos como una extensión del cerebro, que actúa como una especie de película que reviste el fondo del ojo, consiste en dos tipos de fotorreceptores, llamados (bastoncillos y conos). Los cuales capturan y transforman las señales lumínicas para transformarlas a eléctricas.

Los “bastones” tienen la mayor sensibilidad a la luz, son útiles para saber la cantidad de luz más no su longitud de onda, lo cual genera una visión escotópica que trabaja a niveles muy bajos de energía incidente. Mientras que al “color” o longitud de onda, se le percibe mediante células llamadas “conos”. Estos conos se concentran en una área central reducida de la retina llamada “fóvea”, que “es la parte de la retina que provee una fina discriminación de detalles” (Colombo % O`Donell, 2002: 22), en donde el resto de la retina está destinado primariamente a detectar cambios en el medio visual hacia los cuales se requerirá luego la atención de la fóvea, para un examen detallado. Dicho estímulo tendrá primeramente que diferenciarse de su fondo tanto por luminancia como por color, o también poder cambiar sus características mediante el movimiento o parpadeo, lo cual atraerá la atención e la fóvea para su análisis.

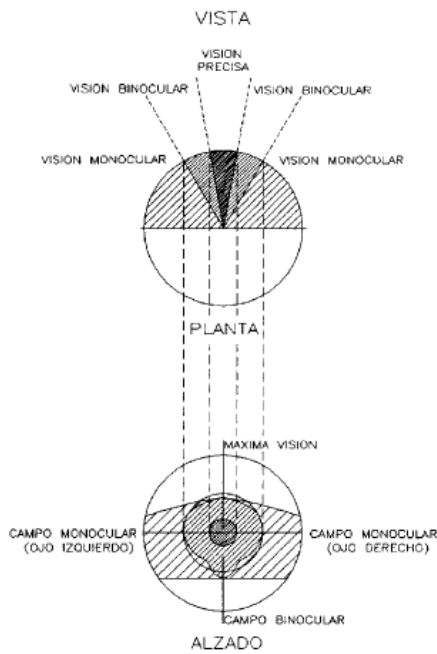


Fig. 24: Alzado y planta del campo visual

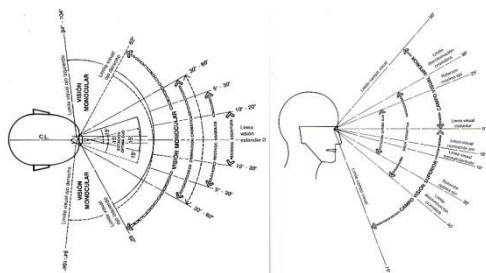


Fig. 25: Rangos visuales horizontal y vertical

### Sensibilidad de la vista en relación al tiempo

Cuando existen sensaciones constantes o repetidas, se produce una cierta pérdida de sensibilidad dado a un proceso de “adaptación”, tanto en el mismo órgano como en el cerebro, dejando una

sensación del estímulo una vez que este desaparece, cuya duración varía dependiendo de la intensidad de dicho estímulo y de la preparación que tuvo el sentido para recibirlo.

La reacción de la visión con el tiempo, es relevante para saber cómo influye la luz en nuestra adaptación a los cambios en el ambiente. “En el caso de la vista, los conos y los bastoncillos se sensibilizan a la luminancia media del campo visual en cada momento, pero se necesita un cierto tiempo para adaptarse a condiciones nuevas eficazmente.” (Serra, Coch, 1995: 78). Donde ocurre una gran diferencia entre el tiempo de adaptación de la vista a los extremos ambientales lumínicos, ya que pasar de la luz a la oscuridad le toma al sentido visual, un tiempo superior a los 30 minutos, mientras que en el caso opuesto de pasar de oscuridad a luz, toma poco más de 30 segundos, lo cual conlleva una adaptación notablemente más rápida. Es por ello que el diseño de un ambiente arquitectónico debe tenerse en cuenta para que el usuario en movimiento sea capaz de adaptarse de manera paulatina a los niveles que va encontrando.

### **El estímulo visual**

El sistema visual es afectado tanto por la iluminación como por una gran cantidad de aspectos relacionados con las condiciones visuales percibidas, como los son; el campo visual donde el estímulo es visto, el tiempo que este se presenta, su nitidez, composición espectral y el fondo, si es estacionario o móvil, etc.

Los estímulos visuales pueden ser descritos por cinco aspectos que son: “tamaño visual, contraste en luminancia, contraste cromático, calidad de la imagen retiniana e iluminación retiniana” (Colombo & O`Donell, 2002: 25).

## 2.3 ILUMINACIÓN Y CONFORT

### 2.3.1 Confort

#### 2.3.1.1 El confort ambiental



Fig. 26: Representación de los órganos sensoriales del hombre

#### Principios generales del confort ambiental

El hombre ha buscado por construir un mundo artificial en donde este pueda adaptarse a estos entornos de manera que le requiera un mínimo de energía, logrando así lo que se conoce como “zona de confort”. Sin embargo “no existe un criterio único para poder realizar una evaluación precisa del confort. Quizás podría definirse en negativo, es decir, como la zona en la cual no se produce un sentimiento de incomodidad” (Olgyay, 1998: 30). Nos referimos entonces al hablar de confort ambiental a la comodidad o falta de molestia en un ambiente determinado. En el cual influyen simultáneamente los estímulos de todos los sentidos, además de otros factores difícilmente reconocibles. A pesar de ello clásicamente se analiza, de forma independiente el confort para cada uno de los sentidos principales, como es el caso de la vista respecto a la iluminación.

Los constituyente del ambiente pueden ser descritos de forma objetiva como la luz, sonido, espacio etc. Los cuales representan los “parámetros de confort” Todos ellos repercuten directamente sobre el ser humano, el cual puede absorberlos o repelerlos en mayor o menos medida, según los efectos que estos tengan en él. Por ello, al evaluar el confort de un ambiente se deberán considerar de forma simultánea los estímulos que llegan al ocupante por los distintos receptores, contemplando los grados de incidencia que puedan tener unos en otros. Tal es el caso de la luz y el calor, los cuales están íntimamente relacionados en su incidencia y propagación, por lo que, de no tomarlo en cuenta uno en otro, se podrían generar errores de valorización del confort general, que conllevaría a una situación de desconfort ambiental.

Desde el punto de vista del diseño ambiental, el ser humano siempre ha encontrado diversas formas de solucionar una misma problemática, sin enfocarse a una única solución. En la arquitectura se conciben distintas visiones en la relación de esta, respecto al medio natural, desde aquellas soluciones con completa independencia del ambiente, mediante la creación de condiciones artificiales ajenas al exterior, así como aquellas donde la relación es sumamente estrecha, en donde se aprovechan las buenas condiciones y se evitan las malas. Creándose así una relación constante de edificio – ambiente, como pasa con la arquitectura vernácula y bioclimática. En donde el arquitecto trabaja con los parámetros de confort de manera directa. Sin embargo,

este también necesita tener en mente la influencia que tiene los factores del individuo como la edad o tipo de actividad en la percepción ambiental para tener así un conocimiento pleno de las consecuencias de sus decisiones en el diseño del ambiente arquitectónico, puesto que “solo la arquitectura puede despertar simultáneamente todos los sentidos, todas las complejidades de la percepción” (Holl, 1994: 10).

Respecto a lo anterior se puede concluir que el confort ambiental está determinado por dos elementos principales, que corresponden a los “parámetros de confort” y a los “factores de confort”, los cuales se refieren a las características energéticas del ambiente y a las características del individuo que las recibe. Los cuales incidirán entre ellos en la percepción que se tenga del lugar y por lo tanto, “el confort que ofrezca un ambiente determinado dependerá, en cada caso, de la combinación que se presente entre los parámetros objetivos y los factores del usuario” (Serra, 1999: 13) y por lo tanto el objetivo del arquitecto es que se mantenga relacionados ambos conceptos en la conceptualización de ambientes habitables.

### 2.3.1.2 Definidores ambientales

#### Parámetros de confort ambiental

Los “parámetros ambientales de confort” “son manifestaciones energéticas, que expresan las características físicas y ambientales de un espacio habitable, independientemente del uso del espacio y de sus ocupantes” (Serra, Coch: 1995, Pg.79), los cuales representan características objetivables del ambiente expresadas en términos energéticos, que pueden ser especificados para cada uno de los receptores o sentidos, ya sea en aspectos (térmicos, acústicos o visuales), lo cual posibilite el “calculo” de estas por medio de unidades físicas establecidas como (grados centígrados, decibeles, lux, etc.).

A su vez existen otros “parámetros generales” que inciden en todos los sentidos de forma simultanea como lo son (forma del espacio o tiempo), en los cuales un complejo entrecruzamiento de tiempo, luz, materiales y detalles crea el “todo”. (Holl Steven, 1994: 15).el cual percibimos e interpretamos en la formación de nuestra realidad.

PARAMETROS ESPECIFICOS DE CONFORT			
SENTIDOS	EFFECTO ENERGÉTICO	PARAMETROS ESPECIFICOS	UNIDADES
Temperatura del			
<b>Térmico</b>	It = I conducción/ convección	Temperatura del aire....(Ta)	.C
	+ I radiación	Efecto radiante.....(Tr)	W/m <sup>2</sup>
	+ I evaporación	Humedad.....(h)	gr/kg
		Velocidad del aire.....(v)	m/s
<b>Acústico</b>	I acústica	Distribución espectral de	W/m <sup>2</sup> /Hz

		intensidades...l(f)	
<b>Visual</b>	<b>I<sub>luminica</sub></b>	Iluminancia energética...E	W/m <sup>2</sup> /m

Tabla 1: parámetros específicos de confort (Serra &amp; Coch, 1995: 92)

PARAMETROS GENERALES DE CONFORT (Serra, Coch, 1995: 92)
direccionalidad de los efectos
variaciones en el tiempo
variaciones en el espacio

Tabla 2: parámetros generales de confort (Serra, Coch, 1995: 92)

### Factores de confort ambiental

Los por otro lado, los “factores de confort” representan las características propias del individuo o habitante dentro del espacio. Las cuales pueden ser de distinto índole ya sean de tipo “biológicas-fisiológicas” como (edad y sexo, etc.), “sociológicas” como (tipo de actividad, educación, ambiente familiar, moda, costumbres, etc.), así como las de tipo “psicológico” como la (personalidad, estado de ánimo, etc.). Todas estas características son condiciones ajenas al ambiente pero influyen en la forma en como este se percibe, por lo que se debe tener conocimiento de su incidencia en el momento del diseño ambiental de un espacio construido.

FACTORES DE CONFORT	
<b>sociales</b>	tipo de actividad, vestido, etc.
<b>fisiotemporales</b>	aclimatación en períodos cortos o largos
<b>Fisiológicos</b>	anatomía y fisiología del usuario
<b>psicológicos</b>	tipo de carácter, educación, sinestesias

Tabla 3: (Serra, Coch 1995: 93)



## 2.3.2 Confort visual

### 2.3.2.1 Condiciones del “confort visual”



Fig. 27: El confort visual en base a la actividad

#### El confort visual

La comodidad o confort visual es una “condición subjetiva” que se presenta bajo una sensación de bienestar cuando observa objetos o realiza tareas visuales sin molestias ni fatiga, gracias a la adecuada combinación de “calidad y cantidad de iluminación”. De lo cual depende la facilidad con que nuestra visión percibe aquello que le interesa. “El término confort visual describe la falta de la psicológica sentido de dolor, irritación o distracción” (Hopkinson et al., 1966). Donde la función visual depende inicialmente de “nivel de iluminación”, es decir de la cantidad de luz en el ambiente, mediante el cual nuestro sistema visual capta los objetos del entorno. Ya que en la realidad, la luz es “inmaterial” y esta se transforma y “materializa” cuando se refleja en algún objeto, para que este pueda ser captado por el ojo humano. Por lo que el “confort visual” radica principalmente en la forma en que nosotros percibimos la información visual de nuestro entorno, es decir en la “calidad” de la iluminación.

También puede decirse que “el confort visual es una condición que expresa satisfacción con el ambiente visual”(Pattini, 2003:18), donde sus aspectos principales son:

- la “cantidad de luz”, que esta sea la suficiente para poder ver, aspecto (cuantitativo)
- la “calidad de luz”, en donde los aspectos indeseables o perturbadores son eliminados o no están, para ello habría que tomarse en cuenta distintos factores lumínicos que pueden ser evaluados por el usuario, como lo son: (Uniformidad de la iluminación, iluminancia optima, ausencia de deslumbramiento, adecuadas condiciones de contraste, percepción correcta de colores, ausencia de intermitencias de la luz (parpadeo)). (Pattini, 2003: 18)

Para otros autores como Rafael Serra, definen los factores que describan el confort visual, “los factores principales para que se pueda generar un confort visual en determinado espacio radican en la “iluminancia, el deslumbramiento y el color de la luz”” (Serra, 1996: 78). Mientras que Anon (2000) comenta que los principales factores para generar un confort visual serian, “el nivel de iluminancia del espacio, el índice de deslumbramiento y la distribución espacial de la luz natural” (Anon, 2000).

Se puede decir que el confort visual se refiere principalmente a la “condición subjetiva de bienestar visual inducida por el entorno visual”, donde existen dos fundamentos que la definen, la

cantidad y la calidad de la iluminación, donde la primera está definida por valores energéticos cuantificables como la iluminancia y la luminancia, en términos absolutos, mientras que la calidad de iluminación es principalmente compuesto por la uniformidad de la iluminancia, el equilibrio de luminancias y el deslumbramiento. Estos factores tanto de cantidad como de calidad, serán los que se tomen en cuenta en esta investigación.

En la realidad el confort visual tiene más similitud con el confort acústico que con el térmico, ya que ambos tienen que ver con la recepción de un mensaje que son el sonido y la luz. En el caso de la luz, a crear una reacción en la visión, desencadena una cantidad de información para crear una percepción del mundo exterior, así como la regulación orgánica de su ser. Aunque es necesario decir que “El grado de valorización positiva a la luz natural depende de muchos factores locales, entre ellos el clima, la cultura y prejuicios”(Pattini, 2003:17).

### **Cantidad de iluminación**

La cantidad de iluminación es el primer requerimiento para el confort visual de un espacio, el cual debe ser el necesario para que la agudeza visual del usuario le permita distinguir los detalles de los objetos en el interior.

La cantidad de luz natural adecuada para ser utilizado en la iluminación de un espacio depende de varios aspectos. “Depende de los usuarios, su edad, sobre las actividades y tareas que tienen que llevar a cabo, el uso del edificio, e incluso en la cultura los pueblos” (Tregenza, 2011), de las cuales la tarea visual representa un aspecto crucial en el cumplimiento del confort visual, ya que Las personas suelen ser conscientes de la iluminación del espacio cuando la luz es demasiado o menos de lo que necesitan para llevar a cabo con comodidad sus tareas. Esto se debe a que "las tareas visuales son actividades que requieren que el cerebro colecte información de alguna parte específica del entorno visual." (Tregenza P & Loe D., 1998: 6). Cuando el ambiente no está iluminado correctamente, entonces los usuarios no pueden llevar a cabo las tareas visuales con éxito o con la comodidad. Por lo que “podemos decir que una luz es correcta cuando se adecúa a la función y a las necesidades del proyecto” (Ramos, 2004: 15).

### **Calidad de iluminación**

Hay muchos factores físicos y fisiológicos que pueden influir en la percepción de la calidad de la iluminación. Calidad de iluminación no se puede expresar simplemente en términos de medidas fotométricas ni puede haber una receta única de aplicación universal para la iluminación de buena calidad (Boyce 2003, Veitch 2001). Calidad de la luz puede ser juzgado de acuerdo con el nivel de rendimiento visual necesarios para nuestras actividades. Este es el aspecto visual. También se puede evaluar sobre la base de lo agradable del entorno visual y su adaptación al tipo de habitación y de la actividad. Este es el aspecto psicológico. (Brainard et al. 2001, Cajochen et al. 2005).

Según Veitch (2004) no existe un consenso real sobre lo que significa la iluminación de buena calidad. Por el contrario, relativo a la iluminación artificial, se acepta generalmente que la iluminación, la luminancia, reparto de luminancia (contraste entre las superficies), uniformidad, control del deslumbramiento, parpadeo de tubos de luz fluorescente y la distribución de potencia espectral, son aspectos importantes de un luminoso medio ambiente.

“La calidad de la iluminación es mucho más que solo proveer de una apropiada cantidad de luz. Otros factores que son potenciales contribuidores para la calidad de la iluminación incluyen (uniformidad de iluminación, distribución de luminancia, características del color de la luz y el deslumbramiento). (Veitch & Newsham 1998, citados por IEA, ECBS).

### 2.3.2.2 Iluminancia

#### Nivel de iluminancia (cantidad de iluminación)

El nivel de iluminancia representa la “cantidad” de luz natural, que en la práctica esta puede ser derivada del flujo luminoso (lumen) total que incide sobre la superficie dividido por el área total de la misma (lux). O bien de forma alternativa estas se pueden medir con un promedio de iluminancias que inciden en un número de puntos de medición sobre la superficie de trabajo, llamado “iluminancia media”.

El nivel de iluminancia se refiere a la cantidad de flujo luminoso (lumen) que es emitido por una fuente de luz y que llega de manera vertical u horizontal a una superficie, dividiéndolo por su la misma área de la superficie. Para ello se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: Tipo de tarea visual, la duración de la actividad, Las condiciones ambientales y las condiciones del espacio.

Los valores de iluminancia son basados en la “iluminancia media” del lugar.

<b>ILUMINANCIA</b> (valores generales)	
actividades con esfuerzo muy alto: dibujo de precisión, joyería, etc.	1.000 lux
actividades con esfuerzo visual alto o muy alto de poca duración, lectura, dibujo, etc.	750 lux
actividades con esfuerzo visual medio o alto de poca duración: trabajos generales, reuniones, etc.	500 lux
actividades de esfuerzo visual bajo o medio de poca duración: almacenaje, circulación, reunión, etc.	250 lux

Tabla 4: Iluminancia (valores generales), (Serra & Coch, 1995: 114)

La iluminancia en las zonas circundantes inmediatas a donde se realiza la actividad, debe proporcionar una cierta distribución para que haya un “equilibrio” en el campo visual, ya que las grandes variaciones de luminancia alrededor del área de trabajo pueden dar paso a condiciones de tensión o molestia visual.

La uniformidad se expresa a menudo en términos de una relación de dos cantidades. Ejemplos de ello son: máximo a mínimo, máximo a la media, y media a mínima. Diferentes situaciones de diseño garantizan diferentes usos de estas medidas. (IESNA, 2000, STATISTICAL QUANTITIES, Mínima and Máxima)

La uniformidad de iluminancia, sea horizontal o vertical, se dará en función de los valores de iluminancia máxima y mínima que arroje la rejilla de puntos distribuidos en el plano de medición en la cual, la uniformidad dentro del área de la tarea y de las áreas circundantes inmediatas no será menor que los valores dados:

UNIFORMIDADES Y RELACIÓN ENTRE ILUMINANCIAS DE ÁREAS CIRCUNDANTES INMEDIATAS AL ÁREA DE LA TAREA	
Iluminancia de la tarea (Lux)	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas (Lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	E tarea
Uniformidad. 0,7	Uniformidad. 0,5

Tabla 5: (CEI & IDEA, 2005: 27)

### 2.3.2.3 Luminancia

#### Nivel de luminancia (cantidad de iluminación)

La Luminancia describe la luz reflejada de una superficie y está directamente relacionada con la percepción de "brillo" de una superficie en una dirección dada. Es no sólo depende de la iluminancia en un objeto y sus propiedades de reflexión, pero también de su área proyectada en un plano perpendicular al plano de vista. Así luminancia es lo que vemos, no la iluminancia. Sin embargo, el brillo percibido de objetos depende, aparte de su luminancia, también en el estado de adaptación del ojo. La luminancia se mide en lumen por metro cuadrado por estereorradián  $\sigma$  o en candelas por metro cuadrado ( $cd / m^2$ ).

Un aspecto importante en el diseño de un espacio es el control sobre los brillos que tengan las superficies que lo conforman, ya sean muros, techos, pisos etc., ya que se debe evitar que estas generen contrastes muy elevados, así como contrastes muy bajos.

Ya que la luminancia “que no es sino la energía luminosa emitida o reflejada en dirección al ojo de un observador (medida en  $\text{cd}/\text{m}^2$ )” (CEI & IDEA, 2005: 25).

LUMINANCIA ABSOLUTA ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )	INTERPRETACION
>2000	Demasiado brillo en cualquier parte del espacio
>1000	Demasiado brillo en la superficie de trabajo
<500	preferente
<30	Inaceptable por oscuridad

Tabla 6: Luminancias absolutas (CIE: Comisión Internacional de iluminación)

### Equilibrio de luminancias (calidad de iluminación)

El equilibrio que haya entre las luminancias que reflejen las superficies del espacio tiene que mantener un equilibrio en el cual no se generen contrastes muy elevados entre sus valores, ya que “la percepción correcta depende más del equilibrio de luminancias en el campo visual que del nivel absoluto”. (EU TAREB, 2004: 8).

La distribución de luminancias en el campo de visión afecta de forma directa la visibilidad de la tarea, puesto que esta condiciona el nivel de adaptación del ojo, y se encuentra supeditada a las relaciones de luminancias que existan entre las distintas superficies del plano visual. Lo cual está supeditado por el contraste entre un objeto y su fondo, así como por su tamaño. Por lo que al aumentar la luminancia del fondo, también aumentara la visibilidad hasta cierto punto.

Desde el punto de vista del confort visual del usuario, la distribución de luminancias debe de ser lo suficientemente adecuada como para evitar las siguientes condiciones:

- Luminancias demasiado elevadas, que pueden dar lugar a deslumbramiento;
- Contrastes de luminancia demasiado altos, que causarán fatiga debido a la readaptación constante de los ojos;
- Luminancias demasiado bajas y contrastes de luminancias demasiado bajos, que pueden dar como resultado un ambiente visual mortecino y no estimulante.

### 2.3.2.4 Deslumbramiento



Tabla 7: Haz de luz directa

#### Concepto de Deslumbramiento (calidad de iluminación)

El deslumbramiento se describe como el “efecto molesto para la visión debido a un excesivo contraste de luminancias” (Serra, Coch 1995, Pg.80), lo cual se da por la existencia de una superficie con mucha claridad o “brillo” por efecto de “luminancias” en un campo visual cuyos valores de luminancia son bastante más altos que otros. En si “el deslumbramiento es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión, y puede ser experimentado bien como deslumbramiento molesto o como perturbador” Guía Técnica “(CEI & IDEA, 2005:28). Esta sensación es consecuencia de un nivel de brillo del campo visual superior al que están adaptados nuestros ojos. Debido a las limitaciones de las propiedades de adaptación del ojo, los cambios abruptos del brillo pueden dar lugar a un menor rendimiento visual así como cansancio e incomodidad el ojo. Mientras que La IESNA define al deslumbramiento como la “sensación producida por luminancias dentro del campo visual suficientemente mayores a la luminancia a la que el sistema visual está adaptado como para causar molestia, incomodidad o pérdida en el funcionamiento visual y la visibilidad”. (IESNA, 2000).

Es importante limitar el deslumbramiento para evitar errores, fatiga y accidentes, prestando un cuidado especial para evitar el deslumbramiento si la dirección de visión está por encima de la horizontal.

El valorar el fenómeno del deslumbramiento es un tanto complejo, lo cual contempla un análisis de los valores de luminancias que existan en el campo visual. Por lo que se ha desarrollado una fórmula que describa la “sensación de deslumbramiento”.

Mediante esta la siguiente formula se obtiene la constante de deslumbramiento (g).

$$g = \frac{LS^a \cdot \omega^b \cdot f(\cdot)}{LB}$$

Donde:

$LS^a$  = luminancia de la fuente luminosa S

$\omega$  = ángulo sólido de la fuente desde el ojo

$f(\cdot)$  = función de la dirección en que llega la luz (valor 1 si llega perpendicularmente al ojo y valor 0 si llega lateralmente)

$LB$  = luminancia del fondo de la fuente de luz B

$a$  y  $b$  = coeficientes con valores típicos 1,8 y 0,8

(Serra, Coch, 1995, Pg.81)

Mediante el resultado de esta fórmula con el valor (g) se puede analizar los incrementos subjetivos de molestia por deslumbramiento, mediante el “índice de deslumbramiento (G)”, con el cual se han desarrollado niveles que describan las reacciones visuales del usuario ante distintos valores de deslumbramiento. Donde A partir de un valor 10 es perceptible, de 16 a 22 es soportable, de 22 a 28 inconfortable y para valores superiores, intolerable.

### Tipologías de deslumbramientos

Existen dos maneras de abordar el deslumbramiento, desde un punto de vista “fisiológico” del ser humano y otra por el tipo de “incidencia” que tenga sobre el ojo.

Tipo de deslumbramiento	Subtipo de deslumbramiento	Descripción
Fisiológico	Velo	Punto luminoso sobre el fondo oscuro
	Adaptación	Adaptación del ojo debe de adaptarse a la iluminancia media de un campo visual donde hay valores muy variables
Incidencia	Directo o incapacitante	Impide la visión
	Indirecto o perturbador	Perturba la visión sin impedirla

Tabla 8: Tipologías de deslumbramientos

**Deslumbramiento fisiológico**, se presentan a su vez dos tipos de reacción denominados deslumbramiento “por velo” y “por adaptación”.

Por velo, produce un punto luminoso sobre el fondo oscuro, como una luz en la oscuridad, dicha situación hace que el rayo de luz al penetrar al ojo genera que se perciba un punto luminoso envuelto en un velo, de ahí su nombre.

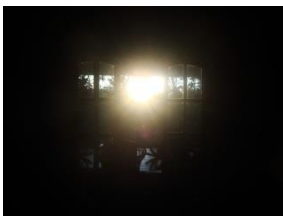


Tabla 9: Luz en velo

Por adaptación, es más común y por tanto más relevante para el diseño lumínico, pues se produce cada vez que el ojo humano se adapta a la luminancia media en un campo visual donde se presentan niveles muy variables de esta, y en donde los valores extremos salen de la capacidad de adaptación del sistema visual del usuario.



Tabla 10: Transición luminica entre espacios

**Deslumbramientos por incidencia**, se da por rayos de luz excesivos en el ojo, se presenta de dos maneras, como deslumbramiento “directo” e “indirecto”. En esta denominación de directo/indirecto, se aplican para diferenciar los deslumbramientos generados por una fuente luminosa direccionada o reflejada.

La incidencia directa, suele ser llamada “incapacitante”, ya que reduce la capacidad visual casi en su totalidad, puesto que esta incide en la “fóvea” del ojo.

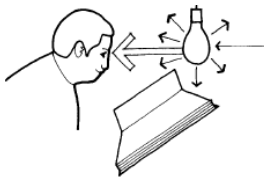


Tabla 11: Deslumbramiento directo

La incidencia indirecta, la cual suele ser llamada deslumbramiento “molesto o perturbador”, es una especie de molestia visual que conduce a una sensación subjetiva de malestar que perturba la visión sin impedirla en su totalidad.

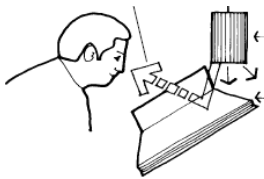


Tabla 12: Deslumbramiento indirecto

### Descripción del modelo DGP

El modelo de “probabilidad de luz de día” (DGP daylight glare probability), fue introducido por Weinold y Christoffersen, en el cual esta métrica provee una nueva evaluación del deslumbramiento mediante la probabilidad de que una persona sea perturbado por el resplandor, en lugar de medir el propio deslumbramiento. (Weinold y Christoffersen, 2006). El modelo DGP es una métrica reciente para el cálculo del deslumbramiento por luz natural, la cual representa un “porcentaje de personas perturbadas” y que está basada en “reacciones humanas” por el



deslumbramiento de luz del día, en la cual es requerido la (el tamaño, posición y luminancia de la fuente de luz), esto se refleja en la ecuación general de este modelo:

$$DGP = 5.87 \times 10^{-5} \cdot E_v + 9.18 \times 10^{-2} \cdot \log \left( 1 + \left( \sum \frac{L_s^2 \cdot \omega_s}{E_v^{1.87} \cdot P^2} \right) \right)$$

Dónde:

$E_v$  = iluminancia vertical en el ojo

$L_s$  = luminancia de la fuente de deslumbramiento

$\omega_s$  = ángulo solido de la fuente

$P$  = índice de posición de la fuente

NIVELES DESLUMBRAMIENTO	IMPERCEPTIBLE	PERCEPTIBLE	PERTURBADOR	INTOLERABLE
INDICE DE DESLUMBRAMIENTO DE LUZ DE DIA	< 0.35	0.35 – 0.40	0.40 – 0.45	> 0.45

Tabla 13: Valores del DGI de deslumbramiento

### 2.3.2.5 Color

#### El color de la luz (calidad de iluminación)

El “color de la luz” como concepto de confort visual está conformado por dos características, las “temperatura del color” y el “índice de rendimiento cromático”. Las cuales en términos de diseño lumínico son más aplicables al alumbrado artificial, ya que “En el caso de la luz natural, siendo sus características cromáticas las teóricamente ideales, poca influencia sobre el confort tendrá el color de la luz” (Comissió Europea. Direcció General d'Energia, 2004, Pg.11). Es por ello que cuando consideramos el color es cuando más se acentúa la diferencia de calidad entre el alumbrado natural y artificial. Dado que “la radiación solar tiene un reparto espectral que culturalmente consideramos “perfecto” y los colores de los objetos, reflejados en esta luz, son los únicos que consideramos verdaderos” (Serra, 1999: 32)

#### Temperatura del color de la luz

La temperatura del color ( $T_c$ ) se refiere a la apariencia cromática de la luz en grados kelvin, en la cual se “expresa el color de una fuente de luz por comparación con el color de la luz emitida por el cuerpo negro a una temperatura absoluta determinada” (Serra & Coch, 1995: 37). Esto se refiere al color que toma un cuerpo negro a determinada temperatura, ya que al ir aumentando, este pasara primero de una tonalidad rojiza hasta una azulada. Es por ello que en una fuente con temperatura de luz más alta, parecerá más azulada. Esto puede parecer contradictorio ya que las fuentes de luz de temperatura más baja producen efectos de luz “cálida”. Por ejemplo, una vela se

quema a temperaturas muy bajas, 2.000 grados K, que emite una luz amarilla suave o caliente, mientras que una lámpara fluorescente emite rayos de luz a altas temperaturas, 4000-5000 grados K, pero emite una apariencia azul frío.

En el caso de la apariencia del color de la luz natural, esta no puede ser modificada por el ser humano, mientras que en la iluminación artificial puede ser modificada de manera intencional con fines psicológicos, estéticos o imitativos de la luz natural, por medio de los índices de temperatura de color de la luminarias, mientras que en la temperatura de color de la luz natural varía de manera independiente a lo largo del día.

La temperatura del color de la luz es cuantificada y jerarquizada en tres categorías según sus apariencias, (cálida, intermedia y fría).



Tabla 14: Temperaturas del color en kelvin

### Rendimiento del color

Este factor del “rendimiento del color” de la luz hace referencia a la capacidad que tiene una fuente luminosa de reproducir los colores de manera fehaciente, y se le define como el “Efecto de un iluminante sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina por comparación consciente o subconsciente de su aspecto bajo un iluminante de referencia.” (IEC 50(845)/CIE 17.4:1987; 845-02-59, citado por (CEI & IDEA, 2005: 100). Esta referencia optima es tomada de la luz natural, ya que esta es la más cercana a reproducir el color real de los objetos.



Tabla 15: Grados de reproducción cromática en objeto

Para medir objetivamente la capacidad que tiene una fuente de luz para reproducir fielmente el color de los objetos se ha desarrollado el “índice de rendimiento del color”, se le denomina IRC o índice de reproducción cromática y es expresada en %, cuyo valor más elevado es 100, que se le asigna a la luz natural, o de referencia. Y este valor al ir disminuyendo también disminuirá la calidad de la iluminación, en la cual “Se consideran muy buenos IRC superiores al 90%, buenos de 80 a 90% y regulares de 50 a 80%.” (Serra, 1995: 37)

### 2.3.3 Iluminación y rendimiento visual

#### 2.3.3.1 Concepto “rendimiento visual”



Fig. 28: Aula escuela munkegaard, arne jacobsen

#### Rendimiento visual

Existen distintos requerimientos en los ambientes tanto educativos como laborales en donde la demanda de iluminación es variante, es por ello que la calidad de esta debe de ser lo suficiente como para garantizar un rendimiento visual necesario para la realización de alguna actividad en específico. Este rendimiento, está supeditado no solo a los aspectos externos como la cantidad y calidad de la luz, sino también a las capacidades visuales del individuo, siendo la edad un factor relevante, ya que estas capacidades varían.

En si el rendimiento visual nos habla de la capacidad de la vista para la realización de una actividad, considerando el factor del tiempo, en este aspecto se define como “El rendimiento visual es un continuo desde la eficiencia visual umbral hasta el rendimiento en condiciones supraumbrales.” (Colombo & O’Donell: 5), en este rendimiento visual supraumbral está referido al rendimiento de tareas que son fácilmente visibles, donde las condiciones de iluminación influyen sobre la velocidad y la precisión con que el sistema visual procesa la información extraída de los estímulos, que es lo que define este rendimiento. Que a diferencia del confort visual, “los factores relevantes al rendimiento visual están generalmente restringidos a la tarea y su entorno cercano, mientras que los factores que afectan al confort visual tienen que ver con todo el medio iluminado” (Colombo & O’Donell: 10), es por ello que los resultados en el confort visual son más susceptibles a los cambio de iluminación en comparación con el rendimiento visual. Sin embargo estos términos están entrelazados y por lo general son tomados en cuenta cuando se analiza cualquiera de ellos, puesto que dependen ambos en mayor y menor medida tanto de la situación lumínica como de la capacidad visual del usuario. En donde cada tarea visual que este realiza demanda un cierto grado de dificultad, el cual puede ser alto en algunos casos, lo cual provoca una pérdida de confort visual. Por esta razón al diseñar un ambiente lumínico “el sistema de iluminación no solamente debe asegurar un buen nivel de rendimiento visual sino también que el medio visual sea confortable, pues ambos aspectos se complementan.” (Colombo & O’Donell, 2006: 16).

Se puede decir que un mejor rendimiento visual conlleva a una mayor productividad sea académica o laboral. Sin embargo, el grado de rendimiento que se genere en un espacio donde haya una buena calidad de iluminación, dependerá siempre del componente de tarea visual que se realice, ya que una tarea con alto grado de exigencias se verá mayormente beneficiada por la buena condición lumínica que aquellas donde el grado de exigencia sea menos demandante. Es por ello que al momento de diseñar la iluminación del espacio hay que tener en cuenta las normas o recomendaciones para ciertas tareas como la lectura, el dibujo etc. Las cuales están establecidas ya sea por la normativa de cada país, como por organismos internacionales, “(CIBSE, 1994; IESNA, 2000) tienen como objetivo lograr, no solamente un rendimiento alto sino también, un buen nivel de confort” (Colombo & O’Donell, p.16), es por ello que para el desarrollo de este trabajo, se han tomado las métricas del IESNA.

### **2.3.4 Confort visual en aulas escolares**

#### **2.3.4.1 Parámetros lumínicos en aulas de clase**

##### **Parámetros de iluminancia**

La capacidad de aprendizaje de los estudiantes y el rendimiento, tales como la capacidad de concentración durante las clases, no sólo depende de las características individuales, tales como la motivación, condiciones psicológicas, inteligencia, etc., sino también en varios otros factores externos que afectan no sólo al alumno, sino el ambiente general de la escuela. El confort visual es una de las principales características que contribuyen a la creación de un ambiente educativo adecuado.

Dado que las actividades visuales como la lectura y la escritura son muy importantes durante la fase educativa, es esencial para crear condiciones visuales confortables en edificios escolares que contribuyan a estas actividades. Para lo cual se tomaron algunas de las recomendaciones métricas de la IESNA para los distintos parámetros del confort visual en aulas de clase. Siendo estas seleccionadas en base a las distintas definiciones de confort visual en el punto (2.3.2.1).

PARAMETROS DE CONFORT (AULA DE CLASE)
- Iluminancia y distribución (uniformidad)
- Luminancias
- Deslumbramientos (reflejado y directo)

Tabla 16: Parámetros de confort en aulas IESNA

Tipo de actividad	Categoría de iluminancia	Rangos de iluminancia	
		Lux	Foto candil
Tarea visual de alto contraste o gran tamaño	D	200-300-500	20-30-50
Tarea visual de medio contraste o pequeño tamaño	E	500-750-1000	50-75-100
Tarea visual de bajo contraste o gran tamaño	F	1000-1500-2000	100-150-200

Tabla 17: Categorías de Iluminancias y valores de iluminancia para la iluminación: tipos genéricos de actividad (IESNA, lighting handbook, 1987)

Instalaciones educativas	Categoría de iluminancia	valor seleccionado	
		Lux	Foto candil
Aulas			
General / Redacción / Laboratorio de ciencias	E	750	75
Cuartos de lectura / Auditorio / Demostración	F	1500	150
Cuartos de música / Tiendas / Salas de estudio / Mecnografía	F	1500	150

Tabla 18: Categorías de Iluminancias recomendadas para interiores de instrucción. (IESNA, lighting handbook, 1987)

Distribución de iluminancia en el plano de trabajo (uniformidad).

- Iluminancias en superficie de trabajo que son de 1,5 a 3 veces mayor que las de las zonas circundantes ayudan a dirigir la atención de los ocupantes de la tarea. (IESNA, discussions of design issues)

Los estudios de uniformidad de iluminancia aceptable a través de un escritorio de oficina han demostrado que la aceptación comienza a disminuir a medida que la relación mínima para máxima iluminancia sobre el área de trabajo es inferior a aproximadamente 0,7. (IESNA, Guidelines for Acceptable Lighting, Spatial Distribution.)

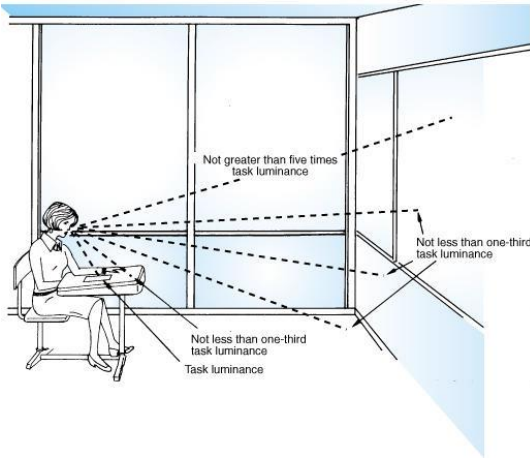
- Para iluminancias más altas (500 lx) la relación preferida entre el papel y la recepción fue de 3: 1, mientras que para iluminancias bajas se prefirió 2: 1. (IESNA, Guidelines for Acceptable Lighting, Spatial Distribution.)

### Parámetros de luminancia

La luminancia de cualquier superficie que se vea directamente, no debe ser mayor que cinco veces la luminancia de la tarea. Ninguna área extensa, independientemente de su posición en la habitación, debe tener menos de un tercio de la luminancia de la tarea. La luminancia de las superficies inmediatamente adyacentes a la tarea visual es más crítico en términos de comodidad visual y el rendimiento que el de las superficies más remotas de la envolvente visual. Superficies tales como las tapas del escritorio que son inmediatamente adyacentes a la tarea visual no deben exceder la luminancia de la tarea, pero deberían tener al menos un tercio de la luminancia de la tarea. La diferencia en luminancia entre las superficies adyacentes de la envolvente visual debe mantenerse tan bajo como sea posible. (IESNA, 2000: Cap. 12, Luminance Ratios)

RELACIÓN DE SUPERFICIES	RELACIÓN DE LUMINANCIAS
Cualquier superficie con el plano de trabajo	<5 veces (l) de superficie de trabajo
Cualquier área con el plano de trabajo	>1/3 (l) de superficie de trabajo
Superficie adyacente con el plano de trabajo	<1/3 (l) de superficie t. >(l) de superficie de trabajo

Tabla 19: Relación de luminancias



El enfoque general para proporcionar bajas relaciones de luminancia en todo el campo visual es limitar la luminancia producidas por vanos, para aumentar la luminancia de todas las superficies interiores. Dos formas de aumentar la superficie de luminancia son aumentar la reflectancia de la superficie y para aumentar la cantidad de luz sobre la superficie.

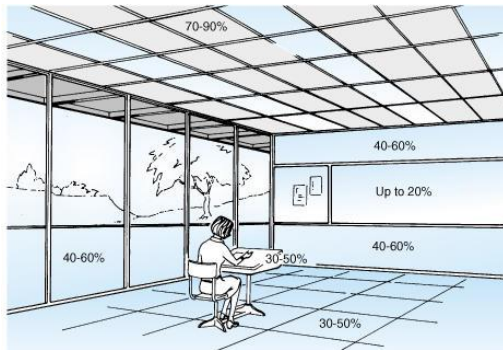


Fig. 29: Reflectancias recomendadas para las superficies en aulas de clase. (IESNA, Cap. 12, Educational Facility Lighting, quality and quantity of illumination, reflectances)

### Parámetros de deslumbramiento

ÍNDICES DE DESLUMBRAMIENTO ( G )		
REACCION	DGP (daylight glare probability)	DGI (daylight glare index)
Imperceptible	<0.35	<18
Perceptible	0.35 - 0.40	18 - 24
Perturbante	0.40 - 0.45	24 - 31
Intolerable	> 0.45	>31

Fig. 30: Rangos de deslumbramientos par DGP y DGI: Alstan Jakubiec and Christoph Reinhart: The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice

## 2.4 ILUMINACIÓN NATURAL EN ARQUITECTURA

### 2.4.1 La relación entre la luz natural y la arquitectura

#### 2.4.1.1 Iluminación natural

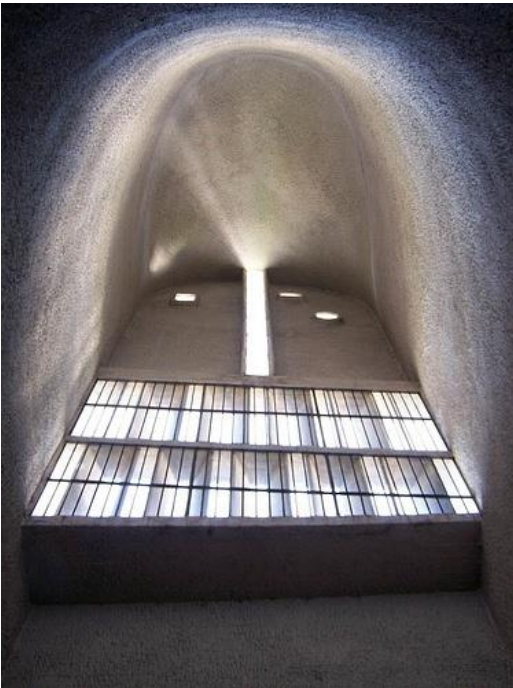


Fig. 31: Luz cenital, capilla de Notre Dame du Haut en Ronchamp, Le Corbusier

#### El valor de la luz natural en la arquitectura

La luz representa la energía que permite la vida y sin duda la condiciona, razón por la cual la arquitectura la encuentra como elemento vital en su concepción de ente acogedor de vida. En donde la arquitectura se establece desde tiempos remotos en relación al sol como menciona Elisa Valero Ramos, desde los anillos Neolíticos de piedra en Stonehege, hasta las pirámides precolombinas y templos egipcios como el de Amon karnak, la arquitectura se orienta hacia el sol, considerado fuente de vida. De ahí el término “orientación” en relación a la dirección oriente. Mostrando con ello una relación directa entre el hombre, la luz y la arquitectura. Ya que desde la antigüedad este ha tratado de iluminar sus espacios, ya sea abriendo huecos en las construcciones o mediante su configuración.

Gracias a la luz real podemos percibir el mundo visual que nos rodea, con la cual aprendemos y comprendemos de él, por lo que la luz afecta de manera transversal la imagen de la arquitectura y en determinada medida es un elemento imprescindible para experimentarle. Ya que esta es una cualidad que la hace visible y nos permite apreciar sus bondades visuales, sus valores plásticos y

tectónicos. Es por ello que su aplicación en el espacio arquitectónico resulta ser un asunto de delicado y demandante puesto que “las condiciones de iluminación no sólo hacen visible y permiten que nos creemos una imagen reconocible de la arquitectura, sino que también son una condición necesaria para usarla” (Calduch, 2001: 8), siendo fuente de conocimiento nos permite escrutar la realidad arquitectónica de forma objetiva, a través de sus múltiples cualidades forma, color, dimensiones, texturas, etc. Siendo que además de ser la luz un agente vital para la experiencia de lo real y del mundo, esta nos construye del tiempo en el mundo, indicándonos los distintos momentos del día, haciéndonos partícipes del continuum existencial del ser en un tiempo y lugar específico a través del espacio arquitectónico, pues “La tarea de la arquitectura es hacer visible como nos toca el mundo” (Pallasmaa, 2005: 47).

Por su naturaleza, la luz humaniza el espacio arquitectónico de distintas maneras, ya sea en su efecto físico, psicológico o cultural, en el individuo que lo habita, pudiendo formar ambientes que expresen un deseo funcional o simbólico dentro de un mismo espacio, puesto que “una de las vías más directas para adaptar un espacio a nuevas condiciones culturales, funcionales e ideológicas, es cambiar su iluminación” (Ramos, 2004: 119).

La luz dentro de la arquitectura puede ser entendido como un material único, independiente de la gravedad y en constante movimiento, que no se deteriora o envejece, capaz de mutar el aspecto de un espacio adquiriendo un sin número de matices y a que además se presenta de forma gratuita y abundante en latitudes próximas al ecuador, en donde a diferencia de zonas polares, como pasa en los paises nórdicos, donde la luz es considerada como una tesoro natural que se busca capturar y dosificar de forma eficiente en las escasas temporadas donde esta se presenta. Mientras que en otras zonas donde esta abunda, se le busca contener y usar de forma indirecta y sutil, aprovechando sus bondades sin que este se convierta en un elemento negativo que dañe el espacio al usarla de forma desmedida, incendiándolo de una luz que cegadora que caliente sus superficies y lo haga inhabitable. Ya que la luz puede ser el elemento que de vida a un espacio o que lo destruya.



Fig. 32: Dibujo del sol de Le, Corbusier, Baker: 186



## La iluminación natural en el diseño del espacio arquitectónico



Fig. 33: Notre-Dame-du-Haut chapel, Ronchamp, France, Le Corbusier, 1950–1954.

La arquitectura es conformando en la visión de Simon Unwin, por el elementos fundamentales y elementos variables, lo primeros son ideas abstractas que gobernadas por la mente del diseñador, mientras que los elementos variables son características imprevisibles como lo es la luz, el sonido o la temperatura, siendo la luz la primera condición variable que influye en la arquitectura, ya que “la luz solar es el medio dominante a través del cual la gente experimenta la arquitectura” (Unwin, 1997: 25). Y aunque los elementos fundamentales representen el medio primigenio en el que se base el diseñador para la conceptualización de los espacios y del edificio, son los elementos variables los que contribuyen en gran medida a la experiencia de dichos espacios.

Se sabe que la luz representa un condición intrínseca para la percepción del espacio, en donde muchas veces la cantidad de esta se ajusta a la función de dicho espacio, pero “en la mayoría de los casos resulta más importante definir el modo de entrada de luz” (Ramos, 2004: 47), y con ello darle la proyección y distribución deseada. Sin embargo esto representa un gran desafío para la arquitectura desde sus inicios, el intentar manejar la luz cuando esta no puede ser atrapada o moldeada con las manos. Lo cual dio paso a la creación y perfección de un repertorio de elementos de control, empleando las propiedades físicas del edificio donde techos, muros, aberturas, acabados, membranas y acristalamientos fungieron como instrumentos de domesticación de la luz pues con ellos “podemos dirigir, filtrar, reflejar, dominar el sol con el fin de hacerla aparecer de la manera más conveniente el artificio arquitectónico” (Valero Ramos, Elisa, pg. 47). Logrando con ello producir distintos tipos de luz dentro de un mismo espacio, “Según sea su dirección, LUZ HORIZONTAL, LUZ VERTICAL, y LUZ DIAGONAL. Según su cualidad, LUZ SOLIDA y LUZ DIFUSA.” (Campo, 1996: 10). Siendo estas últimas reconocibles por la apariencia contrastante que producen en la escena de un lugar.



Fig. 34: Jorn Utzon, Bagsvaerd Church, Denmark

Los distintos tipos son empleados mediante una gran variedad de estratagemas en el diseño arquitectónico, muchas veces mezclando estas tipologías para lograr los ambientes deseables para distintos fines tanto expresivos como funcionales, puesto que “La combinación adecuada de diferentes tipos de luz tiene, conociéndolos, posibilidades infinitas en Arquitectura” (Baeza, 1996: 21). Otorgando oportunidad de resolver situaciones de iluminación de distintas maneras, teniendo en mente las capacidades benéficas y perjudiciales que puede tener la luz en el ser humano, ya que esta aunque pueda tener un sin número de matices no permite excesos, dado que “La combinación de diversos tipos de luz en un mismo espacio, en exceso, como con el vino, anula la posible calidad del resultado” (Campo, 1996: 21), siendo necesario entender las capacidades y necesidades del hombre para así “domar, dominar la luz. Con el hombre como medida, pues es para él, para el hombre, para el que creamos la arquitectura” (Baeza, 1996: 19), la cual mediante la luz puede proporcionarle ambientes ideales para que se desarrolle sus actividades eficientemente con una calidad de iluminación adecuada, generalmente por medio de la luz difusa, ya sea reflejada o proveniente de la bóveda celeste. Y en otros casos mediante una luz simbólica con un enfoque escénico como sucede con la luz sólida, dramática y contundente se puede llegar a enaltecer aspectos emotivos inclusive espirituales que lleven al hombre a estados de ánimo que trasciendan lo ordinario.

## **2.4.2 Iluminación del espacio arquitectónico**

### *2.4.2.1 Cualidades de la iluminación*

#### **Cantidad y calidad de luz en el espacio arquitectónico**

Hasta hace apenas unas décadas atrás a mediados del siglo XX, la arquitectura había concebido la iluminación natural en términos de cantidad y calidad de luz, es decir de forma tanto cuantitativa como cualitativa, en donde se atendían tanto los niveles adecuados para las distintas actividades, así como la forma en que esta cantidad era percibida respecto a sus valores expresivos, de interacción con el espacio arquitectónico. Esto dado a que “cuando se concibe la luz como un factor meramente cuantitativo y no se tiene en cuenta sus valores cualitativos, reducimos notablemente sus posibilidades expresivas” (Yáñez, 2008: 419), siendo esto precisamente lo que ocurrió en la segunda mitad del siglo hasta llegar a la aberración de anteponer el uso de luz artificial para lograr los niveles y uniformidades óptimas de iluminación, que conllevaron al diseño de edificaciones vacías y opacas en su interior que renunciaban por completo a los beneficios de la luz natural. Compensándola con la creciente uso desmedido de las distintas tipologías de luminarias artificiales.

Es por la anterior que en el diseño lumínico de un espacio se debe saber tanto la necesidad de luz para la actividad a realizar, así como las sensaciones que esta pueda producir en quienes las realizan. Buscando en todo momento la luz idónea lugar, donde esta adquiera su valor real, para lo cual “podemos definir la “excelencia de la luz” como la adecuada cualitativa y cuantitativa de esta en el espacio al que pertenece” (Ramos, 2004:15).

## La luz del lugar en el diseño arquitectónico

El foco por excelencia para la arquitectura es el sol, que nos representa el telón en el que se muestra la arquitectura, dándole distintos aspectos durante el día y el año, cambiando su intensidad y dirección incesantemente. Donde “Las variaciones de iluminación y de penumbra que la propia luz comporta, hacen que el sol sea un elemento revivificado del espacio y articulador de las formas que en él se encuentran” (Ching, 1998: 171).

La orientación y la situación del cielo, han sido piezas fundamentales en el desarrollo de la arquitectura de todos los tiempos, organizándola y cualificándola mediante la luz y la sombra. Respondiendo está a las situaciones exteriores, siendo la arquitectura una intérprete de la relación del hombre con el mundo, donde en el caso de la sabia construcción vernácula, luz natural al ser excesiva, el edificio se protege y se cierra a su interior, mientras que al ser escasa este, la acoge en la mayor manera posible. Siendo indispensable el conocer la naturaleza del lugar, que expondrá las claves para resolver la integración de la arquitectura y el hombre en ella, asumiendo siempre el reto de la precisión que compruebe la pertenencia de la arquitectura al lugar, adaptándose en lo posible ella.



Fig. 35: Luz ingresando , Jame mosque, Na'een siglo 9

La condición luminosa del lugar es la que determina en muchos casos la cualidad formal y material del edificio, variando su configuración e interrelación. En el caso de la luz mediterránea, la continencia de su proyección y fuerza evocadora, marca en la arquitectura local un desarrollo formal limpio, austero, de volumen puros y geometría definidas, las cuales se intensifican con la proyección de la luz y la creación de sombras rotundas que recortan las aristas e impactan los planos en un intercambio constante que impregna de múltiples sensaciones corpóreas a los objetos y a la arquitectura. Es por ello que Le Corbusier al descubrir esta luz mediterránea en su viaje a oriente de 1911, percibe un nuevo modo de ver la luz en relación con los objetos, en una exposición de simplicidad, armonía y funcionalidad de volúmenes que se presentan bajo la luz, exponiendo la esencia de su materialidad y plasticidad. Siendo esta luz mediterránea la cual Le Corbusier llamaba “el rey de las formas bajo la luz” la que inspiró en buena medida su concepción de lo que es arquitectura, de donde proviene su ilustre definición de esta.

## La luz real y luz artificial

Luz del día juega un papel importante en la experiencia de un espacio y puede ser un elemento decisivo en el diseño arquitectónico de un edificio. En general, la gente prefiere la luz del día sobre

la luz artificial. Nos da una sensación de una conexión con el mundo exterior y con la naturaleza. Con la luz del día, se puede decir si es un día claro y soleado al aire libre o si una tormenta ha pasado. Sin embargo, tenemos que entender el potencial dañino del sol. El sol puede agregar inmensas cantidades de calor en un espacio en que el sol es fuerte y esto debe ser evitado, pero no debe ser a costa de la luz del día. El sol es nuestro amigo y nuestro enemigo. El uso de los recursos del sol tiene que ser diseñado en los edificios como un equilibrio entre la luz del día y de la radiación solar con el fin de tener los edificios bien diseñados. El buen diseño hace toda la diferencia en nuestra vida cotidiana, y el buen diseño implica la iluminación natural. Una luz real y no simulada. Una luz que evidencia los valores plásticos y tectónicos de las obras arquitectónicas. (Calduch, 2001: 8). Esta luz cuantificable y cualificable que ha sido fuente tanto de mediciones y estudios como de elogios y descripciones con el objetivo de entenderla, apreciarla y medirla.

“Ya sea con las tablas de Bernini o de Le Corbusier. O con la brújula y las cartas solares y con el fotómetro. Ya sea con maquetas a escala o con los perfectísimos programas de ordenador que ya están en el mercado. Es posible controlar, domar, dominar la LUZ” (Campo Baeza, 1996 p.6) teniendo hoy en día la posibilidad de predecir con mayor proximidad las cualidades lumínicas que se puedan generar en espacio durante todo el día y todo el año.

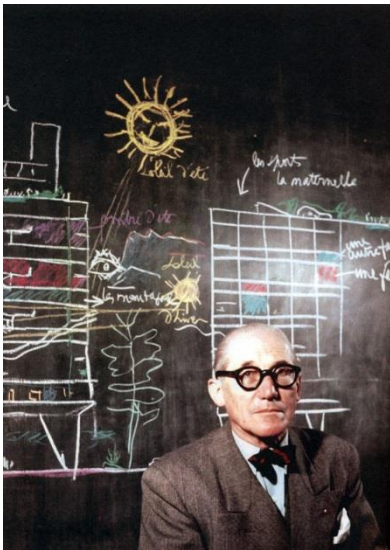


Fig. 36: Le Corbusier, diagramas de asoleamiento en unidad habitacional

Como se ha mencionado con anterioridad en este documento, la luz natural ofrece el espectro más completo y uniforme que permite observar el color real de los objetos así como su plasticidad, por lo cual en la arquitectura “la luz natural, respecto a la iluminación artificial, contribuye a mejorar la calidad y el bienestar visual dentro del espacio arquitectónico” (Yáñez, 2008: 415), haciendo además la experiencia espacial más estimulante por su naturaleza cambiante, trayendo efectos psicológicos más positivos que los que pudiese producir la iluminación artificial. Estos beneficios hacen imprescindible el considerar la luz natural en el desarrollo del proyecto arquitectónico, privilegiándolo en todo momento por encima de la luz artificial. Siendo que además de las diferencias ya mencionadas, el factor energético que conlleva

el uso de luz natural implica un ahorro energético considerable en la edificación, no solo por la disminución del consumo de luz eléctrica, sino porque además esta genera mayores cantidades de calor por unidad de flujo luminoso, “En definitiva al sustituir la luz artificial por luz natural se ahorra energía tanto en iluminación como en aire acondicionado” (Yáñez, 2008: 416).

### **La luz como materia y material**

Podríamos decir que la luz posee una doble naturalidad dentro de la arquitectura, pudiendo fungir como el elemento esencial para la comprensión visual de la imagen arquitectónica, así como un material más de construcción, como la piedra o madera, pero cambiante, siempre cambiante, como una capa de revestimiento en toda superficie que esta toca y que termina cambiando el aspectos de la misma.

“La arquitectura es luz y sombra, pero me gusta separar ambos fenómenos y pensar en la luz de un modo positivo, como una substancia que se conduce y canaliza: como una substancia que, en definitiva, llega a experimentarse igual que cualquier otro material constructivo.” (Navarro, 1999: 47).

Es por ello que podemos hacer uso de este elemento como un verdadero material de construcción, para obtener los efectos lumínicos deseados en el ambiente construido.

## **2.4.3 Luz, sombra, espacio y tiempo**

### **2.4.3.1 La luz y sombra como elementos esenciales en la lectura del espacio**

#### **La percepción de la arquitectura a través de la luz y la sombra**

La arquitectura es una experiencia multisensorial. Donde los sentidos humanos, el olfato, el tacto, el oído, la vista, nos conectan directa o indirectamente con el espacio. Sin embargo, Es casi imposible describir la arquitectura sin observar su relación con la luz. La luz se refleja y, cambia sutilmente, dando sentido a esta experiencia espacial mientras se manipula la opacidad, la profundidad, la sombra, y el material. Donde Lo que ven los ojos y sienten los sentidos en materia de arquitectura se conforman según las condiciones de luz y sombra. (Holl, 1994: 22). Pues dependiendo de cómo se trabaja, la luz puede transformar la calidad espacial de una habitación. La amplitud de la esta se puede percibir en función de su condición de luz. Al cambiar los factores de reflexión de las superficies y la creación de contraste, el tamaño de impresión de una habitación se cambia y una impresión diferente puede ser creada. Al mismo tiempo, una la sala de estar agradable y cómoda puede ser fácilmente afectada sólo por el cambio de la distribución de la luz en la habitación. Todo esto hace que luz un importante componente de diseño que reúne los valores estéticos de la experiencia arquitectónica.



Fig. 37: Recámara Casa-estudio, Luis Barragán Morfín

La luz siempre va acompañada de la sombra en su interacción con el espacio, como una ausencia de uno de otro, ya que La sombra es la interrupción de un haz de luz por un objeto opaco. (Calduch, 2001: 14), en donde suele considerárseles como elementos opuestos. Generándose entre ellos un sin número de matices y gradientes que reproducen cierta percepción visual de la materialidad interior. Quedando el espacio a merced la iluminación que se presente, ya que mientras la forma es ligeramente afectada en su percepción, su color y textura se muestran vulnerables a los cambios lumínicos. De ahí la importancia de la sombra como elemento emancipador de la luz pura, la cual quema e incendia todo a razón del ojo humano, creando en el espacio un ambiente desértico, carente de oscuridad que apacigüe la visión y de cierto descanso.



Fig. 38: Iglesia de la luz, Tadao Ando

En si esta la sombra es necesaria para comprender la formalidad del espacio, ya que la luminosidad nos dice que existen objetos dentro del mismo campo visual, sin embargo su profundidad y plasticidad quedan definidas por la sombra. En si “La sombra da forma y vida al objeto bajo la luz” (Pallasmaa, 2005: 48). Describiéndolo en términos formales y espaciales en su distancia. dándole un sentido de realismo a la escena visual que da sentido a la arquitectura, ya que “El espíritu perceptivo y la fuerza metafísica de la arquitectura se guía por la cualidad de la luz y de la sombra conformada por los sólidos y los vacíos” (Holl, 1994: 22) siendo la sombra la encargada de darle forma a los objetos, dándonos la información de su realidad tridimensional y de su plástica, lo cual puede ser descrito fácilmente al darle vida a un objeto dibujado en un plano mediante el sombreado de sus relieves que denotan su profundidad.

### La luz y sombra que construye el tiempo en el espacio

Las Cualidades iluminación natural cambian de acuerdo a la orientación de los edificios, y como el sol se mueve a través del cielo que producen diferentes efectos de iluminación en la mañana que en la tarde. Puesto que “La luz transmite a las superficies y formas que ilumina todos los cambios de color y de disposición que acontece en el cielo y en el tiempo atmosférico” (Ching, 1998: 171). Percatándonos del tiempo real, el cual puede decirse que es la medida de las oscilaciones de la luz que se da entre el día y la noche, donde el tiempo que pasa es en si la luz que cambia, tanto el transcurso del día como en las estaciones del año.



Fig. 39: Panteón de Agripa, Adriano, entre los años 118 y 125 d.C

Para las sociedades a lo largo de la historia, la medición del tiempo ha sido primordial para su desarrollo, en donde la luz es la referencia principal que nos dice tanto con la dirección de los rayos y la tonalidad de estos, el momento del día en el que estamos.

El tiempo y el espacio se mezclan de forma inevitable en la arquitectura, en la que el factor temporal permite percibir de manera holística el espacio con una incesante carga de sensaciones que nos ayuda a vivir y sentir nuestro mundo material donde la percepción que tenemos de los objetos y los espacios bajo la iluminación solar es continuamente cambiante, siendo la luz la que da razón del tiempo dentro del espacio al mismo tiempo que define su aspecto visual. “En esencia la luz natural, con su variedad de cambio etérea, orchestra la intensidad de la arquitectura y de las ciudades” (Holl, 1994: 22). Es por ello que es necesario conocer y analizar las posibles condiciones de iluminación que se den a lo largo del día, en el acto de creativo del espacio arquitectónico con

la intención de predecir los efectos que esto tenga en quien lo habita, pues “es el hombre quien y para quien se crea la Arquitectura. Y su relación con el espacio se a hace a través del tiempo. (Baeza, 1996: 24).

## 2.4.4 Iluminación cenital

### 2.4.4.1 La luz cenital en la iluminación del espacio



Fig. 40: Luz cenital, proyección

#### La luz cenital como elemento de iluminación

En la búsqueda de proveer y de optimizar las condiciones lumínicas de los espacios, la arquitectura ha buscado maneras diversas de capturar, conducir y distribuir la luz natural, ya sea con la geometría propia del edificio y la configuración de sus elementos de captación, como la materialidad y el tono de los mismo, con el objetivo primordial de lograr los niveles requeridos para las actividades que se desarrollen en el interior de los edificios. Es por ello en aquellos espacios donde la luz lateral no logra profundizar lo suficiente para cubrir el área de ocupación, fue necesario recurrir a elementos de captación que compensaran esa falta de luz en dichos espacio. Por lo cual se emplearon elementos que capturarán la luz en distintas zonas de la cubierta, logrando proyectar una luz que tiende más a la verticalidad con una relación distinta con el espacio, logrando otro tipo de iluminación, siendo que “En el caso que la luz venga desde la parte superior de un espacio, la iluminación se la conoce como cenital” (Wieser, 2007: 6). Cuya definición está relacionada estrechamente con el término zenit o cenit, referente al punto más elevado de la bóveda celeste. Aunque inicialmente la iluminación cenital fue desarrollada con la intención de introducir la luz natural en espacios más profundos, por medios de distintos componente de cenitales como lucernarios, claraboyas etc. posteriormente fue aplicado a espacios específicos donde la iluminación lateral puede ser molesto o distraer al usuarios, como son los pabellones, galerías y museos. Esta iluminación además de ayudar a proveer de luz a espacios interiores que no tienen acceso a esta o para compensar y optimizar la iluminación en combinación con la iluminación latera, la iluminación cenital termina creando una atmosfera



particular, útil y estimulante donde “el espacio interior sin aberturas en los muros verticales e iluminan desde lo alto, convierte el exterior en una realidad ajena” con una luz que invita a integrarse al interior, de forma íntima y en ocasiones enigmática en lugar de dispersarse al exterior.



Fig. 41: Estudio Elisa Valero, Granada

Aunque los elementos de captación cenital en si comparten rasgos con la iluminación lateral o convencional en cuanto al ingreso de luz, aire y visibilidad al exterior (mayormente limitado). Estos se limitan en su diseño a los últimos niveles o edificios de un solo nivel, estos cuentan con la ventaja de poder repartir con mayor uniformidad la luz en el interior de los recintos, y debido a su posición en relación con el ojo del observador, el flujo luminoso tiene menos posibilidad de causar situaciones de deslumbramiento.

### Tipos de iluminación cenital

A lo largo de la historia del mundo se han dado ejemplos relevantes del dominio magistral de la luz, tanto con fines simbólicos y espirituales como funcionales por los grandes maestros de la arquitectura, donde en tiempos más contemporáneos, Alvar Aalto, Le Corbusier, Wright, Kahn o Utzon, han demostrado y enaltecido el valor de la luz real en la arquitectura, modificando y ampliando sus posibilidades, valiéndose de la técnica y los materiales de transmisión como lo fue el vidrio con lo cual lograron la continuidad espacial de la luz tanto lateral, con la ventana, como vertical con claraboyas y lucernarios.



Fig. 42: Librería de Rovaniemi, Alvar Aalto

Respecto a las propuestas de iluminación mediante sistemas cenitales, la solución ha sido saber compensar la falta de luz en donde la luz lateral no es capaz de proveer la calidad necesaria, ya que aun cuando la cantidad de luz sea la suficiente esta sería desigual dentro del espacio, la cual solo alcanza cierto rango. Aun cuando el área de la ventana sea elevada en comparación al área del local, puesto que en espacios cuyas proporciones generan mucha profundidad la luz lateral muchas veces es insuficiente. Por esta razón se la luz cenital se ha utilizado ya sea para complementar la luz lateral o en algunos casos suplantarle por completo dado a sus posibilidades de uniformizar y armonizar el ambiente lumínico. Lo cual suele ser utilizado en espacios dedicados al estudio, ya que la tarea visual principal, que es la lectura, demanda una calidad de iluminación elevada que permita realizar esta función humana de manera satisfactoria. Lo cual se pudo ver en un gran número de ejemplos en la arquitectura contemporánea como lo es en la librería de Rovaniemi o la biblioteca de Vipuri, donde en esta última, Aalto proyectó una serie de claraboyas cónicas de forma equidistante en donde la luz se reflejaba de forma indirecta en el interior dado al grado de inclinación del sol en el lugar que no rebasaba los  $52^\circ$ , por lo que estos conos estaban diseñados para que los rayos de sol se proyectaran siempre de forma indirecta. Logrando con ello un alto nivel de uniformidad que respondiese a las necesidades de las actividades en el interior. Esto pudo verse en otros proyectos de similar naturaleza en donde las configuraciones de los elementos de captación cenital son distintos sin embargo mantenían el mismo principio de reflectividad de luz, logrando en todos ellos los mismos la misma efectividad de iluminación.

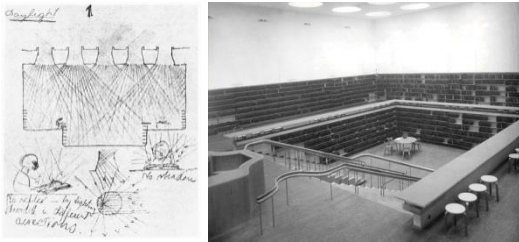


Fig. 43: Proyección de luz cenital, Biblioteca de Vipuri Alvar Aalto

Las condiciones de la luz cenital quedan en sí subordinadas a tanto a las condiciones solares de lugar como a las cualidades de las aberturas, ya que más que en la iluminación lateral, en la cenital, la situación de la abertura en un espacio afecta el modo en que la luz ingrese en este y se proyecte en sus superficies y formas. Basado en su tamaño forma y posicionamiento, modificará la proyección de los rayos de luz y su interacción con la materia, pudiendo hacer que esta se proyecte como un bloque sólido de luz directa muy bien definido o haciendo que esta se proyecte o resbale a manera de líquido luminoso por la cubierta o muros, suavizando la fuerza de la luz y disipándola en interior.

## **2.4.5 La iluminación natural en edificios escolares**

### **2.4.5.1 Iluminación natural en el aula escolar**

#### **Beneficios de la iluminación natural en el aula escolar**

Los ambientes de aprendizaje y especialmente las escuelas siempre han sido de gran interés para los arquitectos, principalmente porque a través de su diseño los espacios pueden influir de manera directa en múltiples sentidos, más allá de la educación del infante, sino también en su formación personal, desarrollo físico y mental, los cuales repercutirá en su futuro.

Desde el aspecto visual, el principal factor benéfico de la iluminación natural, es que este representa la más alta “calidad de luz” existente desde el aspecto visual. Ya que mejora el color y la apariencia visual de los objetos, y ayuda a los estudiantes a diferenciar mejor los pequeños detalles. Esto conlleva a una mejora en cuanto a las “repercusiones en la salud”, ya que el contar con una mejor calidad de iluminación hará que el sistema visual no se force de sobremanera y se eviten daños oculares a futuro, mientras que desde el punto de vista biológico la luz natural ayuda a la producción de hormonas necesarias para el organismo, así como para regular los ciclos circadianos. Ya que de no contar con una iluminación natural favorable en las aulas, el patrón básico de producción de cierta hormonas en el estudiante puede verse afectado e influir tanto en la capacidad de estos para concentrarse como en el crecimiento corporal y predisposición a enfermedades.

Entre los beneficios más relevantes es el “rendimiento académico” de los estudiantes, los cuales según el documento estudios comprobaron que los alumnos que se encontraban en espacios con adecuada iluminación natural tuvieron un rendimiento entre 13 y 26% mayor sobre pruebas estandarizadas. Mientras que aquellos en donde la iluminación natural era pobre los resultados fueron inferiores. Lo que demuestra que existe una correlación entre el desempeño de alumnos y maestros con las condiciones de iluminación natural. Por lo que el diseño de esta debe ser analizado para crear las condiciones adecuadas para las actividades escolares.

La luz de día proporciona además a los usuarios una “conexión con la naturaleza”, ya que esta luz “informa sobre el tiempo” y “las condiciones climáticas”, lo cual ayuda a que los ambientes sean cambiantes y mantengan al alumno en estado de alerta en el aula y a su vez hacer que las lecciones sean más memorables.

Como aspecto externo al ocupante, la iluminación natural puede favorecer en el “ahorro energético” del edificio, ya que en la mayoría de las ocasiones, las escuelas de niveles básicos, son utilizadas en horarios diurnos, en los cuales la abundancia de luz puede ser usada para cubrir en su totalidad la demanda energética para la iluminación de los espacios, puesto acorde al documento mencionado, en Estados Unidos las luces artificiales representan el mayor consumo de energía eléctrica, donde por ejemplo en el estado de California, cerca del 40% del consumo energético es

atribuible a la iluminación. Por lo que la iluminación natural debe ser prioritaria, cuidando aspectos negativos como el deslumbramiento o sobrecalentamiento, para que la luz artificial solo sea un complemento de la iluminación natural, en caso de requerirse.

### Tendencias en la iluminación en aulas escolares

La orientación del edificio es muy importante para maximizar el uso de la luz natural en un entorno de aprendizaje. Emplazando el edificio a lo largo del eje este-oeste es un buen enfoque. La colocación de las ventanas en el lado norte del edificio, donde la luz natural difusa está disponible. Las ventanas que se colocan altos en la pared, por ejemplo “clerestorios” o ventanas laterales altas pueden maximizar la distribución de la luz del día y llevar la luz más profundamente en el espacio. Entre más profundo el espacio, más es la luz debe ser ingresada en el, (especialmente el aula) a partir de dos lados con el fin de reducir el contraste de luminancia y sombras en la zona de trabajo, pero nunca frente o detrás del tablero o pizarrón, porque en tal caso, será difícil para los estudiantes ver tanto el pizarrón como sus pupitres, debido al brillo y el contraste de la luz. La luz indirecta en un salón de clases es una buena manera de controlar la luz del sol y los efectos negativos como el aumento de calor, el deslumbramiento y la incomodidad. Los materiales de las ventanas son otro factor muy importante, ya que en algunos casos puede ser necesario que el vidrio que se va a utilizar sea translúcido, a fin de evitar la luz solar directa o para difundir la luz en el espacio, los materiales, texturas y colores en el espacio deben ser elegidos cuidadosamente y de acuerdo a cómo la luz va a reaccionar en ellos.



Fig. 44: Luz cenital en aula de clase

“Un “salto de calidad” en el diseño de la escuela se llevó a cabo después de finales de 1980, ya que arquitectos y educadores respondieron a las necesidades cambiantes y las filosofías de la educación” (Wu & Edward, (2003): 117). En consecuencia, este “salto de calidad” explora las necesidades de iluminación natural con los cambios en el diseño de la escuela a lo largo de la última década. Algunas de las nuevas tendencias que darán forma al futuro de la iluminación natural en los edificios escolares se discuten hoy en día.

“Las tendencias anteriores muestran que la luz del día continuara desempeñando un papel importante en los edificios escolares en el futuro. La “flexibilidad” será la clave en el diseño de iluminación natural en las escuelas” (Wu & Edward, 2003, 121). Hoy en día se espera que los diseñadores tiendan a consultar a los ocupantes y satisfacer sus percepciones y necesidades en este tipo de edificaciones, con un enfoque holístico, que incorpora la salud, la comodidad, la

satisfacción y el placer estético en el medio ambiente como una parte esencial de la calidad de la iluminación natural.

Wei Wu, Edward Ng. Mencionan que, son pocos estudios se han hecho en la calidad de iluminación natural en las escuelas. A principios de 1976, Tikkanen llevo a cabo una investigación para el estudio de las reacciones emocionales a la luz y el color en un ambiente de clase bajo diferentes condiciones de ventanas en diferentes estaciones del año. En cinco escuelas suecas de nivel secundario. El estudio encontró que la sensación observada de color cambió con la calidad y cantidad de la luz, y no se encontró una relación entre la calidad de la luz y la amenidad del ambiente observado. En la década de 1990, Iwata. Llevo a cabo una experiencia piloto para examinar la relación entre la iluminación natural y el confort visual en un aula con luz natural. Los investigadores informaron que uno de los factores clave para el diseño de un entorno de iluminación cómoda en una habitación era eliminar la oscuridad y el exceso de brillo que los ocupantes encontraron en el escritorio, en donde ambos, iluminancia horizontal y la iluminación vertical en el ojo reportaron comodidad. Además del trabajo de investigación anterior, Boletín Edificio 33 discutió el tema de la calidad en la iluminación natural en escuelas. Y afirma que un buen diseño de iluminación natural no sólo proporcionó una suficiente cantidad de iluminación, sino también dio el interior un carácter apropiado para su uso. Por otra parte, se enumeran tres recomendaciones principales de buena calidad para la luz del día:

- 1) un equilibrio satisfactorio de brillo en toda la habitación
- 2) la proporción correcta de luz directa e indirecta
- 3) la ausencia de reflejos del cielo o el sol. Desafortunadamente, hay poca evidencia de la investigación para apoyar estas recomendaciones.

“La novena edición del manual de iluminación IESNA proporciona recomendaciones formales de calidad de la iluminación en las escuelas en lugar de la cantidad recomendada de luz para la aplicaciones especificación o tareas visuales como en ediciones anterior” (Wu & Edward, 2003: 121). Este Manual describe la calidad de la iluminación como la integración de las necesidades humanas, la arquitectura y la economía y el medio ambiente. En el apartado de los edificios educativos, se sugiere que los factores más importantes que contribuyen a la calidad de la iluminación en las escuelas deben incluir: “la integración y control de la iluminación natural, deslumbramiento directo y reflejado, Parpadeo (estroboscópica), distribución de la luz en las superficies, distribución de la luz en el plano de trabajo (uniformidad)” (Su & Edward: 121).

## Iluminación natural y rendimiento escolar en el aula de clase



Fig. 45: Iluminación en el plano base del aula de clase

Una escuela no es sólo un edificio para dar cabida a los estudiantes y profesores, y no debe ser visto como tal. Dado a que muchas veces se les aprecia a los entornos escolares como “un segundo maestro o un auxiliar de enseñanza”, debido a que el ambiente de escolar puede desempeñar un papel significativo en el aprendizaje y el rendimiento académico de los estudiantes. Siendo la iluminación natural un factor determinante para que estos espacios logren transmitir una atmosfera adecuada que propicie un mayor rendimiento visual en los estudiantes.



Fig. 46: Aula de clases

Las ventajas de una adecuada iluminación natural se traducen en un mayor rendimiento en las escuelas. Las investigaciones hechas por “Heschong Mahone Group, “Daylighting in Schools” en 1999, han demostrado que los niños alcanzan puntajes significativamente más altos en los salones de clase que son con luz natural que en aquellos que no lo son, 1 toma de iluminación natural una de las mejores inversiones relacionadas con la construcción para el ambiente de aprendizaje.

Otros estudios realizados por la comisión de energía del estado de California en Estados Unidos, donde se revisaron los aspectos los efectos de la iluminación natural en aulas escolares de nivel básico sobre el aprendizaje de los estudiantes en aspectos como la lectura y matemáticas, en un periodo de un año. Este estudio se lleva a cabo con 8000 alumnos de entre tercer y sexto grado en 450 aulas. Dando como resultado que la calidad de la iluminación natural en el aula es una de las claves en el aprendizaje académico, el cual puede tener tanto efectos positivos como negativos en el estudiante. Ya que también se encontró que las zonas de deslumbramiento impactaban negativamente en el aprendizaje del estudiante, así como la entrada directa de luz, especialmente por el lado este y sur, tanto por el deslumbramiento como por desconfort térmico.

Otros dos estudios en las ciudades de Seattle y Fort Collins en Colorado mostraron resultados similares donde confirmaron una tendencia de un 7 a 18 % de puntuaciones más altas en pruebas estandarizadas en comparación de aulas sin iluminación natural.



Fig. 47: Interior y exterior de la escuela Fort Collins school con vanos de clerestorios orientados al sur

No solo ha habido estudios donde se comprueba el beneficio de la iluminación natural “bien aplicada” en el aula de clase sobre el rendimiento académico de los estudiantes, sino que se han presentado extensos estudios que han analizado de qué manera se puede conseguir un mejor iluminación en aulas de clase de nivel básico, como lo es caso del estudio realizado por el grupo Hescong Mahone, que estudiaba el efecto de la luz natural en el rendimiento humano, enfocándose en los tres “sistemas de iluminación cenital” de distintas configuraciones, con una base de datos de 21,000 estudiantes de distintas instituciones.

En este estudio se concluyó que los alumnos en aulas con mayor iluminación diurna aprendieron entre 20 – 26% más rápido en lectura y matemáticas, así como en pruebas estandarizadas de conocimiento, en comparación con alumnos en aulas sin iluminación natural. A su vez alumnos en aulas con las ventanas más alargadas tuvieron progresos de 15% en matemáticas y 23% en lectura que aquellas escuelas con las ventanas más cortas. A su vez, los estudiantes en aulas con un bien diseño de iluminación cenital, con elementos de captación de dispersaran la luz natural a lo largo del aula, mejoraron entre 19-20% la rapidez de su aprendizaje, que aquellos donde el aula no contaba con iluminación cenital.

En este estudio fue claro que unos sistemas de iluminación cenital funcionaron mejor que otros, donde los sistemas (sawtooth monitor, clerestory y skylight) en las cuales bloquearon la incidencia de la luz solar directa dentro de las aulas se tuvieron mejores resultados que en aquellos sistemas cenitales donde penetraba la luz solar directa, lo cual ocasiono manchas de luz brillantes en varias zonas del aula.

Otro estudio realizado por Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) por su siglas en ingles además de estudiar el rendimiento de los estudiantes en relación con la iluminación diurna, analizo aspectos de salud y costo de las escuelas, encontrando que, a través de estrategias de diseños inventivos e ingeniosos, los costos de construcción para las escuelas no representan un aumento significativo de costos sobre las escuelas de diseño convencional. Y, los estudiantes que asisten a estas escuelas se benefician de la luz natural, tanto en términos de mayor rendimiento (medido por puntajes de las pruebas) y la salud general y el bienestar. Concluyendo que, la optimización de la luz natural en la construcción de nuevas escuelas es una opción atractiva para mejorar potencialmente el rendimiento y la salud de los estudiantes.

## 2.4.6 Bases compositivas de iluminación natural

### 2.4.6.1 Proyección de luz

#### Tipos de iluminación por proyección de luz

La repartición de la luz dentro de un recinto, representa un factor clave para asegurar una aceptable calidad de iluminación. La distribución equilibrada de luz puede ser alcanzada mediante la repartición adecuada de los elementos de captación o aberturas, las características de las superficies inferiores y la morfología de los espacios interior.

La luz natural dentro de un recinto puede ingresar de manera directa o indirecta, siendo la primera la que presenta mayores inconvenientes, ya que es más propensa a generar deslumbramientos, sobre todo en regiones donde existe una gran cantidad de incidencia solar, además de que su repartición en el espacio es muy irregular, debido a la dinámica constante de la luz natural. Esto sin mencionar las aportaciones térmicas que generaría. Mientras que el ingreso indirecto genera una distribución más homogénea, puesto que se usan las superficies del propio edificio para que haya reflexiones de rayos luminosos, que además disminuye considerablemente la probabilidad de deslumbramiento directo

**Iluminación directa:** La fuente luminosa está dirigida directamente hacia el área a iluminarse.

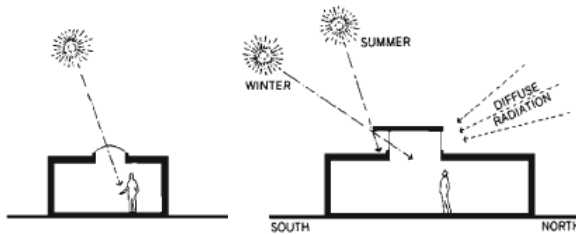


Fig. 48: Proyección de iluminación directa en un espacio

**Iluminación indirecta:** La fuente luminosa es dirigida a una pared, techo o a un mobiliario la cual o las cuales reflejan al flujo luminoso a la zona a iluminarse.

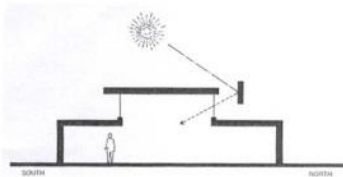


Fig. 49: Proyección de iluminación indirecta

**Iluminación difusa:** Los rayos solares son reflejados en las superficies de forma difusa en múltiples direcciones del espacio iluminado.



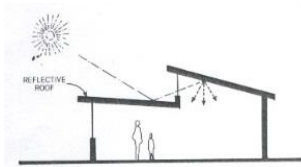


Fig. 50: Proyección de iluminación difusa

### 2.4.6.2 Componentes de paso



Fig. 51: Componente de paso lateral, ventana

#### Tipos de componentes de paso

Las ventanas son los ojos de un edificio. Ellos proporcionan iluminación y visión, pero también la posibilidad de incomodarnos y hasta lastimarnos, si estas no se proponen conscientemente. Ya que el diseño de iluminación natural está en gran medida por estos elementos compositivos de captación de luz, los cuales Rafael Serra los denomina “componentes de paso”. Los cuales son “dispositivos que hay en los edificios, diseñados para dejar pasar la luz a través suyo, desde un ambiente lumínico determinado hasta otro situado a continuación” (Serra & Coch 1995: 325), siendo estos definidos tanto por sus características geométricas como por la composición de sus elementos. El primero de ellos está caracterizado por su tamaño en relación al muro, la ubicación en el mismo, sea céntrico, elevado, lateral etc., y por la forma geométrica del vano. Mientras que su composición dependerá de los elementos que integre para la regulación lumínica, visual y de paso de aire, lo cual en la mayoría de los casos suele ser la materialidad de acristalamiento.

Los componentes de paso pueden ser agrupados según la dirección de incidencia de la luz en el interior del espacio, pudiéndose clasificar como componentes (laterales, cenitales y globales), siendo los primeros cuando penetra la luz por una plano vertical, los cenitales serian cuando ingresa la luz por la parte superior del espacio, mientras que en los globales, no hay una dirección que predomine, la cual puede llegar desde un gran número de direcciones. De estos los más comúnmente usados son los laterales y los cenitales, los cuales muchas veces suelen combinarse en el diseño lumínico, aprovechando los beneficios y complementándose. Puesto que “la combinación de la iluminación cenital y lateral resulta excelente en cuanto a la distribución y uniformidad de la luz” (Código Innova Chile, 2012: 102).

Los vanos en las superficies de las fachadas son el componente más común para transmitir luz natural al interior de los edificios. Su tamaño, forma y material son elementos esenciales para la cuantificación y calificación de iluminación en el interior”. Por lo general estos pueden ser:

- Unilaterales, cuando el espacio tiene aberturas en una de sus superficies.
- Bilateral, cuando tiene aberturas en dos de sus superficies.
- Multilateral, cuando existen aberturas en más de tres superficies.

Los principales factores que afectan a la luz del día en una habitación son el tamaño, forma y posición de las ventanas y la profundidad habitación. Otros factores son la transmitancia del vidrio y las obstrucciones externas tales como protecciones solares, edificios opuestos o vegetación. En general, las ventanas altas en comparación con amplias ventanas del mismo tamaño admiten la luz más en la habitación. Dividiendo el área de la ventana en varias superficies, preferiblemente en paredes opuestas, a menudo se considera favorable, ya que da una impresión más uniforme y agradable.

### Componentes laterales

Los componentes de paso lateral son aquellos que se localizan en cerramientos verticales, tanto en la superficie exterior del edificio como en los compartimentos del interior, los cuales tienen como función principal, el permitir el ingreso luz natural de manera lateral en un espacio determinado.

Existen distintos componentes laterales, que pueden ser, ventanas, balcones, muros translucidos o muros cortina. De los cuales la “ventana” es el componente mayormente aplicado en el diseño lumínico y compositivo, estas “son aberturas situadas en una pared, que tienen su límite inferior por encima del nivel del piso interior. (Serra & Coch 1995: 333), permiten la entrada de luz lateral, y en ocasiones la radiación solar directa, así como la visión y ventilación directa. Esta puede incrementar el nivel lumínico de manera notable en zonas cercanas a ella.

En la iluminación unilateral existe un límite en la profundidad que pueda alcanzar la luz en el interior de un local durante el día, ya que mientras más elevada sea la ventana, más profunda será la proyección de luz, “Existe una regla básica que limita la profundidad de la luz natural a 1,5 veces la altura de la ventana en relación al suelo.” (Código Innova Chile, 2012: 102). Por lo que al colocar una ventana elevada, se generaría una mayor proyección y distribución de la luz, que además estaría por encima del plano visual, reduciendo el riesgo de deslumbramiento directo.



Fig. 52: profundidad de luz natural

## Características de la ventana

Las funciones de una ventana son variadas, siendo las más importantes (la entrada de luz natural, la visión y relación al exterior, la ventilación, aislamiento térmico y acústico), así como una “eficiencia energética” en el edificio, en las cuales “el diseñador no siempre será capaz de conciliar las demandas conflictivas de estas misiones” (CEI &IDEA, 2005, pg.47). Por lo que será necesaria su priorización, ya que en la realidad las condiciones de iluminación natural y terminas suelen estar en conflicto, pues cuanto mayor es el área de ventanas, mayor es la cantidad de luz natural, pero también son mayores las pérdidas y ganancias de calor.

La forma de la venta tiene especial relevancia en la distribución luminosa, ya que en caso de haber una ventana continúa o corrida, la distribución será más uniforme que si esta se secciona en distintas ventanas, ya que esto alteraría la proyección de luz, creando zonas de contrastes. De manera que la situación de una abertura debe ser analizada con cuidado, ya que esta afectara al modo como la luz ingresa a un espacio. Se puede decir que “El contorno y la articulación de una abertura se reflejarán en la sombra que genera sobre las superficies del espacio. El color y la textura de estas superficies afectarán a su propia reflexión y, por consiguiente, al nivel luminoso ambiental del espacio interior” (Ching, 2004: 173).

## Acristalamiento

Como condición general del acristalamiento en ventanas, se puede decir que, un acristalamiento muy alto puede provocar problemas de térmicos y de deslumbramiento, debido a la claridad del material, mientras que un acristalamiento bajo puede dejar noveles de iluminación muy bajos, en especial en regiones donde predomina el cielo cubierto o nublado.

## Forma

La forma de la ventana influye de sobremanera en la distribución de la luz en el interior, la calidad de la visión y la capacidad de ventilación natural.

La forma de las ventanas se puede definir en tres categorías según su altura y anchura como, ventanas horizontales, verticales e intermedias. En las cuales la ventana horizontal de describe como una banda paralela al muro, generando poca interferencia en la distribución de luz a lo largo del día, así como poca predisposición a deslumbramientos por velo, teniendo además este tipo de ventanas una forma que permite una panorámica continua del exterior.

En cuanto a la ventana vertical, tiene un comportamiento lumínico generalmente opuesto a la ventana horizontal. Esta podría ser descrita como una banda perpendicular al muro, produce una distribución muy variable en el transcurso del día, sin embargo esta tiene mayor profundidad para iluminar espacios alejados de la ventana, aunque esta en ella se puede generar situaciones de deslumbramiento y una reducida vista al exterior.

## Tamaños y Posición

El área de la ventana está relacionada principalmente con el tamaño del lugar, así como sus proporciones, ya que de esto dependerá la cantidad y forma en que se necesite proyectar la luz, a lo cual Yáñez Parareda comenta:

“Cuanto mayor sean la superficie de la planta a iluminar de un local, mayor debe ser el área de la superficie de ventanas, y a medida que aquel sea más profundo dichas ventanas han de tener mayor altura” (Yáñez, 2008: 413)

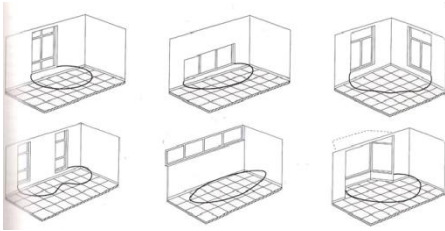


Fig. 53: Efectos lumínicos con distintas composiciones de ventana

## Componentes cenitales

Estos componentes generalmente están situados en cerramientos horizontales de la cubierta, en la cual se procura que la luz que ingrese llegue hasta la parte inferior del espacio.

Existen distintos componentes cenitales que pueden variar las formas en que estos captan y distribuyen la luz en el interior, según su disposición y orientación. De los cuales “los más característicos en la arquitectura son los lucernarios, las cubiertas monitor o en diente de sierra, los forjados translúcidos y las claraboyas, las cúpulas y las linternas. (Serra & Coch, 1995: 335)”

## Orientación de componentes

Para captar la mayor cantidad posible de luz, los elementos de captación debe de estar proyectados lo más perpendicular posible a los rayos del sol. En el caso de unos elementos de captación cenital colocada horizontalmente, permitiría el ingreso de una gran cantidad de luz, así como ventanas inclinadas hacia el cielo.

La iluminación cenital es una estrategia muy efectiva para lograr el ingreso de luz a espacio profundos donde no llega la luz lateral, además de que estos por lo general son aplicados de manera que evitan los rayos directos del sol, generando una rendimiento de iluminación más constante durante el día, así como la reducción de los deslumbramientos que suelen ser más asociados a los elementos laterales. Los cuales tienen un comportamiento radicalmente opuesto al de los elementos cenitales, en cuanto al modo en que penetran los rayos solares durante las distintas épocas del año.

Los estudios demuestran que la iluminación cenital proporciona un excelente rendimiento de la luz del día, ya que, por lo general evita la luz directa del sol y los posibles focos asociados al deslumbramiento de las ventanas laterales (Código Innova Chile, 2012: 102).



Fig. 54: Proyección de luz lateral y cenital

Las ventanas que estén orientadas al sur generaran niveles luminosos elevados y constantes, así como una gran ganancia de energía en invierno. Si éstas se sitúan al este y oeste, los niveles de iluminación son variados a lo largo del día, con gran ganancia de energía en verano y baja en invierno. Al orientar los elementos laterales al norte se tendría los niveles de luminosos más bajos, aunque más constantes y uniformes a lo largo del día, con una escasa ganancia de energía térmica.

## 2.4.7 Sistemas de iluminación

### 2.4.7.1 Los sistemas de iluminación natural

#### Concepto “sistema de iluminación natural”

Estos comprenderían los componentes o conjuntos de componentes en un edificio que tienen como función principal, elevar la iluminación natural dentro de los espacios interiores, optimizando el uso de la luz. Recogiendo la luz natural disponible y distribuirlo dentro de la habitación.

Los sistemas pertenecen a dos categorías generales, los sistemas de iluminación cenital y los sistemas de iluminación lateral. Los sistemas iluminación cenital distribuyen la luz natural disponible dentro de la sala desde el techo de las habitaciones, y los sistemas de iluminación lateral distribuyen la luz natural disponible de los lados de la sala, es decir que; “los sistemas de iluminación se clasifican según la distribución del flujo luminoso por encima o por debajo de la horizontal identificando la cantidad del flujo proyectada directamente a la superficie iluminada” (Vázquez, 2005: 5).

#### Principales sistemas de iluminación natural

Existen distintas clasificaciones para los sistemas de iluminación natural tanto lateral como cenital, los cuales pueden englobarse en seis tipologías que son las más comunes, de acuerdo al IESNA. De las cuales se pueden desarrollar un sinnúmero de modificaciones y diseños.

Laterales: unilateral y bilateral

Cenitales: Monitor, Claristorio, Dientes de sierra y claraboyas.

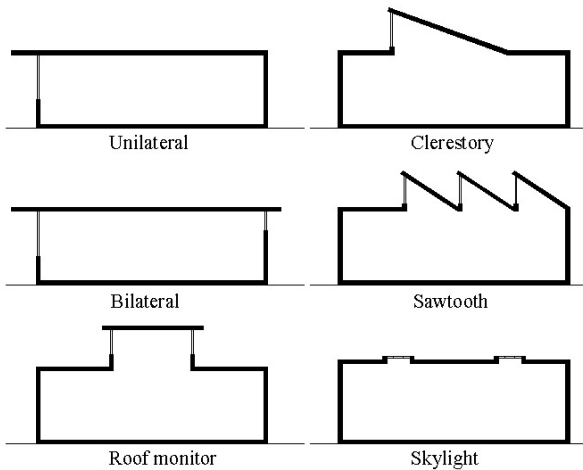
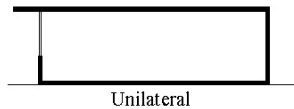


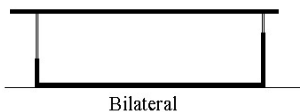
Fig. 55: Sistemas de iluminación natural, IESNA Lighting Handbook Reference Volume (IESNA 1984).

#### 2.4.7.2 Sistemas laterales



##### Unilateral (unilateral)

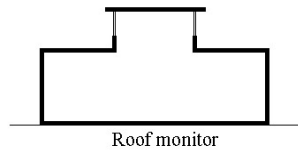
El diseño de la iluminación natural unilateral se caracteriza por una línea continua de ventana acristalamiento en un lado de la habitación. El acristalamiento se encuentra generalmente cerca del techo / techo. El diseño unilateral es el diseño más común en las viviendas y edificios comerciales. Diseños unilaterales pueden aplicarse para toda la fachada del edificio en la forma de la pared de cortina acristalamiento.



##### Bilateral (bilateral)

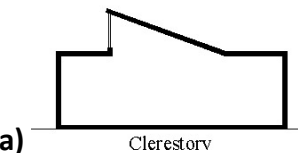
El diseño bilateral iluminación natural se utiliza en edificios que pueden permitirse el lujo de tener paredes opuestas de apertura hacia el exterior de la luz del día. El ancho de la habitación puede ser mucho mayor que en el caso unilateral, como la luz puede ser admitido desde ambos lados del espacio. La segunda ventana de acristalamiento es generalmente menor, y situado en la parte superior de la pared. Este diseño es común en edificios institucionales.

### 2.4.7.3 Sistemas cenitales



#### Monitor (Lucernario)

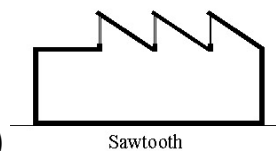
El monitor de techo es una parte de la cubierta que se fija más alto que el techo que rodea zona, y cuenta con aberturas de ventanas sobre cualquiera o todos los cuatro lados para admitir la luz del día. El techo áreas en las bahías bajas generalmente se tratan de servir como reflectores de luz del día. Este diseño es común en los edificios de viviendas individuales e institucionales pisos.



#### Clerestorio (claraboya)

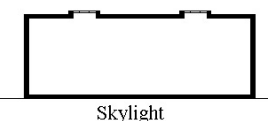
Un clerestorio, también llamado claraboya. Es en si aquella parte de un edificio claramente elevada de los techos, cuyas paredes contienen ventanas para la iluminación del interior, en donde la abertura en la techo mira en la misma dirección que las principales ventanas laterales y que ayuda en la superación las limitaciones de ingreso de luz natural en la habitación respecto a sus elementos laterales (IESNA, Cap. 8, daylighting systems, 1984).

El diseño clerestorio es generalmente diseñado para admitir la luz del norte en el espacio debido a los problemas de la ganancia de calor y el deslumbramiento. Un cuerpo de luces normalmente se ejecuta a lo largo de la longitud del espacio que sirve. Este diseño es común a los edificios institucionales y comerciales de un solo piso.



#### Dientes de sierra (sawtooth)

Este diseño es una variación del tipo claristorio. Las ventanas del claristorio son dispuestos en filas para formar un diseño en dientes de sierra. Esta abertura se utiliza principalmente en techo bajo, y áreas de grandes edificios industriales. Las ventanas por lo general se direccionan al norte, en latitudes del norte o septentrionales; por lo tanto los controles de brillo, no son requeridos (IES, Cap. 8, daylighting systems, 1984).



#### Claraboya (skylight)

El diseño claraboya se utiliza de diferentes formas en todo tipo de edificios. Los principales tipos son las abovedadas, piramidales y paneles planos. Materiales para acristalamiento de loas claraboyas varían de paneles de vidrio y acrílico a los plásticos reforzados con fibra de vidrio y

tragaluces especialmente diseñados con telas semi-transparentes y translúcidos. El calor y el control del deslumbramiento son los dos problemas principales asociados con claraboyas. El diseño de claraboyas debe ser cuidadosamente diseñado para proporcionar a los sellos eficaces contra la entrada de humedad y posible goteo de la condensación. También pueden ser utilizados para proporcionar un control de calor y ventilación (IESNA, Cap. 8, daylighting systems, 1984).

### **Concepto “estrategias de iluminación natural”**

el concepto de “estrategias de iluminación natural” según Andrea Pattini, es generalmente referido al como el edificio resuelve la iluminación en sus espacios, mediante elementos de captación de luz tanto laterales como cenitales, sin tomar en cuenta otros aspectos tecnológicos que son ajenos al diseño volumétrico del edificios como lo es el tipo de acristalamiento y materiales de las superficies, así como suplementos tecnológicos más sofisticados como parasoles, difusores y demás elementos de protección y difusión solar.

## **2.4.8 Diseño de iluminación natural**

### **2.4.8.1 Uso del espacio**

#### **Objetivos del diseño de iluminación natural**

“La organización espacial de un edificio deberá ser pensada en función de las actividades que tienen lugar allí, de los momentos de ocupación del local y de la trayectoria solar”. (Código Innova Chile, 2012: 99).

Para un edificio en una ubicación determinada, la cantidad de luz natural disponible está en función de los siguientes factores:

- Tipos de cielos
- Latitud y época del año
- Momentos del día
- El entorno físico del edificio
- Orientación de las aberturas
- Disposición de los elementos de captación

(Código Innova Chile, 99)



## Tiempos de uso y actividad

La luz natural dentro de un espacio varía en los diferentes momentos del día. Tanto en su intensidad, dirección como su tono. Pudiendo generar distintos ambientes luminosos según la hora en que se habite el lugar. Es por ello que se debe tener en cuenta la variabilidad de las condiciones lumínicas que se van a presentar en determinados horarios. Ya que cada actividad demanda cierta condición que tendrá que ser cubierta por un tiempo determinado.

Estas variaciones lumínicas durante el transcurso del día hacen imposible que se mantenga un determinado nivel de iluminación de manera constante y es por ello que aunque se cuentan con métricas de los niveles óptimos para cada espacio, en el caso de la iluminación natural es necesario manejar rangos dentro de los cuales se logre cumplir con los requerimientos lumínicos para cada actividad visual.

### 2.4.8.2 Análisis del sitio

#### Latitud y época del año

Las estrategias de iluminación natural están supeditadas en gran medida por la ubicación geográfica del sitio, la latitud y época del año. Ya que la tierra mantiene una variación en su posición respecto al sol, por lo que generalmente los estudios que tengan que ver con el comportamiento de sol, simplifican el análisis en tres épocas del año. El solsticio de invierno, los equinoccios y el solsticio de verano. Ya que los ángulos de inclinación del sol varían en cada una de estas época, siendo el solsticio de invierno donde el ángulo alcanza su mayor verticalidad, mientras que en solsticio de verano su mayor inclinación horizontal, siendo los equinoccios un posicionamiento intermedio en que coincide.

Para saber el grado de penetración de la luz en un edificio, abra que analizarlo median una carta solar, para conocer la proyección de luz y sombra que arroja en su interior y así conocer a partir del recorrido solar, las superficies del edificio que están más expuestas o carentes de rayos solares. Por lo que el desafío que se presenta al diseñar las estrategias de iluminación de un edificio, es encontrar un equilibrio entre el suministro necesario de luz, las pérdidas o ganancias de calor, las vistas deseables o indeseables hacia el exterior, la necesidad de ventilación, el deseo de privacidad visual y acústica o evitar distracción, así como las características de imagen compositiva de las fachadas. Por lo que se debe tener en cuenta estos factores para que no haya una ruptura entre estos y las condiciones lumínicas deseadas.

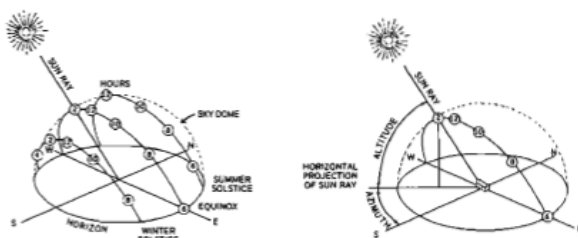


Fig. 56: Posición del sol en distintos momentos del año

## Emplazamiento

El análisis del sitio es fundamental para determinar la orientación de construcción y colocación de aprovechar el microclima del sitio puede ofrecer. Cada punto cardinal tiene su propio tipo específico de iluminación. La dirección sur tiene el mejor acceso a los ángulos del sol de invierno y las posibilidades de ganancia de calor solar. Este y oeste son las más difíciles de sombra debido al ángulo bajo el sol de la mañana y por la tarde, y al norte, incluso cuenta con iluminación de la difusa

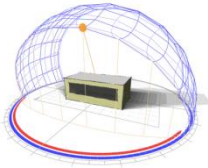


Fig. 57: Análisis de asoleamiento de edificio

## Terreno y entorno

Los obstáculos en el sitio pueden plantear problemas o ayudar a la estrategia de la luz del día de un edificio. Un obstáculo puede bloquear la luz del sol o la sombra necesaria una ventana. Vidrio reflectante de cerca por los edificios puede rebotar la luz en el edificio propuesto y cause brillos o que puede aportar luz difusa adicional en un espacio. Estrategias de diseño de luz diurna se pueden implementar para aprovechar lo que ofrece el sitio y minimizar el potencial negativo.

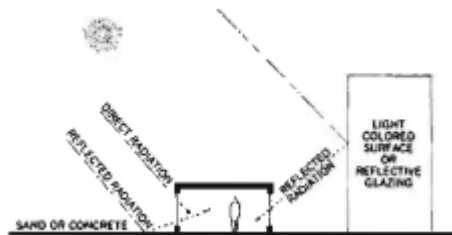


Fig. 58: Proyección de luz en obstáculos del contexto

Las situación física del contexto influirá en la disponibilidad de luz que pueda tener un edificio o algún espacio de este, ya que distintos factores se puede presentar en mayor o menor medida, como lo es: “el relieve del terreno, la forma y altura de las construcciones vecinas, el coeficiente de reflexión de los suelos circundantes y la presencia de vegetación en el entorno inmediato”. (Código Innova Chile, 2012: 99). Todos ellos pueden alterar la cantidad de luz que llega a las aberturas del edificio, por lo que es necesario tomarlos en consideración en la etapa de la organización espacial y del diseño de iluminación natural.

## Disponibilidad de luz natural



Fig. 59: Cielo Parcialmente nublado

El diseño de la iluminación natural funcional en un edificio exige un conocimiento adecuado de la fuente de luz. Esto está directamente relacionado con el clima regional. La comprensión de las condiciones del cielo de sitio de su edificio determinará el tipo de luz del edificio recibirá. Ciertas estrategias de iluminación natural se aprovechan de determinadas condiciones del cielo y no funcionarán correctamente con la condición cielo equivocado. Ya que por dar un ejemplo. En lugares donde persisten cielos nublados, los cuales son considerablemente más brillante en el cenit o punto más elevado de la bóveda que luego la horizontal, una estrategia de iluminación cenital, como claraboyas funcionarían correctamente. Por lo que Es importante en el diseño de la luz del día para saber qué tipo de condición cielo es prominente a su sitio. Y en el caso de que las condiciones del cielo varíen constantemente sin definirse una tipología de cielo, varios tipos de condiciones de cielo debe tenerse en cuenta en el diseño. La cual debe ser aplicada en los cálculos de iluminación natural.

La intensidad del cielo varía dependiendo de las situaciones climáticas que se traducen en cielos despejados, parcialmente y nublado. Las cuales son determinantes para saber la cantidad de luz que se dispone, dependiendo del tipo de cielo que predomine en la región. Ya que la condiciones del cielo varían a través de las estaciones anuales.

Para comprender los distintos tipos de cielo es importante entender que la iluminación global recibida de la bóveda celeste está conformada por dos componentes: la luz solar directa propia de un día despejado y la luz solar difusa propia de un día cubierto. (Código Innova Chile, 94).

La luz directa que proviene del sol nos brinda un flujo luminoso que es manejable, tanto en su captación como direccionamiento para iluminar algún espacio en específico y a su vez es una luz dinámica tanto en su dirección como en su tono. Sin embargo a menudo es una fuente de deslumbramiento y sobrecalentamiento en el espacio interior de un edificio. Su disponibilidad es limitada tanto en número de horas como en orientaciones, por lo que es necesario conocer el recorrido solar en el sitio. Ya que "la disponibilidad y características de la luz natural dependen de la latitud, meteorología, época del año y del momento de día" (CEI &IDEA, pg.13.)

Esta si "La disponibilidad de luz del día es la cantidad de luz natural disponible en el sol y el cielo en un lugar específico, hora, fecha y estado del cielo" (IESNA 1984). El sol, el cielo, los edificios, y la

tierra son las principales fuentes de distribución de luminancia. Latitud, clima y orientación del edificio afectan disponibilidad de luz natural.

### 2.4.8.3 Características del espacio

#### Características del proyecto que intervienen en el diseño lumínico

Las características compositivas e interiores del edificio condicionan en gran parte el tipo de iluminación necesaria, ya que respecto a estas condiciones se determinara el tipo de componentes o sistemas de iluminación, para formar “estrategias” aprovechen las condiciones del espacio y limiten las más desfavorables.

Se puede definir estas características interiores en seis aspectos tanto de diseño como de materialidad, que serían: “compartimentación, conexión, pesadez, color, textura, geometría del espacio” (Serra & Coch 1995: 264).

El sol, el cielo, los edificios, y la tierra son las principales fuentes de distribución de luminancia. Latitud, clima y orientación del edificio afectan disponibilidad de luz natural, por lo tanto "La disponibilidad de luz del día es la cantidad de luz natural disponible en el sol y el cielo en un lugar específico, hora, fecha y estado del cielo" (IESNA 1984). Los cuales necesitan ser estudiados para diseñar con la luz del día. Datos de disponibilidad de luz natural se registra cada minuto en más de 50 estaciones en todo el mundo.

Los datos de disponibilidad de la luz del día que se tomaron la base de datos global de climas del programa de cálculo y simulación “ecotect” para la zona del área metropolitana de Monterrey Nuevo León.

#### Conexión

La conexión interior de los espacios tiene que ver con la forma en que estos interactúan para el traspaso de componentes energéticos (luz, sonido, calor), los cuales de forma general se pueden dividir en conexiones “horizontales y verticales”, entre estos espacios.

La repercusión lumínica que puede haber entre las conexiones sean horizontales o verticales es que unos y otros se pueden favorecer por medio del uso de distintas materialidades como acristalamientos y materiales altamente reflejantes que permitan que la luz natural fluya en el interior.

A su vez, La transición de un espacio a otro tendrá un impacto en la percepción visual del espacio ingresado. Entrando por un espacio iluminado brillante para un espacio de menor brillo será percibido como entrar en un espacio con luz insuficiente a pesar de que el brillo del espacio es

satisfactorio. Como consecuencia, el usuario tendrá la necesidad de iluminar el espacio con el uso de la iluminación artificial.

Esto sucede porque la visión humana necesita tiempo para adaptarse a la variación significativa de la intensidad de la luz entre los espacios. Por lo que un diseño de iluminación exitoso debe tener en cuenta la visión humana y hacer la transición de un espacio a otro como suave posible o proporcionando variación iluminación enormemente diferente iguales o no.

### **Color**

Se refiere al color que presente el acabado exterior de los elementos constructivos. Esta característica incide de manera directa en las condiciones lumínicas de un espacio interior, puesto que el color reacciona tanto en la reflexión como en la absorción de luz, y por lo tanto en la manera en como esta se distribuya, puesto que los colores claros reflejan más la luz, lo cual podría ayudar a tener valores más altos de iluminación y a su vez esta podría ser distribuida para tener una mejor uniformidad, aunque se tendría que cuidar que estas no produzcan deslumbramientos. Mientras que los más opacos la absorben, esto sin mencionar que adquieren una mayor ganancia térmica.

### **Textura**

Los materiales son una necesidad de la arquitectura y para crear edificios dinámicos tenemos que entender el impacto que la luz puede tener sobre los materiales y su diseño en un edificio. La luz puede reflejarse, ser absorbida o transmitida.

Esta característica hace referencia al acabado exterior de las superficies interiores en su aspecto “rugoso o liso”, siendo la Superficie muy rugosa  $-0,003$  m y superficie especular  $-0,001$  m, (Serra & Coch 1995: 269). Lo cual repercute en el tipo de reflexiones que se den en dicha superficie, ya que las superficies con alta rugosidad generan reflexiones dispersas y difusas, mientras que las superficies muy lisas tienden a la reflexión especular.

Las características de las superficies interiores, su material, color y textura, incluyen directamente en la reflexión y distribución de la luz. La capacidad de reflejar la luz se mide por el coeficiente de reflexión, la cual está basada en una escala de 0 al 100, donde 0 corresponde a la luz totalmente absorbida (color negro) y es 100 cuando la totalidad de la luz es reflejada (color blanco). La textura influye directamente en el grado de dispersión de la luz.

### **Valores de los materiales**

Los valores de los materiales pueden ser una herramienta muy útil en el diseño de un entorno de aprendizaje. Ciertos materiales pueden ser utilizados para mejorar la iluminación y el rendimiento térmico de un espacio, para evitar brillos o reflejos no deseados. Por ejemplo con un vidrio específico se puede reflejar la radiación dañina del sol, para así reducir la transmisión de calor y controlar el deslumbramiento. Por lo que, los materiales pueden ser utilizados para controlar y distribuir la luz en un espacio mediante sus características de alisamiento, color, y transparencia y

de grosor. Pudiendo estos ser descritos en términos lumínicos mediante los “coeficientes de reflexión, transmisión y absorción”, mencionados anteriormente.

**Materiales Transparentes (de alta transmitancia).** Transmiten la luz sin cambiar apreciablemente su dirección o de color, por lo que estos preservan la imagen. Los tipos más comunes son de hoja, la placa de pulido, el flotado y el vidrio moldeado, así como algunos materiales de plástico rígido y los paneles formados.

### Geometría del espacio

La geometría de un espacio está dividida en múltiples aspectos que abarcan (el Volumen, la forma, las proporciones y los desniveles), los cuales son necesarios analizar para tener una visión completa de como ellos influirían en la condición lumínica del lugar.

- En el sub aspecto del “volumen” del espacio, tiene influencia en los distintos aspectos energéticos sea lumínico, acústico y térmico. Aunque desde el punto de vista lumínico, este tiene una incidencia “neutra”, ya que las condiciones lumínicas se mantendrán si ese mismo espacio cambia en su escala.

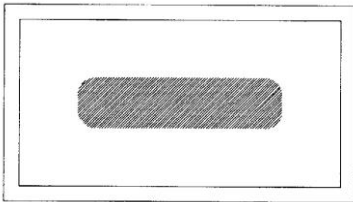


Fig. 60: Zona central oscura en espacios de gran superficie

- En cuanto a la “forma” del espacio, la cualidad de la distribución de la luz, siempre dependerá de la relación de su proyección con la forma, ya que los espacios irregulares y alargados tienden a recibir una iluminación poco homogénea, generándose zonas y rincones más oscurecidos.

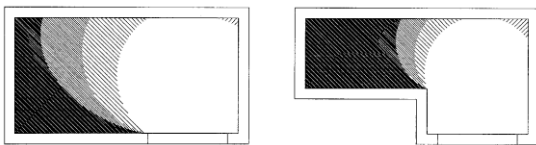


Fig. 61: Fig. Relación de la forma con el reparto de la luz

- Aunque se puede considerar que las “proporciones”, son resultado de la forma, en relación con la iluminación es necesario tener en cuenta que la luz natural que incide lateralmente por un plano vertical, tendrá una profundidad de dos veces la altura del componente de captación (ventana).

- Las diferencias de alturas o “escalonamientos”, puede tener gran influencia en la proyección de luz en el plano de trabajo, dependiendo de los elementos de captación que se usen, en el caso de la ventana, en un espacio escalonadamente descendiente, la iluminación de este será favorable, mientras que si este espacio se encuentra ascendente, habrá una carencia de luz, debido a la inclinación de su proyección.

## 2.5 INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN MÉXICO

### 2.5.1 La Arquitectura escolar en México.

#### 2.5.1.1 El rol de la Arquitectura escolar en la sociedad Mexicana



Fig. 62: Esc. primaria Carlos A. Carrillo, Tamaulipas, Carlos Leduc, 1947

#### La escuela como elemento de identidad

Al cursar un individuo por el proceso de escolarización del sistema educativo actual, en sus distintas etapas. Este experimenta la vivencia de ambientes y estímulos que resultan fundamentales para el desarrollo y definición de una identidad personal y la integración a un sistema social que le rodea.

Cuando nos referimos a la arquitectura escolar, hablamos de algo más que de un diseño objetivo, con requerimientos técnicos para las distintas actividades en el proceso de escolarización, ya que no solo es una base tangible o materializada para dichas actividades, sino que estos espacios pueden incidir de manera directa en la forma en que interactúan sus ocupantes y puede en dado caso propiciar un mejor diálogo entre los mismos alumnos o entre los alumnos y maestros.

La escuela no solo representa un recinto dedicado a la educación sino que en este funge también como una recinto de existencialidad, con todo lo que representa en el “estar en un sitio” y así dar una formación del individuo, humanizándolo y dando forma a una personalidad e identidad que posteriormente le permita incluirle en un conjunto social determinado. Por lo que las instituciones educativas tienen la labor de formar al individuo tanto en su dimensión individual como social. Siendo así recintos tanto de existencialidad como de reconocimiento social, ya que estas “tienden a formar y a socializar a los individuos de acuerdo con un patrón específico, desempeñando un papel esencial en la regulación social global”, (Araño & Porter, 2011: 18). Para que este individuo pueda sentirse parte de un grupo, siendo capaz de desenvolverse en dicho grupo de manera personal y a su vez sensibilizarle para que este sea más permeable al contexto social que le rodea y pueda tanto vivir en el cómo mejorarlo. Es por ello que la definición de identidad del alumno estará en relación permanente con él con el medio en el que este se desenvuelve, en sus formas su plasticidad, su ambientación etc. Ya que “la autoimagen que se genera el alumno, el modelo mental que se hará de sí mismo, su autoestima y su sentido de individualidad estarán afectados

por ese medio en que se mueve y se relaciona con sus compañeros, sus maestros, las ideas y la naturaleza”. (Araño & Porter, 2011: 18).



Es por lo anterior que el diseño de estos espacios debe ser meticulosamente analizado y concebido bajo pleno conocimiento de los efectos que estos puedan tener en la formación de identidad de sus ocupantes, siendo necesario que estos reflejen algo más que un mero recinto físico en donde recibir la información de su enseñanza, y que desprendan un significado simbólico que logre llegar a sus ocupantes pues, “la claridad de diseño, la elegancia, la propiedad y el carácter arquitectónico dejen su huella en los que habitan dicho espacio”.

Lo antes mencionado hace reconocer la necesidad de diseñar la infraestructura educativa en términos no tanto de cantidad, sino de calidad, para hacer de sus espacios no solo lugares que puedan alberguen. Sino que además formen al individuo en su construcción identitaria, mediante su uso constante, fortaleciendo su auto reconocimiento de “ser”, lo reconozca, lo enaltezca y lo humanice, para que este pueda integrarse de manera adecuada a su contexto socio-cultural. Por lo que; El descuido en las cualidades de los espacios educativos, conllevaría a que los estudiantes estén proclives a una crisis identitaria que les aleje de buen auto reconocimiento y les complique su adaptación al medio en el que habitan, ya que la escuela es un medio clave por el cual se construye y fortalece una comunidad, desde la formación individual.

La arquitectura escolar contemporánea en México según Luis Porter debe ser emancipadora, en la que habrá que explorar nuevas alternativas de diseño escolar que sean conscientes de las situaciones socioculturales y ambientales de sitio, para concebir espacios que se adecuen a ellos y sean la base material donde se desarrolló el individuo y la sociedad, ya que tanto la educación como la arquitectura van de la mano bajo los mismo objetivos de ser generadores de desarrollo humano en todas sus facetas.



### 2.5.1.2 Antecedentes de la Arquitectura escolar en México

#### Infraestructura educativa en México antes del siglo XX

La educación en México durante el siglo XIX sufrió cambios significativos en sus estructura de enseñanza en donde los nuevo requerimientos que se dieron hacia finales del siglo, ya que anteriormente los espacios educativos eran en ex conventos o casonas dado a la cantidad de alumnos que atendían, mas no se podían considerar como una arquitectura escolar, ya que las actividades de enseñanza se tenían que adaptar a estos edificios. Los cuales fueron los antecedentes de lo que vendrían a ser los primeros diseños de escuelas públicas en México.

Las condiciones antihigiénicas de los primeros espacios de enseñanza de ex conventos y casas antiguas dejo ver la necesidad de discutir nuevos planteamientos para estos espacios, dado al foco de infecciones que representaban. Y a partir del “Congreso Higiénico Pedagógico” en 1882, se obtuvieron nuevos conceptos que se aplicaron a la infraestructura educativa de finales del porfiriato, en donde se establecieron las pautas para aspectos de diseño y emplazamiento, así como la distribución espacial, orientaciones, ventilación etc. Las cuales posteriormente se establecerían como las primeras normas para estos espacios.

Posterior a la participación en el congreso mencionado, surgieron artículos que se enfocaban en la higiene escolar en donde se hablaban tanto de aspectos materiales como de diseño de espacio educativos, haciendo énfasis en muchos casos en la orientación de estos. Según Vicente Domínguez Roca mencionaba que para un lugar como México, con una variedad de climas, no era posible mantener una sola orientación, siendo “en poblaciones de frio intenso, la fachada debía construirse hacia el sur; en clima templado hacia el oriente y en zonas cálidas, hacia el norte” (Araño & Galván, 2011:32). Haciendo referencia a los efectos que iban implícitos en los cambios de orientación con las distintas condiciones de confort ambiental que se estaban buscando en estos espacios, los cuales tendrían que estar “bañados por los rayos del sol, al abrigo de los fríos y los calores excesivos, de las lluvias y de los vientos húmedos (Domínguez Roca, 1899)” (Araño & Galván, 2011: 32).

Al implementarse a finales del siglo XIX el sistema “moderno” graduado paso de ser la escuela denominada de “primeras letras” a “escuela primaria”, esto cambio la estructura física de los planteles, teniendo que hacer distintas divisiones en los edificios y que estos cumplieran con los aspectos higiénicos “donde la ventilación, la luz y el espacio eran los tres principios más importantes que se tenían que cumplir para garantizar los preceptos higiénicos y la salud de alumnos y maestros que asistirán al plantel escolar (Domínguez Roca, 1899)” (Araño & Galván, 2011: 32).

### Arquitectura escolar pre moderna

Aunque la producción en masa de planteles educativos en el país se dio a partir de los años 20's, durante el primer periodo del siglo XX se dio un clase de diseño tanto en lo educativo como en otro tipo de edificaciones que empezaron a cambiar en su estructura compositiva, que si bien era predominantemente clásica, con una distinguida monumentalidad y expresión mediante el ornamento, esta presentaba una distribución más racionalista que se adecuaba más a los requerimientos del edificio. Dichas distribuciones eran adecuadas a distintos estilos históricos como el románico, el renacentista, el neoclásico a este periodo se le conoce como eclecticismo y clasicismo. Marcando así, un punto de transición hacia una arquitectura marcada por el movimiento moderno que en un futuro sería el estandarte de una nueva e innovadora concepción de arquitectura escolar.

Dado a que la escala de la necesidad de construcción de la infraestructura y la difusión de nuevos materiales y sistemas constructivos, nuevos planteamientos arquitectónicos cobraron fuerza con la formación del llamado "movimiento moderno" donde "los nuevo materiales llegarían para simplificar los procesos constructivos y para ampliar las posibilidades formales de las escuelas" (Araño & González, 2011: 71). Siendo el Arq. Zárraga uno de los pioneros en introducir el concepto racionalista en la concepción arquitectónica del país, donde los planteamientos de diseño marcaron una postura distinta en la praxis de esta actividad. Presentando así, dos proyectos educativos, los (centros educativos agrícolas) y los (centros educativos urbanos). Siendo los primeros, modelos que estarían emplazadas desacuerdo al contexto, tomando en cuenta los aspectos climatológicos y geográficos para su diseño. Mientas que dentro de los "modelos urbanos", se desarrollaron proyectos experimentales que fueron diseñados en base a modelos extranjeros como lo fue la escuela al aire libre, desarrollado en Alemania, donde gran parte de los muros tenían que ser acristalados.

El modelo de "escuela al aire libre" en México fue concebido para que este se construyera bajo tres principios racionalistas como lo fue, un "costo mínimo, facilidad de construcción y consolidación de un modelo estándar". (Araño & de la Rosa, 2011:78). En la construcción de este modelo de escuela, se experimentó con distintas distribuciones y con distintos materiales y procesos constructivos tanto tradicionales como recientes, teniendo como resultado más afectivo el ejemplo de la escuela "Domingo Faustino Sarmiento".

Se puede decir que el modelo de escuela al aire libre represento el primer modelo transitorio hacia un racionalismo más definido, que interpretaba la manera en que este iba introduciéndose y mezclándose con la arquitectura autóctona, de manera que esta se los principios racionalista fuesen primeramente tropical izándose en este tipo de inmuebles de manera experimental hasta llegar a una solución racional más definida.

### Génesis de la arquitectura escolar funcionalista

Mediante esta nueva visión arquitectónica realizaron nuevos edificios educativos que presentaban una estética distinta, más sobria con menos ornamentación y más ligeras. Esta nueva arquitectura funcionalista racional y abstracta llegó a concretarse en su punto más nítido con las propuestas de un joven arquitecto que trabajó bajo las ordenes de Zárraga en su último año como dirigente de Obras del departamento del Distrito Federal, quien colocó a Juan O'Gorman como director del departamento de construcciones de la SEP, quien tras adoptar las propuestas teóricas y prácticas de Zárraga, desarrolló un programa constructivo bajo las exigencias de la SEP que aspiraba a una cobertura de educación tanto urbana como rural en la zona. Teniendo como primer encargo ampliar tanto como pudiera la infraestructura educativa en la Ciudad de México, enfatizando su propuesta en el factor económico, con la intención de que se construyeran tantas como se pudieran.

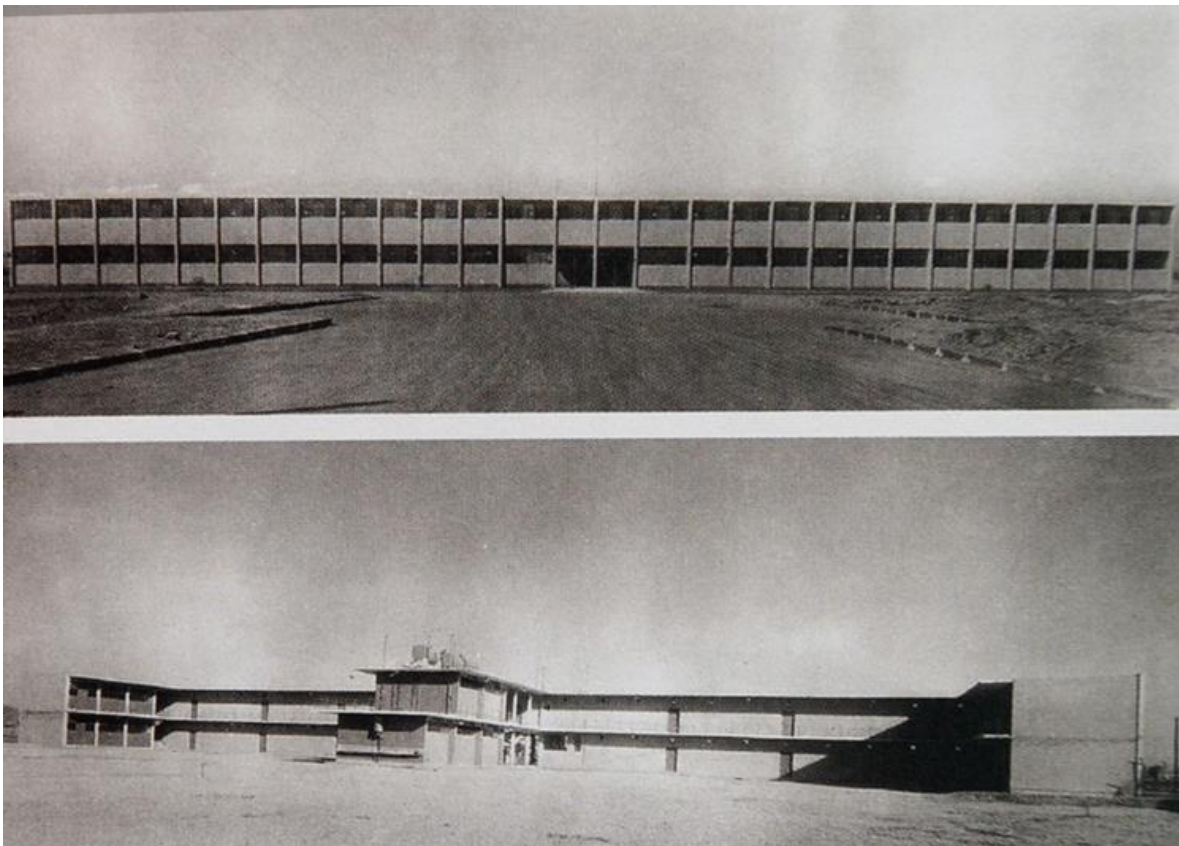


Fig. 63: Juan O'Gorman, Escuela Primaria Colonia Industrial (1932) | Archivo DACPAI-INBA

Este joven arquitecto quien, había desarrollado un pensamiento radicalmente funcionalista, directamente influenciado por las teorías racionalistas del movimiento moderno, logró definir un lenguaje arquitectónico que imponía la operatividad y la economía por encima de las necesidades subjetivas, a lo cual el mismo declaraba que: “la forma externa de las cosas y, por supuesto de la arquitectura, es un “simple resultado” de su eficiencia para la “resolución de problemas”(Juan O'Gorman, en Toltecam num. 22, 1929, p.328). Exponiendo que las necesidades subjetivas no podrían sobreponerse a las necesidades materiales, ya que estas por su naturaleza objetiva y tangible estaban más en contacto con el individuo y por lo tanto eran prioritarias. Lo cual definió

claramente su postura de hacia el pensamiento arquitectónico que aplicaría en la arquitectura educativa. Definiendo con total claridad los propósitos de esta y el cómo debía de ser concebida y materializada.

Al término del primer encargo de O 'Gorman, los resultados superaron las más optimistas expectativas puesto que “con la misma cantidad, o poco menos, con que José Vasconcelos y su arquitecto construyeron una escuela, él y su quipo levantaron 24 y repararon 31” (Juan Legarreta, El arquitecto, 1933, p.13), ayudando a disminuir de manera drástica el déficit de espacios escolares en la Ciudad de México, en un plazo muy reducido en comparación con las construcciones de la época. Lo cual generó un avance en lo que sería el desarrollo de lineamientos más específicos en el diseño y construcción, con la intención de llevar un crecimiento de planteles de manera sistemática con los recursos predestinados.

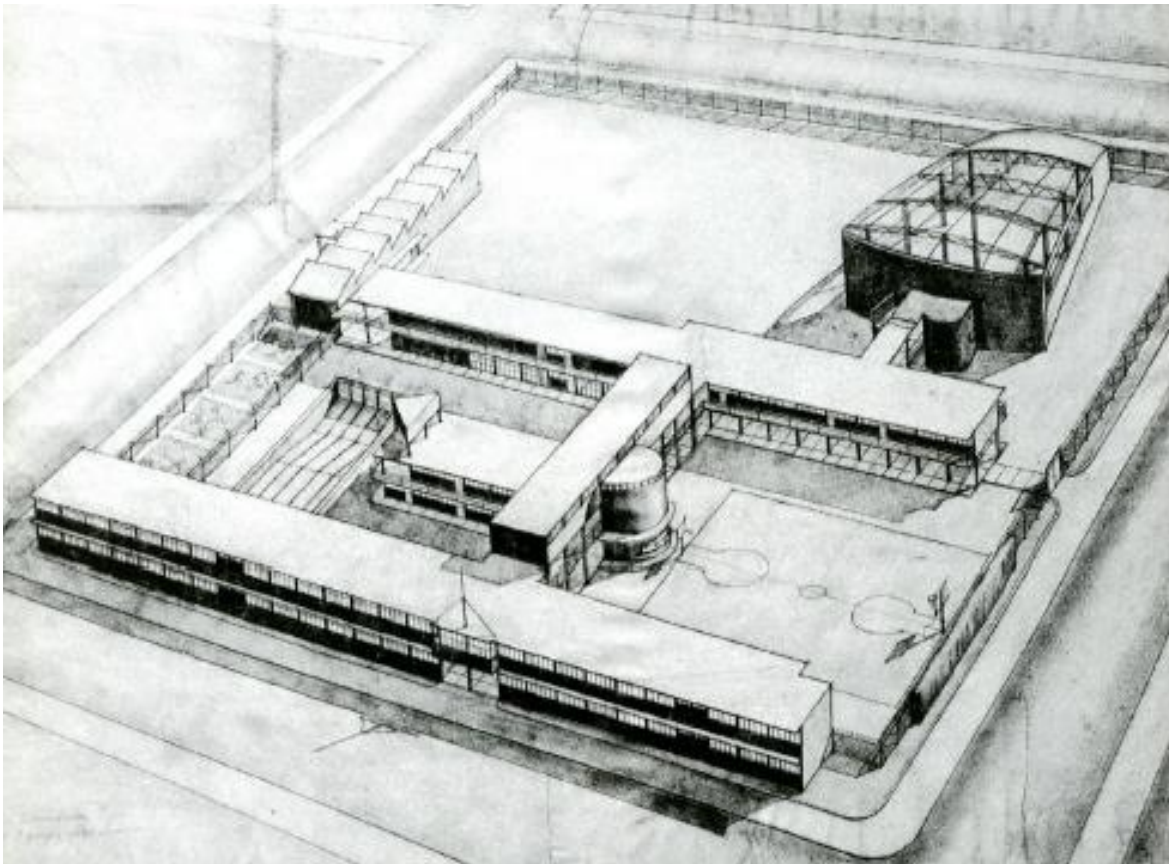


Fig. 64: Juan O 'Gorman proyecto de escuela primaria tipo 1933

Las principales características de las escuelas de O 'Gorman fue una modulación de aulas de 3m de alto por 6m de ancho y 9 de largo, para albergar a 25 alumnos, generando 1m<sup>2</sup> para cada uno y 4m<sup>2</sup> para el estrado del maestro, “dichas dimensiones también producían que la iluminación del salón fuera igual al de una cuarta parte de este” (Xavier Guzmán Urbiola, Arquitectura Escolar SEP 90 años, Los años radicales 1930—1940, 2011, pg.175). Donde los vanos eran corridos de columna a columna, sin variar sus dimensiones y elevados a una altura de 1.5m, los cuales estaban

proyectados siempre en una orientación al este y sureste. Esto principalmente para que las aulas se iluminaran y calentaran durante la mañana.

Los tonos fueron de las superficies de muros fue también manejado con cuidado, empleando colores que los suficiente mente oscuros en aquellos muros exteriores para que estos no reflejaran la luz de manera excesiva, mientras que en el interior de las aulas, se emplearon colores claros para crear un ambiente más luminoso.

Todos los espacios estaban entrelazados a cubierta, acomodados en forma de T o E y en escuadra, eran escuelas limpias en su trazo y marcadas por una peculiar estética de rigidez y orden sin precedentes en nuestro país. En ella se tomaba se reflejaba una planeación de crecimiento con un diseño progresivo, ya que estas podían ampliarse tanto horizontal como verticalmente sin alterar la estructura distributiva del edificio. Lo cual era posible gracias a la modulación y agrupación de los espacios, los cuales fueron diseñados bajo métricas extranjeras, “dado que O ‘Gorman proyectaba las escuelas y su mobiliario usando los módulos y estándares estadounidenses o alemanes” (Xavier Guzmán Urbiola, *Arquitectura Escolar SEP 90 años, Los años radicales 1930—1940*, 2011, pg.179).

O ‘Gorman remarco la franqueza de sus escuelas afirmando que nada sobraba en ellas, en las cuales se eliminó cualquier ornamento o detalle superfluo, quien menciona que “con distribuciones bien estudiadas se han logrado escuelas sencillas, cómodas, higiénicas aireadas, luminosas y durables. No hay en ellas mentiras arquitectónicas, todo es sincero, nada sobra” (Juan O ‘Gorman, *Escuelas primarias*, 1933, pg.15).



Fig. 65: Juan O ‘Gorman, Escuela primaria Melchor Ocampo (1932)

El éxito del programa 1932-1933 fue abrumador, con lo cual se encontró una posible solución técnica para la edificación educativa que estuviera acorde a la realidad económica. Y de esta manera las propuestas de O 'Gorman son tomadas por muchos como un momento clave para infraestructura nacional, ya que sus planteamientos aún permanecen vigentes en el diseño y construcción espacios educativos.

O 'Gorman llegó a realizar posteriormente modificación en cuanto a los planteamientos de diseño de las aulas, ya que como tema de tesis presentaría el proyecto de una primaria en Tampico, en donde dejó ver la experiencia en este tipo de edificaciones y la adaptación a otros climas, haciendo cambios a las mediadas de las aulas y a sus orientaciones. Siempre apelando a los lineamientos generales de las escuelas construidas en 1932, O 'Gorman hace saber en la memoria descriptiva, que en este proyecto necesitaba modificarse en base a distintos criterios del sitio. Por lo que dio mayor altura a las aulas pasando de un modelo de 3X9X3, a 3X9X4, así como una mayor área de superficie de ventanas para mayor ventilación y una dirección única para todo los espacios, con la intención de que estos recibieran los vientos dominantes del sur y sureste y a su vez evitar la entrada directa de los rayos solares por medio de aleros y a su vez proyectando la escuela en una sola planta con amplios patios

Los proyectos realizados en la Ciudad de México fueron retomados por otros arquitectos en el Departamento de Edificios de la SEP en los años siguientes, adecuándolos a distintos entornos climáticos y urbanos mediante orientaciones y usos de materiales disponibles. Mediante modelos de escuelas con una clara influencia de estos primeros planteles, así, Carlos Leduc, quien colaboraba con O 'Gorman, realizó una escuela donde profundizó en aspectos externos al proyecto como la problemática local y las condiciones climáticas, así así poder ajustar el proyecto al contexto específico en el que se encontraba. Con ello Leduc contribuyó a que los proyectos posteriores se optimizaran en base a la situación específica del lugar.

Las propuestas realizadas por O 'Gorman y Leduc, realizadas con el equipo del Departamento de Edificios de la SEP, fueron emuladas en mayor o menor medidas en los años posteriores, llevando de por medio la notable eficiencia de los recursos y capacidad de adaptación a los distintos climas y a su vez puso en evidencia la inviabilidad de aquella arquitectura individual para esta tipología de edificios en aquel entonces, a lo cual Xavier Urbiola comenta:

“Ésta arquitectura estandarizada y sensible a los climas diversos, materiales locales y procesos constructivos modernos logro, aunque a veces con concesiones formales, lo que no podía la arquitectura pensada como única, irrepetible y protagónica”. (Xavier Guzmán Urbiola, *Arquitectura Escolar SEP 90 años, Los años radicales 1930—1940*, 2011, pg.181).

Con ello se pudo encontrar una solución real a la crisis de planteles educativos que existía en el país, mediante una construcción masiva de escuelas que se dio en las décadas posteriores.

### **Estandarización como carácter emblemático de la Arquitectura escolar**

En los años cuarenta, tras notables avances en los procesos constructivos y optimización de recursos, llevados a cabo en algunas partes del país, hizo necesaria la creación de una institución que aplicara dichos avances a un nivel nacional, por lo que se fundó “en 1944 del CAPFCE por iniciativa de Jaime Torres Bodet”. Dicho organismo fue creado bajo objetivos específicos los cuales eran (Organizar y dirigir un sistema nacional de localización, distribución y construcción de escuelas, basados en principios técnicos y económicos). En donde se llegó a administrar cantidades muy superiores a la que administraciones anteriores habían manejado, pasando de 30 millones de pesos iniciales a más de 50 para el año de 1944.

Mediante los programas de infraestructura educativa empleados por el CAPFCE a partir de 1958 se logró generar identidad modernizada de monumentalidad que paulatinamente fue apartando al estilo neocolonial que identificaba al nacionalismo histórico, por el de una imagen modernizada vanguardista.

De entre los logros más importantes que se logró en el prolongado funcionamiento de este organismo fue la construcción de modelos que se adecuaron en mayor medida a los distintos tipos de clima, así como una construcción a base de piezas prefabricadas para reducir complicaciones y tiempos de construcción, diseño de mobiliario escolar y una construcción en serie de “Aula-Casa Rural” propuesta por el Arq. Pedro Ramírez Vázquez. Proyectos que fueron reproducidos en masa en gran parte del país y que marcaron un notable avance en la meta de proporcionar educación a todos los sitios.

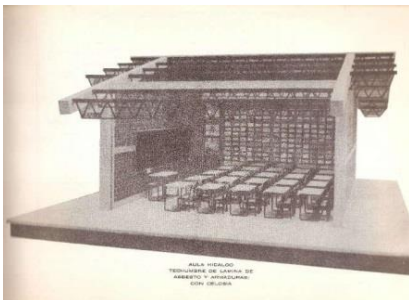


Fig. 66: Aula Hidalgo, 1958, Pedro Ramírez Vázquez

Durante las primeras décadas de la creación de CAPFCE, hubo un gran dinamismo en la creación de propuestas para el mejoramiento de los planteles educativos, con la intervención de arquitectos capaces y creativos, quienes desarrollaron distintos lineamientos por medio de modelos experimentales con distintas técnicas de construcción y materiales, muchas veces influenciados por corrientes teóricas que se estaban dando en aquellos momentos en otros lugares, ya que “En estas escuelas se puede distinguir la influencia de las vanguardias arquitectónicas, tales como el constructivismo ruso, el expresionismo alemán, la Bauhaus o los

planteamientos de Le Corbusier”( Axel Arañó, *Arquitectura escolar SEP 90 años*, 2011, pg. 231). Estos nuevos modelos desarrollaron nuevas tecnologías y materiales, adecuándose cada vez más a las condiciones climáticas y culturales del sitio.

Durante el cargo de Jaime Torres Bodet, creador de CAPFCE, convocó a sus arquitectos a desarrollar un sistema para la construcción de escuelas de aulas de manera modular y progresiva, con el cual se abasteciera de escuelas de una manera más acelerada en todo el país. Lo cual se dio inicialmente en las escuelas de los 50's como la primaria Josefa Ortiz de Domínguez en Veracruz, que formaron los antecedentes de una estandarización y modulación que agilizaran y economizaran la construcción. Lo cual se perfeccionó en años posteriores por arquitectos como Pedro Ramírez Vázquez, quien experimentó con una metodología constructiva a base de marcos de cero prefabricados. Lo cual se convertiría en el proceso de construcción que adoptaría el CAPFCE de miles de aulas en los distintos climas del país y el cual se replicaría por varias décadas.



Fig. 67: Estructura prefabricada de aulas rurales, Pedro Ramírez Vázquez

## **2.5.2 Estado actual del aula didáctica en México**

### **2.5.2.1 Descentralización y nuevos retos globales en la infraestructura educativa**

#### **Descentralización de CAPFCE y origen del INIFED**

Desde 1977 CAPFCE inició un lento proceso de descentralización hasta que en 1996 con el programa de Nuevo Federalismo, se firmó un decreto para su descentralización en donde a partir de ese momento el organismo pasaría a ser un referente normativo y de asistencia técnica. Con lo cual cada entidad federativa se encargaría de crear sus propios organismos y así delegarles las responsabilidades administrativas y operativas en el desarrollo de la infraestructura educativa en los distintos niveles de educación. Siendo que a partir del periodo 2000- 2006 dicho proceso fue completado en el total de las entidades, las cuales ejercerían de manera autónoma, las funciones que anteriormente hacía el CAPFCE. “Sin embargo, el Gobierno Federal no eliminó la responsabilidad del CAPFCE “de emitir normas para garantizar calidad de la INFE” (Velasco & Arañó, 2011: 226. Por lo que se creó el Instituto Federal de Infraestructura Física Educativa INIFED, cuyas facultades y atribuciones tendrían como base la extinta CAPFCE.



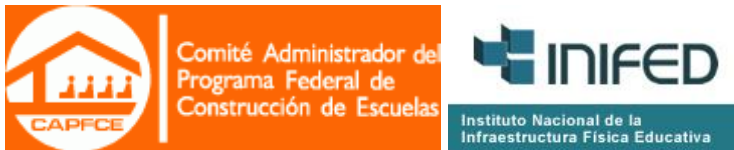


Fig. 68: Logotipo CAPFCE e ICIFED

El INIFED fue fundado bajo la insignia de su predecesor, sin embargo fue creado como un organismo público descentralizado del Gobierno Federal, con autonomía técnica y de gestión para el cumplimiento de sus facultades. Así como capacidad normativa y de consultoría, así como de certificación de calidad.

### 2.5.2.2 Normativa de iluminación en las aulas didácticas en México

#### Modalidad de los diferentes niveles educativos

Los niveles educativos y sus modalidades serán los siguientes:

##### Educación Primaria

a) Estará dedicada a la atención de niños de seis (6) a catorce (14) años de edad. Los grupos serán de un mínimo de treinta y dos (32) alumnos y un máximo de cuarenta y ocho (48). La estructura educativa mínima constará de seis (6) grupos y la máxima de dieciocho (18).

(ICIFED, 2009, p.4)

##### Espacios educativos

Los espacios educativos, según la función a que vayan a estar destinados, se clasifican en curriculares y no curriculares

##### Curriculares

Son aquellos espacios destinados a la impartición de clases, es decir, los que tienen como función cumplir con los planos con base en las cargas horarias, teóricas y prácticas. Los espacios curriculares se dividen a su vez, en:

##### Curriculares académicos

Son los que necesitan las materias que corresponden a las áreas del conocimiento básico, tales como: Ciencias sociales, ciencias exactas, ciencias naturales y ciencias del lenguaje, y tienen alguna otra materia como antecedente. Estos espacios son prioritarios con relación a los demás.

(ICIFED, 2009, p.10)

##### Curriculares no académicos

Son los que necesitan las materias que no requieren ningún tipo de antecedente, y están destinadas al desarrollo del alumno en funciones de coordinación física-mental, actividades deportivas, ocupacionales y de adiestramiento, así como de participación en la sociedad.

**Normativa ICIFED en iluminación**

Volumen 3

TOMO I: DISEÑO ARQUITECTONICO

Iluminación natural.

La iluminación cenital proporciona el cociente diurno más alto y varía de acuerdo con el ángulo de penetración de los rayos solares.

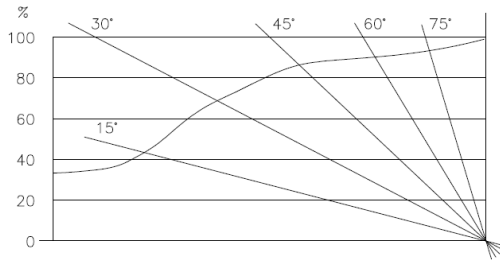


Fig. 69: Variaciones del cociente diurno (ICIFED, 2009, p.5)

COEFICIENTES DIURNOS MINIMOS	
Tipo de actividad	Coefficiente
Actividades escolares normales	2%
Clases de primaria y secundaria	4%
Laboratorios y talleres de máquinas	6%
Talleres de dibujo y costura	10%

Tabla 20: (ICIFED, 2009, p.5)

La calidad de la luz es tan importante como la cantidad que se recibe dentro de un local. Se obtiene mediante una difusión uniforme evitando contrastes bruscos y deslumbramientos. El plafond y las paredes son los elementos reflejantes más importantes para lograr una difusión uniforme. El piso es el reflector más poderoso, pero en sentido inverso, por lo que de preferencia no debe ser brillante. Se consideran los siguientes valores del por ciento de luz reflejada para:

VALORES DE PORCENTAJE DE LUZ REFLEJADA	
Plafond	75 %
Muros	55%
Mobiliario	50%
Pizarrones	20%

Tabla 21: (ICIFED, 2009, p.5)

Elementos	Puerta de lámina de acero porcelanizado	Puerta de aluminio	Puerta de triplay de pino	Cerradura jaladera ambos lados	Cerradura de pistillo y Manija Cilíndrica	Vidrio templado 6 mm	Vidrio filtrado templado 6 mm
Espacio	/				/		/
Salón de clases	/				/		/

Tabla 22: materiales de acabados y elementos (inifed, 2013, p.34)

### Diseño Arquitectónico: Educación Básica – Primaria (criterios normativos)

REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	
Carácter y ambientación	- Orientación: Norte – Sur.
	- Temperatura 18º a 25º Celsius.
	- Iluminación natural. Mínimo 17% del área del local. La entrada de luz natural se controlará para minimizar las ganancias térmicas y el deslumbramiento.
	- Ventilación: Natural cruzada. Mínimo 1/9 del área del local.
	- Acústica: 25/35 dB (silencioso o moderado).
	- Humedad relativa: 50%
	- Cada salón proporcionará un ambiente de aprendizaje, donde se desarrolle la comunicación y las interacciones que posibilitan el aprendizaje y se estimule la creatividad.

Tabla 23: (ICIFED, 2013, p.9)

Salones de clases.	350-400 luxes
Bibliotecas.	600 luxes
Talleres y Laboratorios.	350-600 luxes
Aulas de Cómputo.	350-400 luxes
Oficinas en general.	350-500 luxes
Sanitarios.	200 luxes
Circulaciones.	200 luxes
Cafeterías.	300 luxes
Alumbrado Exterior.	10 luxes
Estacionamientos.	20 luxes
Locales no Específicos.	350 luxes

Tabla 24: Niveles de iluminación en aulas de clase, (ICIFED, 2013, p.25)

Volumen 3

TOMO III: DISEÑO DE MOBILIARIO

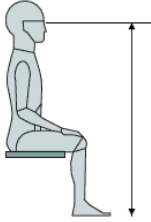


Tabla 25: Altura de la vista de alumnos de nivel primaria

Somatometría		
Altura de los ojos en posición sentado		
Grado	Edad en años	Medida en cm
1º - 2º	6 a 8	81.2
3º - 4º	8 a 10	89.0
5º - 6º	10 a 12	93.8
7º	12 a 13	96.5
8º	13 a 14	99.8
9º	14 a 15	104.4
Promedio adulto		112.0
Aplicación: dimensionamiento de altura para facilidad visual al pizarrón		

Tabla 26: (ICIFED, 2009, p.4)

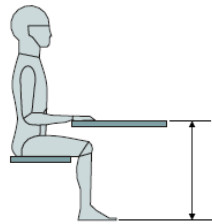


Tabla 27: Altura de la base del pupitre

Aplicación		
Dimensionamiento de la altura de la superficie de trabajo sentado		
Grado	Edad en años	Medida en cm
1º - 2º	6 a 8	45.8
3º - 4º	8 a 10	50.1
5º - 6º	10 a 12	53.6
7º	12 a 13	54.0
8º	13 a 14	56.5
9º	14 a 15	58.7
Promedio adulto		72.0

Tabla 28: (ICIFED, 2009, p.6)

## CAPITULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA GENERAL

#### 3.1.1 Definición de parámetros

##### 3.1.1.2 Parámetros de Confort visual a evaluar

En base al análisis conceptual del marco teórico se pudo determinar que en base a las recomendaciones de hechas por la IESNA respecto a las parámetros a tomar en consideración en espacios educativos respecto al aula de clase y las definiciones de autores como Andrea Pattini, Anon y Veitch, se han tomado como parámetros a evaluar dentro del confort visual los siguientes:

Iluminancia

- Nivel de iluminancia media horizontal
- Distribución de iluminancia horizontal (uniformidad)

Luminancia

- Radios de iluminancia

Deslumbramiento

- Índice de probabilidad de deslumbramiento de luz de día (daylight glare probability)

Siendo las mediciones del nivel de iluminancia las que describen la cantidad de iluminación mientras que la uniformidad de esta cantidad de luz, así las mediciones de luminancia y deslumbramiento describen la calidad de la misma. Para lo cual se tomaron como referencia a seguir las métricas propuestas por la IESNA para estos parámetros, con las cuales se compararán los valores que arrojen las mediciones tanto en campo como digital.

Para estos parámetros se tomaron como valores de referencia los descritos en el punto (2.3.4.1) del marco teórico, los cuales serán empleados para el análisis de las distintas mediciones que se realicen tanto en campo como digitalmente.

### 3.1.2 Metodología de la recolección de datos

#### 3.1.2.1 Esquema metodológico general

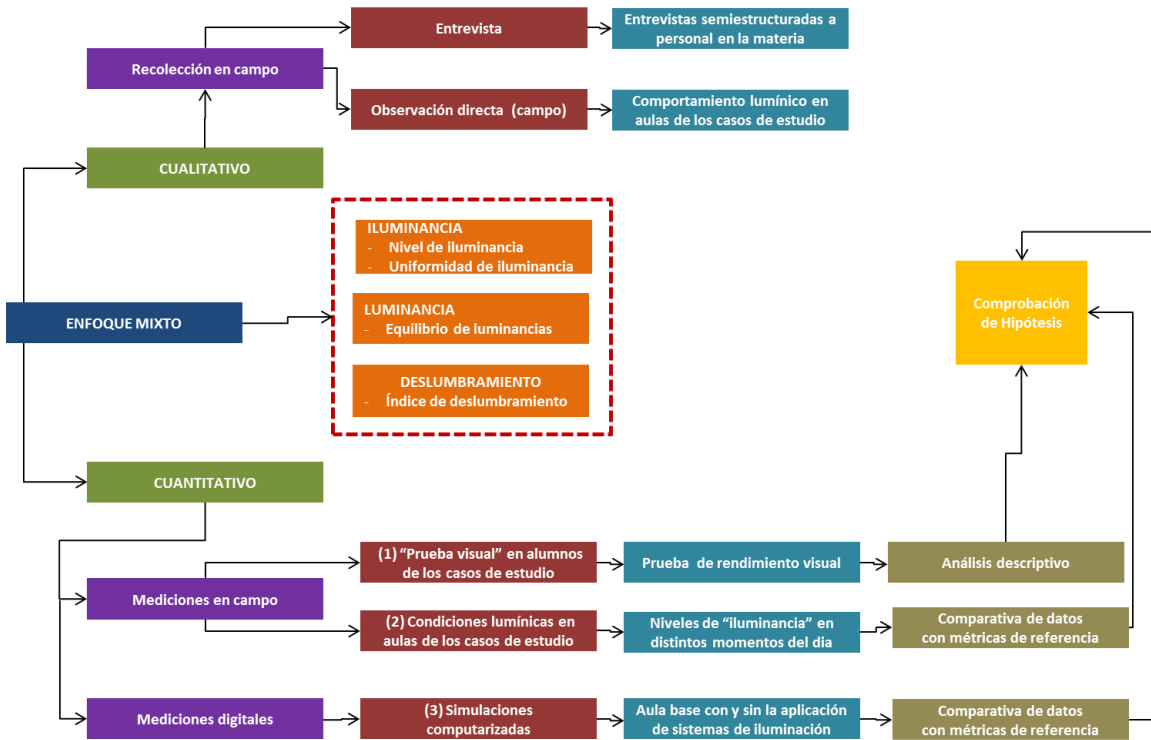


Tabla 29: Esquema metodológico general

La investigación tuvo un enfoque mixto, predominantemente cuantitativo, en donde la parte cualitativa, la cual se llevó a cabo mediante entrevistas a personal ICIFED de N.L. encargados del diseño y ejecución de los modelos de planteles educativos, así como a personal del IMES delegación Noreste, que les auxilio en el diseño de los modelos de escuelas sustentables. Con quienes se tuvo un conocimiento de la situación actual de la infraestructura educativa respecto a su diseño en términos de tanto confort ambiental como de configuración formal.

A su vez la parte cualitativa tuvo que ver en la parte de apreciación de las condiciones físicas y lumínicas de las aulas didácticas en los casos de estudio.

La parte cuantitativa se dividió en dos secciones respecto a la toma de datos, divididos en mediciones de campo y mediciones digitales, de las cuales se emanaron tres tipos de recolección de mediciones. Siendo en que en las mediciones de campo la primera toma fue hecha en base a una prueba de rendimiento visual a los usuarios de los espacios dentro de las aulas de los casos de estudio y la segunda fue para las mediciones de los niveles de la variable “iluminancia” en las aulas en distintos momentos del día sin la

presencia de los ocupantes. Mientras que las mediciones digitales se llevaron a cabo en su totalidad a base de simulaciones computarizadas de las condiciones lumínicas del total de variables de confort visual (iluminancia, luminancia y deslumbramiento) que se presentaban en el aula base con y sin la implementación de sistemas de iluminación.

### 3.1.2.2 Secuencia de recolección y análisis de datos

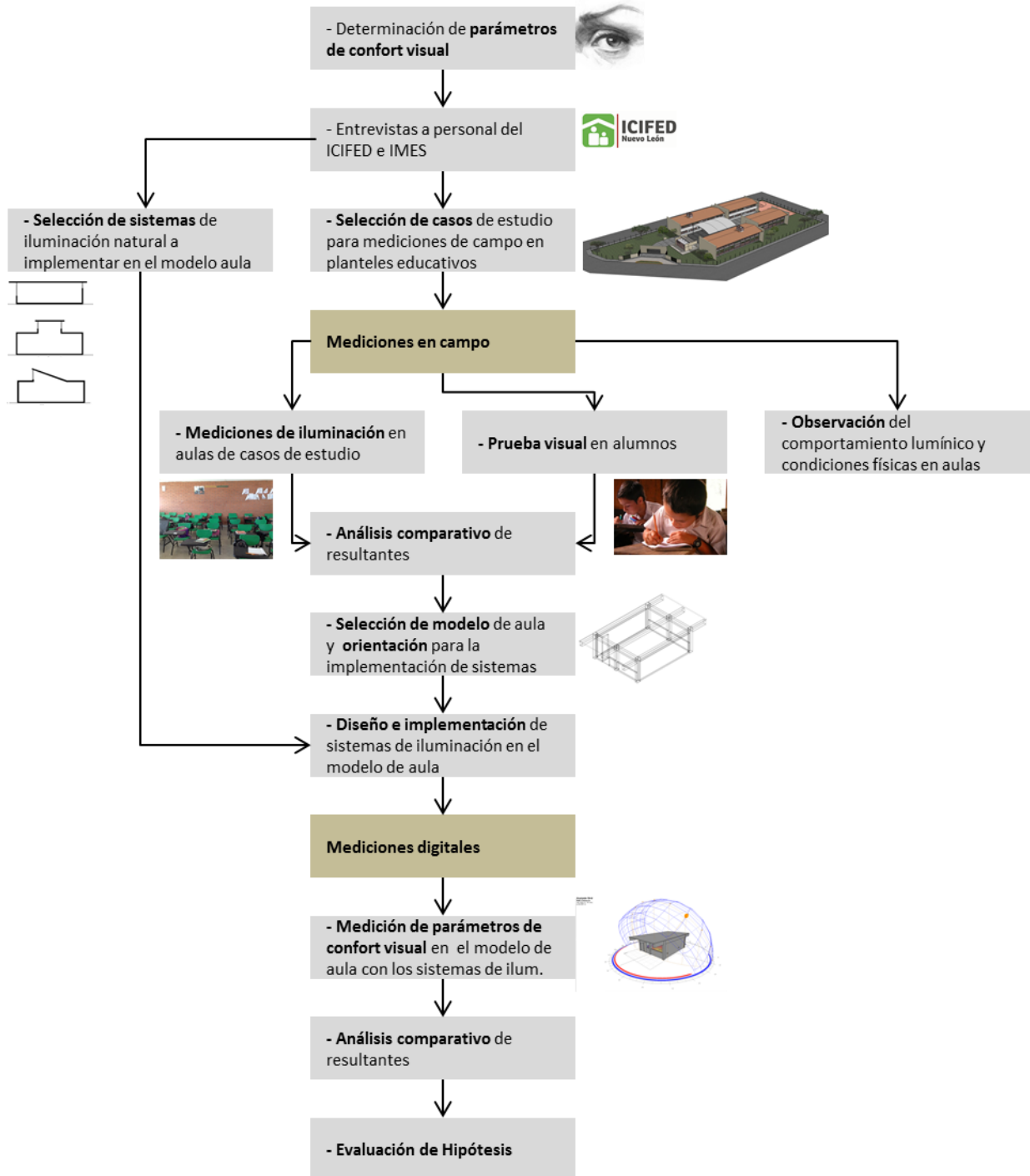


Tabla 30: Diagrama de secuencia de recolección

### 3.1.2.3 Entrevistas a personal de ICIFED e IMES

Inicialmente se construyó un cuestionario para realizar entrevista semiestructurada con el personal de Instituto Conductor de Infraestructura Educativa ICIFED de Nuevo León en el departamento de proyectos, para conocer la situación actual de los planteles educativos en la zona de estudio, tanto en sus condiciones iluminación natural como de otros aspectos de su diseño como su organización espacial, dimensiones, emplazamiento etc. Con lo cual se tuvo un primer acercamiento a la situación real del tema.

También se entrevistó a personal del Instituto Mexicanos de la Edificación Sustentable IMES Noreste que estuvo colaborando con el ICIFED para el diseño de los recientes modelos de planteles, denominados “escuelas sustentables”, quienes también brindaron información referente a los cambios que habían sucedido con estos modelos respecto a los anteriores y el tipo de innovaciones respecto a la iluminación de las aulas.

En posteriores etapas se realizaron nuevamente a personal del ICIFED para comentar los avances en la investigación, así como de los planteles educativos que fueran a ser estudiados en campo. Para lo cual hubo facilidad de su parte de otorgar material gráfico de los distintos planteles para las distintas mediciones.

### 3.1.2.4 Sistemas de iluminación natural a evaluar

Para poner a prueba los sistemas de iluminación natural se tuvo que hacer un análisis de las cualidades físicas que estos presentan, descritas en el marco teórico para determinar la factibilidad de aplicación de estos sistemas al modelo de aula base en términos lumínicos y térmicos.

Del total de sistemas de iluminación natural catalogados por la IESNA, se tuvieron que descartar aquellos que contaran con elementos de captación de luz que estuvieran dispuestos de forma horizontal como lo son el sistema “claraboyas” (skylight) y del sistema “atrio” (atrium). Esto debido a las consecuencias tanto visuales como térmicas que pueden desencadenar debido a las condiciones climáticas del sitio. ya que tomando en cuenta que el ángulo de incidencia solar en la latitud del lugar (25° 40' N) es de 42° mínimo y 88° máximo. Eso representaría una proyección directa de los rayos solares al interior del aula. Que en términos visual generaría situaciones constantes de deslumbramiento dado a que la irradiación solar de la eficiencia luminosa en el lugar es de 450 W/m<sup>2</sup>.



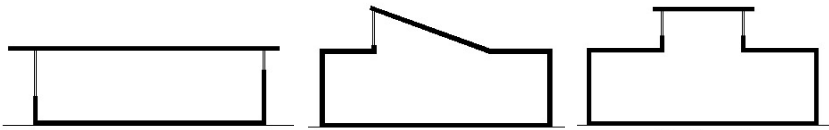


Fig. 70: Sistemas de iluminación natural (bilateral, clerestorio y lucernario)

En base a lo anterior también desde el punto de vista térmico traería complicaciones notables ya que según los historiales de red nacional de estaciones del INIFAP, en el AMM se cuenta con un radiación global (solar directo, difuso) en promedio anual superior a los  $400 \text{ w/m}^2$ , llegándose a dar en los extremos superiores del año hasta valores por encima de los  $600 \text{ w/m}^2$ . Como ocurrió en julio del 2012 ( $609.22 \text{ w/m}^2$ ), por lo que estos niveles de radiación equivaldrían a ganancias térmicas considerables en el interior del aula, dado al grado de inclinación de los rayos solares.

A su vez se ha determinado no considerar el sistema de dientes de sierra (sawtooth), debido principalmente a que este comparte el mismo principio de captación que el sistema de claraboyas (clerestory), a base de elementos de captación cenitales unidireccionales, con un eje de inclinación en la cubierta que determina el tamaño del vano y que en si la primera describe una repetición equidistante de la segunda. Lo cual en base a las entrevistas realizadas al personal del ICIFED, representaría cierta complejidad estructural para su aplicación, dado a las dimensiones del aula.

En cuanto a los sistemas de captación lateral, se optó por descartar el sistema unilateral dado a que la normativa federal del ICIFED en su Volumen III “habitabilidad y funcionamiento”, tomo I “diseño arquitectónico”, recomienda que en caso de no contarse con sistemas mecánicos de renovación de aire, se recurra a una ventilación cruzada de ventilación natural, de por lo menos  $1/3$  de la ventana la cual debe ser tener un área mínima de  $1/9$  respecto al área del local. Por lo que únicamente se tomara el sistema bilateral, que es el que actualmente se aplica en las aulas de los modelos de planteles educativos a estudiar.

En síntesis a lo anterior, de los sistemas de iluminación natural categorizados por el IESNA, únicamente se analizarán tres sistemas, uno de captación lateral correspondiente al “sistema bilateral” y dos de captación cenital correspondientes a los sistemas de “claraboya” y “monitor”. Estos últimos se combinarán con el primero, ya que serán implementados al modelo de aula base que cuenta con el sistema bilateral.

### **3.1.2.5 Prueba Visual**

Se determinó realizar una evaluación visual a los alumnos de las aulas didácticas de los planteles escolares que se seleccionen a base de una prueba de “rendimiento visual”, el cual tiene que ver con la realización de una tarea visual en determinado tiempo, bajo circunstancias ambientales conocidas. Esto se hace con la intención de acercarnos al grado de confort visual que los alumnos pueden tener en las aulas a evaluar, desde un punto de vista más directo con el usuario.

Esta prueba se diseñó para contar con un mayor conocimiento de las condiciones lumínicas y de confort visual que propiciara las aulas en un determinado número de aulas y planteles escolares que reflejaran un porcentaje suficiente, para que estos resultados puedan tener un valor estadísticamente significativo en relación con la población total de planteles. Lo cual describa la manera en que el diseño y las condiciones de iluminación de dichos modelos de planteles pueden afectar el confort visual de sus ocupantes.

### **3.1.2.6 Condiciones lumínicas en aulas**

Se realizaron mediciones de parámetro de “iluminancia” sobre la cantidad y la uniformidad de la iluminación en aulas seleccionadas de los casos de estudio en distintos momentos del día, esto con la intención de tener un conocimiento más amplio de la situación de iluminación que generan estos espacios en los lapsos de tiempo en que comúnmente son utilizados y así tener una mayor validez sobre el diagnóstico que se pueda realizar de estos.

La toma de las mediciones en campo se tendrá que realizar bajo iguales circunstancias tanto climáticas como temporales, es decir que estas tienen que ser tomadas bajo las mismas condiciones de cielo y momentos del día en los distintos planteles. Esto para poder hacer una comparativa entre los valores obtenidos en las distintas aulas.

### **3.1.2.7 Observación directa**

En la observación directa en las aulas de los casos de estudio, se usaron notas de campo en donde se pudo capturar la descripción de las aulas, tanto en sus características formales, como de ambiente y de comportamiento lumínico en los momentos en que se realizaron las mediciones de “iluminancia”. A su vez se registraron algunos fenómenos que se presentaron en estas aulas que tiene que ver con la cuestión de lumínica como lo

fue; la colocación de objetos en ventanas o luminarias artificiales encendidas etc. De igual manera se tomó nota de algunos comportamientos que pudieron haber tenido los usuarios en relación a las condiciones de iluminación de lugar, como lo fue el acomodo de los pupitres o la concentración de alumnos en determinados puntos del aula.

### **3.1.2.8 Mediciones digitales**

Para el estudio del funcionamiento lumínico en términos de confort visual del aula base y de los distintos sistemas de iluminación a emplear en él, se decidió recurrir a software o programas computacionales que permitieran la simulación o recreación de las condiciones lumínicas que se darían en el interior del aula en distintos momentos del día y del año. Esto dado a la capacidad de realismo y de objetividad de las condiciones ambientales que tienen estos nuevos métodos de medición, lo cual ayuda a generar un grado mayor de predicción sobre las condiciones lumínicas que se puedan presentar en aula con y sin el implemento de las sistemas de iluminación en distintos tiempos del día y del año, bajo distintas condiciones de cielo.

En base a lo descrito en el marco teórico respecto a la definición de “estrategias de diseño” de Andrea Pattini, el cual hace referencia a la manera en que el edificio resuelve los problemas de iluminación únicamente con sus características geométricas. Con independencia tanto de su materialidad en recubrimientos y acristalamientos así como de componentes tecnológicos, ya sean mecanismos de distribución de luz o para protección de la misma.

Respecto a lo anterior es necesario recalcar que no se tomaran en cuenta las características de la materialidad de las superficies interiores, así como el tipo de acristalamientos que actualmente se aplican en el aula base en las mediciones digitales, optándose por tomar un solo tipo de materialidad con un mismo índice de reflectancia para las superficies internas (muros plafond, piso), así como un tipo de acristalamiento estandarizado para las todas la ventanas con un mismo índice de refractancia.

## 3.2 UNIDAD DE ESTUDIO

### 3.2.1 Descripción geométrica del aula didáctica de los casos de estudio



Fig. 71: Interio aula didactica (modelo 2012)

El aula base que actualmente se usa en los modelos de escuelas sustentables del año 2012, mantiene una estructura similar a los modelos que el preceden en cuanto a su modulación a base de marcos equidistantes, lo cuales en este caso son a 3.24m, formando con dos de ellos el área del aula que genera una planta de forma rectangular con 6.5m de ancho y 8m de largo, sin desniveles interiores con una altura de 2.1m, en la que se proyectan dos de sus cuatro fachadas con vanos corridos entre marcos que comienzan a una altura de 1m hasta llegar a 2.52m a la viga estructural.

Existen diferencias importantes para esta investigación entre el aula didáctica del modelo de plantel del 2012 con el del modelo 2013, principalmente en el área de acristalamientos con que cuentan, ya que el área del 2013 es significativamente menor al área del 2012, debido a que en una de sus dos fachadas acristaladas, las ventanas corridas comienzan a una altura de 1.7 lo cual disminuye la capacidad de iluminación natural.

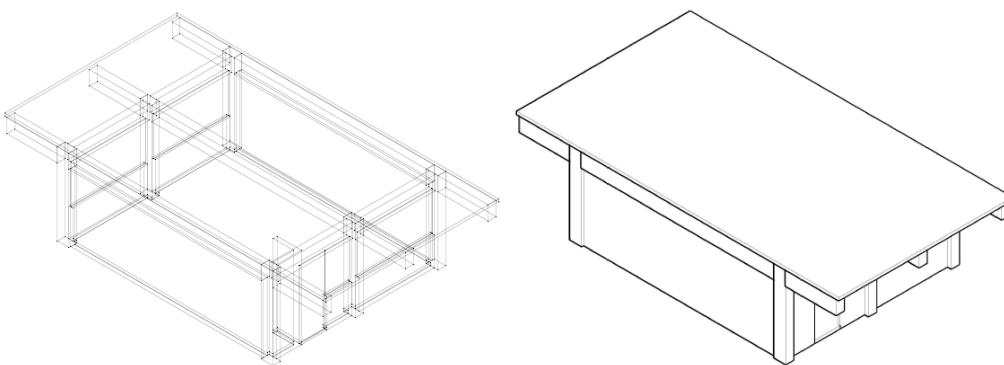


Fig. 72: Vistas axonometrías del modelo base de aula didáctica

### Aula didáctica del modelo de plantel 2012

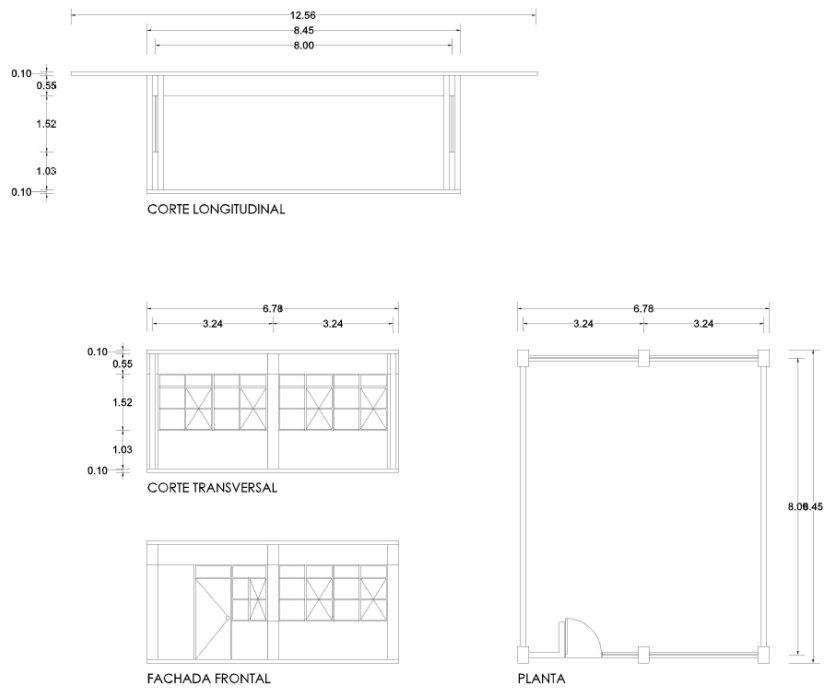


Fig. 73: Planearía del modelo de aula didáctica de planteles 2012

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	aula didáctica 2012	
	área del aula (m <sup>2</sup> ) = 52	largo (ml) = 8
		ancho (ml) = 6.5
	área de vanos (m <sup>2</sup> ) = 14.7 7.6% del área de planta	largo (ml) = 9.8
		ancho (ml) = 1.5
	posición de vanos	a 1m del nivel de piso
aleros en ambos costados	2.0 m	

Tabla 31: Características geométricas del aula en planteles 2012

### Aula didáctica del modelo de plantel 2013

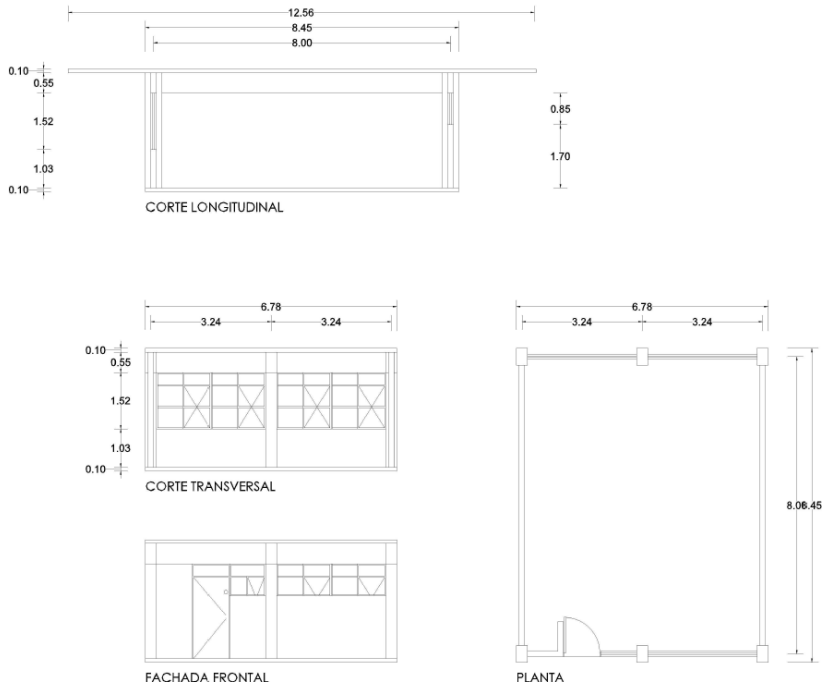


Fig. 74: Planearía de modelo de aula didáctica en planteles 2013

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	aula didáctica 2013	
	área del aula (m2) = 52	largo (ml) = 8
área de vanos (m2) = 11.5 5.98% del área de planta	Fachada 1 largo (ml) = 4.9	Fachada 2 largo (ml) = 4.9
	Fachada 1 ancho (ml) = 1.5	Fachada 1 ancho (ml) = 0.85
posición de vanos	Fachada 1 a 1m nivel de piso Fachada 1 a 1.7m nivel de piso	
aleros en ambos costados	2.0 m	

Tabla 32: Características geométricas del aula en planteles 2012

### 3.2.2 Descripción de los modelos de escuela a evaluar



Tabla 33: Vista elevada de modelo de planteles escolares 2012

#### Modelo de escuela sustentable 2012

##### FORMAL

El diseño formal de este modelo de escuela no difiere en gran medida de los planteles construidos bajo la antigua CAPFCE, organizados a base de espacios modulares construidos mediante marcos equidistantes a 3.2m con lo cual se conforma un núcleo o conjunto de aulas, proyectando un conjunto de máximo cuatro edificios de iguales dimensiones y emplazados en la misma dirección, cada uno de estos edificios mantiene una volumetría de prima rectangular en el espacio de aulas, las cuales se proyectan de manera modular a lo largo del edificio, en donde cierran dos muros ciegos en los extremos más angostos que sobresalen a lo largo y ancho del edificio aprox. 2 m a lo largo de cada lado y a lo alto 0.5m, dejando una cubierta a dos aguas con el vértice en el eje central y aleros de 2m en los costados longitudinales.

Estos edificios cuentan con 2 niveles máximo, dejando una franja de circulación peatonal en el lado longitudinal del edificio que esta direccionado hacia la plaza o canchas centrales.

##### DISTRIBUCION

Estos edificios siguen un eje central para su emplazamiento el cual está determinado por la plaza para eventos cívicos y las canchas deportivas. Este emplazamiento no es necesariamente rectilíneo, ya que hay unos desplazamientos de algunos edificios en referencia con el eje de alineación de los demás.

## EXTERIOR

En la separación que existe entre los edificios en el total de casos se proyecta una cubierta de armado metálico de forma cóncava que va de edificio a edificio para cubrir la zona de eventos cívicos o deportivos.

Existe un espacio de holgura en los límites del terreno que impiden que los edificios de aulas tengan un contacto directo con la periferia.



Tabla 34: Vista elevada de modelo de planteles escolares 2012

## Modelo de escuela sustentable 2013

### FORMAL

Este tipo de planteles tuvo un cambio significativo en comparación con el anterior, ya que proyecta un par de edificios que se conectan y confinan de manera que desde el exterior da la impresión de ser un solo elemento volumétrico, dejando ver una intención más hermética y concentrada de los espacios interiores, puesto que según las entrevistas con el personal del ICIFED, esto fue diseñado teniendo el tema de la seguridad como factor relevante.

Ya que si bien se sigue manejando el mismo tipo de aula didáctica, estas son proyectadas en dos secciones de aulas de un máximo de 3 niveles que se contraponen, dejando un espacio intermedio de 7.4m, que son unidos en la parte superior por una cubierta ligeramente más elevada de la loza de las aulas del último nivel para el ingreso o expulsión de aire y la entrada de luz natural. Dejando las escaleras en los costados, a los extremos del patio que se genera entre las aulas.



Estas condiciones formales que se modifican respecto al modelo anterior sin duda generaron condiciones lumínicas muy distintas dentro de las aulas, principalmente por la reducción de iluminación directa e indirecta en los edificios que contienen las aulas dado al sentido hermético que el volumen del modelo de escuela plantea.

## DISTRIBUCION

Es claro que hay una proyección simétrica de las aulas, con el patio central como eje principal de distribución, así como dos ejes secundarios en donde se alinean las aulas de clase de manera modular en un sentido longitudinal.

## EXTERIOR

Al haber una mayor concentración de aulas en el interior del volumen principal del plantel, este libera una cantidad significativa de espacio para los alrededores, los cuales son aprovechados como área verde y recreativa. Esta última es proyectada a un costado longitudinal del volumen principal que contiene las aulas y en el cual se proyecta una cubierta plana de acero que tapa la totalidad de la cancha deportiva.

## 3.3 CASOS DE ESTUDIO

### *3.3.1 Selección de la muestra*

#### 3.3.1.1 Criterios de selección de la muestra

## ACADEMICOS

- Nivel escolar: Primaria.

Se enfocara el estudio al nivel de primaria, por el grado de relevancia que este representa para el desarrollo académico y social de los infantes que lo cursan, el cual genera las bases para su posterior preparación para formar parte de la sociedad con las condiciones de necesarias para su desenvolvimiento en ella.

- Tipo de educación: Pública

El estudio se aplicara en planteles del sistema de educación pública en el estado, dado a la cantidad de estudiantes que atienden cada ciclo escolar en el estado.

- Turno: Matutino

Se tomó el turno matutino, dado a que es donde se concentra la mayor parte de la población estudiantil en este nivel escolar.

## ALUMNOS

- Grado escolar: 2, 4, 6

Los alumnos que sean evaluados dentro de los 6 grados correspondientes al nivel escolar primario, serán divididos en 3 grupos, los cuales estarán espaciados por grado escolar, para así tener un rango de estudio que logre acercarse al total de la población estudiantil.

Los 3 grados a evaluar serán 2,4 y 6 grado. Eligiendo el 2 grado como el inicial, dado a que en este grado el alumno ya se encuentra inmerso en su totalidad en el sistema educativo, así como el ambiente físico y social del mismo. Lo cual ayuda a genera mayor confianza y disponibilidad de parte del alumnado para realizar las actividades requeridas con mayor precisión.

- Edad: 6 – 12 años

Se establecerá como rango de edad de 6 a 12 años ya que en este se concentra la mayor cantidad de alumnos que cursan en los distintos grados escolares.

- Genero: Masculino y femenino

Se evaluaron a alumnos de ambos géneros, dado al régimen mixto que establece el sistema educativo federal.

- Condición visual: general

Se evaluaron al total de alumnos en el aula sin tomar en consideración la condicione de su visión. Esto dado al grado de funcionalidad elevado que se suelen tener en las edades que comprenden a los estudiantes.

## INFRAESTRUCTURA

- Modelo: 2012 y 2013

Solo se evaluaran planteles educativos que correspondan a los modelos de “escuelas sustentables” del 2012 y 2013.

-Aulas: Intermedias en lo posible

Se evaluarán en lo posible aulas que estén ubicadas de manera intermedia en la edificación, con la intención de reducir las variaciones en la proyección lumínica en el interior del aula, la cual se puede presentar en los espacios extremos dado a las características formales del modelo a evaluar, como lo son, las discontinuidades en cubiertas o muros que sobresalgan de los ejes del perimetrales de las aulas.

## TERRITORIALES

- Escuelas que se encuentren en el AMM y próximos. Según el documento de (delimitación de zonas metropolitanas de México 2010) el área conurbada de Monterrey abarca 13 municipios que son: Apodaca, Cadereyta Jiménez, Carmen, García, San Pedro Garza García, Gral. Escobedo, Guadalupe, Juárez, Monterrey, Salinas Victoria, San Nicolás de los Garza, Santa Catarina, Santiago. Y como municipios próximos al AMM se marca entre otros el municipio de Pesquería.

### 3.3.1.2 Definición del universo

Para la definición del universo a considerar para la selección de los casos de estudio, primero se hizo un listado de los planteles educativos que se encontraran en el área anteriormente mencionada y que fueran de los modelos escuelas sustentables de 2012 y 2013.

Una vez realizada la lista se extrajo de la base de datos de la Secretaría de Educación de Nuevo León la información de la cantidad de alumnos que tenía cada plantel en su totalidad y por grado escolar. Con ello se pudo sacar 5 universos poblacionales, que son; sumatoria del total de la población en los planteles, la sumatoria de la población de los grados 2do, 4to y 6to, y la sumatoria de la población de estos mismos grados por separado.

### 3.3.1.3 Definición de la muestra

MUESTRAS DE POBLACION										
NUM. Y AÑO	C.C.T	ICIFED	NOMBRE DEL PLANTEL	1	2	3	4	5	6	TOTAL
1 (2012)	19EPR1226G	9325	SILVINO JARAMILLO OSORIO	80	77	42	51	63	40	353
2 (2012)	19EPR1221L	9327	PROFR. PRESENTACION GOMEZ FLORES	31	39	39	37	36	41	223
3 (2012)	19EPR1217Z	9349	JOSE DE TREVIÑO QUINTANILLA	66	65	70	66	64	63	394
4 (2012)	19DPR1862G	9355	LEONORA CARRINGTON	1	4	1	4	2	0	12
5 (2012)	19DPR0772H	9372	VICTORIANO TREVIÑO	110	112	117	82	83	106	610
6 (2012)	19DPR1860	9580	NORBERTO NOE JASSO GARCIA	14	21	16	14	19	14	98
7 (2012)	19EPR1222K	9380	PROFR. RUBEN ALANIS GONZALEZ	90	70	70	45	45	60	380
8 (2012)	19DPR1861H	9390	PROFR. DONACIANO JOEL DE LA PAZ CASTILLO	45	87	88	86	43	45	394
9 (2012)	19EPR1229D	9572	JOSE PABLO MONCAYO	38	63	62	40	59	41	303
10 (2012)	19EPR1223J	9433	PROFR. JOEL ROCHA BAROCIO	38	39	33	31	42	36	219
11 (2012)	19DPR0648I	9478	LIC. BENITO JUAREZ	44	74	68	43	79	45	353
12 (2012)	19DPR1864E	9482	IRMA SABINA SEPULVEDA	41	43	45	38	38	39	244
13 (2012)	19EPR1224I	9539	EUGENIO DEL HOYO	32	31	35	45	45	44	232
14 (2012)	19DPR1865D	9488	ANDRES HENESTROSA MORALES	72	45	44	68	65	62	356
15 (2012)	19DPR1868A	9496	MIGUEL DE LA MADRID HURTADO	58	78	34	71	34	35	310
16 (2012)	19DPR1866C	9596	MARIO MORENO REYES, CANTINFLAS	36	69	79	84	32	34	334
17 (2012)	19DPR1869Z	9262	ROSENDO SALAZAR ALAMO	29	29	29	29	29	32	117
18 (2012)	19DPR1863F	9601	PROFRA. BENITA REYES CANTU	73	87	67	45	44	42	358
19 (2013)	19EPR1234P		2013 CENTENARIO DEL EJERCITO NACIONAL	42	42	42	42	42	42	252
20 (2013)	19DPR1877I		EDGARDO REYES SALCIDO	76	72	43	45	45	45	326
		<b>UNIVER.</b>	<b>TAMAÑO DE MUESTRA 95% y 5</b>	<b>Σ 1016</b>	<b>Σ 1147</b>	<b>Σ 1024</b>	<b>Σ 966</b>	<b>Σ 909</b>	<b>Σ 866</b>	<b>Σ 5868</b>
MUESTRA: TOTAL DE ALUM.		5868	<b>361</b>							
MUESTRA: 2,4,6 GRADO		2979	<b>341</b>				Núm. Max. De alumnos por aula = <b>40</b>			
MUESTRA: 2 GRADO		1147	<b>288</b>				Núm. De alumnos por plantel (2,4,6 grado) = <b>120</b>			
MUESTRA: 4 GRADO		966	<b>276</b>				Núm. De planteles		<b>3 planteles escolares</b>	
MUESTRA: 6 GRADO		866	<b>267</b>				<b>341/120 = 2.84 = 3</b>			

La muestra tomada tanto para la aplicación de la prueba visual en alumnos, como para las mediciones de iluminancia en aulas. Fue hecha en base a un coeficiente estadístico de 95% de confianza y 5 de error, en relación con el número de alumnos del universo de población seleccionado. Ya que se desprendieron cinco tipos de universo correspondientes a la (población total, población de 2do, 4to y 6to, población de 2do, población de 4to y población de 6to grado) en el total de escuelas enlistadas. De los cuales se tomó aquel universo que incluye a los grados (2do, 4to y 6to) que fue de 2979 alumnos y que arrojó un tamaño de muestra de 341 alumnos. La cual fue seleccionada debido a que la prueba estaría destinada a estos grados y a su vez por el grado de saturación que existe entre este universo poblacional con el del total de alumnos con el seleccionado.

Tras determinar el tamaño de la muestra, esta fue dividida entre el número máximo que puede haber en una escuela en los grados (2do, 4to y 6to) que es de 120, debido a que según lo explicado por el personal del ICIFED, el número máximo de alumnos por aula ronda en los 40 alumnos. Dando como resultado un total 3 planteles a evaluar.

### **3.3.2 Selección de los casos de estudio**

#### **3.3.2.1 Criterios de selección de los casos de estudio**

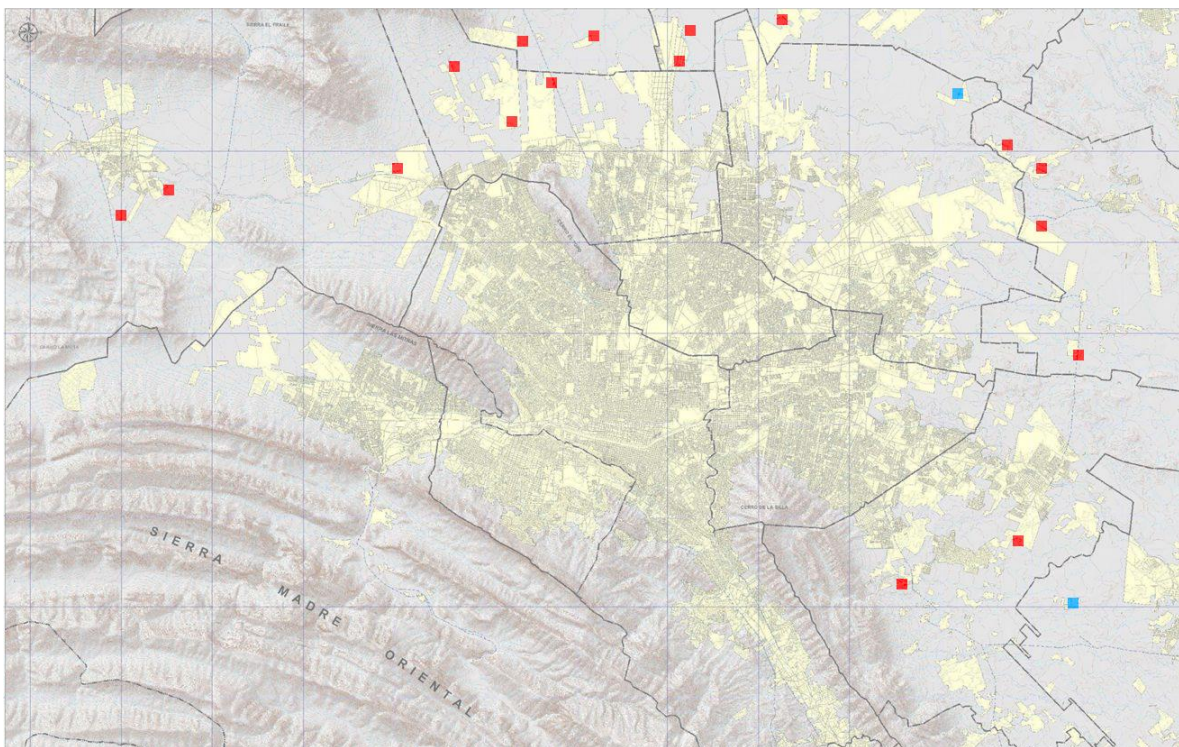


Fig. 75: Localización de planteles escolares 2012 y 2013

En la imagen del área de estudio se marcó la ubicación de los planteles enlistados, siendo los de color rojo los del año 2012 y azul 2013. Los cuales están dispersos en las afueras del AMM. Siendo muy superior el número de planteles construidos en 2012 a los construidos en 2013.

### **Modelo: Escuelas sustentables 2012 y 2013**

Dado a que el número de planteles resultaron del tamaño de la muestra estadística (3) y del número de modelos de escuelas (2) a evaluar. En base a la cantidad de estos en el área de estudio, en donde 18 de los 20 planteles son del modelo del 2012 y únicamente 2 son del modelo de 2013, se optó por seleccionar 2 planteles con el modelo 2012 y 1 del 2013.

### **Emplazamiento**

De los 2 planteles a seleccionar del modelo de escuela de 2012, uno de ellos debía de tener una orientación casual de norte-sur en los muros acristalados, mientras que el otro plantel debía de tener un emplazamiento distinto. Esto con la intención de conocer las variantes en las condiciones de confort visual al estar el modelo emplazado en distinta orientación.

El tercer plantel corresponde al modelo 2013, el cual debía tener una orientación similar a la norte-sur para poder hacer una comparativa directa con los valores que presente el caso del modelo 2012 en la esta misma orientación. Y aunque de los modelos de 2013, únicamente el plantel 20 contaba con el número de alumnos necesarios para la prueba visual, esto no contaba con una orientación completamente norte – sur, teniendo una ligera inclinación noreste – suroeste.

### **Cantidad de alumnos**

El segundo factor que determinaría los casos de estudio fue la cantidad de población estudiantil en los grados tomados para la muestra estadística (2do ,4to y 6to). Por lo cual los planteles seleccionados tenían que contar por lo menos con un número mínimo de 40 alumnos por aula, en cada uno de los grados escolares a considerar.

### 3.3.2.2 Definición de los casos de estudio

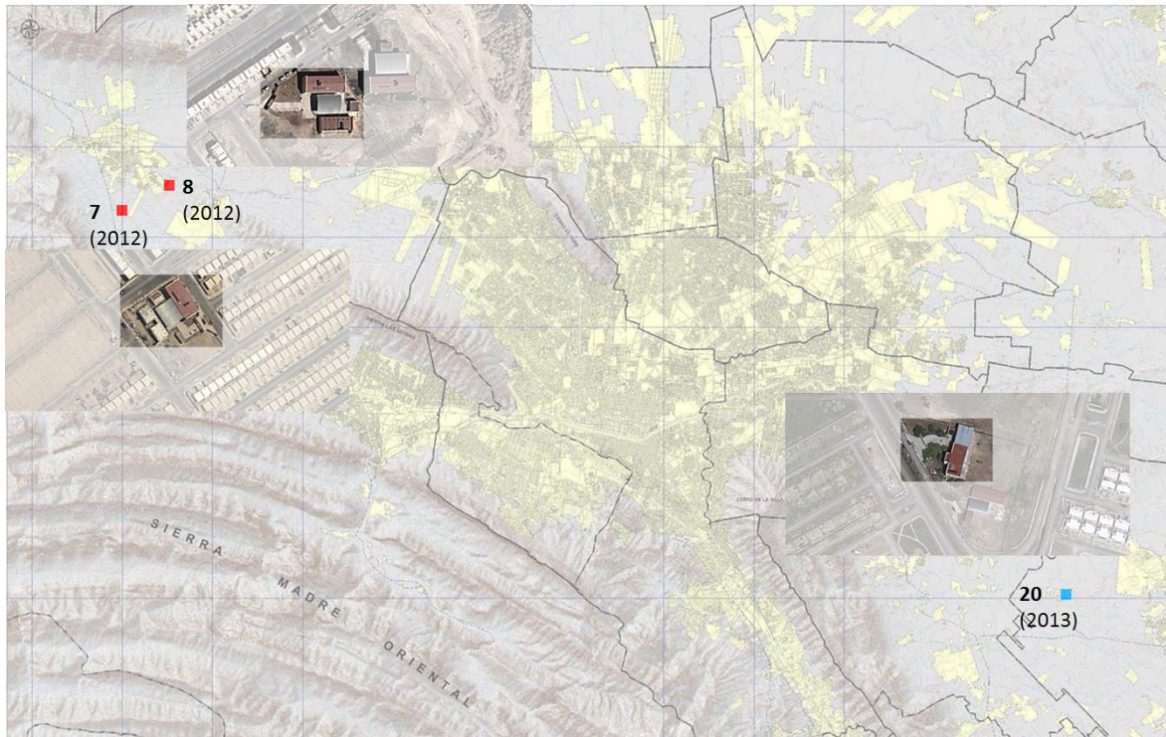


Fig. 76: Casos de estudio de los planteles escolares de 2012 y 2013

NUM. Y AÑO	Clave de Centro de Trabajo C.C.T	ICIFED	NOMBRE DEL PLANTEL	1	2	3	4	5	6	TOTAL
7 (2012)	19EPR1222K	9380	PROFR. RUBEN ALANIS GONZALEZ	90	70	70	45	45	60	380
8 (2012)	19DPR1861H	9390	PROFR. DONACIANO JOEL DE LA PAZ CASTILLO	45	87	88	86	43	45	394
20 (2013)	19DPR1877I		EDGARDO REYES SALCIDO	76	72	43	45	45	45	326

Tras analizar los criterios anteriores se determinó que de los 2 planteles del modelo de escuela de 2012 se eligieron los planteles 7 y 8 de la lista. Teniendo el primero un emplazamiento con orientación noreste-suroeste en sus muros acristalados, mientras que el plantel 8 se proyecta con una orientación habitual de norte-sur. Ambos planteles se ubican en el municipio de García.

Para el modelo del 2013 se seleccionó el plantel 20 con orientación norte-sur y está ubicado en el municipio de Cadereyta Jiménez.

### 3.3.2.3 Descripción de los casos de estudio

Plantel 7



Tabla 35: Planta arquitectónica de conjunto del plantel 7

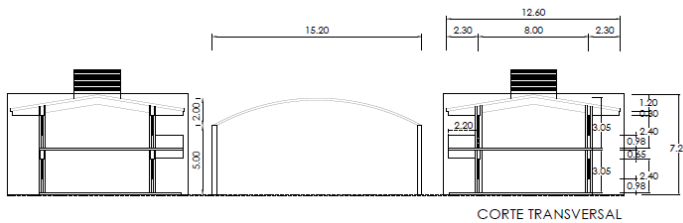


Tabla 36: Corte transversal del plantel 7

#### Modelo: 2012

Orientación: Noreste – Suroeste en fachadas acristaladas, con inclinación de 54° respecto al eje norte.

Contexto: El contexto urbano inmediato está conformado de edificios de casa habitación, las cuales en su mayoría son de un solo nivel, por lo que no se presentan barreras físicas que obstruyan o alteren la proyección de rayos solares en el plantel.

Características Físicas: (punto)



Distribución: El plantel está formado actualmente de dos bloques de aulas ya construidos en su totalidad, con una proyección de ampliación horizontal a largo plazo. De los dos bloques actuales uno de ellos es de tres y el otro de cuatro núcleos espaciales en planta, ambos con dos niveles, lo cuales están alineados con la plaza cívica intermedia.

Plantel 8

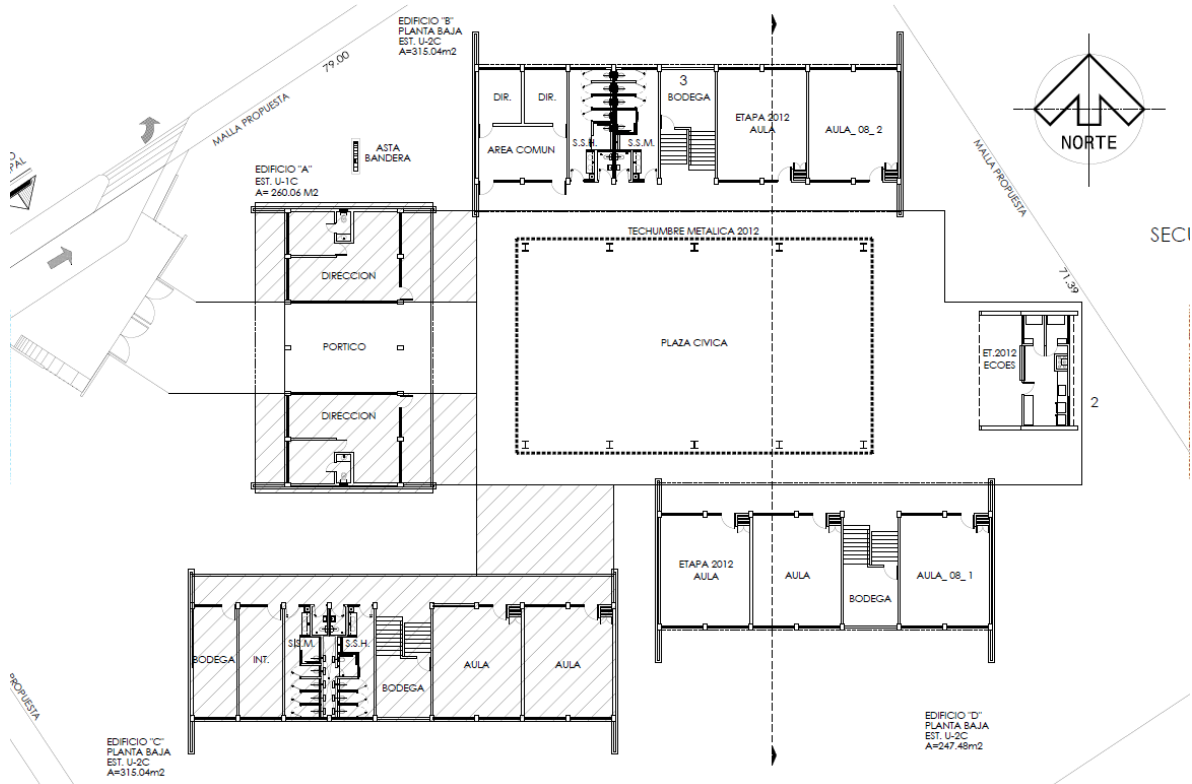


Tabla 37: Planta arquitectónica de conjunto del plantel 8

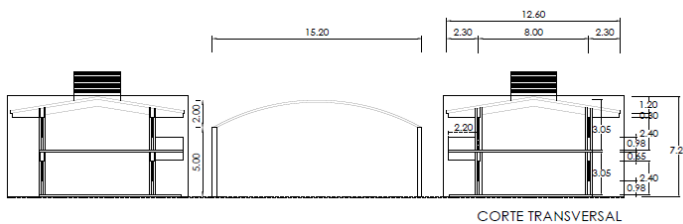


Tabla 38: Corte transversal del plantel 8

Modelo: (2012)

Orientación: Norte – Sur en fachadas acristaladas.

Contexto: este plantel se encuentra en una zona habitacional confinada donde su contexto inmediato está compuesto de casas habitación en serie de dos niveles máximo, las cuales no afectan en la proyección de luz solar en el edificio.

Descripción Física: (Punto)



Orientación: Noreste – Suroeste en fachadas acristaladas con una inclinación de 9° respecto al eje norte.

Contexto: El contexto inmediato está compuesto principalmente de terrenos llanos sin construcciones y de un jardín de niños de un solo nivel. Por lo que no existen agentes físicos que obstruyan la proyección solar.

Descripción Física: (punto)

Distribución: El plantel se conforma de dos bloques de mismo número de aulas y alineados simétricamente y confinados por las escaleras laterales.

### 3.4 DISEÑO Y APLICACIÓN DE PRUEBA VISUAL

#### 3.4.1 Características de prueba visual

La prueba de visual fue diseñada en base a un examen de “rendimiento visual”, lo cual como se explicó en el punto (2.3.3.1) del marco teórico, este término tiene que ver con la capacidad que tiene el usuario de realizar una tarea visual en determinado tiempo.

Para esta prueba se usó un optotipo o figura estandarizada llamado “aro de Landolt”, el cual fue elegido debido a su este es utilizado principalmente con infantes para evaluaciones ópticas por su facilidad de reconocimiento. Este optotipo como su nombre lo describe, es un aro que tiene una discontinuación en un determinado punto el cual puede ser acomodado en distintas posiciones. Sin embargo para de acuerdo a las pruebas realizadas comúnmente con esta figura, se tomaron cuatro direcciones en donde discontinúa el aro cada 90°, dando cuatro tipos de posiciones para el optotipo.

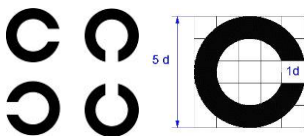


Tabla 41: Ototipo de "C" Landolt

Una vez seleccionado el optotipo y sus variaciones, se formuló la plantilla en base al acomodo de la plantilla descrita por Peter Boyce, la cual consta de 100 anillos acomodados de forma aleatoria en cuatro posiciones distintas en donde a cada posición le corresponden 25 opto tipos.

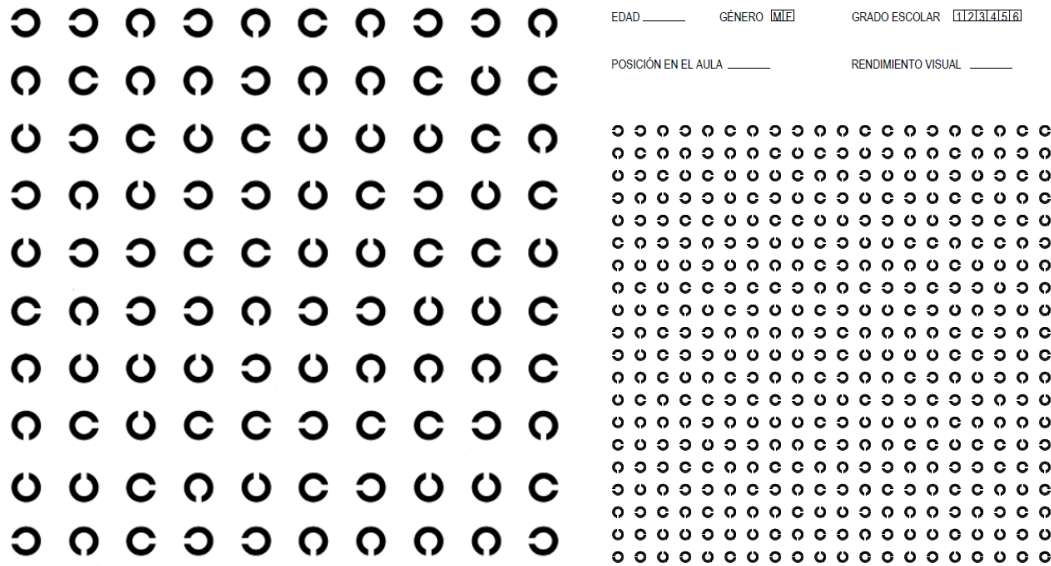


Tabla 42: Cuartilla de prueba de rendimiento visual

Ésta plantilla fue repetida en cuatro ocasiones dentro una hoja tamaño carta formando una plantilla de 400 optotipos con 100 de ellos colocados las cuatro posiciones descritas. La cual fue usada para la aplicación de la prueba de visual, la cual consistía en que los alumnos identificasen el total de optotipos en una determinada dirección, en un lapso de 3 minutos.

Una vez definida la plantilla a utilizar y los tiempos de aplicación, se programaron los días y horas para la aplicación, siendo los primeros los días 20, 21 y 22 de Mayo por razones tanto de practicidad como de condiciones climáticas, siendo en estos días el cielo con tendencia despejada. Mientras que el lapso de horas en que se aplicaría la hora fue de 10 a 12 hrs. con la intención de realizar la prueba en una tiempo intermedio del horario matutino de clase, sin que esta interfiriera con horas de receso de los alumnos.

### 3.4.2 Metodología de diseño y aplicación de la prueba visual

Para la aplicación de la prueba se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se definió el tamaño de la muestra estadística.
- Se eligieron el número y los planteles a evaluar.
- Se definió el número de alumnos y los grados a evaluar por plantel.

- Se seleccionaron fechas de aplicación en donde la condición del cielo fuese despejado, (20, 21, 22 de Mayo).
- Se eligió la hora para la aplicación (10 – 12 hrs.).
- Se seleccionaron las 3 aulas correspondientes a los grados escolares preestablecidos por plantel.
- Se acomodaron de los alumnos con los pupitres en dirección al pintaron.
- Se explicó el tipo de prueba y su objetivo a alumnos y profesores.
- Se aplicó la prueba en un lapso de 3 min.
- Se realizaron mediciones de la cantidad de luz en las aulas en el transcurso de la prueba.
- Se realizaron anotaciones de descripción de las características físicas y lumínicas de las aulas.

TÓPICO	DESCRIPCIÓN
<b>Prueba -</b>	Rendimiento visual (Weston)
<b>Opto tipo -</b>	Arco Landolt (400 anillos), (25 correctos)
<b>Duración -</b>	3 minutos
<b>Grados -</b>	2, 4 ,6
<b>Número de aulas-</b>	3 por plantel
<b>Fechas -</b>	20, 21, 22 de Mayo
<b>Hora -</b>	10: 00 – 12: 00
<b>Condición de cielo -</b>	Parcialmente nublado
<b>Variable -</b>	Iluminancia (Nivel)

Tabla 43: Características generales en la prueba visual

Una vez recolectados los datos de la prueba, se contabilizaron el número de aciertos de los anillos indicados, y se calculó el rendimiento visual del alumno mediante la fórmula “Weston” que refleja lo siguiente:

$$R.V = \frac{(\text{n}^\circ \text{ de anillos correctos})^2}{(\text{anillos totales}) \cdot \text{minuto}}$$

### 3.5.1 Aulas para la aplicación de la prueba

#### Plantel 7

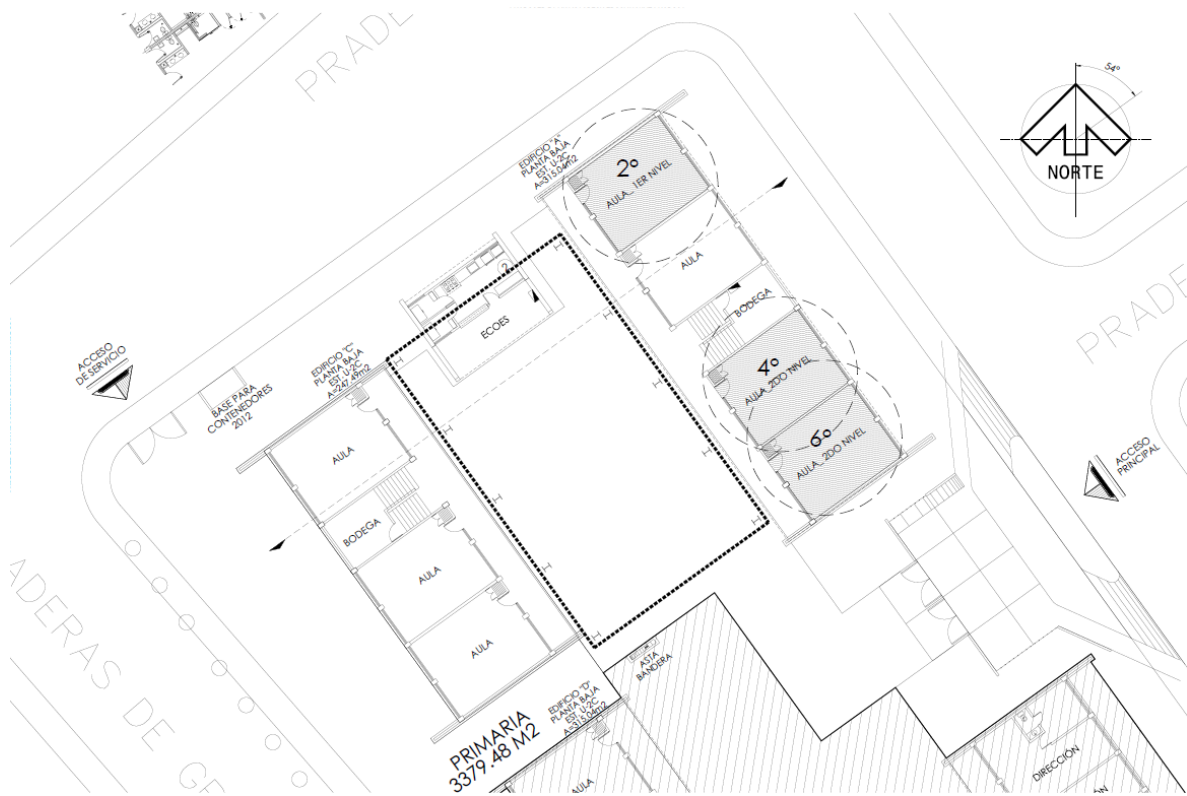


Fig. 77: Aulas de los grados 2,4 y 6 grado en el plantel 7 donde se realizo la prueba visual

#### Plantel 8

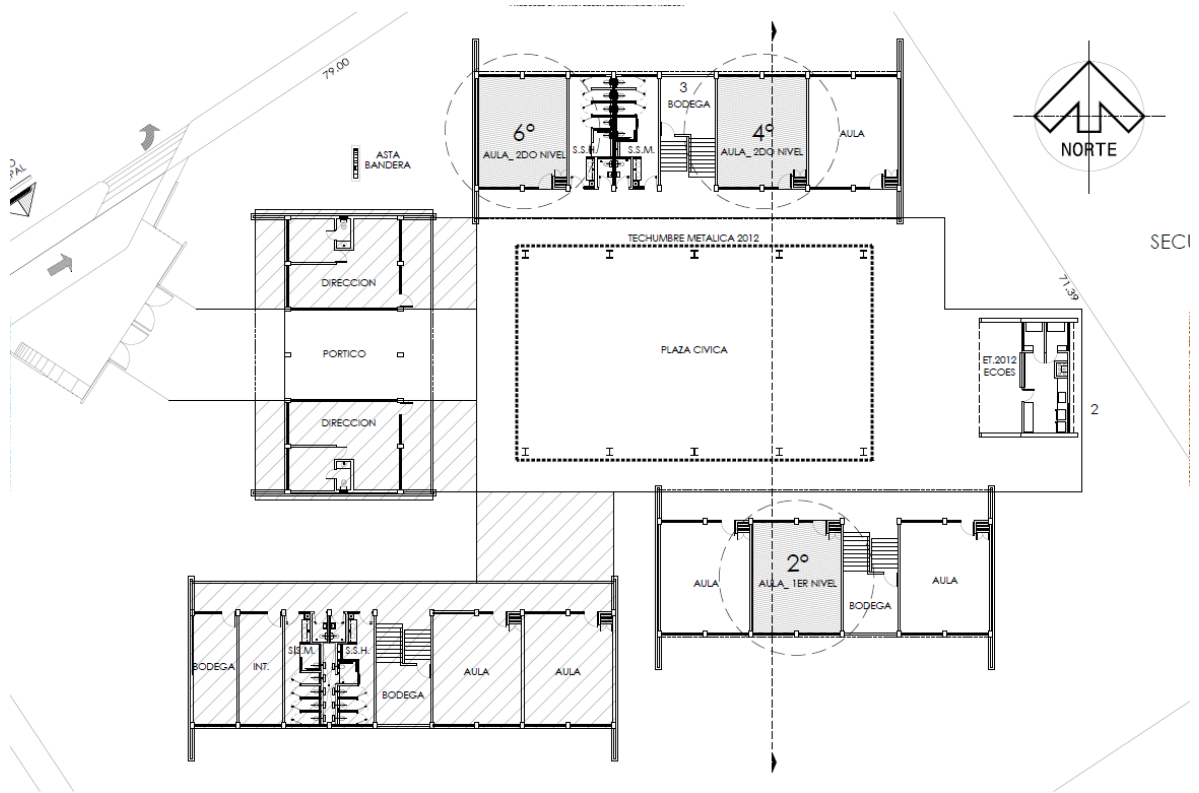


Fig. 78: Aulas de los grados 2,4 y 6 grado en el plantel 8 donde se realizó la prueba visual

### Plantel 20

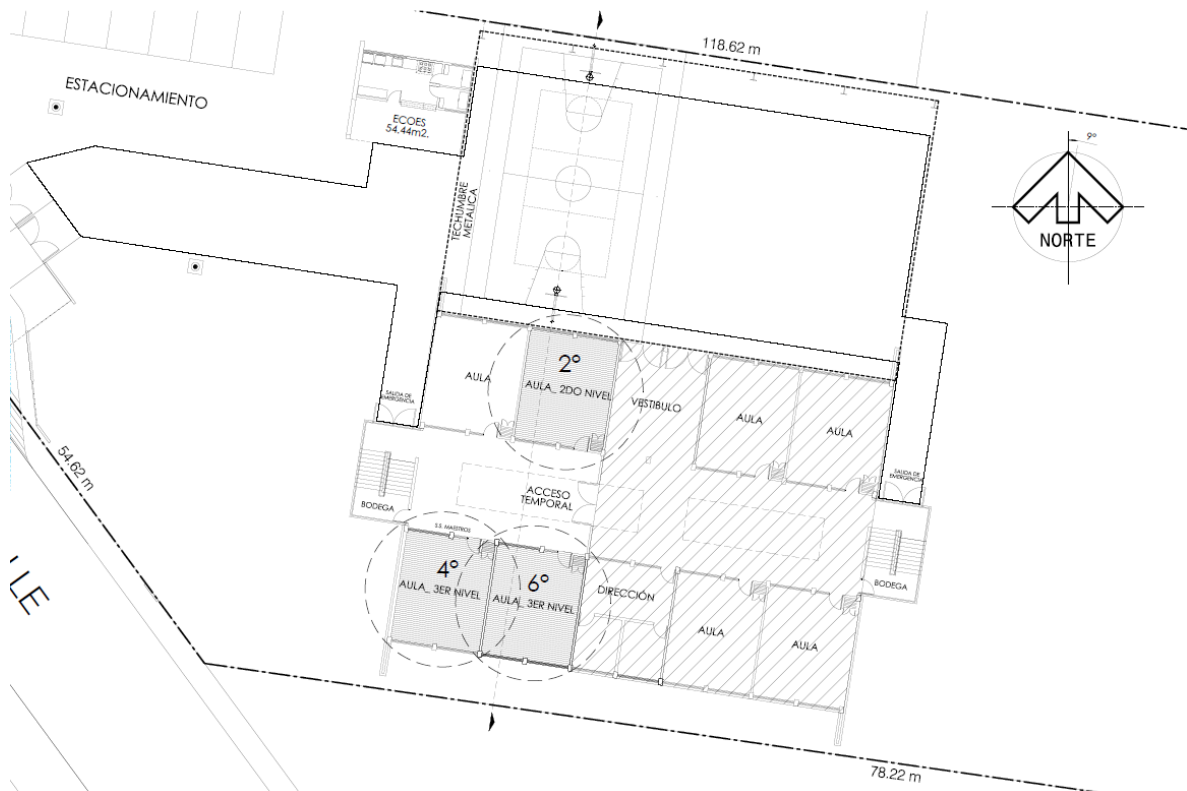


Fig. 79: Aulas de los grados 2,4 y 6 grado en el plantel 20 donde se realizó la prueba visual

### 3.5 MEDICIONES DE LUMINICAS EN CASOS DE ESTUDIO

#### 3.5.1 Criterios de medición

Las mediciones de las condiciones lumínicas corresponden a la segunda etapa de mediciones, en donde se tomaron los mismos planteles educativos seleccionados para la prueba visual. En los cuales se midió únicamente el parámetro de “iluminancia”, mediante su nivel y su grado de uniformidad. Teniéndose los siguientes criterios para su realización:

- Se tomaron 2 aulas por plantel educativo, que estuvieran secciones opuestas del plantel para tener mayor criterio de la evaluación lumínica del mismo.
- Las fechas de las mediciones se programaron los días 23, 24 y 25 de Junio, debido a la cercanía con el Solsticio de verano (21 de junio).
- Las condiciones de cielo fueron “despejado” para los distintos casos.
- Se eligieron 3 momentos del día para las mediciones, las cuales fueron programadas cada 2 horas entre ellas. Siendo estas a las 9:00, 11:00 y 13:00 hrs., tratando de abarcar el total del horario escolar matutino.
- Las mediciones se llevaron a cabo mediante 48 puntos de referencia, que corresponden al número total de pupitres dentro del aula, dispersos. Es por ello que se hizo uso de este mobiliario para determinar el distanciamiento en campo de cada uno de estos puntos.

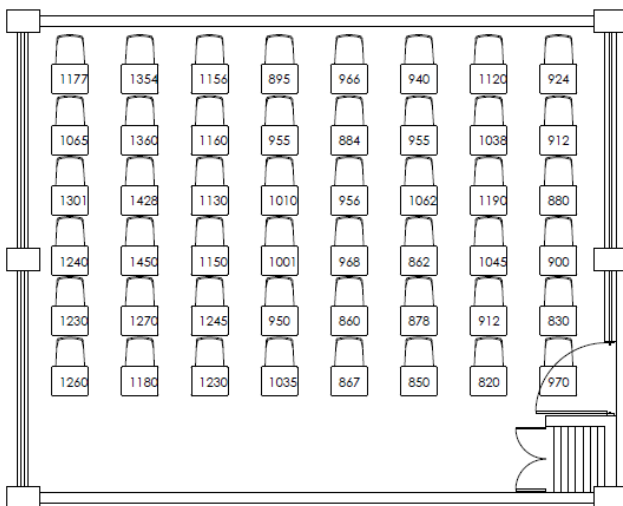


Fig. 80: Plano de recolección de mediciones de "iluminancia" en aulas



TÓPICO	DESCRIPCIÓN
Número de aulas -	2 por plantel
Condiciones de cielo -	Despejado
Fechas -	23, 24, 25 de Junio
Tiempos -	9:00 / 11:00 / 13:00
Variable -	Iluminancia (Nivel / Uniformidad)
Número de puntos -	48
Análisis-	Comparativa directa

Tabla 44: Características generales de la recolección de luminancias en aulas de los casos de estudio

### 3.5.2 Ubicación y descripción de aulas

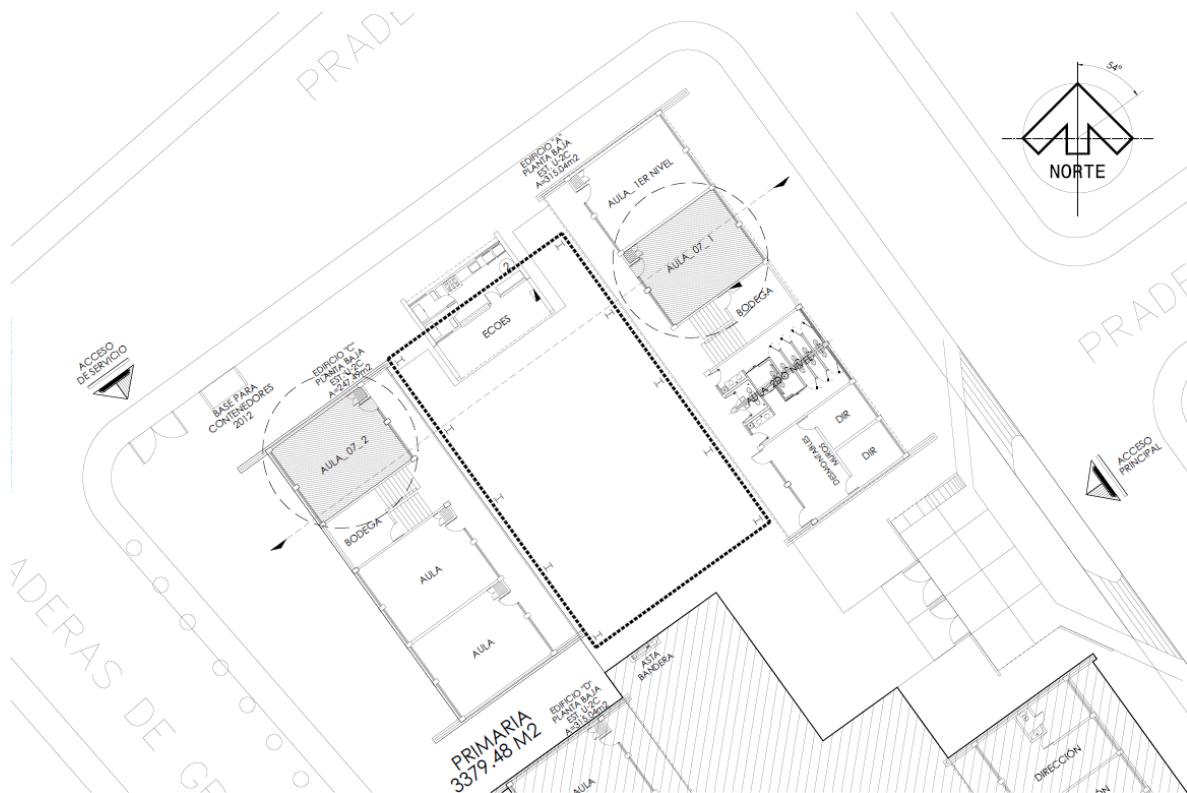


Fig. 81: Aulas para la medición de "iluminancia" en el plantel 7

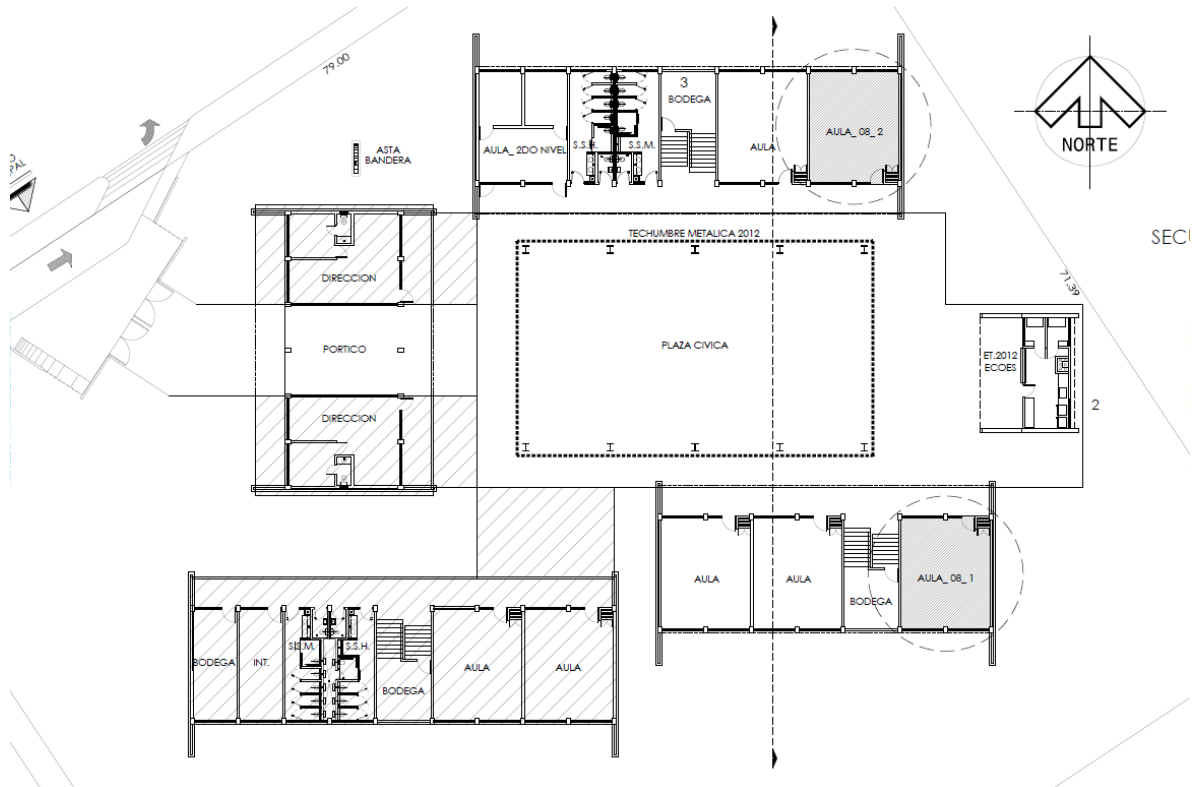


Fig. 82: Aulas para la medición de "iluminancia" en el plantel 8

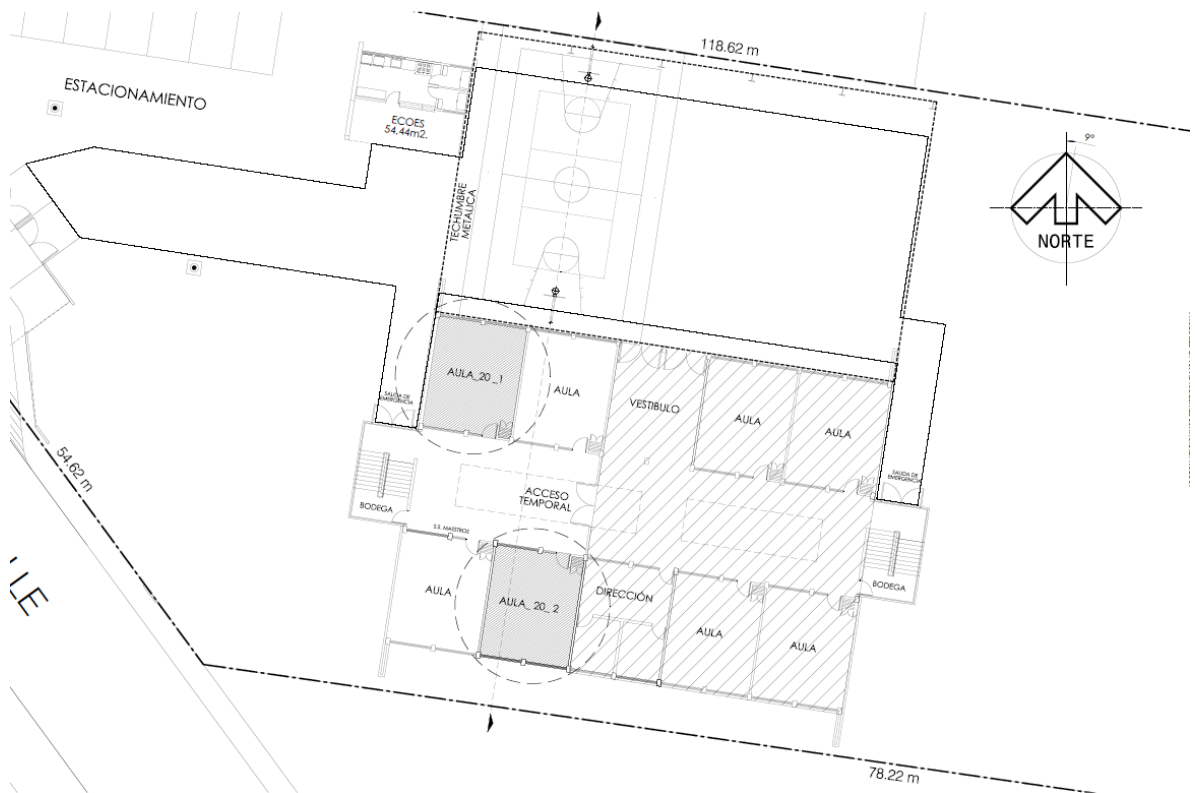


Fig. 83: Aulas para la medición de "iluminancia" en el plantel 20

## 3.6 MEDIDAS DIGITALES

### 3.6.1 *Parámetros de medición*

#### 3.6.1.1 Software y aplicaciones

La herramienta base para las mediciones fue el software “Autodesk Ecotect Analysis”. El cual fue desarrollado específicamente para la medición de las variantes ambientales mediante un la combinación de funciones analíticas con muestras interactivas de las resultantes. El cual ha sido ampliamente usado para estudios de esta naturaleza dentro y fuera de edificaciones, mediante simulaciones de estas condiciones ambientales en términos energéticos.

Aunque el software ecotect contiene su propio sistema de análisis tanto para la iluminación natural como artificial. Existen aplicaciones externas con un mayor grado de exactitud y detalle que son compatibles con el programa y que pueden ser instaladas en él. Tal es el caso de la aplicación “Desktop Radiance”, el cual fue desarrollado por el “Building Technologies Department of the Environmental Energy Technologies” de Norte américa, la cual según () es la herramienta digital de simulación y calculo lumínico de mayor rigurosidad en el mercado. Es por ello que se ha decidido implementar esta aplicación en el programa ecotect para las mediciones de dos parámetros de confort visual correspondientes a la “iluminancia” y “luminancia”.

En el caso del parámetro de confort visual del “deslumbramiento”. Se utilizó la aplicación “Evalglare”, para analizar la probabilidad de deslumbramiento mediante el valor del “índice de deslumbramiento de luz de día”.

Para el modelado de las aulas con los sistemas de iluminación, se usó el software “Autodesk, AutoCAD”, el cual es igualmente compatible con el programa “Autodesk, Ecotect”, por lo que se pudo descartar distorsiones en los modelos al ser exportados de un programa a otro.

### 3.6.1.2 Diseño de vanos en sistemas de iluminación

#### Calculo de vanos (tamaño y colocación)

Para el calcio de tamaño de vanos tanto en el sistema “clerestorio” como “monitor”, fue necesario obtener un porcentaje de área de abertura necesaria en relación tanto al área del aula, como a las condiciones solares del lugar. Para lo cual se usó el “método de Fröling” para el cálculo de lucernarios, el cual está compuesto por la formula siguiente: (Yáñez, 2008: 454)

$$E_{im}/E_H \cdot 100 = \eta \cdot T \cdot (A_L/A)\%$$

En donde:

$E_H$  = iluminancia horizontal exterior

$E_{im}$  = iluminancia media horizontal interior

$\eta$  = Rendimiento medio se según el ángulo de inclinación de la cristalería

$T$  = Transmitancia del vidrio

$A$  = Área de la planta

$A_L$  = Área del lucernario

-  $E_{im}$ : para el valor de la iluminancia media exterior se obtuvo a partir de la radiación solar general en el sitio, que en el caso del AMM se obtuvo tanto de la base de datos del clima de Monterrey como de los datos históricos de la Red nacional climatológica que dio como cifra promedio una radiación solar global de los últimos cinco años de ( $450 \text{ W/m}^2$ ), la cual se multiplica con los valores de eficacia luminosa de luz directa y difusa definidas por Hopkinson en 1996, según la situación que se presente en el sitio, siendo en esta de “luz global, directa y difusa”, con un valor de ( $115 \text{ lm/W}$ ).

Luz directa del sol con una altura $h_s$ , $h_s = 7,5^\circ$	90 lm/W
$h_s > 25^\circ$	117 lm/W
altura media	100 lm/W
Luz difusa con cielo despejado	150 lm/W
Luz difusa cielo medio	125 lm/W
<b>Luz global, directa y difusa</b>	<b>115 lm/W</b>

Tabla 45: Fuente: (Yáñez, 2008: 448) tabla 11.7 “valores de la eficiencia luminosa y difusa (según Hopkinson, 1996)”.

Con los dos valores anteriores de la “radiación solar global” y de la “eficacia luminosa” del sitio, se sacó el valor de la iluminancia media horizontal exterior” (E<sub>H</sub>), con la siguiente operación:

$$450 \text{ W/m}^2 \cdot 115 \text{ lm/W} = 51,750 \text{ lm/m}^2 = (\text{lux})$$

$$E_H = 51,750 \text{ lm/m}^2 = (\text{lux})$$

- E<sub>im</sub>: la iluminancia media horizontal interior se sacó de los valores de referencia del parámetro de “iluminancia” respecto a su nivel medio, descrito en la tabla (), del punto (). En donde los rangos de para el aula escolar eran de 500 – 750 -1,000 (lux) en sus valores mínimos, medios y máximos respectivamente. De los cuales se tomó el valor máximo al que se puede aspirar (1,000 lux).

$$E_{im} = 1,000 (\text{lux})$$

-  $\eta$  = Rendimiento medio se según el ángulo de inclinación de la cristalería, se tomó de los valores propuestos por “Früling”, descritos en la siguiente tabla:

$\theta = 0^\circ$ (horizontal)	$\eta = 0.8 - 0.9$
$\theta = 60^\circ$	$\eta = 0.5 - 0.6$
$\theta = 90^\circ$ (vertical)	$\eta = 0.25 - 0.35$

Tabla 46: Fuente: (Yáñez, 2008: 455) tabla 11.8 “valores de rendimiento medio según el ángulo de inclinación de la cristalería (según Früling)”.

De los cuales se tomó el valor de 90°, debido a las características de los elementos de captación en los sistemas de iluminación a evaluar.

$$\eta = 0.25$$

- T : La transmitancia del vidrio, se obtuvo del índice de transmitancias para acristalamientos se obtuvo de la tabla de tabla de transmitancias del IESNA para acristalamientos estándares, con el sig. Valor:

$$T = 0.7$$

- A: El área de la planta se obtuvo del área efectiva de modelo de aula escolar descrito en el punto (), donde el valor fue de  $(49.58 \text{ m}^2 = 50 \text{ m}^2)$ .

$$A = 50 \text{ m}^2$$

$A_L$  = El área del lucernario se sacó en relación a la fórmula del método de Früling, en la cual se despeja la relación del área de la planta (A) con el del área de lucernario ( $A_L$ ), quedando la siguiente ecuación:

$$E_{im}/E_H \cdot 100 = \eta \cdot T \cdot (A_L/A)\%$$

$$(A_L/A)\% = \frac{E_{im}/E_H \cdot 100}{\eta \cdot T}$$

$$(A_L/A)\% = \frac{(1,000 \text{ (lux)})/51,750 \text{ (lux)} \cdot 100}{0.25 \cdot 0.7}$$

$$(A_L/A)\% = 11.04$$

11.04 será la relación que habrá entre el área acristalada en los elementos de captación de los sistemas. Por lo que en el caso del aula con un área efectiva 50 m<sup>2</sup>, daría la siguiente cantidad de área

$$A = \frac{11.04 \cdot 50\text{m}^2}{100}$$

$$A = 5.52 \text{ m}^2$$

### Descripción de los sistemas de iluminación natural

El tamaño de los vanos tanto para el sistema clerestorio como para el lucernario, se basaron en el porcentaje obtenido de la fórmula de Früling. Dejando las siguientes áreas de vanos:

Clerestorio:

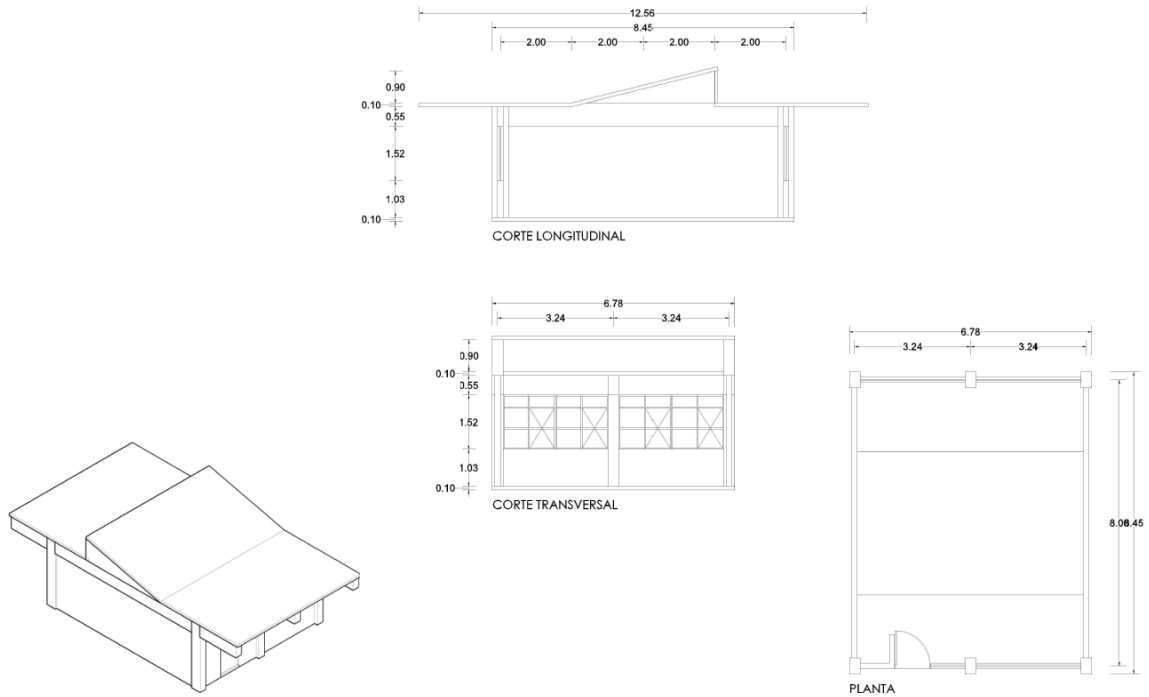


Fig. 84: Planearía arquitectónica del aula base con el "sistema clerestorio"

Lucernario:

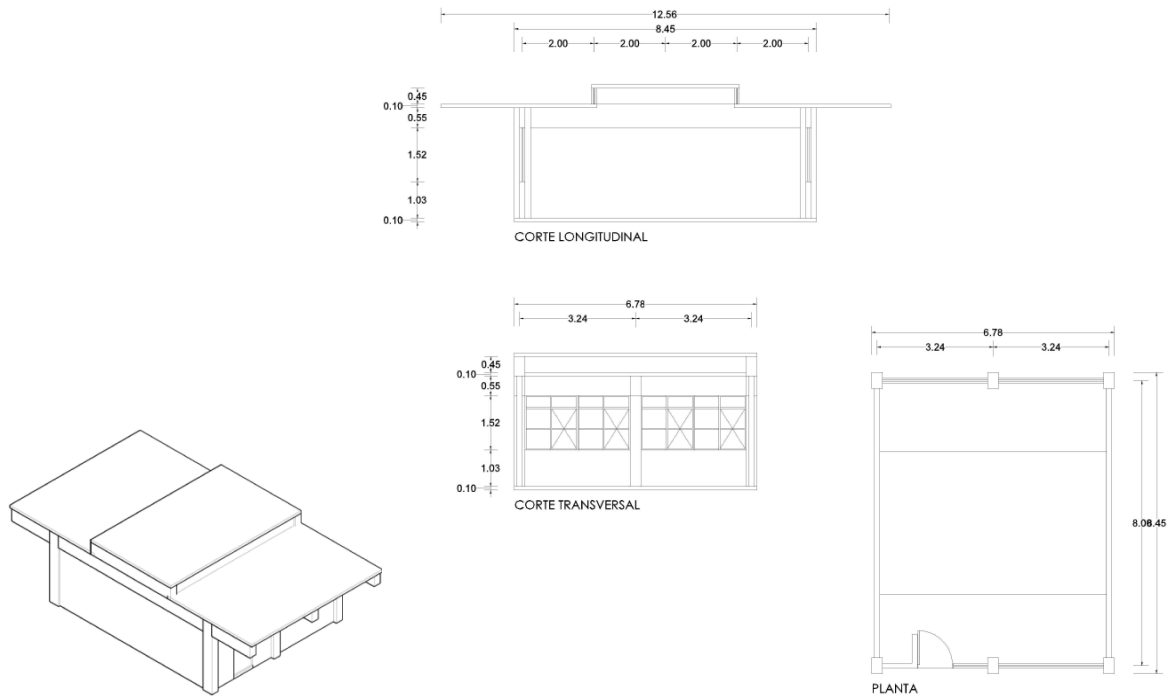


Fig. 85: Planearía arquitectónica del aula base con el "sistema Lucernario"

Ya que ambos sistemas fueron proyectados de forma continua a lo largo del aula de clase, el valor constante de longitud efectiva de acristalamiento es de 6.2m. Con ello se definió la altura necesaria del vano para que completara el porcentaje necesario. Siendo en el caso del clerestorio una altura de (0.9 m). Mientras que en el sistema lucernario por contar con dos elementos de captación en direcciones opuestas, se dividió este porcentaje en dos partes, quedando una altura por elemento de (0.45 m).

#### 3.6.1.4 Ubicación y clima



Fig. 86: Amanecer, cerro de la silla, Monterrey N.L

La base de datos del clima local que el realizado por el Departamento de Energía Estados Unidos, los cuales fueron introducidos al programa “ecotect”, para que la disponibilidad de luz en los cálculos fuera acorde al sitio.

Los datos básicos son los siguientes:

Altitud: 448.0 m

Latitud: 25.9°

Longitud: - 100.2°

Zona horaria: - 6.0 hrs.



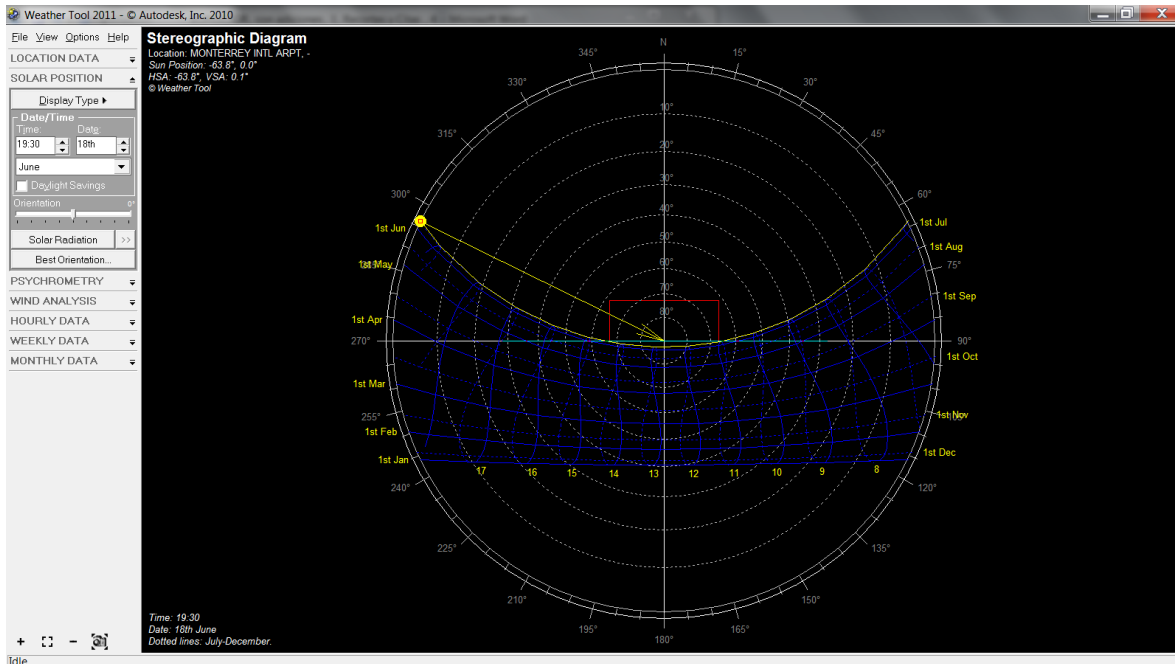


Fig. 87: Diagrama Estereográfico, Monterrey N.L

### 3.6.1.4 Definición de Parámetros de medición

#### Temporales

Se establecieron como parámetros temporales tres momentos del día en tres momentos del año, siendo los primeros fueron a las 9:00, 11:00 y 13:00 hrs. las cuales se eligieron con la intención de abarcar el horario escolar matutino y tener mayor certeza de las condiciones de iluminación que se puede presentar a lo largo de ese periodo de tiempo. Mientras que los segundos serian en las fechas de 21 de marzo, 21 de junio y 21 de diciembre, correspondientes al equinoccio de primavera y los solsticios de vera y de invierno respectivamente. Esto debido a que los solsticios son los puntos máximos de inclinación solar siendo el de verano el punto más alto y el de invierno el más bajo. Mientras que tanto el equinoccio de primavera como el de otoño tienen la misma inclinación, la cual está en un punto intermedio entre los solsticios de verano y de invierno. Es por ello que solo se seleccionó uno de los equinoccios para las mediciones digitales.

#### Tipo de cielo

De los tipos de cielo que se pueden emplear en la medición digital, se decidió emplear únicamente el tipo de "cielo claro". Debido a que este se presenta mayormente en

comparaciones con el tipo de “cielo cubierto”. Los cuales representan las condiciones extremas para este parámetro.

### **Coefficientes de reflectancia y refractancia.**

Debido a que en esta investigación, no se contempla la influencia de la materialidad sobre las condiciones de confort visual. Se ha decidido aplicar un único valor de reflectancia a las superficies interiores del aula (muros, piso y plafond), el cual equivale a un porcentaje de 55%, tomado de los valores estándares de reflectancia para muros en la normativa del ICIFED, expuesto en el punto (2.5.2.2).

### **Emplazamiento**

Únicamente se tomó una orientación para el emplazamiento de los modelos de aula para las distintas medidas lumínicas, la cual fue considerada en orientación norte – sur en las fachadas acristaladas, con el muro que porta la pizarra en dirección oeste. Esto en base a las recomendaciones que indica el ICIFED Federal, respecto a la orientación en climas cálido-seco descritos en el punto (). LA cual es adoptada por INIFED de Nuevo León, según lo descrito en las entrevistas con el personal del dto. De proyectos del organismo.

### **Referentes**

Para medir los niveles de iluminancia y su uniformidad, es necesario establecer un plano base de medición conformado por una rejilla de puntos de medición, los cuales se recomienda que estén dispersos de forma equidistante unos de otros, elevados a una determinada altura. Lo cual para este caso la rejilla estará compuesta de (60) puntos, colchados a una altura de 50cm, que corresponde a la altura de la base del pupitre, de acuerdo a lo propuesto por el ICIFED para el mobiliario escolar en alumnos de 3° y 4° grado, descrito en la tabla (2.5.2.2), la cual se seleccionó debido a que estos grados son los intermedios en el programa escolar primario.


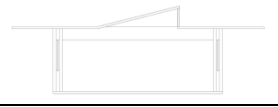
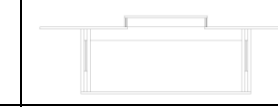
<b>GEOMÉTRICAS</b>	<b>SISTEMAS DE ILUMINACIÓN (3)</b>		
	SISTEMA BILATERAL	SISTEMA CLERESTORIO	SISTEMA MONITOR
			
	Área vano = 14.7 m <sup>2</sup>	Área vano = 20.3 m <sup>2</sup>	Área vano = 20.3 m <sup>2</sup>
<b>MATERIALES</b>	<b>PORCENTAJES DE REFLECTANCIAS</b>		
	PLANFOND, MUROS, PISO	(ESTANDAR) , Reflectancias 55%	
	CRISTAL	(ESTANDAR) , Transmitancia 70%	
<b>TEMPORALES</b>	<b>TEMPORADA (3)</b>		
	EQUINOCCIO DE PRIMAVERA	21 DE MARZO	
	SOLSTICIO DE VERANO	21 JUNIO	
	SOLSTICIO DE INVIERNO	21 DICIEMBRE	
	<b>MOMENTOS DEL DIA (1)</b>		
	11:00 hrs.		
<b>CIELO</b>	<b>TIPO DE CIELO (2)</b>		
	PARCIALMENTE DESPEJADO		
	DESPEJADO		
<b>EMPLAZAMIENTO</b>	<b>ORIENTACIONES (1)</b>		
	NORTE -SUR		
<b>REFERENCIA</b>	<b>PLANO DE MEDICIÓN</b>		
	ALTURA	50 (cm)	
	REJILLA	60 puntos	

Tabla 47: Resumen de parámetros para las mediciones digitales

### 3.6.1.5 Procedimiento general de mediciones digitales

- Modelar las tres aulas con los sistemas de iluminación natural a estudiar en el programa “AutoCAD (2012)”.
- Exportar el modelo de aula a evaluar en el programa “ecotect”, verificando las unidades métricas.
- Asignar valores de reflectancia a las superficies interiores (muros, piso y plafond), y el valor de refractancia del acristalamientos en ventanas.
- Se introduce la base de datos del clima del AMM al programa “ecotect”.
- Se indican la fecha y la hora del día.
- Se diseña y coloca la rejilla de puntos de mediación dentro del aula a evaluar.
- Se coloca una cámara dentro del modelo del aula para la creación de las imágenes analísticas de los tres parámetros lumínicos a evaluar.
- Se mide la “iluminancia”, mediante la aplicación “radiance”, indicando el tipo de cielo.
- Se mide la “luminancia” igualmente con la aplicación “radiance”, indicando el tipo de cielo, y se analizan los valores de luminancia en las superficies de la imagen para saber la relación entre la luminancia del plano base con las del contexto dentro del aula.
- La imagen analítica interior obtenida de la medición de luminancias se pasa a analiza como imagen HDRI (high dynamic range image), mediante la aplicación “evalglare” para localizar las posibles zonas de deslumbramiento.

## CAPITULO 4. RESULTADOS

### 4.1 EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO VISUAL

#### 4.1.1 Resultados de la prueba visual

GRAD PLANTEL 7



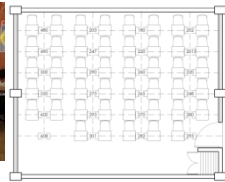
PLANTEL 8



PLANTEL 20

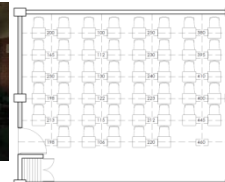


2°



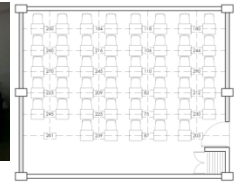
R.V = 14.4

E = 307.75



R.V = 17.15

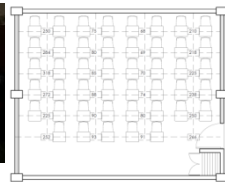
E = 229.08



R.V = 13.55

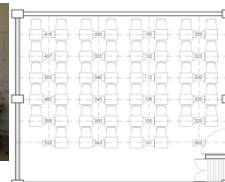
E = 175

4°



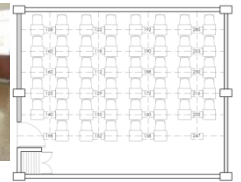
R.V = 18.17

E = 170.78



R.V = 19.83

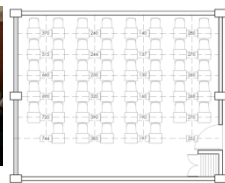
E = 331.5



R.V = 18.32

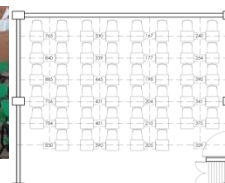
E = 168.9

6°



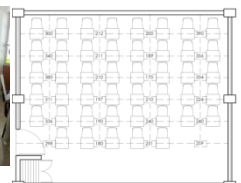
R.V = 20.34

E = 396.62



R.V = 23.27

E = 475.36



R.V = 21.0

E = 292.75

R.V = Rendimiento visual

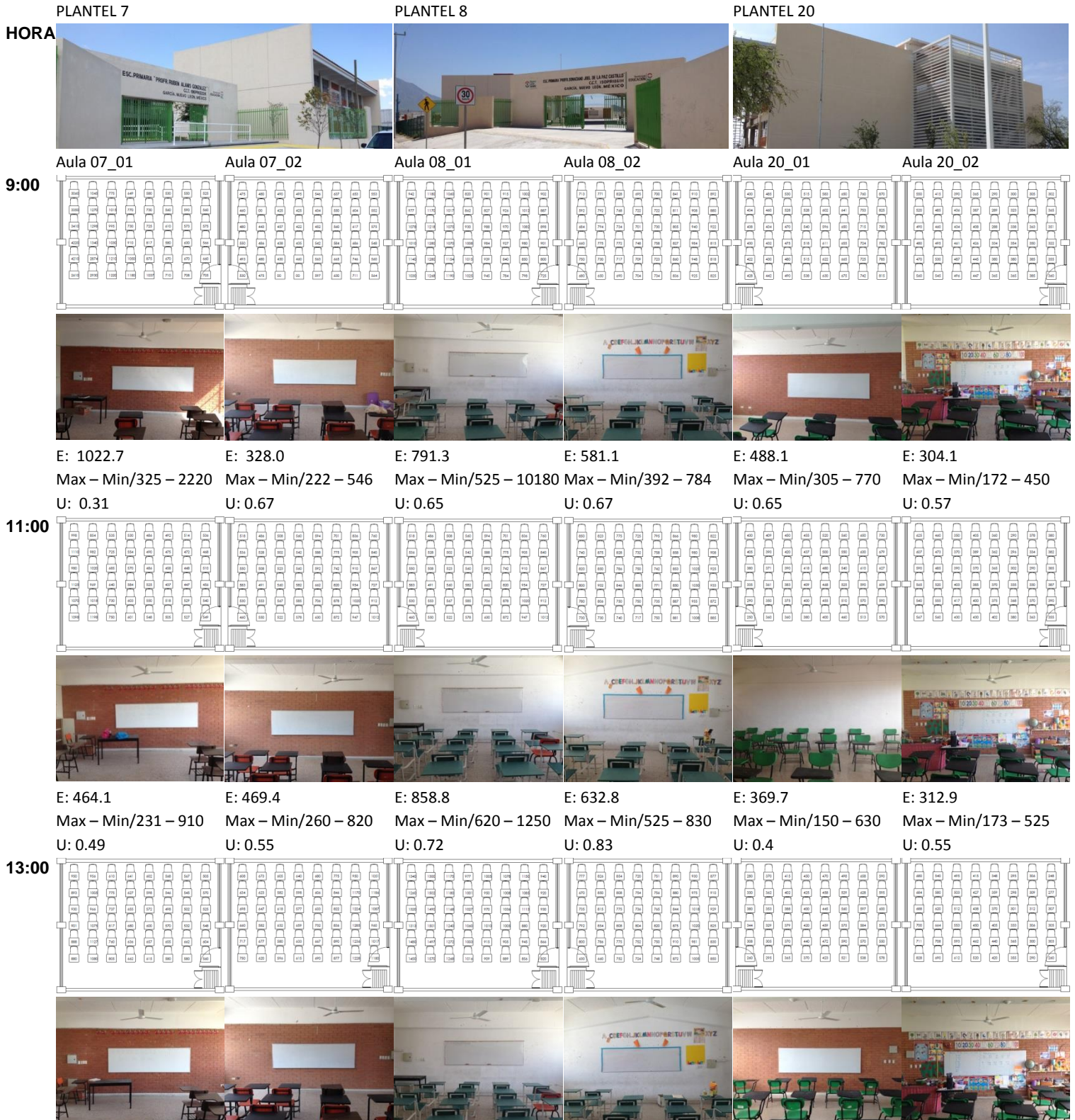
E = Iluminancia media

#### **4.1.2 Análisis de las resultantes**

En general las mediciones del rendimiento visual de los alumnos de los distintos planteles arrojaron valores similares acordes a los años escolares. Sin embargo donde se pudo registrar una ligera tendencia positiva de estos valores en relación con las condiciones del nivel de “iluminancia”, siendo que en el plantel 8 donde los valores de iluminancia fueron más elevados, los alumnos en promedio presentaron un mayor nivel de rendimiento visual.

## 4.2 MEDICIÓN DE ILUMINACIÓN EN CAMPO

### 4.2.1 Resultados de los niveles de iluminación en campo



E: 504.5	E: 588.6	E: 914.9	E: 622.3	E: 354.2	E: 355.9
Max – Min/298 – 927	Max – Min/377 – 1085	Max – Min/620 – 1370	Max – Min/430 – 820	Max – Min/180 – 558	Max – Min/148 – 728
U: 0.59	U: 0.64	U: 0.67	U: 0.69	U: 0.5	U: 0.41

**E= Iluminancia media U= uniformidad**

#### **4.2.2 Análisis de resultantes**

En los resultados de las mediciones realizadas en campo correspondientes al parámetro de “iluminancia”, correspondientes el nivel y a la uniformidad, medido en tres momentos del día, los niveles de iluminancia media (E) en las aulas del plantel 7 del modelo 2012 cuya orientación de fachadas acristaladas es norte-sur, presenta los niveles más cercanos a los niveles de referencia, estando en la mayoría de los casos entre los 500 – 1000 (lux), en los distintos momentos de día. A su vez sus estas cantidad de iluminación, registran una uniformidad más cercana al mínimo re referencia que es de U= 0.8, por lo que el modelo de aula usado en este tipo de plantel será aplicado para la implementación de los sistemas de iluminación seleccionado en las pruebas digitales con la misma orientación que dé norte- sur.



### 4.3. MEDICIONES DIGITALES

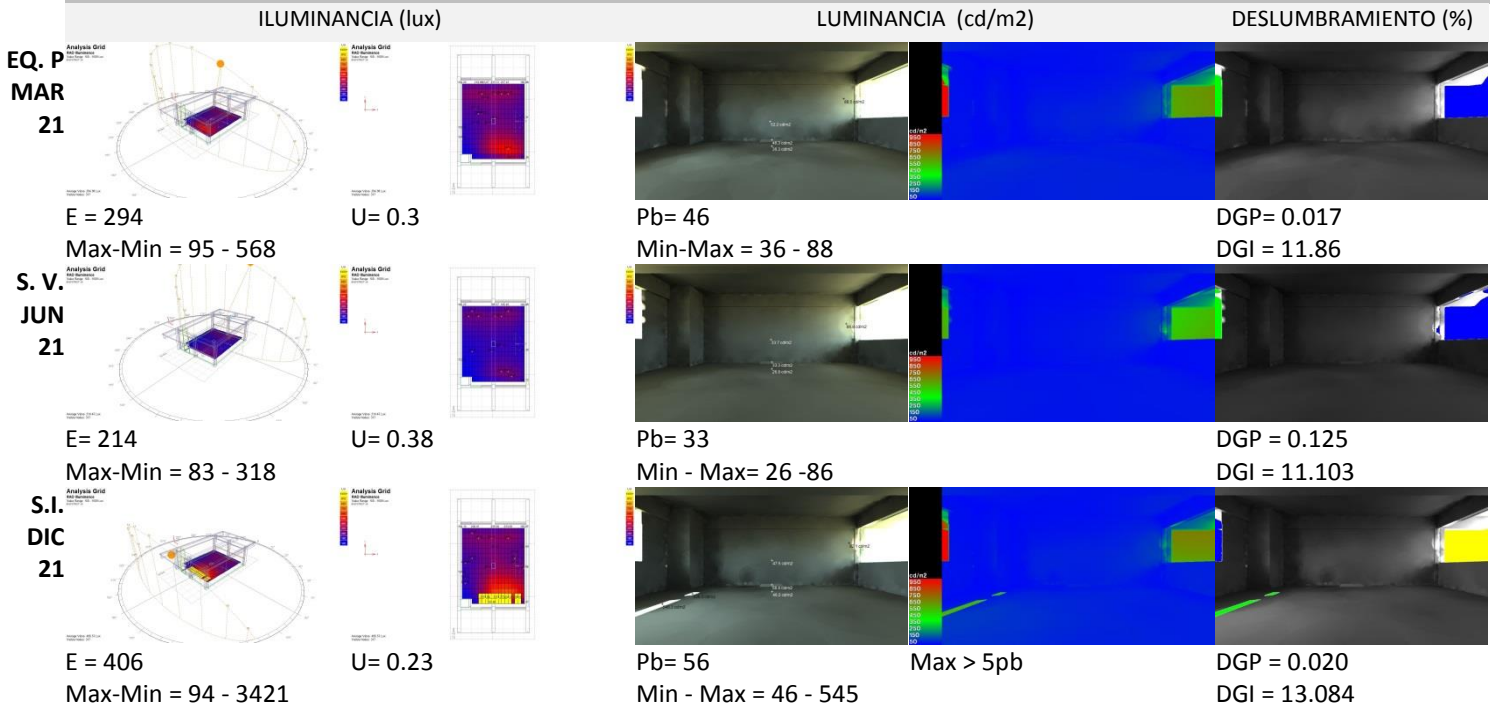
#### 4.3.1 Resultado de mediciones digitales

TEMP

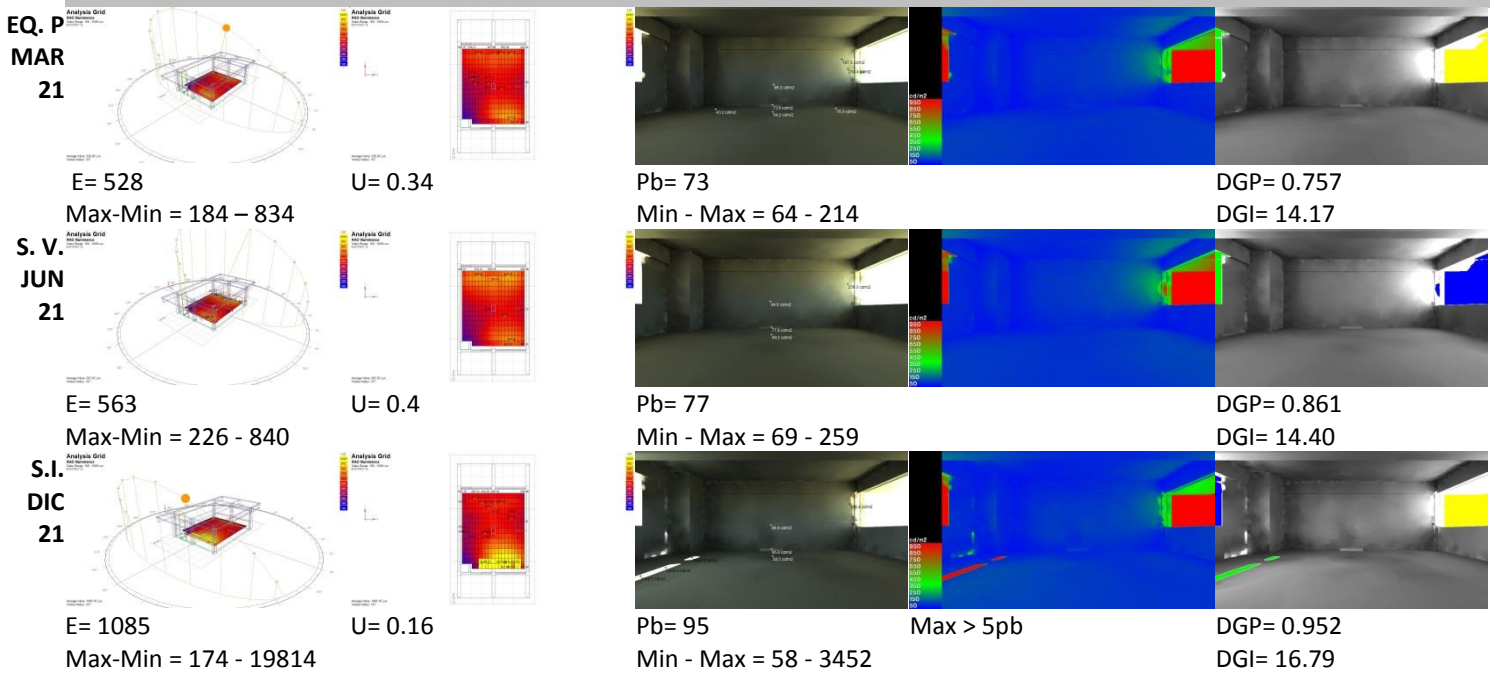
SISTEMA BILATERAL (Aula Base)



#### Cielo Parcialmente Nublado (11:00 hrs.)



#### Cielo Despejado (11:00 hrs.)



TEMP

SISTEMA CLERESTORIO



**Cielo Parcialmente Nublado (11:00 hrs.)**

	ILUMINANCIA (lux)	LUMINANCIA (cd/m <sup>2</sup> )	DESLUMBRAMIENTO (%)
<b>EQ. P</b> <b>MAR</b> <b>21</b>  E = 413 Max-Min = 150 - 3650  U = 0.36		 Pb= 76 Min - Max = 64 - 206	 DGP= 0.027 DGI = 11.69
<b>S. V.</b> <b>JUN</b> <b>21</b>  E= 328 Max-Min = 155 - 454  U = 0.47		 Pb= 62 Piso= 47	 DGP = 0.018 DGI = 10.218
<b>S.I.</b> <b>DIC</b> <b>21</b>  E = 479 Max-Min = 148 - 403  U = 0.3		 Pb= 73 Min - Max = 58 - 594 Max > 5pb	 DGP = 0.027 DGI = 12.682

**Cielo Despejado (11:00 hrs.)**

<b>EQ. P</b> <b>MAR</b> <b>21</b>  E = 686 Max-Min = 276 - 938  U = 0.4		 Pb= 108 Muro= 90 Mxima= 330 Min - Max = 90 - 330	 DGP= 0.11 DGI = 14.09
<b>S. V.</b> <b>JUN</b> <b>21</b>  E= 841 Max-Min = 362 - 1124  U = 0.43		 Pb= 144 Muro= 106 Mxima= 548 Min - Max = 106 - 548	 DGP= 0.146 DGI = 13.60
<b>S.I.</b> <b>DIC</b> <b>21</b>  E = 1170 Max-Min = 255 - 19916  U = 0.21		 Pb= 107 Max > 5pb Min - Max = 79 - 3476	 DGP= 0.115 DGI = 16.39

TEMP

SISTEMA LUCERNARIO

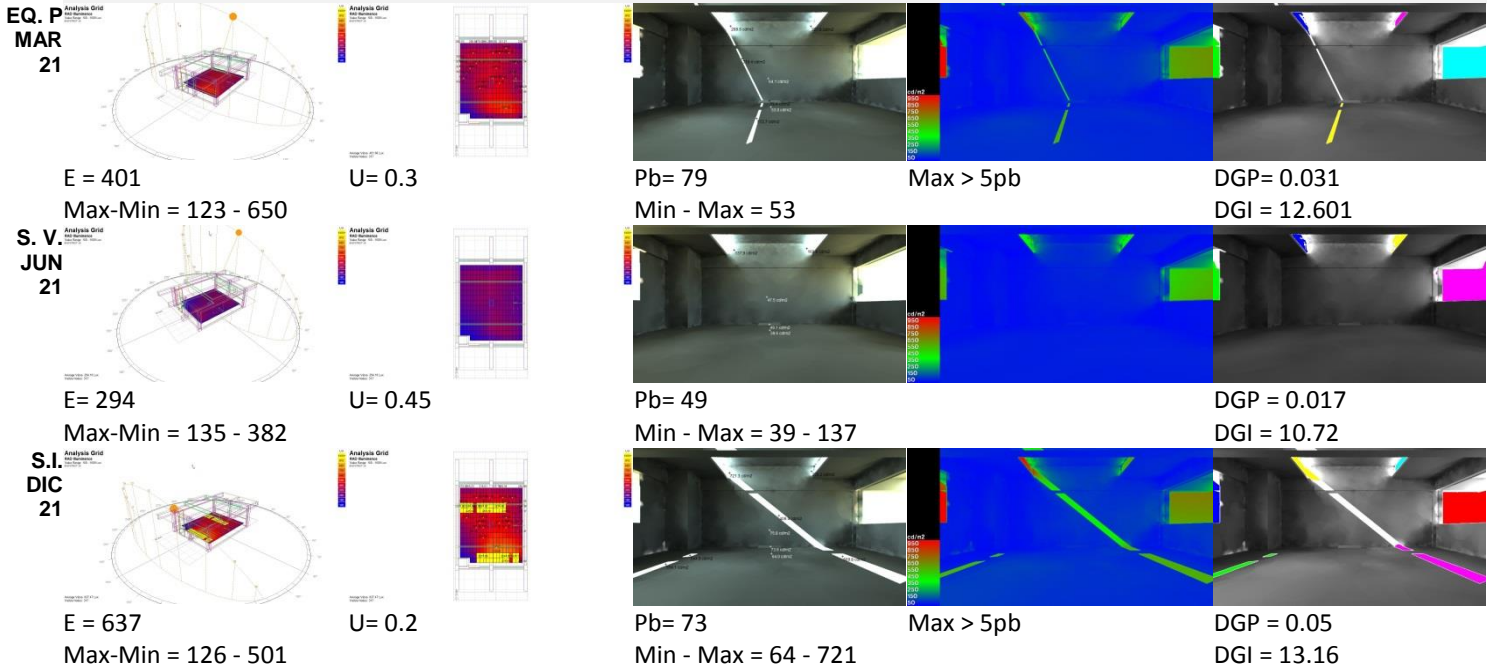


**Cielo Parcialmente Nublado (11:00 hrs.)**

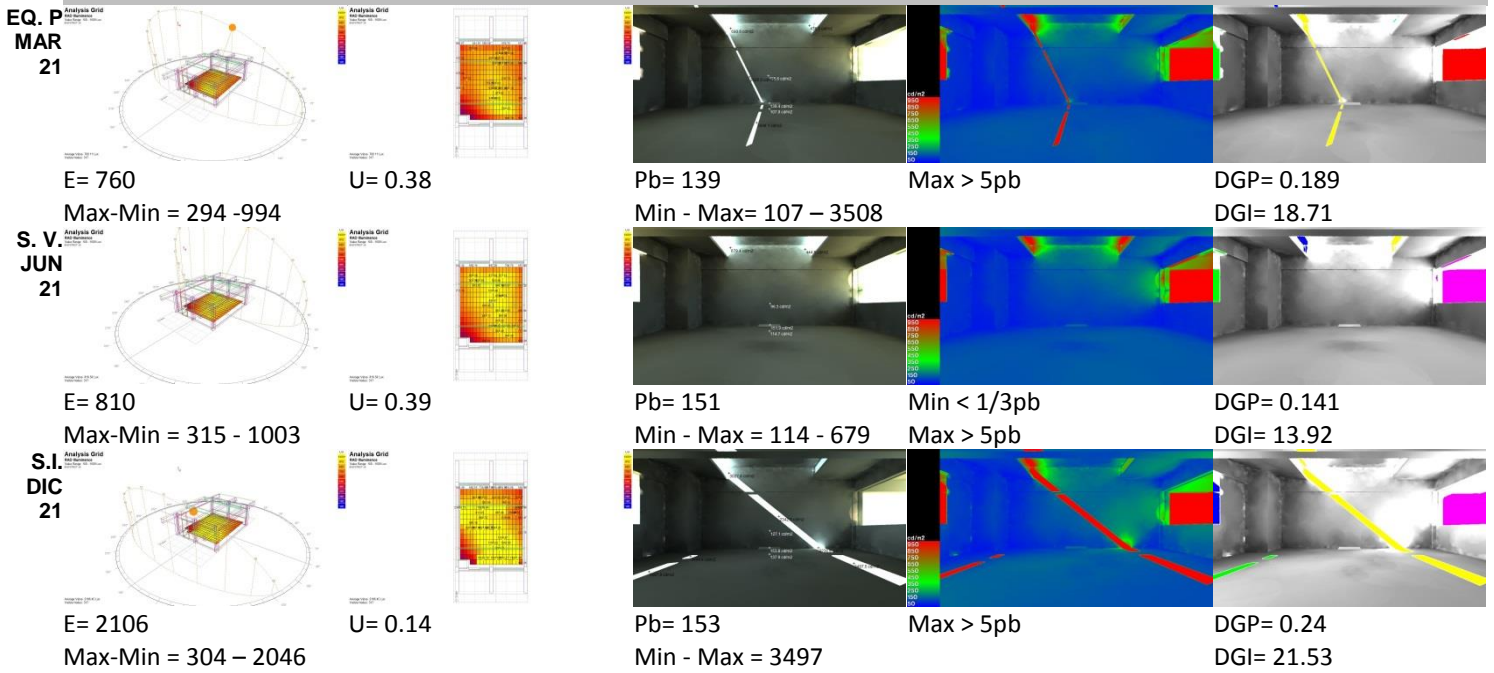
ILUMINANCIA (lux)

LUMINANCIA (cd/m2)

DESLUMBRAMIENTO (%)



**Cielo Despejado (11:00 hrs.)**



### 4.3.2 Análisis de resultantes

#### Sistema bilateral (aula base)

Los niveles de iluminancia media son menores a los rangos de referencia en condiciones de cielo parcialmente nublado, estando por debajo de los 500 lux. Mientras que en condiciones de cielo claros en los temporales de equinoccio de prim. Y solsticio de verano, estos se mantienen entre los rangos, sin embargo en el solsticio de invierno se registra un incremento mayor al 100% de los valores anteriores, debido al ingreso de luz directa por la inclinación de los rayos solares. Mientras que en las distribuciones de esta iluminación se proyecta notablemente en la parte céntrica del aula donde los valores decrecen en más del 70% respecto a los niveles en cercanos a las ventanas.

La relación entre el valor de luminancias del plano base (Pb) y de las superficies del plano visual, se mantienen dentro de los rangos de referencia exceptuando por el tiempo del solsticio de invierno donde se proyectan valores de luminancia 9 veces más elevados de las luminancias en el plano base en las condiciones de cielo parcialmente nublado, mientras que en el cielo despejado logra hay valores de hasta 36 veces el valor de las luminancias reflejadas en el plano base. Es por ello que se registran valores de deslumbramiento perceptibles el piso proveniente de la luz de la fachada sur.

#### Sistema Clerestorio

En cuanto al nivel de iluminancia, estos respondieron cercanos a los niveles mínimos de referencia (500 lux), los cuales están entre 300 y 480 lux en cielos seminublados. Los cuales aumentan en algunos casos hasta en más del 50%, estando estos entre los 680 y los 1200 lux, entrando en la mayoría en los rangos recomendables. En donde se registra una distribución general entre 0.3 y 0.4 y de aproximadamente 0.8 en la zona de pupitres, donde esta uniformidad es más constante entre los niveles laterales y del centro, exceptuando en el solsticio de invierno donde ingresa luz directa de las ventanas laterales.

La relación que hay entre las luminancias se mantiene dentro de los rangos de referencia, exceptuando en los momentos de solsticio de invierno, donde se proyectan valores mayores a 5 veces la luminancia del plano base colocada en el centro del aula. Lo cual genera una ligera percepción de deslumbramiento.

#### Sistema Lucernario

Los niveles de iluminación en los cielos parcialmente nublados se encuentran en dos de los tres momentos de medición fuera de los niveles de referencia, siendo que en invierno es cuando se incrementa notablemente el nivel medio en comparación con el verano. Que

de igual manera ocurre en los cielos claros, donde los niveles de primavera y verano entran en los rangos de referencia, sin embargo estos incrementan excesivamente en invierno. Por lo que el valor uniformidad que tiene la luz en el interior decae notablemente en estos momentos del año.

En cuanto a la relación de la luminancias. Estas registran un desequilibrio notorio entre el plano base y las superficies del plano visual, siendo que este desequilibrio se agudiza en cielos despejados donde los valores de luminancia en zonas donde se proyecta la luz natural de forma cenital están por encima de los 3000 cd/m<sup>2</sup>. Lo cual genera condiciones de deslumbramiento cercano valores de perturbación del DGI, que en combinación con la luz directa que se proyecta en el piso por la luz lateral, eleva el riesgo de deslumbramiento indirecto en el aula.

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES

### *5.1 Conjeturas*

Tras el análisis de las resultantes en las distintas mediciones, se puede deducir la existencia de distintos factores que afectan las condiciones de confort visual en el aula didáctica que tienen que ver tanto con su estructura formal, así como con el tipo de sistema de iluminación con que cuenta, siendo que:

Respecto a la cantidad de iluminación los tanto el sistema bilateral (aula base), como el clerestorio y lucernario proveen una cantidad insuficiente de luz en condiciones de cielo seminublado, sin embargo en condiciones de cielo despejado, los tres sistemas generan cantidades que entran en los rangos de referencia. En donde el sistema lucernario es el que permite el paso a mayor cantidad de luz en la mayoría de las ocasiones, llegando a niveles que superan excesivamente los rangos de referencia debido al ingreso directo de luz. Mientras que el sistema clerestorio presento valores menos dispares en las temporadas del año y más cercanos a un punto intermedio entre los de referencia en cielos despejados y muy cercanos a los valores mínimos en cielos parcialmente nublados. Siendo el sistema bilateral que actualmente implementan en el aula base, el que obtuvo niveles más bajos, los cuales estuvieron notoriamente por debajo de límite inferior de las referencias, los cuales aumentaron en cielo despejado, entrando en los rangos recomendados.

Sin embargo es necesario decir que los valores del nivel de iluminación que presenta el aula base con el sistema bilateral, se vieron afectados considerablemente en las temporadas de invierno, debido a que su diseño permite el ingreso directo de luz en su fachada sur, generando concentraciones de iluminación muy superiores al del resto del lugar. Lo cual altera a su vez los valores en los sistemas de iluminación implementados.

En la calidad de la iluminación, la distribución de la cantidad de luz (uniformidad), represento el factor lumínico más considerable en la contribución de las condiciones de confort visual dentro del aula por parte de los sistemas clerestorio y lucernario, elevando la uniformidad general en el aula, así como la uniformidad en zona céntrica en la que esta uniformidad decrecía notablemente en el sistema bilateral del aula base. En donde el sistema clerestorio presento niveles más elevados y un acercamiento mayor a los niveles de uniformidad de referencia tanto en los cielos nublados como en los despejados. En los cuales si se toma en cuenta la uniformidad de la sección de los muebles de pupitres, esta se eleva hasta llegar a los niveles mínimos recomendados.

En cuanto a las relaciones de las luminancias entre las superficies del interior, el sistema clerestorio genera un mayor equilibrio entre estas tanto en los distintos tipos de cielo, logrando entrar en la mayoría de los casos en los rangos de referencia. Aunque el sistema bilateral presenta una relación de luminancias que en la mayoría de los casos entra en los rangos recomendado, estos son más dispares que en el sistema clerestorio. Mientras que en el sistema lucernario las diferencias entre los valores son excesivamente elevados e debido al ingreso directo de luz. Es por ello que en los índices de deslumbramiento este sistema es el único que presenta situaciones considerables de deslumbramiento.

Respecto a las condiciones de confort visual que presentan las mediciones de los sistemas de iluminación natural, fue el sistema clerestorio el que se apegó mayormente a los valores de referencia en los distintos parámetros, por lo que se puede decir que los supuestos planteados en esta investigación enunciados en la hipótesis, se validan en correspondencia con las resultantes obtenidas.

Se puede concluir afirmando que la iluminación lateral que provee actualmente los modelos de aula didáctica a nivel primaria se puede ver beneficiada en buena medida al combinarse con luz cenital, siempre y cuando esta se proyecte de forma indirecta o difusa. Elevando las condiciones de confort visual descritas en el presente documento.

## **5.2 futuras líneas de trabajo**

- La modificación en las características compositivas de las tipologías de los sistemas de iluminación aplicados en este estudio puede llevar a la definición de rangos de aberturas y posicionamientos que se ajusten de forma más eficiente al aula didáctica y logren niveles de confort visual más elevados.
- Los sistemas de iluminación natural pueden ser analizados dentro del espacio del aula didáctica con la implementación dispositivos de obstrucción y difusión solar que puedan llegar a optimizar las cualidades lumínicas de estos.
- El estudio de las estrategias de iluminación estudiadas en este documento y como estas se puede aplicar en aulas de otros niveles de educación básica, puede llegar a ampliar los beneficios lumínicos de estas y elevar el confort visual en los alumnos.

## Bibliografía

- Anon (2000), *Lighting of Indoor Work Places*. N S 0081/E. CIE Publication Vienna, Austria.
- Araño, Axel, (2011), *Arquitectura escolar SEP 90 años, primera edición*, Consejo nacional para la cultura y las artes, dirección general de publicaciones, ciudad de México.
- Baeza Campo (1999), *La idea Construida*, Universidad de Palermo, textos de arquitectura y diseño, Buenos Aires, Argentina.
- Barragán, Luis (2000), *Escritos y conversaciones*, Ed. El croquis, España 2000.
- Boubekri Mohamed (2008), *Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies*, ed. Elsevier Ltd.
- Boyce, P. R. (2003), *Human Factors in Lighting*. 2nd ed. London and New York: Taylor & Francis.
- Calduch, Juan (2001), *Temas de composición arquitectónica “luz, sombra, color, contorno”*. Ed. Club Universitario, San vicente Alicante, España.
- California energy commission (2003), *Windows and Classrooms: A Study of Student Performance and the Indoor Environment*, technical report 2003.
- CEI Comité Español de Iluminación, IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía y CSCAE Colegios de Arquitectos de España (2005), *Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*, Madrid, España.
- Ching, Francis D.K. (1998), *Arquitectura Forma espacio y orden*, 2da edición, ed. Gustavo Gili, SA, Barcelona, España.
- Código Innova Chile - 09CN14-5706 (2012), *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos, “Evaluación de Estrategias de Diseño Constructivo y de Estándares de Calidad Ambiental y Uso Eficiente de Energía en Edificaciones Públicas, Mediante Monitorización de Edificios Construidos”*, Santiago, Chile.
- EU (TAREB) Comissió Europea. Direcció General d'Energia, (2004), *Energia confort y edificios*, ed. London Metropolitan University.
- Heschong Mahone Group (1999), *Daylighting in Schools—An Investigation into the Relationship between Daylighting and Human Performance*, Pacific Gas & Electric Company.
- Heschong Mahone Group y New Buildings Institute (2002), *Re-Analysis Summary: Daylighting in Schools, Additional Analysis*, California, U.S.
- Holl, Steven (2011), *Questions of perception “Phenomenology of architecture”, Phenomenal zones” y “Architypal experiences of architecture”1992-1993, Cuestiones de percepcion (Fenomenología de la arquitectura)*, Ed. Gustavo Gili, SL, Barcelona España.



- IEA International Energy Agency, ECBCS Energy Conservation in Buildings and Community Systems (2010), Guidebook on Energy Efficient Electric Lighting for Buildings, Editado por Liisa Halonen, Eino Tetri & Pramod Bhusal.
- IESNA Illuminating Engineering Society of North America (2000). The IESNA Lighting Handbook, 9th ed. New York.
- INEE Instituto nacional para la evaluación de la educación, Eduardo Backhoff, Bouzas Arturo, Contreras Carolina, Hernández Eduardo, García Marisela (2007), Factores escolares y aprendizaje en México El caso de la educación básica ,México D.F.
- INEE Instituto nacional para la evaluación de la educación (2007), Infraestructura escolar en las Primarias y Secundarias de México, México D.F.
- INIFED Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (2009), Volumen 2. Estudios preliminares: tomo 1. Planeación, programación y evaluación.
- INIFED Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (2009), Volumen 3. Habitabilidad y funcionamiento: tomo 1. Diseño arquitectónico.
- INIFED Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (2013), Diseño arquitectónico: educación básica – primaria CDA-PRIM-PU-02.
- Navarro, Juan (1999), La habitación vacante, Pre-Textos, València 1999, habla del amarillo como “sombra luminosa” aludiendo a este doble carácter. Pág. 48.
- O’Donell, Beatriz y Kirschbaum, Carlos (2006), manual ELI Efficient Lighting Initiative, ed. Universidad Tecnológica Nacional U.T.N, Buenos Aires, Argentina.
- Olgyay, Victor (1998), Arquitectura y clima, Guitavo Gili, SL, Barcelona, España.
- Patricia Plympton, Susan Conway, Kyra Epstein (2000), Daylighting in Schools: Improving Student Performance and Health at a Price Schools Can Afford, National Renewable Energy Laboratory, Wisconsin, U.S.
- Pattini Andrea (2003), confort visual en espacios interiores iluminados con luz natural en climas soleados. modelos teóricos y valoraciones subjetivas, Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA).
- Pallasmaa, Juhani (2005), The eyes fo the skin. Architecture and the Senses, Wiley-Academy, Chichester (West Sussex) 2005, (Version castellana): Los ojos de la piel, ed Gustavo Gili, SL, Barcelona, España.
- Plummer, Henry (2009), La arquitectura de la luz natural (The architecture of natural light), ed. Arts Blume S.L., Barcelona.
- Ramos, Elisa (2004), La materia intangible: reflexiones sobre la luz en el proyecto de arquitectura, ed. Ediciones generales de la construcción, Valencia, España.

- Serra, Rafael y Coch Helena (1995), *Arquitectura y energía natural*, ed. Edicions UPC.
- Serra, Rafael (1999), *Arquitectura y climas*, ed. Gustavo Gili, SA, Barcelona, España.
- Tregenza P, Wilson M (2011), *Daylighting architecture and lighting design*, New York .
- Unwin Simon, (2003), *Análisis de la arquitectura*, ed. Gustavo gili, Barcelona España.
- U.S. Department of Energy (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (2007), *National Best Practices Manual For Building High Performance Schools*.
- Veitch, J.A., newsham,G.R. (1998), *Determinants of lighting quality I: State of the Science*, *Journal of the Illuminating Engineering Society* 27 (1).
- Wu Wei & Ng Edward (2003), *Lighting Res. Technol.* 35,2, *A review of the development of daylighting in schools*, Singapore.
- Wieser Martin (2007), *La iluminación cenital*, *Revista Ancral* # 5 mayo-junio 2007.
- Yáñez Guillermo (2008), *Arquitectura solar e iluminación natural: conceptos, métodos y ejemplos*, ed. Munilla-Lería, Madrid, España.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Proyección de luz natural .....	7
Fig. 2: Experimentos de óptica de Newton (Cambridge Queen´s Collage) .....	8
Fig. 3: Espectro radiante.....	8
Fig. 4: División de los colores del espectro visible .....	9
Fig. 5: Sección del espectro visible.....	10
Fig. 6: Ventanal de la capilla de Notre Dame du Haut en Ronchamp, Le Corbusier .....	10
Fig. 7: Unidades fotométricas .....	12
Fig. 8: Radiación en contacto con obstáculos .....	15
Fig. 9: Tipos de reflexión de luz en obstáculos.....	16
Fig. 10: Tipos de refracción en superficies translucidas.....	17
Fig. 11: Eclipse lunar.....	19
Fig. 12: Composición espectral de la luz natural.....	20
Fig. 13: Composición espectral en luz de lámpara fluorescente.....	20
Fig. 14: Fuentes de luz (luz directa del sol, luz de la bóveda celeste, reflexiones en la superficie)..	20
Fig. 15: Luz directa en cielo claro y cielo nublado.....	21
Fig. 16: Estaciones en el hemisferio norte .....	22
Fig. 17: Incidencia solar según la época del año .....	22
Fig. 18: Carta solar.....	22
Fig. 19: Altitud y azimut.....	23
Fig. 20: Tipologías de cielo .....	24
Fig. 21: Proyección de luz en recamara a escala.....	26
Fig. 22: Vista .....	27
Fig. 23: Estructura del ojo humano .....	28
Fig. 24: Alzado y planta del campo visual.....	29
Fig. 25: Rangos visuales horizontal y vertical .....	29
Fig. 26: Representación de los órganos sensoriales del hombre .....	31
Fig. 27: El confort visual en base a la actividad.....	34
Fig. 28: Aula escuela munkegaard, arne jacobsen .....	44
Fig. 29: Reflectancias recomendadas para las superficies en aulas de clase. (IESNA, Cap. 12, Educational Facility Lighting, quality and quantity of illumination, reflectances) .....	47
Fig. 30: Rangos de deslumbramientos par DGP y DGI: Alstan Jakubiec and Christoph Reinhart: The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice .....	47
Fig. 31: Luz cenital, capilla de Notre Dame du Haut en Ronchamp, Le Corbusier .....	48
Fig. 32: Dibujo del sol de Le, Corbusier, Baker: 186.....	49
Fig. 33: Notre-Dame-du-Haut chapel, Ronchamp, France, Le Corbusier, 1950–1954.....	50
Fig. 34: Jorn Utzon, Bagsvaerd Church, Denmark .....	50
Fig. 35: Luz ingresando , Jame mosque, Naeen siglo 9 .....	52
Fig. 36: Le Corbusier, diagramas de asoleamiento en unidad habitacional.....	53
Fig. 37: Recamara Casa-estudio, Luis Barragán Morfin.....	55
Fig. 38: Iglesia de la luz, Tadao Ando .....	55

Fig. 39: Panteón de Agripa, Adriano, entre los años 118 y 125 d.C .....	56
Fig. 40: Luz cenital, proyección .....	57
Fig. 41: Estudio Elisa Valero, Granada .....	58
Fig. 42: Librería de Rovaniemi, Alvar Aalto .....	58
Fig. 43: Proyección de luz cenital, Biblioteca de Vipuri Alvar Aalto .....	59
Fig. 44: Luz cenital en aula de clase .....	61
Fig. 45: Iluminación en el plano base del aula de clase .....	63
Fig. 46: Aula de clases .....	63
Fig. 47: Interior y exterior de la escuela Fort Collins school con vanos de clerestorios orientados al sur.....	64
Fig. 48: Proyección de iluminación directa en un espacio .....	65
Fig. 49: Proyección de iluminación indirecta .....	65
Fig. 50: Proyección de iluminación difusa .....	66
Fig. 51: Componente de paso lateral, ventana .....	66
Fig. 52: profundidad de luz natural .....	67
Fig. 53: Efectos lumínicos con distintas composiciones de ventana.....	69
Fig. 54: Proyección de luz lateral y cenital .....	70
Fig. 55: Sistemas de iluminación natural, IESNA Lighting Handbook Reference Volume (IESNA 1984). .....	71
Fig. 56: Posición del sol en distintos momentos del año .....	74
Fig. 57: Análisis de asoleamiento de edificio .....	75
Fig. 58: Proyección de luz en obstáculos del contexto .....	75
Fig. 59: Cielo Parcialmente nublado.....	76
Fig. 60: Zona central oscura en espacios de gran superficie.....	79
Fig. 61: Fig. Relación de la forma con el reparto de la luz.....	79
Fig. 62: Esc. primaria Carlos A. Carrillo, Tamaulipas, Carlos Leduc, 1947 .....	80
Fig. 63: Juan O'Gorma, Escuela Primaria Colonia Industrial (1932)   Archivo DACPAI-INBA.....	84
Fig. 64: Juan O 'Gorman proyecto de escuela primaria tipo 1933 .....	85
Fig. 65: Juan O 'Gorman, Escuela primaria Melchor Ocampo (1932) .....	86
Fig. 66: Aula Hidalgo, 1958, Pedro Ramírez Vázquez.....	88
Fig. 67: Estructura prefabricada de aulas rurales, Pedro Ramírez Vázquez.....	89
Fig. 68: Logotipo CAPFCE e ICIFED.....	90
Fig. 69: Variaciones del cociente diurno (ICIFED, 2009, p.5).....	91
Fig. 70: Sistemas de iluminación natural (bilateral, clerestorio y lucernario) .....	98
Fig. 71: Interior aula didáctica (modelo 2012) .....	101
Fig. 72: Vistas axonometrías del modelo base de aula didáctica.....	101
Fig. 73: Planearía del modelo de aula didáctica de planteles 2012 .....	102
Fig. 74: Planearía de modelo de aula didáctica en planteles 2013 .....	103
Fig. 75: Localización de planteles escolares 2012 y 2013 .....	110
Fig. 76: Casos de estudio de los planteles escolares de 2012 y 2013 .....	112
Fig. 77: Aulas de los grados 2,4 y 6 grado en el plantel 7 donde se realizó la prueba visual.....	119
Fig. 78: Aulas de los grados 2,4 y 6 grado en el plantel 8 donde se realizó la prueba visual.....	120

Fig. 79: Aulas de los grados 2,4 y 6 grado en el plantel 20 donde se realizó la prueba visual.....	120
Fig. 80: Plano de recolección de mediciones de "iluminancia" en aulas .....	121
Fig. 81: Aulas para la medición de "iluminancia" en el plantel 7 .....	122
Fig. 82: Aulas para la medición de "iluminancia" en el plantel 8 .....	123
Fig. 83: Aulas para la medición de "iluminancia" en el plantel 20 .....	123
Fig. 84: Planearía arquitectónica del aula base con el "sistema clerestorio" .....	128
Fig. 85: Planearía arquitectónica del aula base con el "sistema Lucernario" .....	128
Fig. 86: Amanecer, cerro de la silla, Monterrey N.L.....	129
Fig. 87: Diagrama Estereográfico, Monterrey N.L.....	130

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: parámetros específicos de confort (Serra & Coch, 1995: 92).....	33
Tabla 2: parámetros generales de confort (Serra, Coch, 1995: 92) .....	33
Tabla 3: (Serra, Coch 1995: 93) .....	33
Tabla 4: Iluminancia (valores generales), (Serra &, Coch, 1995: 114) .....	36
Tabla 5: (CEI &IDEA, 2005: 27) .....	37
Tabla 6: Luminancias absolutas (CIE: Comisión Internacional de iluminación) .....	38
Tabla 7: Haz de luz directa .....	39
Tabla 8: Tipologías de deslumbramientos .....	40
Tabla 9: Luz en velo .....	40
Tabla 10: Transición lumínica entre espacios .....	41
Tabla 11: Deslumbramiento directo .....	41
Tabla 12: Deslumbramiento indirecto .....	41
Tabla 13: Valores del DGI de deslumbramiento .....	42
Tabla 14: Temperaturas del color en kelvin .....	43
Tabla 15: Grados de reproducción cromática en objeto .....	43
Tabla 16: Parámetros de confort en aulas IESNA.....	45
Tabla 17: Categorías de Iluminancias y valores de iluminancia para la iluminación: tipos genéricos de actividad (IESNA, lighting handbook, 1987) .....	46
Tabla 18: Categorías de Iluminancias recomendadas para interiores de instrucción. (IESNA, lighting handbook, 1987) .....	46
Tabla 19: Relación de luminancias .....	47
Tabla 20: (ICIFED, 2009, p.5) .....	91
Tabla 21: (ICIFED, 2009, p.5) .....	91
Tabla 22: materiales de acabados y elementos (inifed, 2013, p.34).....	92
Tabla 23: (ICIFED, 2013, p.9) .....	92
Tabla 24: Niveles de iluminacion en aulas de clase, (ICIFED, 2013, p.25).....	92
Tabla 25: Altura de la vista de alumnos de nivel primaria .....	93
Tabla 26: (ICIFED, 2009, p.4) .....	93
Tabla 27: Altura de la base del pupitre .....	93
Tabla 28: (ICIFED, 2009, p.6) .....	93
Tabla 29: Esquema metodológico general .....	95
Tabla 30: Diagrama de secuencia de recolección .....	96
Tabla 31: Características geométricas del aula en planteles 2012 .....	102
Tabla 32: Características geométricas del aula en planteles 2012 .....	103
Tabla 33: Vista elevada de modelo de planteles escolares 2012.....	104
Tabla 34: Vista elevada de modelo de planteles escolares 2012.....	105
Tabla 35: Planta arquitectónica de conjunto del plantel 7 .....	113
Tabla 36: Corte transversal del plantel 7 .....	113
Tabla 37: Planta arquitectónica de conjunto del plantel 8 .....	114
Tabla 38: Corte transversal del plantel 8 .....	114

Tabla 39: Planta arquitectónica de conjunto del plantel 20 .....	115
Tabla 40: Corte transversal plantel 20 .....	115
Tabla 41: Ototipo de "C" Ladolt .....	116
Tabla 42: Cuartilla de prueba de rendimiento visual .....	117
Tabla 43: Características generales en la prueba visual.....	118
Tabla 44: Características generales de la recolección de luminancias en aulas de los casos de estudio.....	122
Tabla 45: Fuente: (Yáñez, 2008: 448) tabla 11.7 “valores de la eficiencia luminosa y difusa (según Hopkinson, 1996)”.....	125
Tabla 46: Fuente: (Yáñez, 2008: 455) tabla 11.8 “valores de rendimiento medio según el ángulo de inclinación de la cristalería (según Früling)” .....	126
Tabla 47: Resumen de parámetros para las mediciones digitales .....	132