



UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY

DISEÑO  
ARQUITECTURA  
Y ARTE  
FACULTAD

## RELACIÓN ENTRE EL ESPACIO CONSTRUIDO Y EL CONFORT LUMÍNICO INTERIOR

CASO: AULAS DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY

**Escuela de Arquitectura**

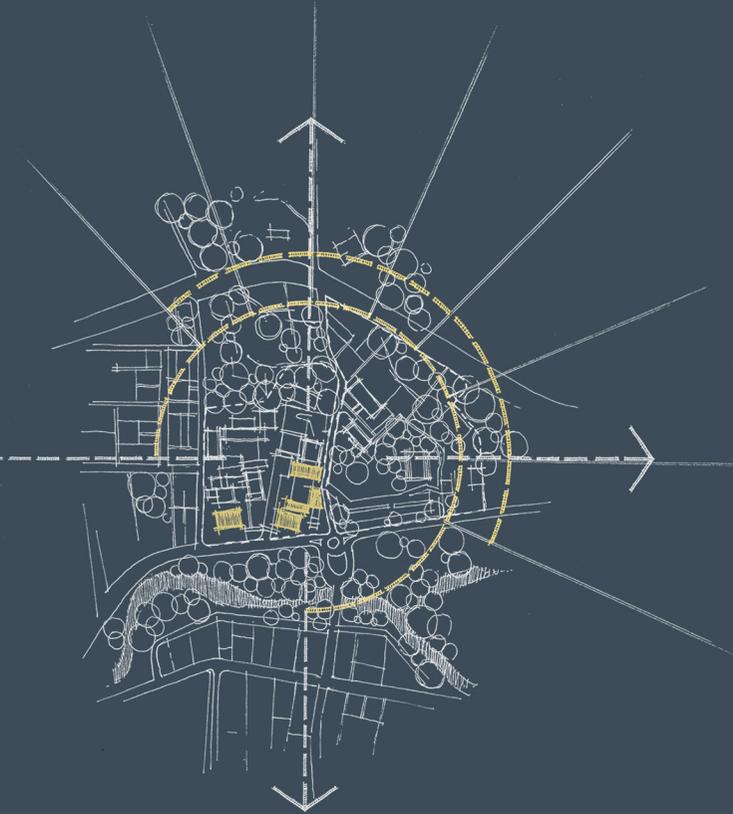
PROYECTO FINAL DE CARRERA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTA

**Autora:** María Paula Contreras Silva

**Directora:** Ana Rodas

**Co-director:** Pablo Ochoa

CUENCA, ECUADOR 2020







---

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE DISEÑO, ARQUITECTURA Y ARTE**  
**ESCUELA DE ARQUITECTURA**

---

Relación entre el espacio construido y el confort lumínico interior  
Caso: Aulas del campus central de la Universidad del Azuay

*Proyecto final de carrera previo a la obtención del título de Arquitecta*

*Autora: María Paula Contreras Silva*

*Directora: Ana Rodas*

*Co-director: Pablo Ochoa*

*Cuenca, Ecuador - 2020*

## DEDICATORIA

A mi madre, Cecilia, quien es mi ejemplo de ser humano, por su fortaleza, honestidad e inteligencia. Por siempre guiarme y nunca dejarme caer.

A mis viejitos adorados, Bolívar y Lola, por siempre haber estado conmigo, por su amor infinito y por siempre cuidarme.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Marco y Cecilia, por todas sus enseñanzas y por el apoyo que me han dado.

A mis hermanos, Juan y Claudia, por la paciencia infinita y las palabras de aliento.

A mi tía, Lorena y a mi pequeña Juli, por todo su cariño.

A mi novio, Sebastián, por su amor incondicional. Por haber estado en los momentos más difíciles y ser mi motor para no darme por vencida.

A mis amigas y futuras colegas, Patricia y Paula. Por su amistad incondicional, sé que será para toda la vida.

Especial agradecimiento a:

Arq. Ana Rodas  
Arq. Pablo Ochoa  
Arq. Carla Hermida  
Arq. Verónica Heras  
Ing. Vanessa Vanegas

Por su colaboración:

Departamento de Limpieza UDA  
Departamento de Planificación UDA

# ÍNDICE

|   |     |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|
| <b>RESUMEN</b>  | 10  |  |  |  |  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>   |     |  |  |  |  |
| Problemática  | 13  |  |  |  |  |
| Pregunta de investigación   | 15  |  |  |  |  |
| Hipótesis   | 15  |  |  |  |  |
| Objetivos   | 15  |  |  |  |  |
| <b>01: MARCO TEÓRICO &amp; ESTADO DEL ARTE</b>  |     |  |  |  |  |
| 1.1 Parámetros ambientales de confort   | 18  |  |  |  |  |
| 1.1.1 Confort lumínico  | 18  |  |  |  |  |
| 1.1.2 Ambiente luminoso   | 19  |  |  |  |  |
| 1.2 La iluminación en espacios educativos   | 20  |  |  |  |  |
| 1.2.1 Ventajas y desventajas de la luz  | 20  |  |  |  |  |
| 1.2.2 Normas específicas  | 20  |  |  |  |  |
| 1.2.3 Elementos de diseño que influyen en la incidencia de la iluminación                   | 20  |  |  |  |  |
| 1.3 Estrategias de diseño   | 22  |  |  |  |  |
| 1.3.1 Estrategias de transmisión de luz natural   | 22  |  |  |  |  |
| 1.3.2 Estrategias de distribución de luz natural  | 23  |  |  |  |  |
| 1.3.2.1 Elementos de distribución de luz  | 23  |  |  |  |  |
| 1.3.3 Estrategias de protección solar   | 26  |  |  |  |  |
| 1.3.4 Control de la luz artificial  | 28  |  |  |  |  |
| 1.4 CASOS DE ESTUDIO  | 30  |  |  |  |  |
| <b>02: CASO DE ESTUDIO &amp; METODOLOGÍA</b>  |     |  |  |  |  |
| 2.1 Campus central de la Universidad del Azuay  | 36  |  |  |  |  |
| 2.2 Metodología   | 39  |  |  |  |  |
| 2.3 Aulas de estudio  | 40  |  |  |  |  |
| 2.3.1 Tipología A: aula del Departamento de Idiomas   | 40  |  |  |  |  |
| 2.3.2 Tipología B: aula del Departamento de Idiomas   | 42  |  |  |  |  |
| 2.3.3 Tipología C: Aula de la Facultad de Diseño  | 44  |  |  |  |  |
| 2.3.4 Tipología D: Aula de la Facultad de Administración                                    | 46  |  |  |  |  |
| 2.3.5 Tipología E: Aulario de Diseño y Posgrados  | 48  |  |  |  |  |
| 2.4 Criterios de Diseño   | 51  |  |  |  |  |
| 2.4.1 Calificación del color  | 51  |  |  |  |  |
| 2.4.2 Calificación ventanas   | 52  |  |  |  |  |
| 2.4.3 Calificación geometría del lugar  | 52  |  |  |  |  |
| 2.4.4 Puntuación del diseño   | 53  |  |  |  |  |
| 2.5 Método de medición  | 55  |  |  |  |  |
| 2.5.1 Método de la cuadrícula   | 55  |  |  |  |  |
| 2.5.2 Normativa del Ecuador   | 57  |  |  |  |  |
| 2.6 Mediciones en sitio   | 59  |  |  |  |  |
| <b>03: RESULTADOS &amp; DISCUSIÓN</b>   |     |  |  |  |  |
| 3.1 Resultados  | 68  |  |  |  |  |
| 3.1.1 Tipología A   | 68  |  |  |  |  |
| 3.1.2 Tipología B   | 70  |  |  |  |  |
| 3.1.3 Tipología C   | 72  |  |  |  |  |
| 3.1.4 Tipología D   | 74  |  |  |  |  |
| 3.1.5 Tipología E   | 76  |  |  |  |  |
| 3.2 Discusión   | 78  |  |  |  |  |
| 3.3 Conclusiones  | 79  |  |  |  |  |
| <b>04: ESTRATEGÍAS DE DISEÑO &amp; PROPUESTA</b>  |     |  |  |  |  |
| 4.1 Estrategias de optimización de la luz interior  | 82  |  |  |  |  |
| 4.1.1 Recomendaciones de diseño   | 82  |  |  |  |  |
| 4.1.2 Recomendaciones sobre el uso de sistemas de regulación y control de la luz artificial | 82  |  |  |  |  |
| 4.1.3 Recomendaciones de mantenimiento  | 82  |  |  |  |  |
| 4.2 Propuestas de diseño  | 83  |  |  |  |  |
| <b>05: BIBLIOGRAFÍA</b>   |     |  |  |  |  |
| Referencias   | 112 |  |  |  |  |
| Créditos  | 114 |  |  |  |  |
| <b>06: ANEXOS</b>   |     |  |  |  |  |
| Anexos  | 120 |  |  |  |  |

En edificios con fines educativos, es primordial mantener un ambiente interior confortable. Una forma de conseguir dicho ambiente es proporcionando un manejo adecuado de la iluminación, pero la luz como tal, no interviene sola, depende del diseño del espacio para su correcto funcionamiento. Esta investigación determinó de qué forma inciden las características morfológicas del espacio construido con respecto al confort lumínico interior, a partir de los resultados se establecieron estrategias de diseño para mejorar el ambiente luminoso. La investigación tomó como caso de estudio las aulas del campus central de la Universidad del Azuay, ubicada en Cuenca- Ecuador.

Palabras clave:

iluminación interna, iluminancia, elementos de diseño, comodidad visual, ambientes educativos.

## RESUMEN

## ABSTRACT

In buildings with educational purposes, it's essential to maintain a comfortable indoor environment. One way to achieve this environment is by providing adequate lighting management, but light as such doesn't intervene alone, it depends on the design of the space for its proper functioning. This investigation determined how the morphological characteristics of the built space affect indoor lighting comfort. From the results, design strategies were established to improve the lighting environment. The research took as a case study the classrooms located in the central campus of Universidad del Azuay in Cuenca- Ecuador.

Keywords:

Internal lighting, illuminance, design elements, visual comfort, educational environments.

# INTRODUCCIÓN

## PROBLEMÁTICA

De acuerdo con Heywood (2015), los seres humanos son seres de interior, debido a que el 90% del tiempo permanecen dentro de las edificaciones. Las edificaciones están planificadas para modificar el ambiente interior y proporcionar espacios confortables independientemente del clima exterior que se disponga; pero, estos espacios ¿Realmente llegan a ser confortables?

Dentro de los edificios existen varios factores de riesgo que influyen en la comodidad interior; entre ellos están el ruido, temperatura, ventilación, humedad e iluminación. La iluminación, es importante en edificios educativos, ya que son entornos de aprendizaje y el diseño adecuado afecta en el rendimiento y comodidad de los estudiantes y maestros. Por consiguiente, las aulas de aprendizaje, son lugares de especial relevancia, considerando las extensas horas que los estudiantes ocupan estos ambientes.

El mismo autor describe que la falta de iluminación natural afecta a los ritmos circadianos de los ocupantes, provocando estrés, cansancio, falta de concentración, etc. Además de ello señala que los edificios educativos superan el 20% más en el consumo de energía, la cual se destina a la iluminación artificial. En consecuencia, mantener interiores con excesiva luz artificial puede ocasionar temperaturas altas, fatiga, malestar visual, etc. (Krüger & Dorigo, 2008). Entonces, ante esto, ¿Cuál es el manejo que se lleva de la iluminación interior en las edificaciones educativas?

La investigación partió con el interés de detectar el estado de la iluminación natural y artificial en las aulas del campus central de la Universidad del Azuay ubicada en la ciudad de Cuenca-Ecuador, con el propósito de determinar la relación entre el espacio construido con el estado de su confort lumínico interior.

# INTRODUCCIÓN

## PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo incide el espacio construido en el confort lumínico interior en las tipologías de aulas del campus central de la Universidad del Azuay?

## HIPÓTESIS

Las características morfológicas del espacio construido intervienen de manera directa en el confort lumínico interior en las aulas del campus central de la Universidad del Azuay.

## OBJETIVO GENERAL

Determinar cómo inciden las características morfológicas del espacio construido en el confort lumínico interior en las aulas del campus central de la Universidad del Azuay.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la importancia que tienen las características del espacio construido con respecto al confort lumínico en ambientes interiores a través de estudios previos.
2. Analizar el estado actual del nivel lumínico interior en las diferentes tipologías de aulas del campus central de la Universidad del Azuay.
3. Encontrar la relación existente entre el espacio construido con respecto al confort lumínico interior en las aulas del campus central de la Universidad del Azuay.
4. Establecer estrategias para mejorar el confort lumínico interior a través de estrategias de diseño en las aulas del campus central de la Universidad del Azuay, y dar cumplimiento a la Norma Ecuatoriana de la Construcción – Eficiencia Energética en edificaciones NEC-HS-EE.

01

MARCO TEÓRICO & ESTADO DEL ARTE

## 1.1 PARÁMETROS AMBIENTALES DE CONFORT

La arquitectura tiene la capacidad de expresar la realidad tangible de la construcción. En general cuando nos referimos a la construcción, usualmente nos referimos a la parte tectónica, dejando relegados temas que tienen la misma relevancia y que se encuentran en la base de los procesos compositivos de la arquitectura (Bohigas, 2004).

El mismo autor, manifiesta que en los últimos años se ha demandado dar importancia al concepto de confortabilidad en la arquitectura, con el propósito de que las exigencias de la edificación se proyecten en base a las especificaciones ambientales y no únicamente en términos tectónicos. Por lo tanto, con la aparición de esta concepción se da lugar a una nueva postura arquitectónica, en donde están presentes los parámetros objetivos del ambiente.

Estos parámetros ambientales de confort se los denomina como "manifestaciones energéticas, que expresan las características físicas y ambientales de un espacio habitable, independientemente del uso del espacio y de sus ocupantes" (Serra Florensa & Coch Roura, 2004, p.79). Estos parámetros se los clasifica de acuerdo a cada uno de los sentidos: térmicos, acústicos o lumínicos; los cuales se pueden calcular con unidades ya establecidas como, por ejemplo: grado centígrado, decibelios, lux, etc.

La presente investigación toma como estudio el parámetro de confort lumínico que hace referencia a las condiciones de iluminación dentro de un ámbito determinado, considerando su estrecha relación con las características del espacio construido.

### 1.1.1 Confort lumínico

La Escuela Abierta de Desarrollo en Ingeniería y Construcción (2013) definen:

El confort lumínico se refiere a la percepción de la luz a través del sentido de la vista. Se hace notar que el confort lumínico difiere del confort visual, ya que el primero se refiere de manera preponderante a los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos relacionados con la luz (fig. 01), mientras que el segundo principalmente a los aspectos psicológicos relacionados con la percepción espacial y de los objetos que rodean al individuo. (p. 26)



Fig. 01: Confort humano

Fuente: 101 Reglas Básicas para Edificios y Ciudades Sostenibles

### 1.1.2 Ambiente luminoso

De acuerdo a el Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (2005) para mantener una buena iluminación en espacios interiores, es importante conocer ciertos criterios elementales que definen el entorno luminoso:

- Iluminancia: es la cantidad o nivel del flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área.

La unidad de medida en el Sistema Internacional es el lux: que equivale 1 lux= 1lumen/m<sup>2</sup> (Real Academia Española, 2001).

Para lograr este estado de confort, el primer requisito imprescindible es que el nivel de luz sea el necesario para que nuestra agudeza visual nos permita distinguir detalles de lo que miramos, en función de:

- El tipo de tarea a realizar (necesidades de agudeza visual).
- Las condiciones ambientales.
- Duración de la actividad.

- Distribución de luminancia: debe ser equilibrada, evitar valores altos y bajos de luz, contrastes y reflectancias altas y bajas.

- Uniformidad: El área de la tarea será iluminada tan uniformemente como sea posible. (pag. 28)

- Deslumbramiento: se debe limitar al deslumbramiento, puesto que es la sensación molesta producida por áreas

brillantes dentro del campo de visión.

En la tabla 01, se muestra la importancia de los elementos de iluminación definidos que ayudan a mantener un ambiente interior luminoso y cómo pueden afectar en el confort de los ocupantes.

Tabla 01. Ambiente luminoso y confort

| Ambiente luminoso   | Beneficios visuales  | Problemas visuales  |
|---|--|---|
| Luminancia equilibrada  | Aumenta la agudeza visual (capacidad para distinguir 2 objetos que se encuentran próximos)                                   |   |
| Luminancia equilibrada  | Aumenta la sensibilidad al contraste (distinción de luminancia relativamente pequeñas)                                       |   |
| Luminancia equilibrada  | Aumenta la eficiencia de las funciones oculares (acomodación, converción, contracción de la pupila, movimiento de ojos, etc) |   |
| Luminancias demasiado elevadas  |  | Da lugar a deslumbramiento                                  |
| Contrastes de luminancia demasiado altos                                |  | Causa fatiga debido a la readaptación constante de los ojos |
| Luminancias demasiado bajas y contrastes de luminancias demasiado bajos |  | Ambiente visual oscuro y no estimulante                     |
| Presencia de deslumbramiento  |  | Fatiga visual   |

Fuente: Guía Técnica - Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios

## 1.2 LA ILUMINACIÓN EN ESPACIOS EDUCATIVAS

### 1.2.1 Ventajas y desventajas de la luz

La luz tiene efectos tanto biológicos como psicológicos en las personas (Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2005). En ambientes educativos, se debe dar especial énfasis a este aspecto, debido a los periodos extensos que se permanece en el interior de un espacio y por la concentración visual que se requiere para el desarrollo de sus actividades.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de Iluminación (CEI) (2001) aseguran que una buena iluminación ofrece tanto a los estudiantes como a los profesores un entorno estimulante, proporcionando un confort visual que les permita desarrollar sus actividades sin demandar de ellos un sobre esfuerzo visual. Por otro parte, la implementación inapropiada de la iluminación conlleva problemas de atención y rendimiento en los estudiantes; mientras que el uso adecuado de la luz del día crea un ambiente agradable para el aprendizaje y además de ello promueve la conservación de la energía (Krüger & Zannin, 2004).

Otras ventajas de la incorporación de la luz natural como iluminación pasiva es que proporciona una buena temperatura de color y mejora el desarrollo de la vista (Cheong et al., 2020). Además de esto, Li et al. (2019) consideran que la luz natural puede ofrecer beneficios a la salud como reducir la tristeza y mejorar la productividad laboral. Sin embargo, Katunský et al. (2017) sostienen que la luz del día no proporciona el mejor rendimiento visual, ya que puede causar mo-

lestias visuales por la producción de reflejos y/o sombras en el lugar de trabajo.

### 1.2.2 Normas específicas

A continuación, en función a lo estipulado por el Distrito Metropolitano de Quito (2011), se expone un listado de normas específicas que describen el manejo de la iluminación en edificaciones con fines educativos:

- La iluminación de las aulas se realizará por la pared de mayor longitud, hasta anchos menores o iguales a 7,20 m. Para anchos mayores la iluminación natural se realizará por ambas paredes opuestas.
- Las ventanas se ubicarán de tal modo de recibir luz natural a todo lo largo del local. El área de ventana no podrá ser menor al 20% del área de piso del local.
- El sistema de iluminación suministrará una correcta distribución del flujo luminoso.
- Cuando sea imposible obtener los niveles mínimos de iluminación natural, la luz diurna será complementada por luz artificial.
- Las fuentes de luz no serán deslumbrantes, y se distribuirán de forma que sirvan a todos los alumnos.
- De acuerdo al tipo de aula, los niveles mínimos de iluminación (lux) deberán ser: para aulas de clase: 300 lux; para salas de dibujo o artes 450 lux. (pag. 122)

### 1.2.3 Elementos de diseño que influyen en la incidencia de la iluminación

Para empezar, Ibañez et al. (2017) argumentan que: "Es importante tener en consideración la iluminación natural y la planificación de la iluminación artificial en armonía, con el fin de complementarlas y ofrecer un mejor confort visual" (p. 02).

En los edificios educativos, el problema del confort ambiental dentro de las aulas tiene una relación muy estrecha con el espacio construido (Krüger & Dorigo, 2008). Además, dando soporte a la idea mencionada, Tureková et al. (2018) argumentan que el espacio físico en el diseño es relevante para alcanzar una correcta iluminación.

En consecuencia, la luz no interviene sola, depende del diseño del espacio para aprovecharla de manera eficiente. Existen elementos en el diseño que una vez construido son constantes como, por ejemplo, la orientación y la forma del edificio (Heywood, 2017).

En cuanto a los elementos de diseño interior se tiene: el color y la textura de las superficies fijas o móviles, mobiliario, elementos de control de la luz natural (ventanas, geometría) y artificial, etc. Descritos por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de Iluminación (CEI) (2001). Por lo tanto, trabajando en conjunto en estos aspectos se puede lograr un balance con respecto al grado de iluminancia y distribución de la misma.

A continuación, se muestra 3 variables de diseño que inciden en el ambiente lumínico interior.

#### •Color:

En ambientes interiores se debe considerar la reflexión que tiene la luz sobre las superficies, para evitar efectos de deslumbramiento y fatiga visual.

La NEC-2011, en la sección de edificaciones, establece una escala de reflectancias útiles para las principales superficies internas de un local (tabla. 02) y el índice de reflexión que tienen los colores (tabla. 03).

|                  |          |
|------------------|----------|
| Techo            | 60 a 90% |
| Paredes          | 30 a 80% |
| Plano de trabajo | 20 a 60% |
| Piso             | 10 a 50% |

Fuente: NEC - 2011

Tabla 03. Índices de reflexión de algunos colores

| Color          | % Reflejado |
|----------------|-------------|
| blanco cal     | 80          |
| amarillo limón | 70          |
| amarillo oro   | 60          |
| gris claro     | 40-60       |
| azul claro     | 40-50       |
| rosa salmón    | 40          |
| marrón         | 30-40       |
| gris cemento   | 32          |
| anaranjado     | 25-30       |
| beige          | 25          |
| verde vegetal  | 20          |
| ladrillo       | 18          |
| rojo           | 16          |
| negro          | 5           |

Fuente: NEC - 2011

-Ching, F., & Shapiro, I. (2015) en su manual de Arquitectura ecológica, mencionan que se puede elegir acabados reflectantes que minimicen la necesidad de iluminación. De esta manera, Si se aumenta en un 10% la reflectancia de los acabados de las superficies se puede tener un ahorro energético hasta de un 13%.

#### • Ventanas:

El Distrito Metropolitano De Quito (2011), en la sección de iluminación para edificaciones educativas, establece que para conseguir luz natural interior el área de ventana será mínimo del 20% en relación del área de piso del local.

#### • Geometría:

Heywood (2017), en su libro "101 Reglas Básicas para una Arquitectura de Bajo Consumo Energético" dispone que, para conseguir una iluminación interior eficaz y una distribución uniforme de la misma, la profundidad del lugar debe ser hasta el doble de la altura de la ventana (fig. 02).

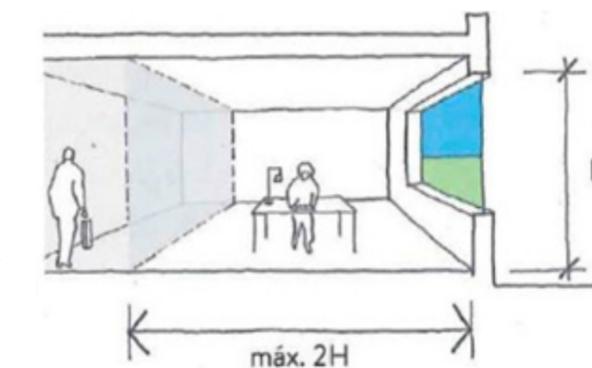


Fig. 02. Profundidad del local  
Fuente: 101 Reglas Básicas para una Arquitectura de Bajo Consumo Energético

## 1.3 ESTRATEGIAS DE DISEÑO

Las estrategias de diseño que se indican en las secciones: 1.3.1, 1.3.2 y 1.3.3, se apoyan del capítulo 5 del Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos (2012), y la sección 1.3.4 del libro Arquitectura Ecológica, un manual ilustrado de Ching, F., y Shapiro, I. (2015).

A estas estrategias se las adaptó en relación a la ocupación de los elementos de protección solar para la región del Ecuador (sección 1.3.3). Esto se debe a que las radiaciones solares en la línea ecuatorial son mayores en las fachadas Este y Oeste; a diferencia de las regiones ubicadas en el hemisferio Norte, en donde la incidencia del sol es más fuerte en la fachada Sur, mientras que en el hemisferio Sur la incidencia del sol es más fuerte en la fachada Norte.

Esta información sirve de guía para conseguir espacios internos en buenas condiciones de iluminación. Así mismo, con el propósito de aprovechar de forma eficiente la presencia del sol y controlar la implementación de la luz artificial.

### 1.3.1 Estrategias de transmisión de luz natural

El principal elemento arquitectónico para transmitir luz natural en un ambiente interior es la ventana. Este elemento además de iluminar, permite ventilar y obtener ganancias solares. La incidencia de la luz natural depende de las características de las ventanas, como, por ejemplo, su posición, dimensión y forma.

#### • Proporción de la ventana

Unilateral: cuando la habitación tiene abertura en 1

de sus paredes.

Bilaterales: cuando se tiene aberturas en 2 lados de sus paredes.

Multilateral: cuando se tiene aberturas en 3 de sus paredes.

En espacios con iluminación unilateral, se considera un límite en la profundidad de su planta. Se calcula tener una profundidad máxima de 1,5 veces la altura de la ventana en relación al suelo (fig. 03). Para incrementar a 2 veces la altura de la ventana (fig.04), se puede apoyar en elementos como las repisas de luz (elementos que se indicarán en la sección 1.3.2).

- Esta regla base influye directamente en la profundidad de los espacios y en la altura de la ventana. Mientras más alta se ubica la ventana, mayor es la profundidad de la luz al interior. (pag. 103)

En la tabla 04, se muestran porcentajes de ventana mínimo en relación a la profundidad de una habitación con iluminación lateral en una sola pared.

Tabla 04. Superficies mínimas de ventanas

| Profundidad de la habitación (max.) | % de la pared de la ventana (min.) |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| < 8 m                               | 20 %                               |
| ≥ 8 m 11 m                          | 25 %                               |
| >11 m ≤ 14 m                        | 30 %                               |
| >14 m                               | 35 %                               |

Fuente: Manual de Diseño Pasivo y E-E

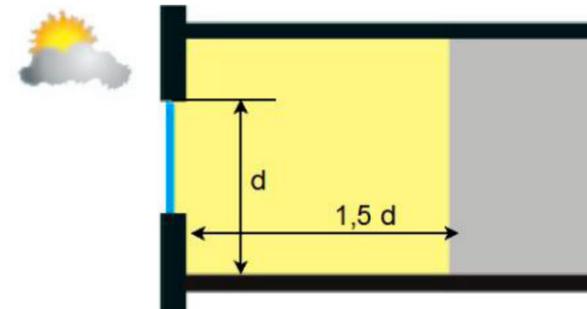


Fig. 03: Profundidad de la luz natural  
Fuente: Miguel Ángel Rodríguez

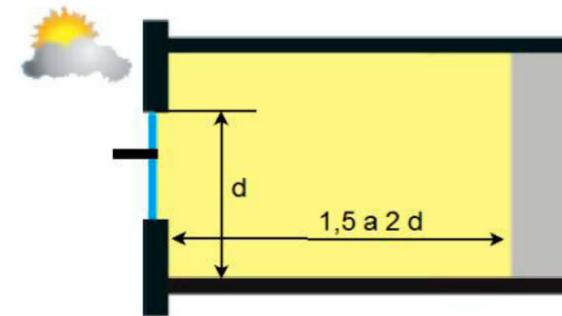


Fig. 04: Profundidad de la luz natural  
Fuente: Miguel Ángel Rodríguez



Fotografía. 01: Luz directa  
Fuente: Ana Muñoz Gonzales Arquitectos



Fotografía. 02: Luz indirecta  
Fuente: Ana Muñoz Gonzales Arquitectos

### 1.3.2 Estrategias de distribución de luz natural

La luz natural puede ingresar al interior de un espacio de forma directa o indirecta. Con la incidencia de la luz directa, es probable que se genere molestias de deslumbramiento y su reparto luminoso dentro del lugar es irregular debido a la dinámica propia de la luz natural (fotografía. 01).

Por otro lado, la repartición de la luz indirecta es más uniforme, ya que se utiliza las reflexiones de los rayos luminosos sobre una o varias superficies, y, además, genera una protección contra el deslumbramiento (fotografía. 02).

#### 1.3.2.1 Elementos de distribución de luz

En ambientes interiores es de relevancia considerar zonas de distribución luminosa, ya que permite repartir la luz natural hacia todas las partes del local. Con la ayuda de elementos arquitectónicos se puede lograr esta repartición uniforme al interior.

- Repisas o estantes de luz

Las repisas son elementos que se colocan de manera horizontal en la ventana sobre el nivel de los ojos. Estos elementos se encargan de reflejar la luz que entra sobre ella hacia la superficie del techo interior, alcanzando una mayor concentración de la luz y una distribución más uniforme. Además, sirve de protección contra la radiación solar directa en las zonas inferiores adyacentes a la ventana.

Las siguientes recomendaciones para el uso de las repisas son válidas para la región del Ecuador.

- La instalación de las repisas es más útil en el lado Este y Oeste del edificio donde se tiene una gran cantidad de luz solar directa (fig. 05).

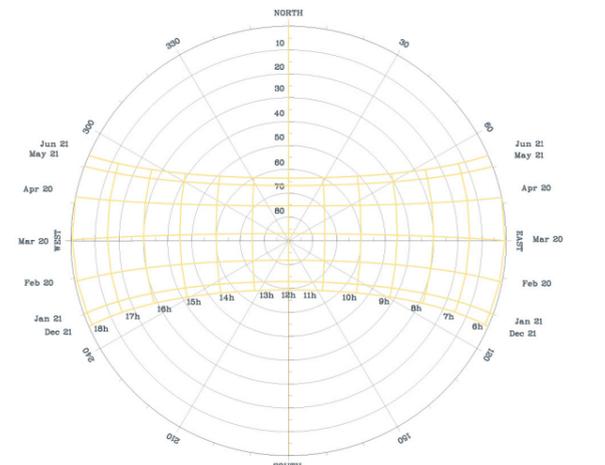


Fig. 05. Carta Solar del Ecuador  
Fuente: Ecotec

- Si se requiere dejar pasar más luz, se puede escoger un material reflectante para la parte superior de la repisa.

En las figuras que se muestran a continuación, representan el tipo de repisas que se pueden utilizar.

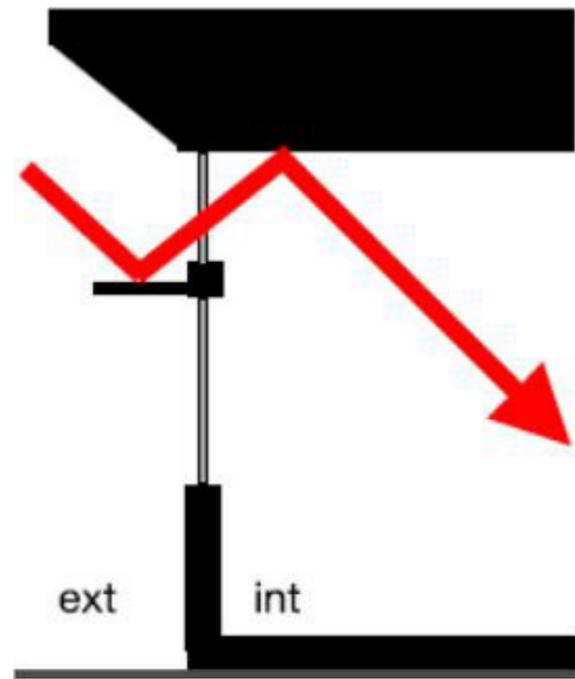


Fig. 06: Repisa de luz exterior monolítica

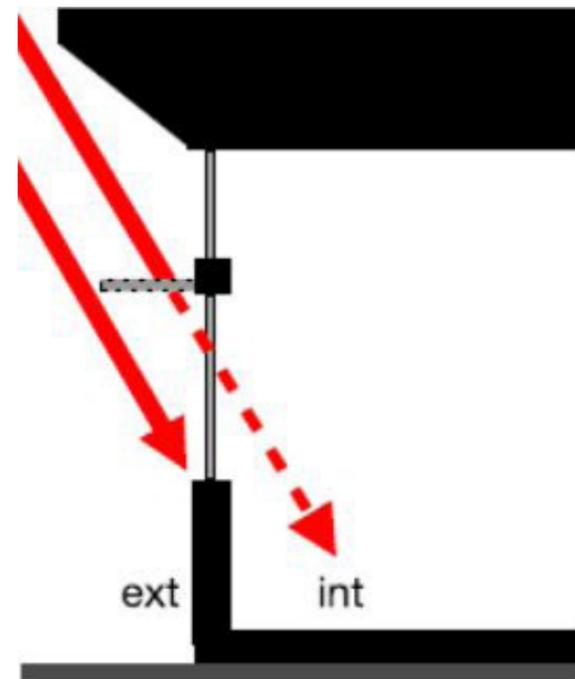


Fig. 07: Repisa de luz con estructura tipo celosía

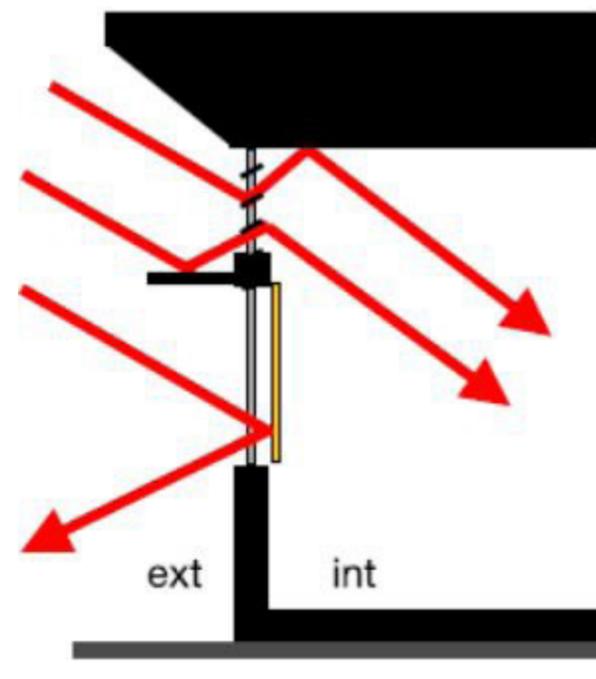


Fig. 08: Repisa de luz más celosías en la parte superior de la ventana y cortina en la parte inferior.

Fuente: Miguel Ángel Rodríguez

• Forma de la ventana

La forma de las ventanas interviene en la distribución del flujo luminoso. Por ello se recomienda tener una ventana continua ya que la repartición de la luz será más uniforme. Se observa en la figura 09, cuando el tamaño de la ventana disminuye o se tiene más de dos ventanas la iluminación que incide al interior se reparte de manera diversa y puede crear zonas de contraste entre ellas.

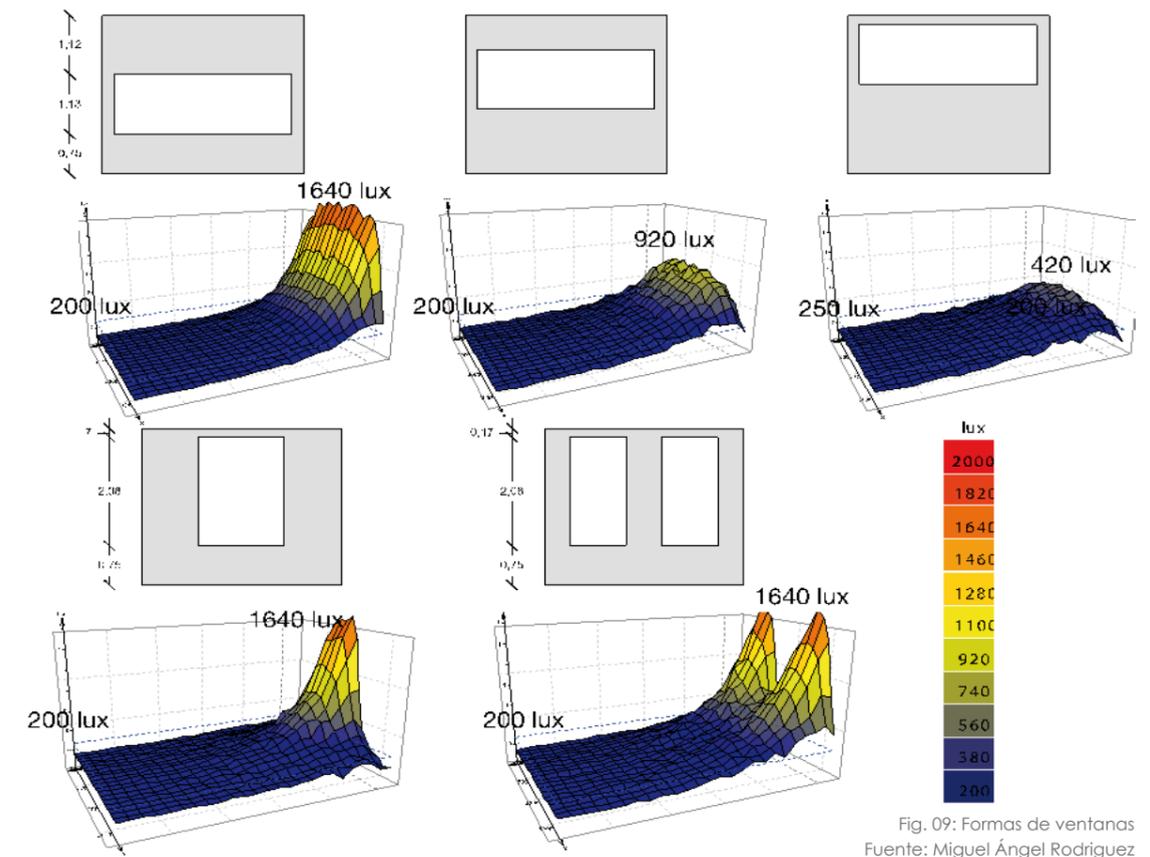


Fig. 09: Formas de ventanas  
Fuente: Miguel Ángel Rodríguez

- *Superficies internas*

El color en las superficies interiores influye en la reflexión y distribución de la luz. La capacidad de reflejar la luz se mide por el coeficiente de reflexión basado en una escala de 0% a 100%; el valor 0% corresponde a la luz totalmente absorbida y el 100% cuando la totalidad de la luz es reflejada. (pag. 110)

Seleccionar correctamente los acabados interiores puede mejorar el rendimiento de la luz natural. Se aconseja no utilizar áreas muy grandes de color oscuro porque impide la penetración de la luz natural y puede causar deslumbramiento si se encuentra junto a una superficie brillante. También, se recomienda trabajar con reflectancias recomendadas dependiendo de las actividades que se vayan a desarrollar.

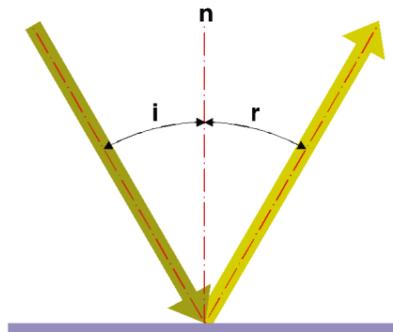


Fig. 10: Reflexión sobre una superficie

### 1.3.3 Estrategias de protección solar

El recorrido del sol en la región del Ecuador va en sentido Este-Oeste, en donde la incidencia de los rayos solares es más fuerte. Es por ello que se recomienda orientar a los edificios educativos en las fachadas Norte-Sur, sin embargo, la implementación de estos elementos es importante, en especial en las fachadas orientadas de Este-Oeste. De esta forma se evita la radiación solar directa y con ello efectos de deslumbramiento y sobrecalentamiento al interior de estos espacios.

#### Protecciones solares:

Los elementos arquitectónicos pueden ser estáticos, móviles o combinados.

- *Aleros horizontales*

Son elementos ubicados en un plano horizontal sobre la ventana que impiden la incidencia de los rayos solares. La ventaja de estos elementos es que no bloquean la visión al exterior (fig. 11).

- *Cortasoles, quiebra vista o celosías*

Con estos elementos se puede limitar la incidencia de sol directa, pero se debe tener en cuenta que reducen las visuales al exterior de forma permanente. (fig. 12).

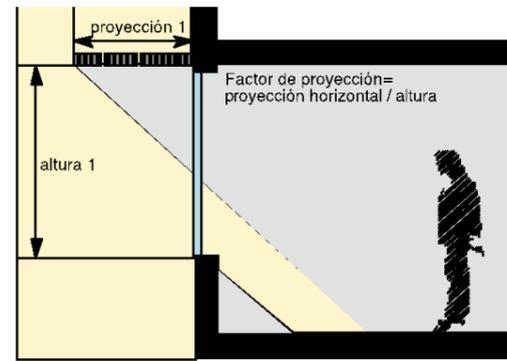


Fig. 11: Dimensionamiento alero horizontal

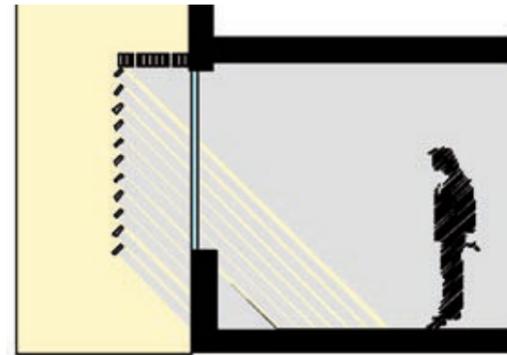


Fig. 12: Quiebrasol vista horizontal  
Fuente: Imágenes de Miguel Ángel Rodríguez

- *Protecciones solares móviles*

Estos elementos pueden ser adaptados de acuerdo a la posición del sol y de las necesidades de los usuarios. La ventaja principal de estos elementos es que disminuyen el deslumbramiento cerca del área de la ventana y además no interfiere en la distribución de la luz al interior del local (fig. 13).

- *Protecciones solares móviles interiores*

Tienen poca protección al sobrecalentamiento del local, sin embargo, son adecuados para el confort visual y estética del lugar (fig. 14).

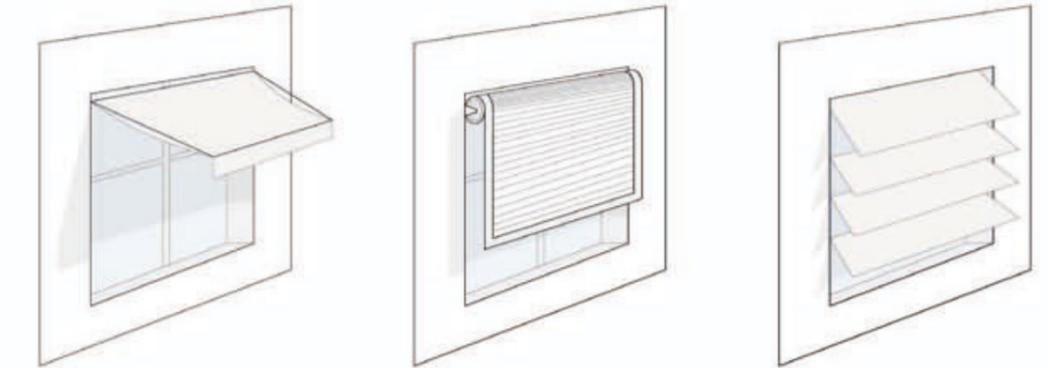


Fig. 13: Protecciones solares móviles exteriores

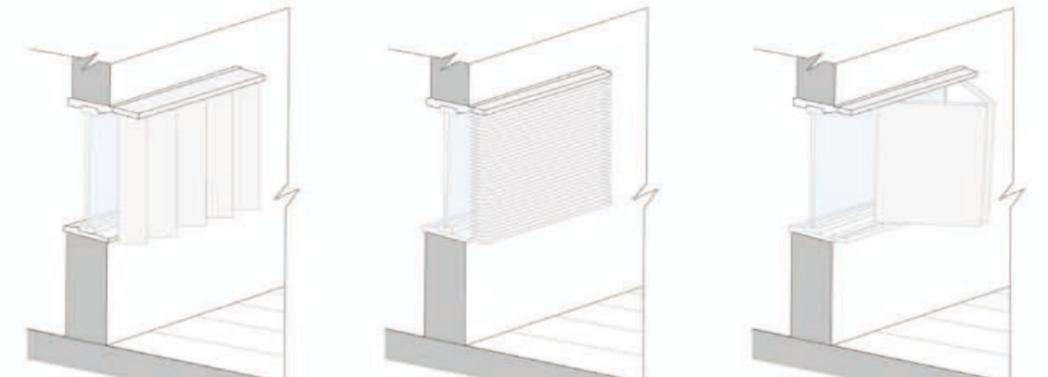


Fig. 14: Protecciones solares móviles interiores

Fuente: Imágenes de Miguel Ángel Rodríguez

### 1.3.4 Control de la luz artificial

Los sistemas de control sirven para regular la cantidad de luz artificial en función a la luz natural que se tiene al interior. Estos sistemas tienen dos ventajas importantes, ya que además de ayudar a mantener una iluminación balanceada, aportan a reducir el consumo energético asociado con la iluminación.

Hay 4 tipos principales de controles:

- Manuales
- Foto sensores
- Sensores de movimiento
- Temporizadores

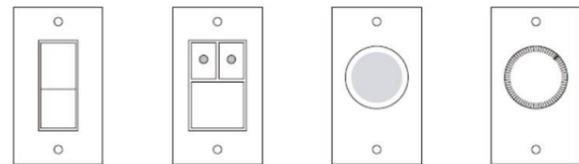


Fig. 15: Tipo de controles

#### • Manuales:

Se realiza por medio de conmutadores o reguladores. Los controles pueden encender o regular los niveles de iluminación de una o varias lámparas, independientes o integradas en el mismo dispositivo.

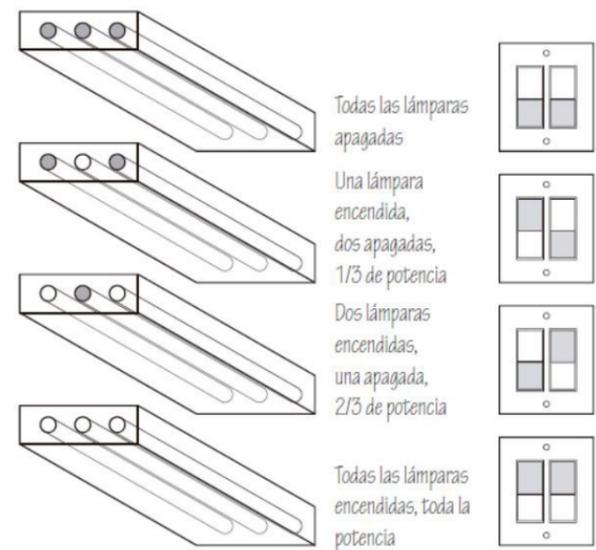


Fig. 16: Control manual

#### • Foto sensores:

Sensores que funcionan a través de la localización de calor de los usuarios. Interpretan el retorno de los ultrasonidos que producen, por tanto, no se necesita estar en una visual directa sobre los usuarios. Sin embargo, los sensores pueden activarse por error debido al movimiento en estancias colindantes.

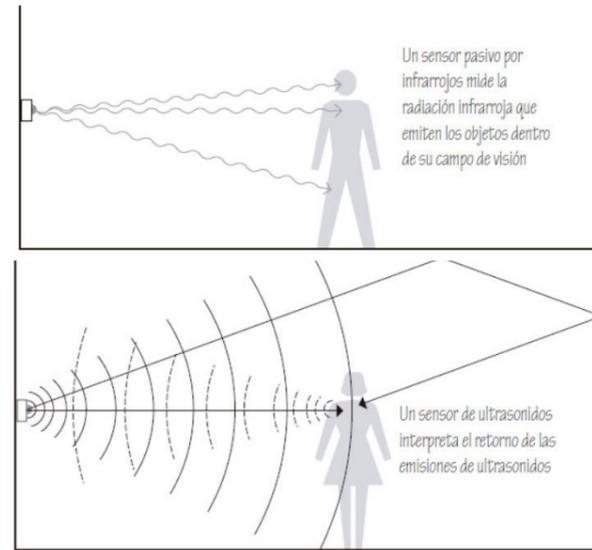


Fig. 17: Foto sensor

#### • Sensores de movimiento:

Para estos sensores es importante la programación, puesto que mantienen la luz encendida por un lapso de tiempo después de que el lugar quede vacío, y a este lapso se lo designa como tiempo de retardo.

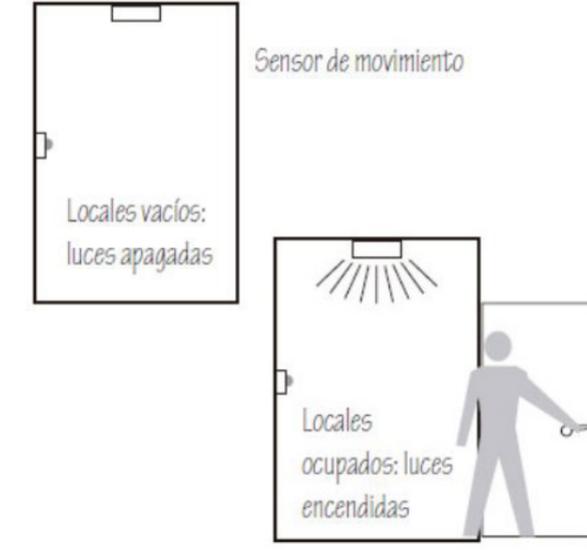


Fig. 18: Sensor de movimiento

#### • Temporizadores:

Los sensores de ocupación requieren que los usuarios enciendan la luz de manera manual y el sensor de movimiento se encarga de apagarlas cuando el lugar queda vacío. Este tipo de interruptores son ideales para evitar el encendido de las luces por un error del sensor.

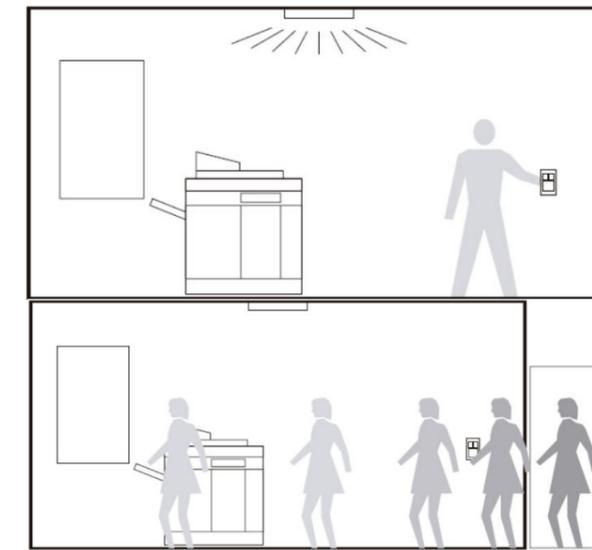


Fig. 19: Temporizador

#### Recomendación:

-Es importante escoger el sensor de movimiento más adecuado dependiendo de la actividad que se realice en ese espacio, para garantizar su correcto funcionamiento.

## 1.4 CASOS DE ESTUDIO

En la última década se han realizado varios estudios con relación a edificios de uso educativo. Por medio de diferentes metodologías abordadas, se ha logrado estudiar al confort y la incidencia que tiene el diseño sobre este factor.

El objetivo de estos estudios se enfoca en detectar el problema, analizarlos y en la mayoría de los casos plantear estrategias eficientes de diseño que mejoren el ambiente luminoso y con ello la comodidad de los ocupantes.



Fotografía 03: Aula en Curitiba, Brasil  
Fuente: Krüger y Dorigo (2008)

### 1.4.1 Curitiba, Brasil (2008)

En Curitiba, Brasil se realizó un estudio sobre la evaluación de la calidad lumínica en las aulas de una escuela que pertenece al proyecto estandarizado de red de escuelas públicas del país.

**Metodología:** El análisis de luz natural se llevó a cabo a través de simulaciones computacionales, en donde se calculó los niveles de luz natural en diferentes épocas del año, horas y orientaciones del edificio. Un aspecto importante que se detectó en las simulaciones es que orientando a la escuela en un eje Norte- Sur la distribución de la luz natural es más uniforme al interior de las aulas.

**Resultados:** La configuración del edificio tiene aulas orientadas a los dos lados de la fachada: Norte-Este y Sur-Oeste. Con estas orientaciones se detectaron problemas de una excesiva incidencia de luz directa, que provocaba deslumbramientos en los puestos de trabajo.

En consecuencia, fue necesario el diseño de sistemas de sombreado para cada fachada. En la fachada Norte- Este, los 90 cm de voladizo ya existentes fueron suficientes como elemento de sombreado; mientras que, en la fachada Sur- Oeste, se implementaron tres persianas horizontales fijas que ayudaron a contrarrestar el problema. Las figuras 20 y 21, nos muestran que a través de estos diseños pasivos adaptados para cada orientación se puede mejorar los niveles de luz natural y niveles térmicos del edificio.

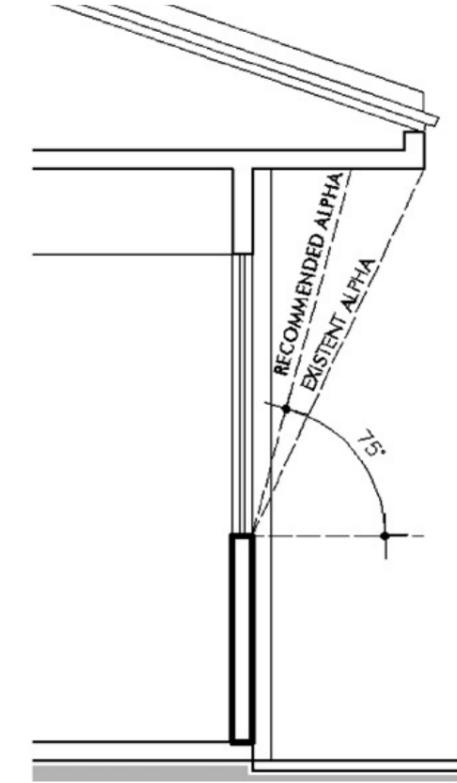


Fig. 20: Sistema de sombreado: Alero

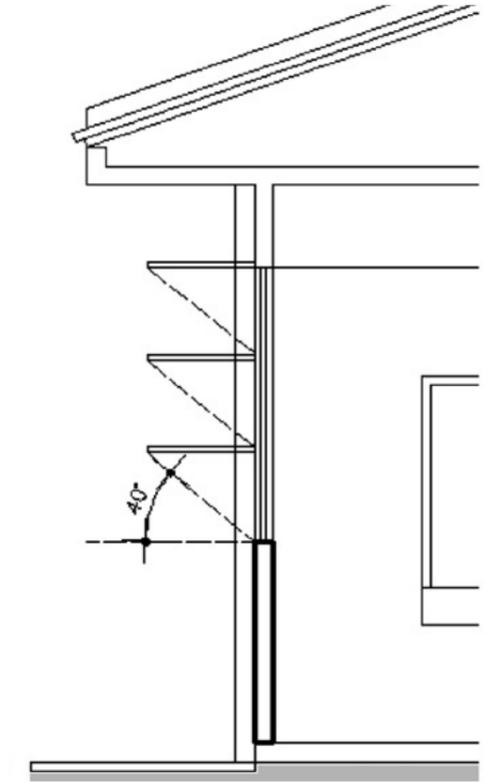


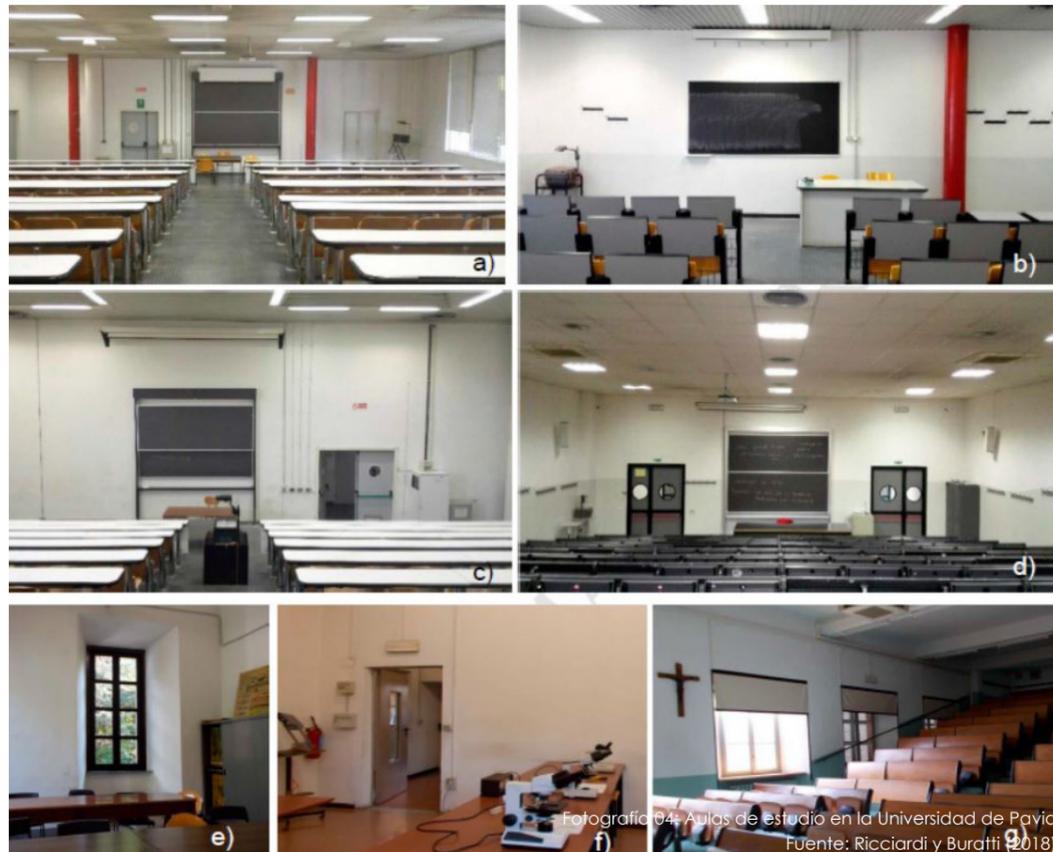
Fig. 21: Sistema de sombreado: Repisas horizontales  
Fuente: Krüger y Dorigo (2008)

#### 1.4.2 Pavia, Italia (2018)

En la universidad de Pavia, Italia, se dio una investigación en 7 aulas (foto 04). Se estudiaron las condiciones térmicas, acústicas y visuales a través de mediciones subjetivas (uso de cuestionarios) y objetivas (mediciones en sitio).

**Metodología:** El estudio de las condiciones lumínicas se desarrolló en dos etapas; en la primera etapa se implementaron cuestionarios específicos que permitieron evaluar la percepción de los estudiantes acerca del confort lumínico, y en la segunda etapa, se eligieron varios puntos de muestreo en cada aula para detectar el valor promedio de iluminancia (lux).

**Resultados:** Se analizó cuáles son los parámetros subjetivos más correlacionados con los resultados experimentales realizados en sitio. Se detectó de esta forma el estado actual de las condiciones de iluminación. Llegando a la conclusión de que el valor de iluminancia tiene una alta correlación con el confort visual percibido, y además los deslumbramientos producidos en las aulas tienen una fuerte relación con los excesivos contrastes de luz.



#### 1.4.3 Nitra, Eslovaquia (2018)

En Nitra, Eslovaquia, se realizó una evaluación de la calidad de iluminación en un aula universitaria (Fig.25). Con el objetivo de detectar la incidencia del factor luz diurna y niveles de iluminación.

**Metodología:** Como herramienta, se realizó el levantamiento físico espacial para identificar la ubicación de ventanas y luminarias dentro del aula. Posteriormente se realizó las mediciones en sitio con la ayuda de un luxómetro (aparato para medir el nivel de luz). Además, se realizaron simulaciones computacionales que permitieron dar soluciones de iluminación dentro del aula (fotos 05 y 06).

**Resultados:** La incidencia de la luz de día cumple con las condiciones mínimas requeridas, sin embargo, necesita ser apoyada por la iluminación artificial por el tipo de actividades escolares que se desarrollan en el espacio. (Especialmente en épocas de invierno, donde la incidencia de la luz natural es más baja).

Los valores de iluminación artificial son suficientes ya que llegan a alcanzar los 500lx (valor límite requerido). Para garantizar una mayor incidencia de luz natural es importante mantener limpio frecuentemente las cubiertas de los sistemas de iluminación, aberturas de las ventanas, superficies de paredes, techo y piso.

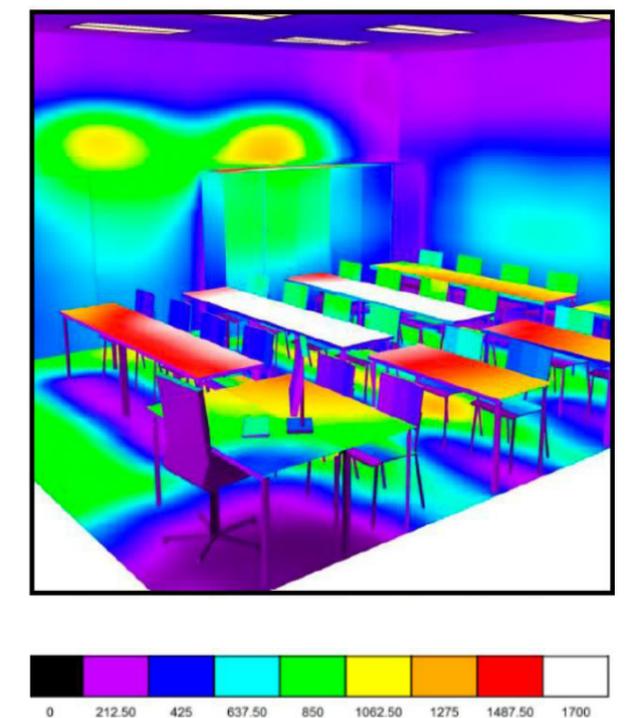


Fig. 22: Simulaciones computacionales  
Fuente: Tureková et al. (2018)

02

CASO DE ESTUDIO & METODOLOGÍA

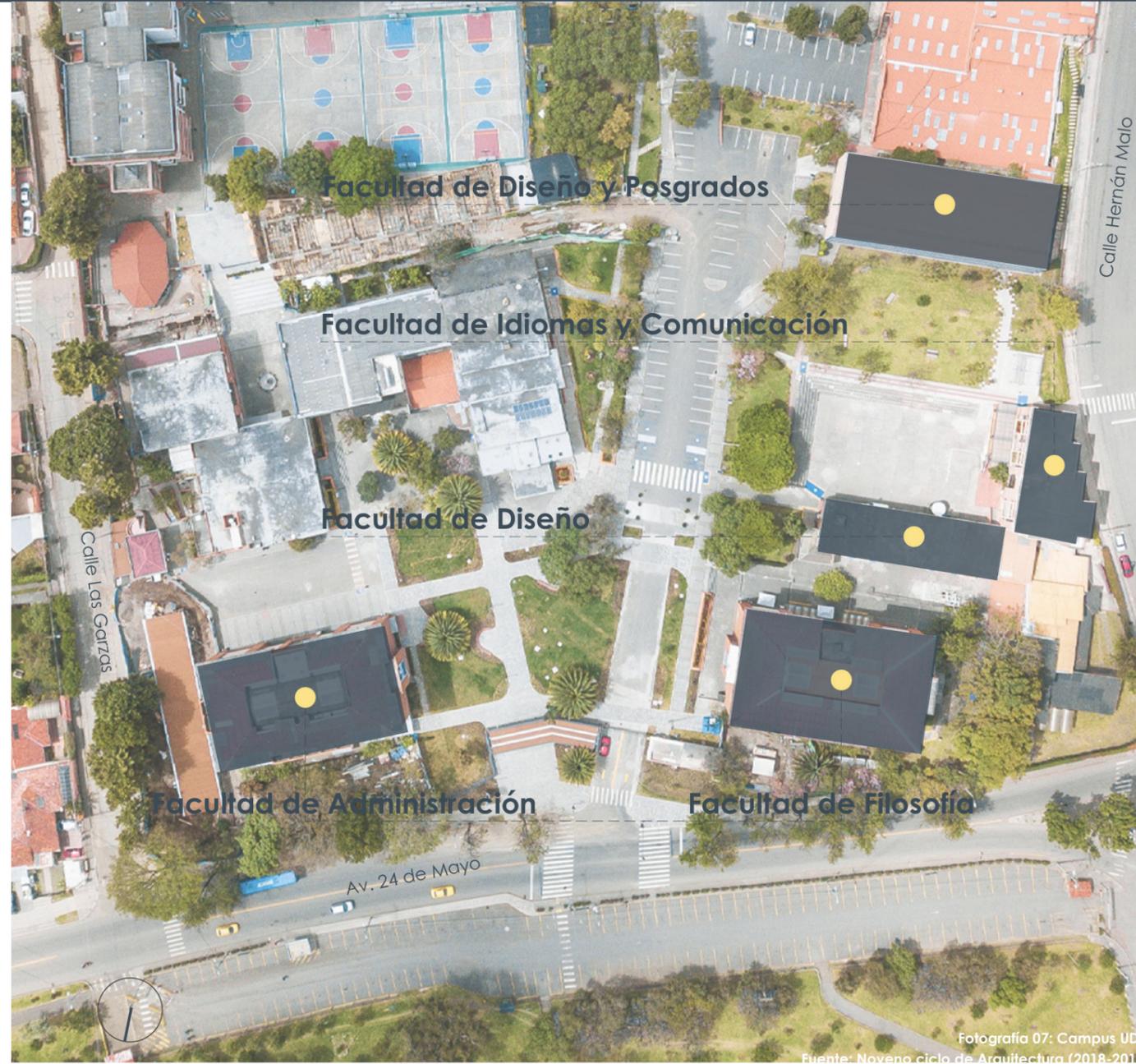
## 2.1 CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY

La presente investigación se realizó en las aulas del campus central de la Universidad del Azuay, ubicada en el área sur urbana de la ciudad de Cuenca. El campus se encuentra delimitado por la Avenida 24 de Mayo, entre la calle Hernán Malo y la calle Las Garzas.

El campus central de la Universidad del Azuay carece de un Master Plan que permita crecer de manera planificada, por lo que la consolidación del mismo es producto de un desarrollo paulatino que ha respondido las necesidades de distintas generaciones en distintas épocas.

En base a los 5 edificios existentes, que corresponden a las facultades de: Ciencias de la Administración, Filosofía, Ciencias Jurídicas, Diseño y el departamento de Idiomas, se seleccionó una tipología representativa de cada una de las edificaciones, basándose en factores arquitectónicos como: orientación, superficie, relación llenos y vacíos, materiales y cromática.

Para reconocer el medio en el que se emplazan las aulas de estudio, se realizó una breve descripción de las edificaciones en donde se encuentran las aulas. De esta manera se detallan aspectos característicos en cada uno de las edificaciones expuestas a continuación:



Fotografía 07: Campus UDA  
Fuente: Noveno ciclo de Arquitectura (2018-2019)



### 2.1.1 Facultad de Idiomas y Comunicación

El edificio de Comunicación e Idiomas, uno de los edificios más antiguos en el campus, se encuentra adyacente al bloque de Diseño, junto a la calle Hernán Malo. Es un edificio compacto, con sus fachadas más alargadas orientadas de Este a Oeste, en sus 5 pisos consta con 14 aulas con una diversidad de tipologías y con ventanas en sus cuatro fachadas.



### 2.1.2 Facultad de Diseño

Parte de las aulas de la Facultad de Diseño se ubican al extremo Oeste del campus, frente al patio de Diseño y cerca de la entrada lateral que da hacia la calle Hernán Malo. Tiene una configuración alargada y de baja altura (2 pisos), con la orientación de su fachada principal de Norte a Sur y se dispone de 8 aulas.



### 2.1.3 Facultad de Administración

La composición de los edificios de la Facultad de Administración y Filosofía se caracterizan por estar ubicados hacia la entrada principal del campus, conectándose con la Av. 24 de Mayo. Sus 2 fachadas principales están orientadas de Norte a Sur con 5 pisos de altura y posee 32 aulas. Se los distingue por poseer la misma configuración en cuanto a volumen, uso de materiales y proporción.

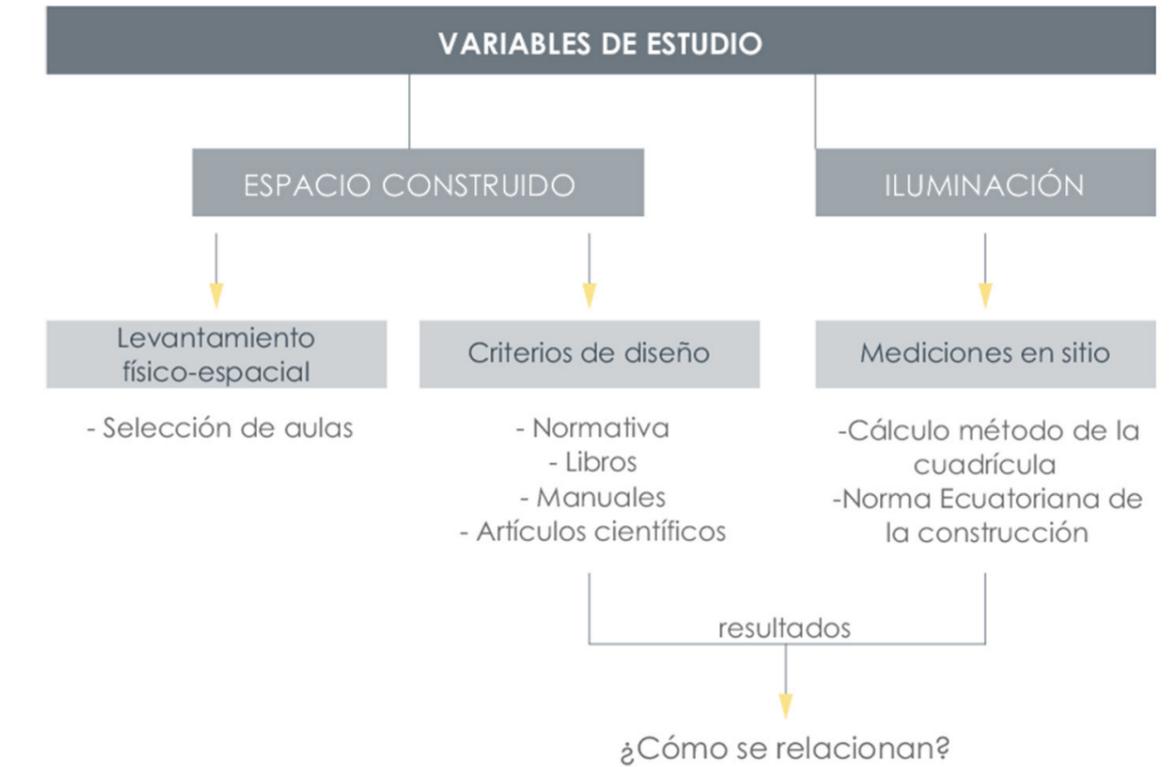


### 2.1.4 Facultad de Diseño y Posgrados

A este edificio se lo conoce como el aula y se lo distingue por ser la edificación más reciente construida en el campus central. Está situado en la parte posterior de la Facultad de Idiomas, separado de esta facultad por un amplio espacio verde. Sus fachadas están orientadas de Norte a Sur y se distribuyen 18 aulas en 4 pisos de altura, comunicados por una rampa lateral.

## 2.2 METODOLOGÍA

La investigación tiene un enfoque experimental cuantitativo, en donde el proceso metodológico consta de dos etapas. En la primera etapa, se estudió la variable independiente: el espacio construido; en donde se presenta las aulas de estudio, que son aquellas aulas representativas de cada uno de los edificios del campus central previamente mencionados. Por otra parte, en la segunda etapa, se detectó el estado de iluminación en cada aula, que en este caso sería la variable dependiente de estudio. Este procedimiento se llevó a cabo con la finalidad de encontrar la relación que tienen estos factores con respecto al confort.



## 2.3 AULAS DE ESTUDIO

### 2.3.1 Tipología A: aula de la Facultad de Idiomas y Comunicación

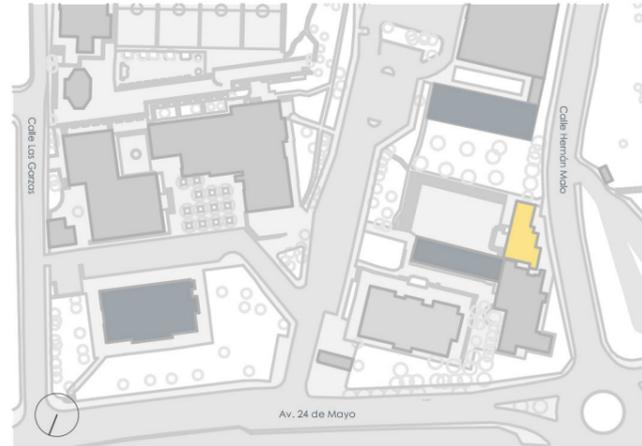


Fig. 23: Campus Central UDA  
Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA

El aula A perteneciente al edificio de Idiomas, se la caracteriza por ser un aula pequeña con una capacidad de uso de 31 personas. Se encuentra emplazada en la primera planta alta del edificio y posee una ventana esquinera con un antepecho de 1m de altura orientada hacia la parte Oeste. Los materiales interiores utilizados son cerámica y enlucido blanco.



Fig. 24: Primera planta alta - Edificio de Idiomas  
Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA



Fig. 25: Planta del aula  
Fuente: Elaboración propia

| Descripción del aula - código B4-104             |                               |                      |
|--|-------------------------------|----------------------|
| <b>orientación:</b> Noroeste-Sureste             |                               |                      |
| <b>ancho:</b> 4,90m                              | <b>largo:</b> 6,55m           | <b>altura:</b> 2,40m |
| <b>m2:</b> 31,70                                 | <b>m3:</b> 77                 |                      |
| <b>altura mesas:</b> 0,75m                       | <b>capacidad:</b> 31 personas |                      |
| Ventanas con antepecho                           |                               |                      |
| <b>proporción:</b> 86,75% llenos - 13,25% vacíos |                               |                      |
| Luminarias tipo LED                              |                               |                      |
| <b>cantidad:</b> 6                               | <b>color de luz:</b> blanca   |                      |
| Color de las superficies:                        |                               |                      |
| <b>piso:</b> blanco                              | <b>mesa:</b> rojizo           |                      |
| <b>pared:</b> blanco                             | <b>cielo raso:</b> blanco     |                      |

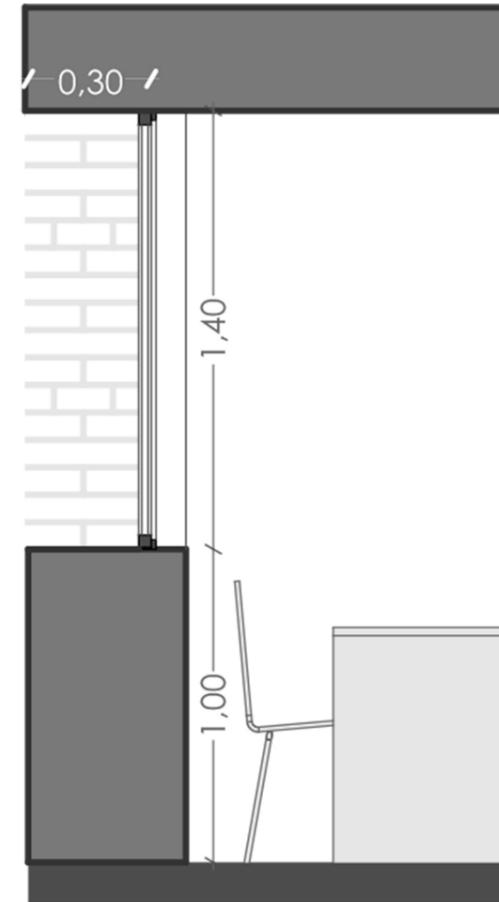


Fig. 26: Dimensiones de ventana  
Fuente: Elaboración propia

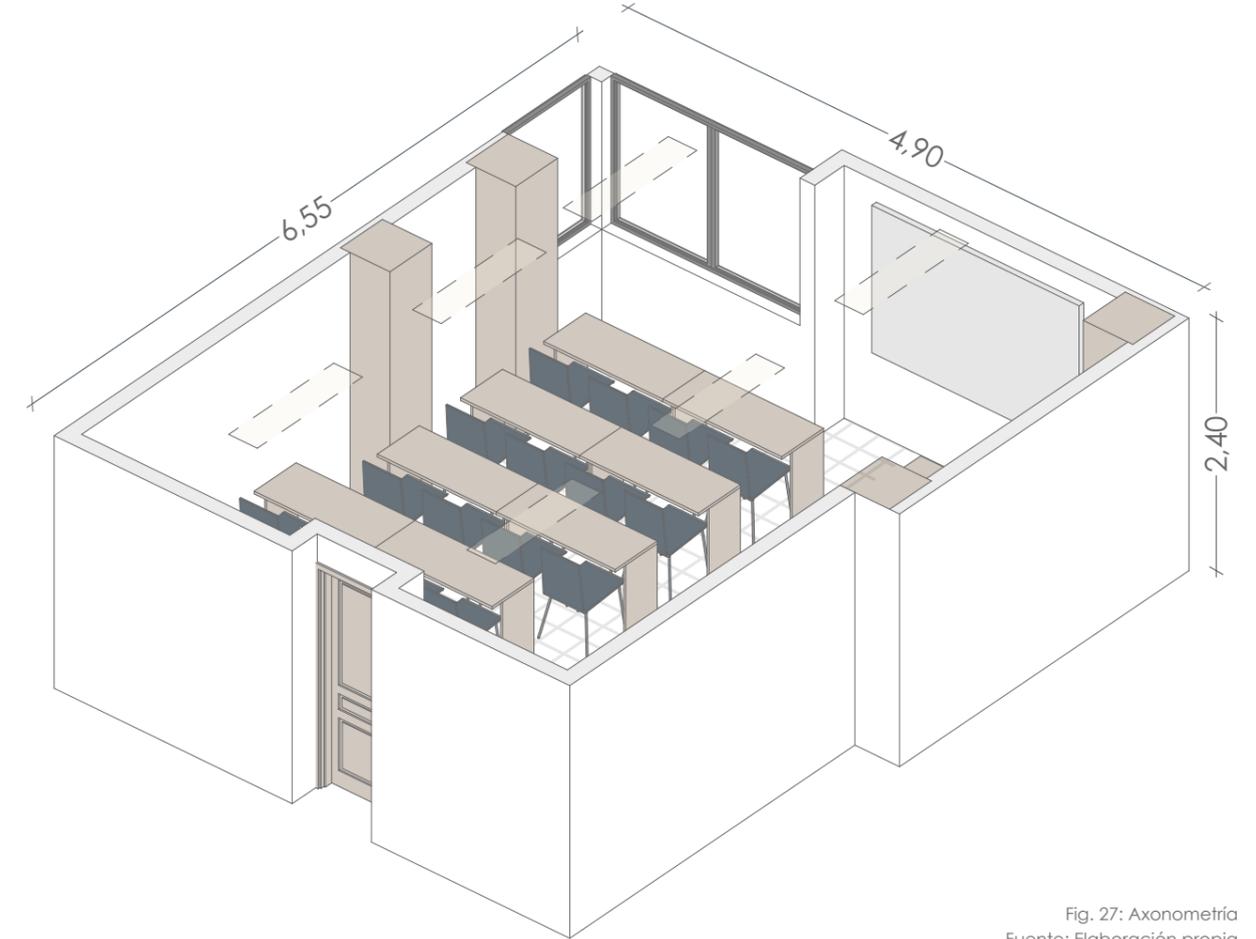


Fig. 27: Axonometría  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2 Tipología B: aula de la Facultad de Idiomas y Comunicación

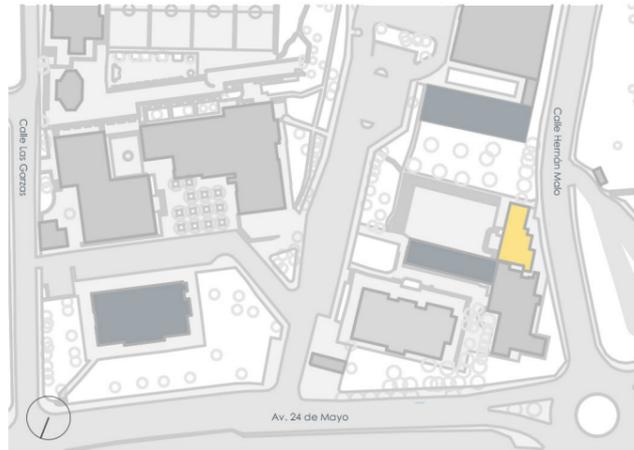


Fig. 28: Campus Central UDA  
Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA

Esta tipología corresponde de igual forma al edificio de Idiomas, representa el 22% de las 14 aulas. Volumétrica-mente es más alargada que la tipología A, con capacidad para 37 estudiantes. Posee una única fachada orientada hacia el Este con una ventana ubicada al centro de la misma y un antepecho de 1m de alto. El aula tiene 6 luminarias y sus materiales empleados son: piso flotante y enlucido blanco para las paredes y cielo raso.



Fig. 29: Primera planta alta - Edificio de Idiomas  
Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA



Fig. 30: Planta del aula  
Fuente: Elaboración propia

| Descripción del aula - código B4-104 |                               |                      |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| <b>orientación:</b> Noroeste-Sureste |                               |                      |
| <b>ancho:</b> 4,90m                  | <b>largo:</b> 6,55m           | <b>altura:</b> 2,40m |
| <b>m2:</b> 31,70                     | <b>m3:</b> 77                 |                      |
| <b>altura mesas:</b> 0,75m           | <b>capacidad:</b> 31 personas |                      |
| Ventanas con antepecho               |                               |                      |
| <b>proporción:</b>                   | 86,75% llenos - 13,25% vacíos |                      |
| Luminarias tipo LED                  |                               |                      |
| <b>cantidad:</b> 6                   | <b>color de luz:</b> blanca   |                      |
| Color de las superficies:            |                               |                      |
| <b>piso:</b> blanco                  | <b>mesa:</b> rojizo           |                      |
| <b>pared:</b> blanco                 | <b>cielo raso:</b> blanco     |                      |

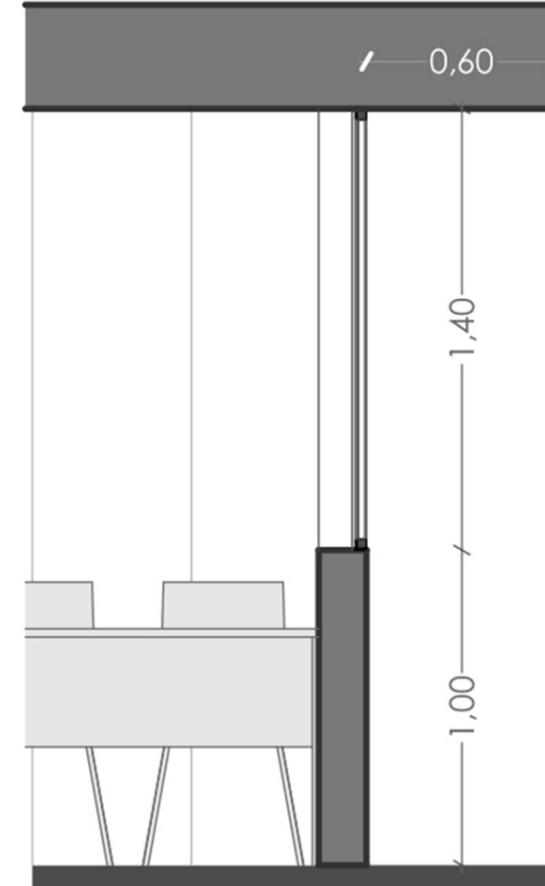


Fig. 31: Dimensiones de ventana  
Fuente: Elaboración propia

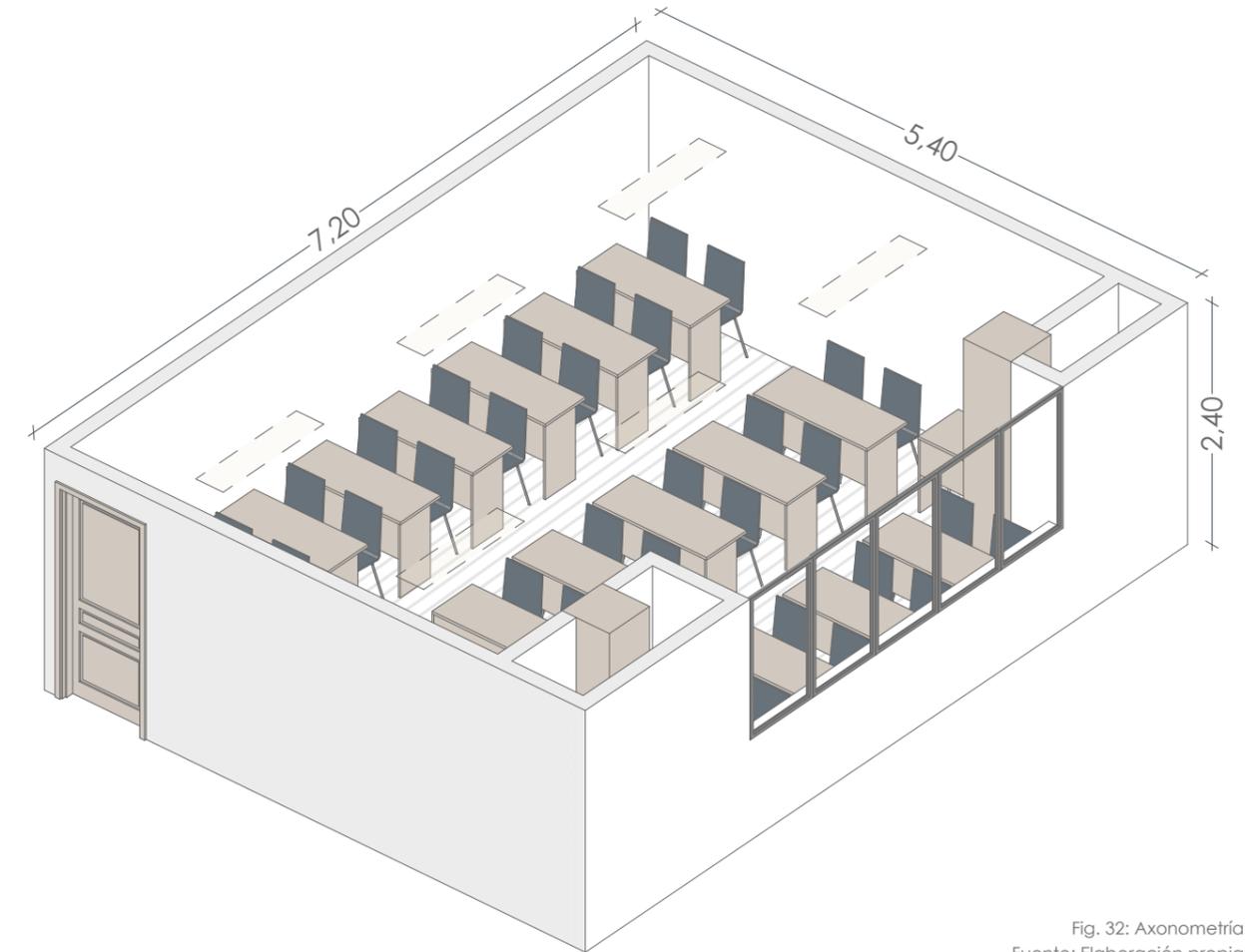


Fig. 32: Axonometría  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3 Tipología C: aula de la Facultad de Diseño

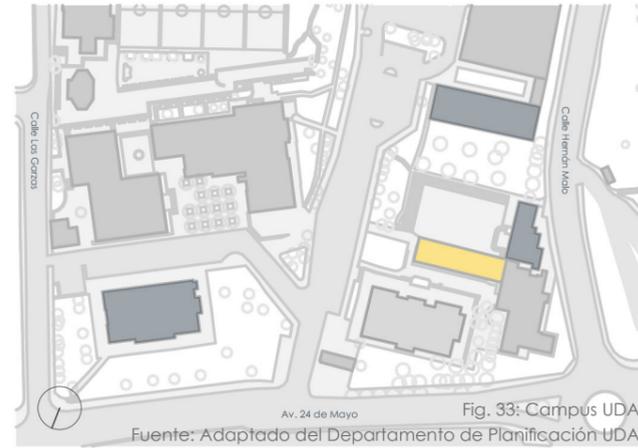


Fig. 33: Campus UDA

Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA

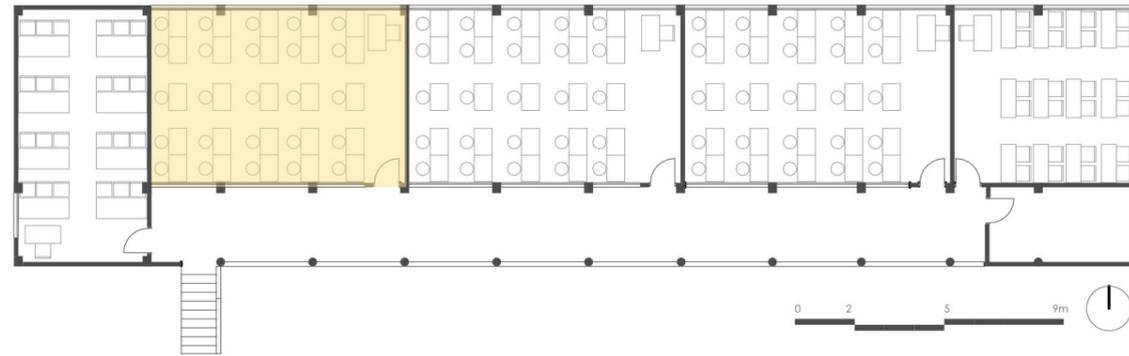


Fig. 35. Planta alta - Bloque de Diseño

Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA

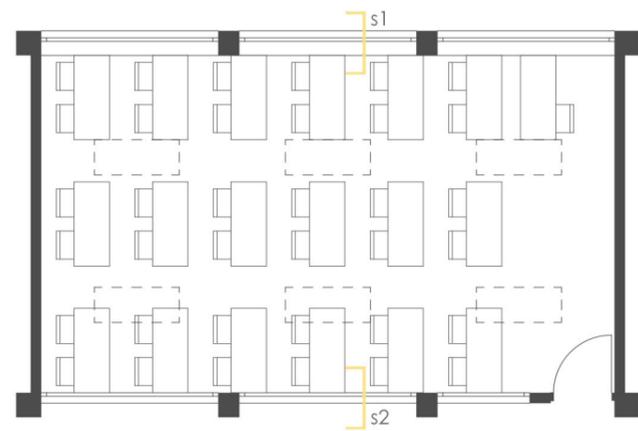


Fig. 34. Planta del aula

Fuente: Elaboración propia

La tipología C, se ubica en la planta alta del bloque de Diseño, representando al 40% de las 8 aulas con capacidad para 37 estudiantes. Esta tipología a diferencia de la A y B tiene dos fachadas con ventanas distribuidas a lo largo de toda el aula ubicadas de Norte a Sur. La fachada Norte tiene un antepecho de 1,60 m de alto, mientras que la fachada Sur tiene un antepecho de 1,20 m. Posee 6 luminarias y ocupa materiales como pisos laminados de madera y enlucido blanco para las paredes y el cielo raso.

| Descripción del aula - código B3-104 |                               |                      |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| <b>orientación:</b>                  | Norte-Sur                     |                      |
| <b>ancho:</b> 5m                     | <b>largo:</b> 8m              | <b>altura:</b> 2,90m |
| <b>m2:</b> 40                        | <b>m3:</b> 116                |                      |
| <b>altura mesas:</b> 0,75m           | <b>capacidad:</b> 37 personas |                      |
| Ventanas con antepecho               |                               |                      |
| <b>proporción:</b>                   | 48% llenos - 52% vacíos       |                      |
| Luminarias tipo LED                  |                               |                      |
| <b>cantidad:</b> 6                   | <b>color de luz:</b> blanca   |                      |
| Color de las superficies:            |                               |                      |
| <b>piso:</b> café                    | <b>mesa:</b> gris claro       |                      |
| <b>pared:</b> blanco                 | <b>cielo raso:</b> blanco     |                      |

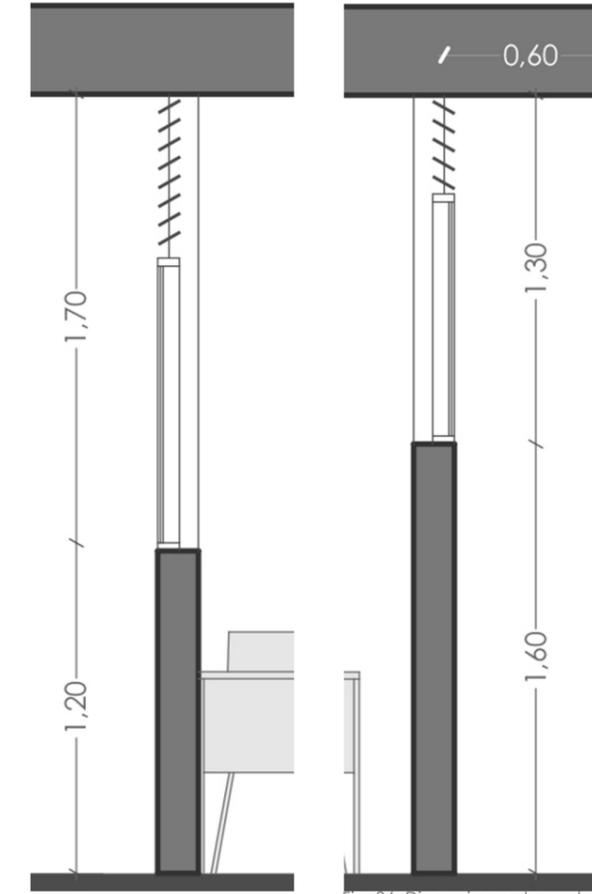


Fig. 36: Dimensiones de ventana

Fuente: Elaboración propia

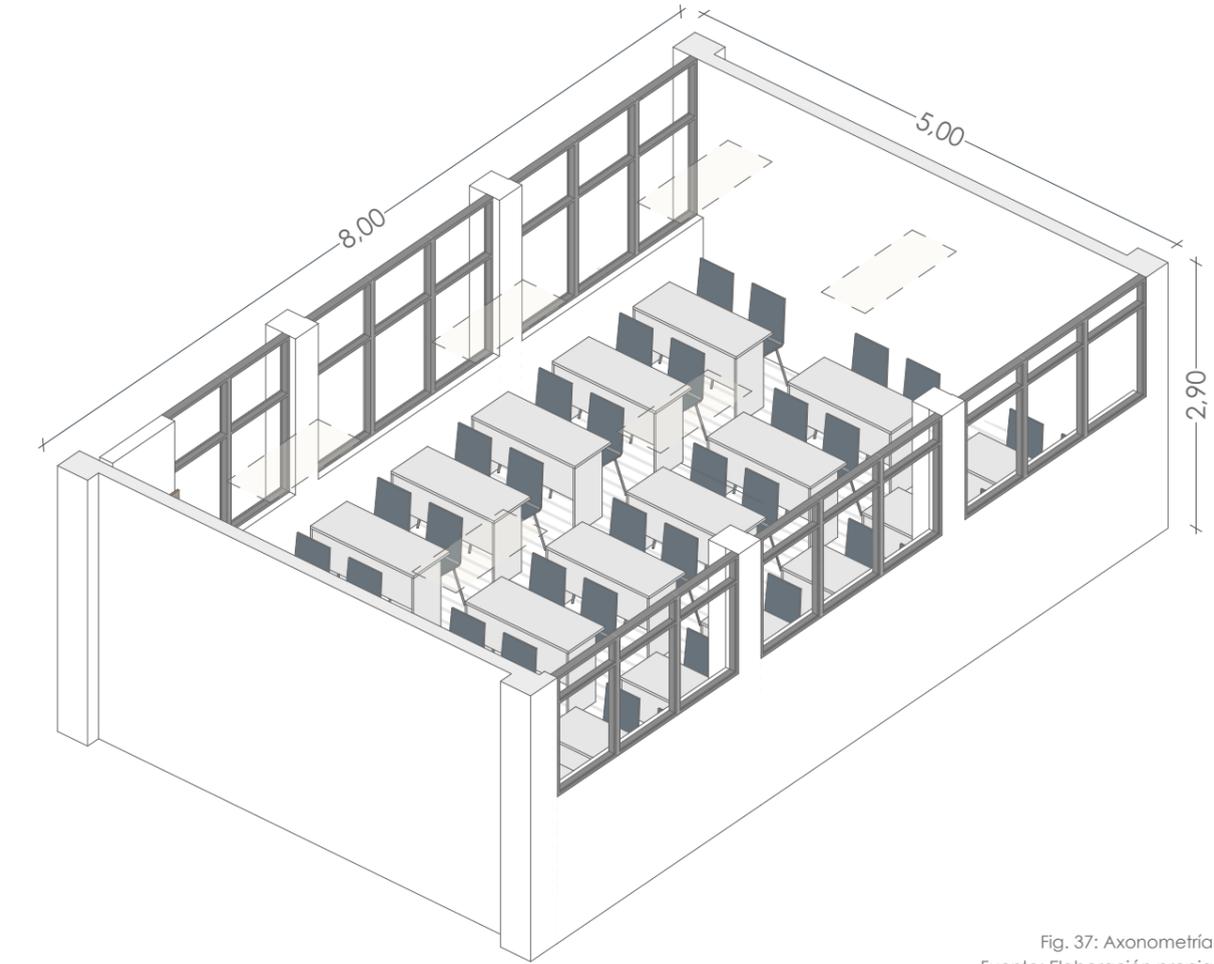


Fig. 37: Axonometría

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.4 Tipología D: aula de la Facultad de Administración

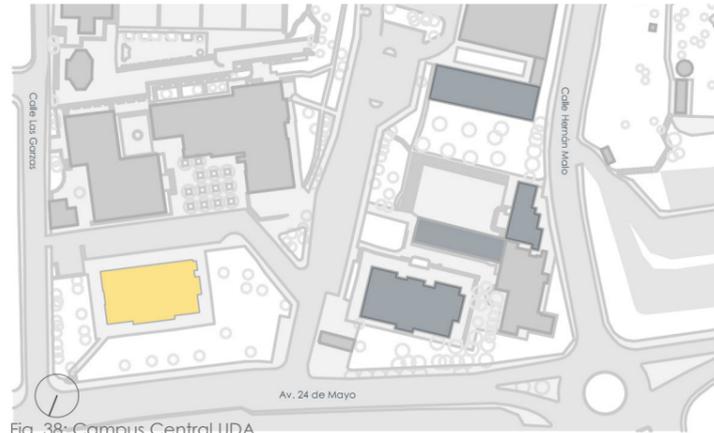


Fig. 38: Campus Central UDA  
Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA

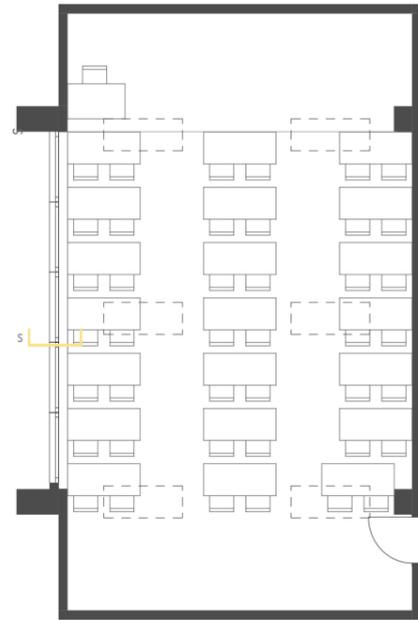


Fig. 40: Planta aula  
Fuente: Elaboración propia



Fig. 39: Tercera planta alta - Edificio de Administración  
Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA

La tipología D, correspondiente al edificio de la facultad de Administración representa al 55% de las 32 aulas distribuidas en los 5 pisos con una capacidad de 43 alumnos. El aula de estudio está ubicada en la tercera planta, con una única fachada orientada hacia el Norte. Esta fachada está configurada por una ventana con un antepecho de 1,25 m de altura protegidos por un alero de 90 cm. Además, cuenta con 6 luminarias y sus materiales empleados son el ladrillo visto, cerámica y enlucido.

| Descripción del aula - código A5-308 |                               |                      |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| <b>orientación:</b> Norte-Sur        |                               |                      |
| <b>ancho:</b> 5,70m                  | <b>largo:</b> 9,35m           | <b>altura:</b> 3,25m |
| <b>m2:</b> 54,70                     | <b>m3:</b> 173,20             |                      |
| <b>altura mesas:</b> 0,75m           | <b>capacidad:</b> 43 personas |                      |
| Ventanas con antepecho               |                               |                      |
| <b>proporción:</b>                   | 76,30% llenos - 23,70% vacíos |                      |
| Luminarias tipo LED                  |                               |                      |
| <b>cantidad:</b> 6                   | <b>color de luz:</b> blanca   |                      |
| Color de las superficies:            |                               |                      |
| <b>piso:</b> rojizo                  | <b>mesa:</b> rojizo           |                      |
| <b>pared:</b> ladrillo               | <b>cielo raso:</b> blanco     |                      |

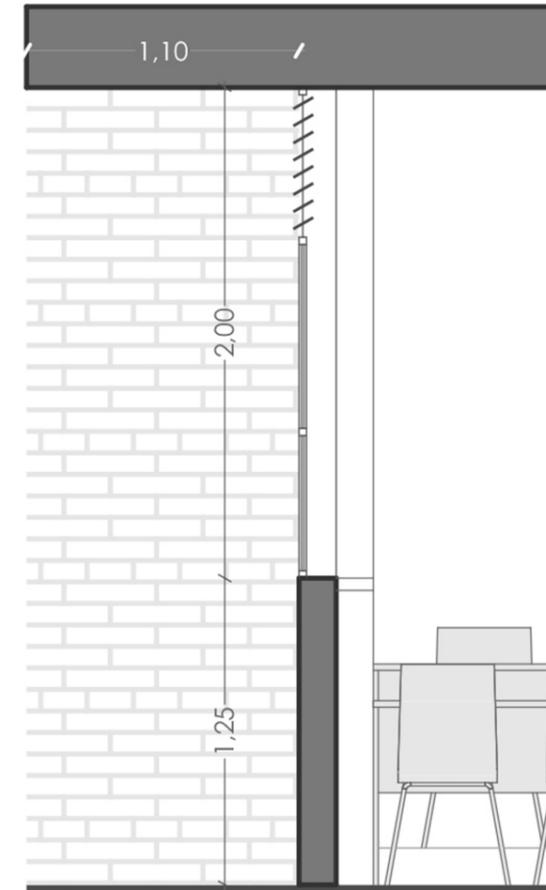


Fig. 41: Dimensiones de ventana  
Fuente: Elaboración propia

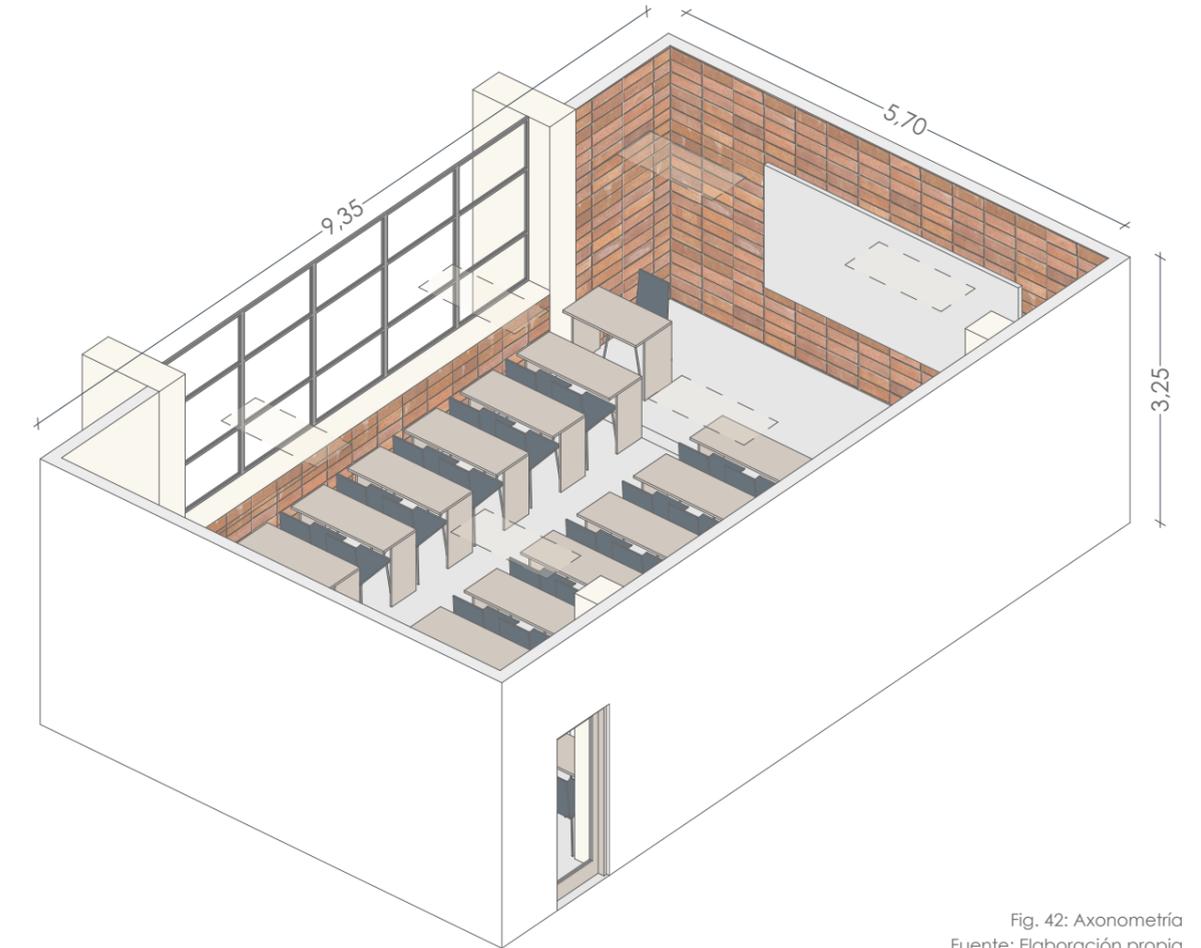


Fig. 42: Axonometría  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.5 Tipología E: aula de la Facultad de Diseño y Posgrados

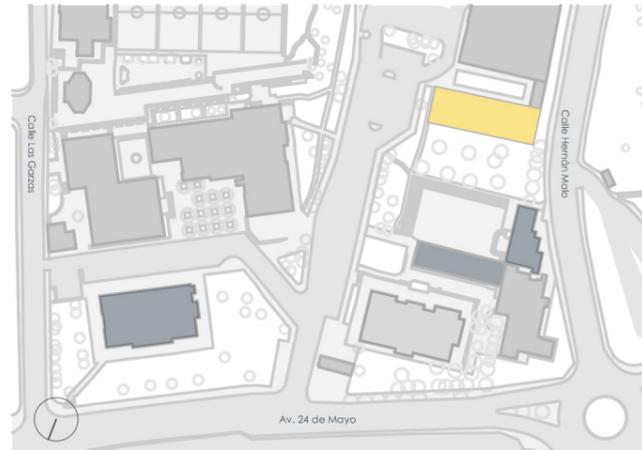


Fig. 43: Campus Central UDA  
Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA



Fig. 44: Planta tipo - Aulario  
Fuente: Adaptado del Departamento de Planificación UDA

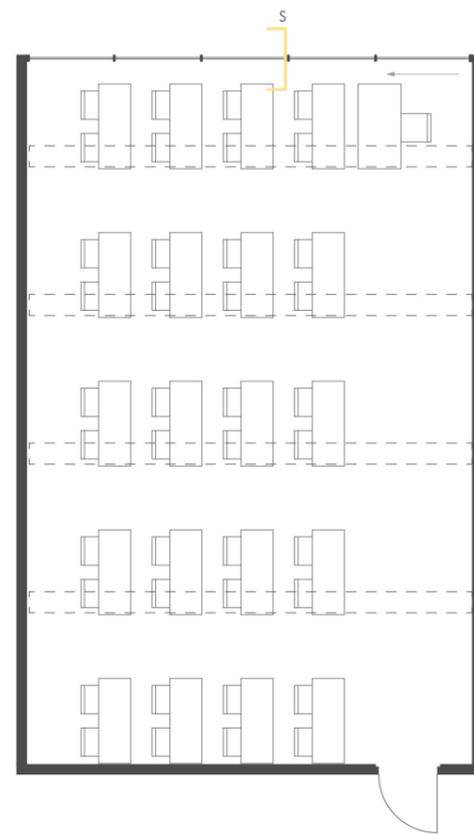


Fig. 45: Planta del aula  
Fuente: Elaboración propia

Esta tipología se encuentra en la primera planta alta del Aulario y corresponde al 85% de aulas que se disponen en este edificio, con una capacidad de 41 estudiantes. Esta aula tiene ventanas en dos lados de sus fachadas; en la fachada orientada al Norte posee una ventana alta con una función de ventilación natural al interior del espacio, mientras que, en su fachada Sur, está compuesta por un muro cortina. Posee 4 luminarias en barra a lo largo del aula y sus materiales interiores son el hormigón, paneles de fibrocemento y placas de gypsum.

| Descripción del aula - código B5-104 |                               |                   |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| <b>orientación:</b> Norte-Sur        |                               |                   |
| <b>ancho:</b> 6,30m                  | <b>largo:</b> 10m             | <b>altura:</b> 3m |
| <b>m2:</b> 62,70                     | <b>m3:</b> 189                |                   |
| <b>altura mesas:</b> 0,75m           | <b>capacidad:</b> 41 personas |                   |
| Ventanas con antepecho               |                               |                   |
| <b>proporción:</b>                   | 64,40% llenos - 35,60 vacíos  |                   |
| Luminarias tipo LED                  |                               |                   |
| <b>cantidad:</b> 4                   | <b>color de luz:</b> blanca   |                   |
| Color de las superficies:            |                               |                   |
| <b>piso:</b> gris                    | <b>mesa:</b> gris claro       |                   |
| <b>pared:</b> beige                  | <b>cielo raso:</b> blanco     |                   |

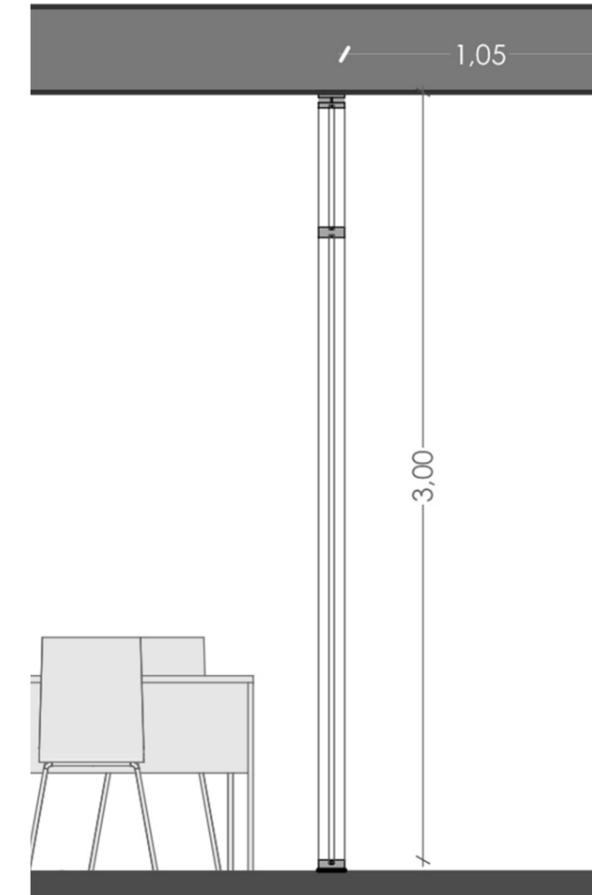


Fig. 46: Dimensiones de ventana  
Fuente: Elaboración propia

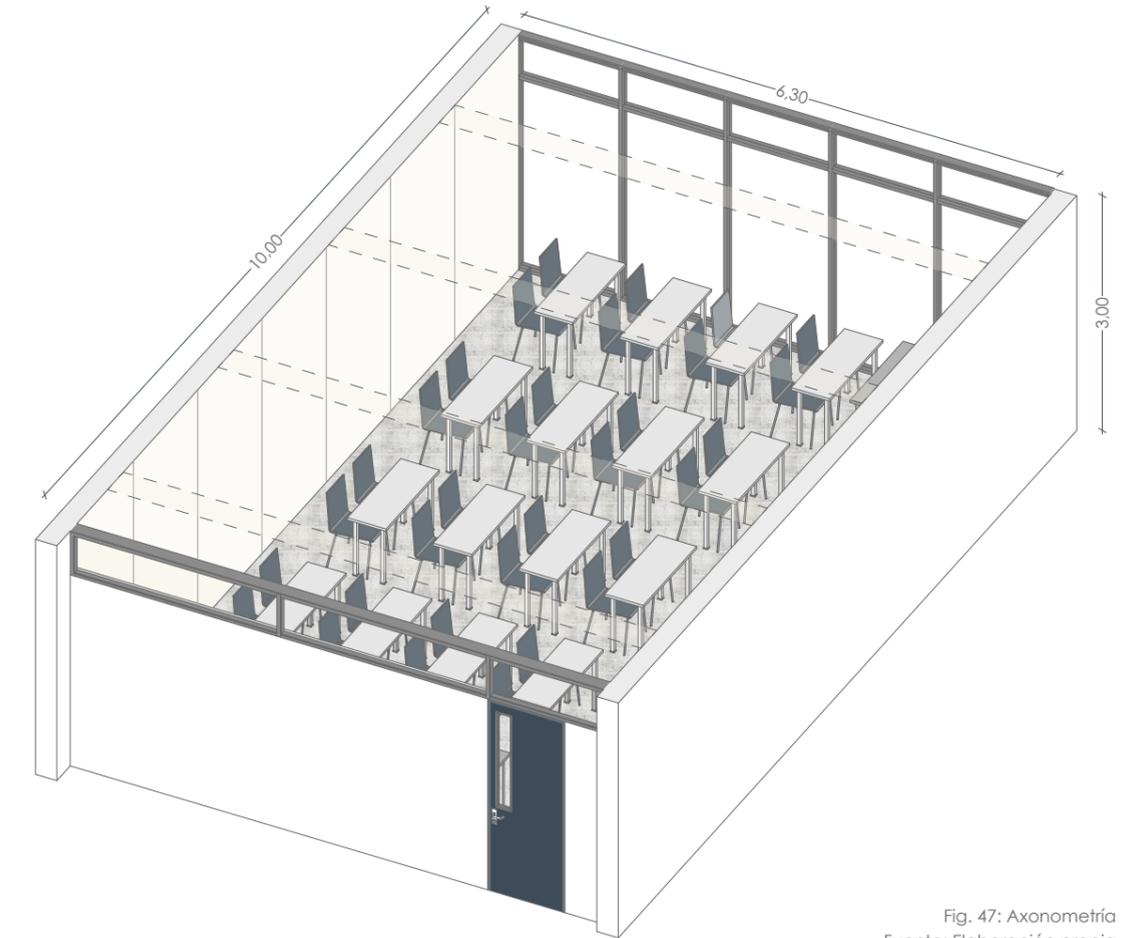


Fig. 47: Axonometría  
Fuente: Elaboración propia

## 2.4 CRITERIOS DE DISEÑO

Se procede a evaluar las variables de diseño que determinan la incidencia de la iluminación interior (variables expuestas en el capítulo 1- 1.2.3). Con el propósito de detectar cómo se relaciona el espacio construido y el confort lumínico interior.

Para la calificación, se basó en criterios de diseño sobre el color, proporción de ventanas y geometría del espacio. La escala de calificación de las variables inicia desde el valor 1 al 5, en donde:

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 5 | rango establecido<br>(confort óptimo) |
| 4 | rango bueno<br>(confort regular)      |
| 3 | rango mínimo<br>(confort mínimo)      |
| 2 | rango deficiente<br>(confort malo)    |
| 1 | rango bajo<br>(confort malo)          |

### 2.4.1 Calificación del color

Para la calificación del color se toman los datos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2011). A partir de estos datos, se genera un indicador de rangos por porcentaje de calificación de acuerdo a la superficie, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 05. Porcentaje reflexión del color en las superficies

| Superficies      | Índice reflexión del color (%)  | Calificación |
|------------------|---------------------------------|--------------|
| PISOS            | <b>10-50% valor establecido</b> | 5            |
|                  | 60%                             | 4            |
|                  | 70%                             | 3            |
|                  | 80%                             | 2            |
|                  | >90%                            | 1            |
| PLANO DE TRABAJO | <b>20-60% valor establecido</b> | 5            |
|                  | 15-20% y 60-70%                 | 4            |
|                  | 10-15% y 70-80%                 | 3            |
|                  | 5-10% y 80-90%                  | 2            |
|                  | 0-5% y 90-100%                  | 1            |
| PAREDES          | <b>30-80% valor establecido</b> | 5            |
|                  | 25-30% y 80-85%                 | 4            |
|                  | 20-25% y 85-90%                 | 3            |
|                  | 15-20% y 90-95%                 | 2            |
|                  | <10-15 y 95-100%                | 1            |
| CIELO RASO       | <b>60-90% valor establecido</b> | 5            |
|                  | 50%                             | 4            |
|                  | 40%                             | 3            |
|                  | 30%                             | 2            |
|                  | <20%                            | 1            |

Fuente: NEC - 2011

### 2.4.2 Calificación ventanas

El área de ventana no podrá ser menor al 20% del área de piso del local de acuerdo al libro *Reglas técnicas de Arquitectura y Urbanismo* del Distrito Metropolitano de Quito.

Tabla 06. Porcentaje mínimo de ventanas

| Área de ventanas                    |              |
|-------------------------------------|--------------|
| Porcentaje min. (%)                 | Calificación |
| 0-10%                               | 5            |
| 10-20%                              | 4            |
| <b>20% valor mínimo establecido</b> | 3            |
| 20-30%                              | 2            |
| 30-40%                              | 1            |

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.3 Calificación geometría del lugar

Aquí se define que la profundidad del lugar sea igual al doble de la altura de la ventana, con esta proporción se garantiza que la luz se distribuya a todo el interior. De esta fórmula se parte  $H=2h$  y se realiza reglas de tres de acuerdo a la relación que se tiene con la profundidad y el alto de la ventana en cada uno de los casos. En donde se calcula que:

Tabla 07. Porcentaje área de superficie de suelo

| 2h = h = 100% de la superficie del suelo |              |
|--|--------------|
| Porcentaje (%)                           | Calificación |
| 100%                                     | 5            |
| 80%                                      | 4            |
| 60%                                      | 3            |
| 40%                                      | 2            |
| 20%                                      | 1            |

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.4 Puntuación de las variables de diseño

Tabla 08. Puntuación de las aulas

| TIPOLOGÍAS | Variables               | Datos             | Calificación | Total= 30 |
|------------|-------------------------|-------------------|--------------|-----------|
| A          | Color de piso           | Blanco 80%        | 2            | 21        |
|            | Color puesto de trabajo | Rojizo 16%        | 4            |           |
|            | Color de pared          | Blanco 80%        | 5            |           |
|            | Color de cielo raso     | Blanco 80%        | 5            |           |
|            | Proporción de ventanas  | 13,25%            | 2            |           |
|            | Geometría del aula      | 73%               | 3            |           |
| B          | Color de piso           | Marrón 30-40%     | 5            | 25        |
|            | Color puesto de trabajo | Rojizo 16%        | 4            |           |
|            | Color de pared          | Blanco 80%        | 5            |           |
|            | Color de cielo raso     | Blanco 80%        | 5            |           |
|            | Proporción de ventanas  | 15%               | 2            |           |
|            | Geometría del aula      | 88,15%            | 4            |           |
| C          | Color de piso           | Marrón 30-40%     | 5            | 30        |
|            | Color puesto de trabajo | Gris claro 40-60% | 5            |           |
|            | Color de pared          | Blanco 80%        | 5            |           |
|            | Color de cielo raso     | Blanco 80%        | 5            |           |
|            | Proporción de ventanas  | 52%               | 5            |           |
|            | Geometría del aula      | 100%              | 5            |           |
| D          | Color de piso           | Rojizo 16%        | 5            | 23        |
|            | Color puesto de trabajo | Rojizo 16%        | 4            |           |
|            | Color de pared          | Ladrillo 18%      | 1            |           |
|            | Color de cielo raso     | Blanco 80%        | 5            |           |
|            | Proporción de ventanas  | 23,70%            | 3            |           |
|            | Geometría del aula      | 100%              | 5            |           |
| E          | Color de piso           | Gris 32%          | 5            | 27        |
|            | Color puesto de trabajo | Marrón 30-40%     | 5            |           |
|            | Color de pared          | Beige 25%         | 4            |           |
|            | Color de cielo raso     | Blanco 80%        | 5            |           |
|            | Proporción de ventanas  | 35,60%            | 5            |           |
|            | Geometría del aula      | 60%               | 3            |           |

Fuente: Elaboración propia

## 2.5 MÉTODO DE MEDICIÓN

A través de las mediciones en sitio, se logró calcular el nivel lumínico interior, con el objetivo de detectar el estado de iluminación natural y artificial que proporciona cada aula. Este procedimiento se desarrolló en dos partes importantes que se muestran a continuación.

### 2.5.1 Método de la cuadrícula

En lo relativo a los aspectos metodológicos llevados a cabo en la investigación, se parte del método de la cuadrícula. Este método se ha empleado en estudios previos en ambientes educativos, como por ejemplo en la investigación de Tureková et al. (2018).

Para las mediciones se basó en método de la cuadrícula de AHRA (Asociación de Higienistas de la República de Argentina), que consiste en calcular los puntos de medición dentro de un espacio, garantizando de esta forma que se cubra toda el área de estudio de manera equitativa.

Para su empleo, se tiene que tomar en cuenta 3 cálculos previos:

1. Identificar las medidas del lugar de estudio como:

largo, ancho y altura de montaje (distancia del piso a las luminarias - la altura del plano de trabajo).

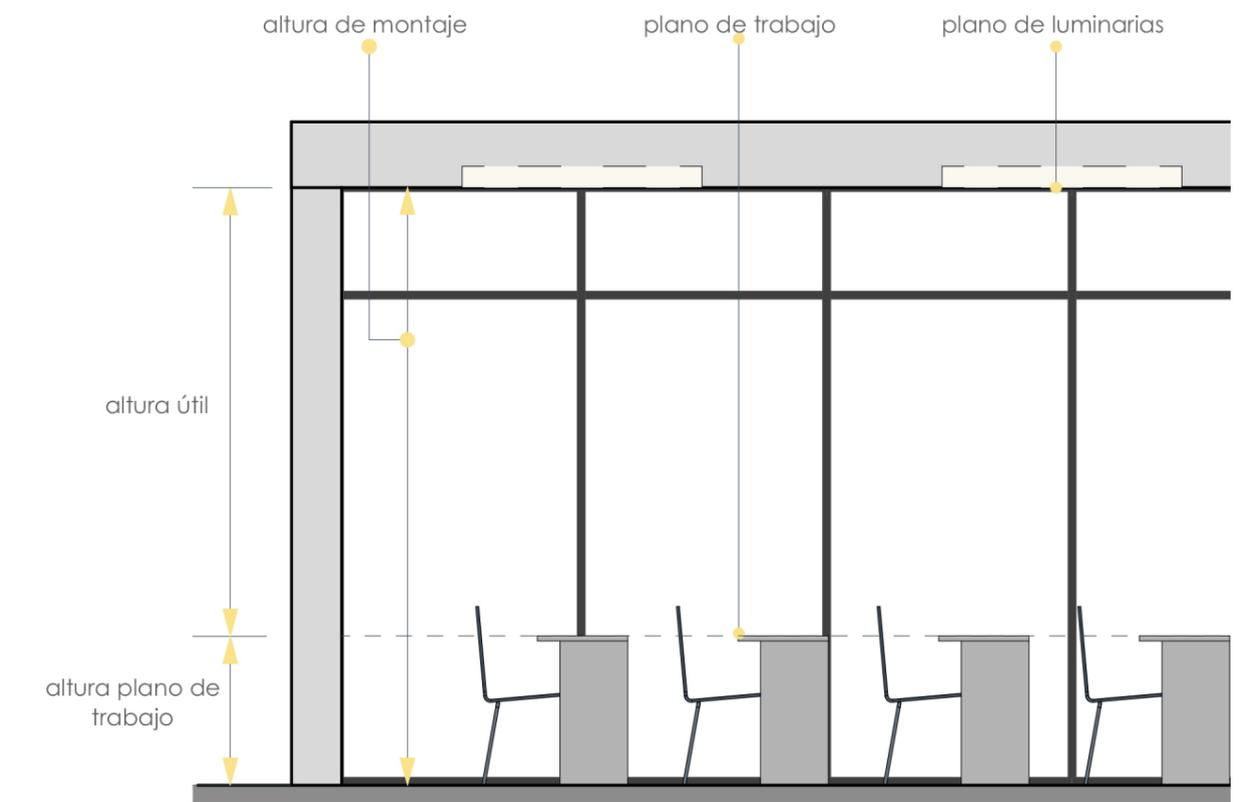


Fig. 48: Elementos de cálculo  
Fuente: Elaboración propia

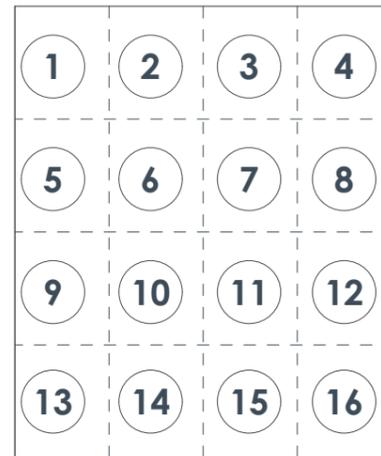
2. Calcular el índice del local (K):

$$\text{Índice de local (K)} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

3. Calcular el número mínimo de puntos de medición (N) en cada cuadrícula de los puntos de muestreo.

N= Número mínimo de puntos de medición  
 $N = (x + 2)^2$   
 x= es el índice K redondeado al entero superior

Una vez calculado el número mínimo de puntos a evaluar, se traza la cuadrícula en el lugar de estudio, dividiendo en partes iguales y se procede a medir el nivel de iluminación en el centro de cada cuadrante.



• **Herramienta de medición**

Las mediciones de los niveles de iluminación se llevaron a cabo con el equipo Tekco Plus Luxómetro profesional, modelo Lux 29 con software incluido (LuxMeter communication Tool) (foto 12). Con características como: función con registro de datos, 21.000 lecturas, memoria interna y usb.



Fotografía 12: Equipo de medición  
 Fuente: Paula Contreras S

Tabla 09. Número mínimo de puntos de medición

| Índice del local (K) | X (K redondeado) | # mínimo de puntos |
|----------------------|------------------|--------------------|
| ≤1                   | 0                | 4                  |
| 1 < K ≤ 2            | 1                | 9                  |
| 2 < K ≤ 3            | 2                | 16                 |
| K > 3                | 3                | 25                 |

Fuente: AHRA

**2.5.2 Normativa del Ecuador**

Para complementar la primera parte de las mediciones en sitio, se utilizó la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-2018. Puesto que aborda temas importantes a tratar sobre la iluminación en espacios de estudio, que serán válidos para aplicar en la investigación. La última actualización de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2018) se divide en tres partes principales: NEC-SE (Seguridad Estructural), NEC-HS (Habitabilidad y Salud) y NEC-SB (Servicios Básicos).

De aquí parten subtemas más específicos divididos en cada una de las categorías previamente mencionadas. El capítulo de interés de se abordará en el tema de esta tesis es el NEC-HS-EE (Eficiencia Energética).

No se establece una sección detallada sobre la iluminación en espacios educativos por lo que se toma como referencia para la presente investigación el capítulo NEC-HS-EE "Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales".

-En este capítulo se implementa criterios y requerimientos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones residenciales, con el objetivo de optimizar el consumo energético garantizando un óptimo confort lumínico interior para los usuarios.

• **Valores mínimos de iluminación**

Según los criterios establecidos por la NEC-2018, se debe contar con un nivel mínimo de iluminación presentes en el interior, en función de las necesidades de cada espacio. Los valores de interés de esta investigación, son los relacionados con las áreas de estudio.

Los valores que muestra la tabla 06, ayudó a clasificar el estado de los niveles de iluminación que se detectó en cada aula.

Tabla 10. Valores mínimos de iluminación

| Áreas                     | Mínimo (lux) | Recomendado (lux) | Óptimo (lux) |
|---------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| <b>viviendas</b>          |              |                   |              |
| Dormitorio                | 100          | 150               | 200          |
| Cuarto de aseo/ baño      | 100          | 150               | 200          |
| Cuarto de estar           | 200          | 300               | 500          |
| Cocina                    | 100          | 150               | 200          |
| <b>Cuartos de estudio</b> | <b>300</b>   | <b>500</b>        | <b>750</b>   |

Fuente: NEC - 2018

## 2.6 MEDICIONES EN SITIO

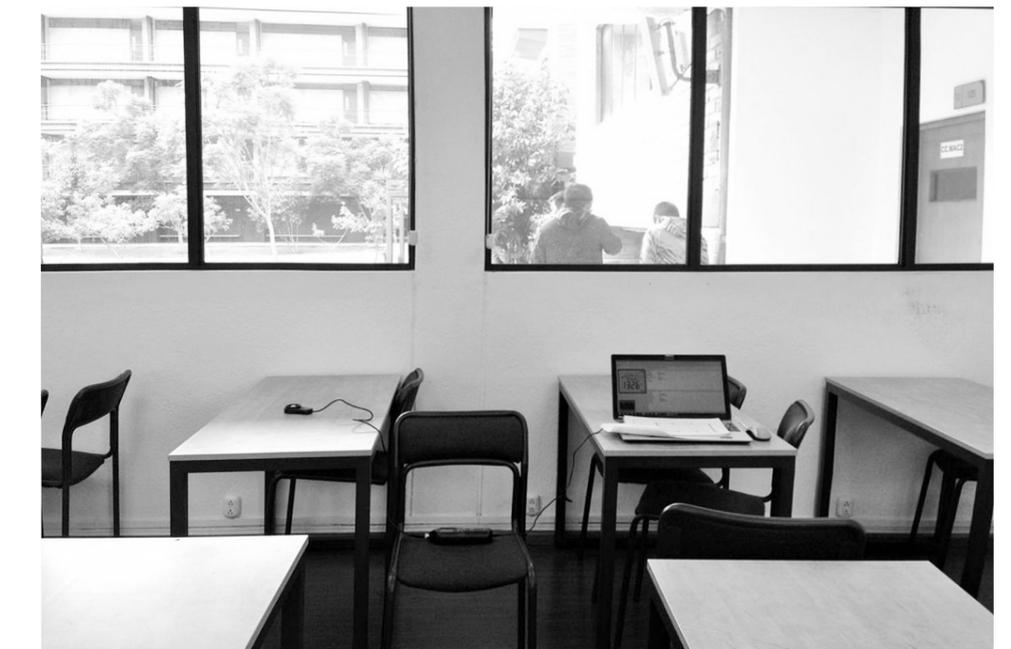


Fotografía 13: Paula Contreras S.

Se realizaron las mediciones durante 5 días consecutivos (del 2 al 7 de marzo), con un día de descanso en el cuarto día por razones de disponibilidad en las aulas. Las mediciones se llevaron a cabo en un lapso de 12 horas diarias. Para la recolección de los datos en sitio se inició desde las 7h00 hasta las 19h00, con intervalos de tomas, es decir, en la primera hora se midió el nivel lumínico natural y en la siguiente hora el nivel de iluminación combinada (natural y artificial).

El equipo se colocó sobre los puntos previamente calculados, a la altura del puesto de trabajo para medir el nivel de iluminación dentro del plano horizontal, como se muestran en las fotos 13 y 14.

De esta forma, se pudo detectar el estado actual y de qué forma varía en el transcurso del día la iluminación interior en las diferentes áreas del aula. Estos datos de la variación de la intensidad de la luz con el paso de las horas se pueden encontrar en la sección de anexos.



Fotografía 14: Paula Contreras S.

2.6.1 TIPOLOGÍA A: Aula del departamento de Idiomas

Datos del aula

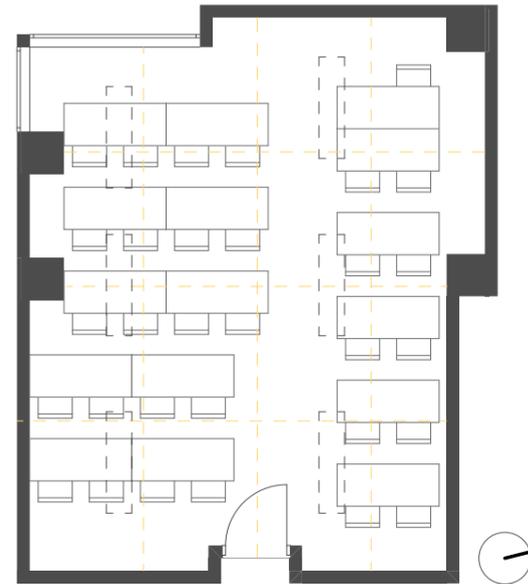
- Fecha de medición: 02 de marzo de 2020
- Condiciones de cielo: lluvioso
- Protección solar: alero de 30 cm
- Número de luminarias: 6
- Color luminarias: blanco
- Interruptores: 2

Cálculo de K (índice del local)

$$K = \frac{6,55 \times 4,90}{1,65 (11,45)} = 1,69 = 2$$

Cálculo de N

$$N = (2+2)2 = 16 \text{ puntos de medición}$$



Fotografía 15: Aula del Departamento de Idiomas  
Fuente: Patricia Mejía Montenegro

| Datos de luz natural     |       |            |             | Datos de luz natural + artificial |       |             |             |
|--------------------------|-------|------------|-------------|-----------------------------------|-------|-------------|-------------|
| TOMAS                    | HORA  | LUX. PROM. | ESTADO      | TOMAS                             | HORA  | LUXES PROM. | ESTADO      |
| 1                        | 7h00  | 62         | bajo        | 2                                 | 8h00  | 1002        | óptimo      |
| 3                        | 9h00  | 665        | recomendado | 4                                 | 10h00 | 1291        | óptimo      |
| 5                        | 11h00 | 242        | bajo        | 6                                 | 12h00 | 1299        | óptimo      |
| 7                        | 13h00 | 489        | mínimo      | 8                                 | 14h00 | 1050        | óptimo      |
| 9                        | 15h00 | 1018       | óptimo      | 10                                | 16h00 | 1131        | óptimo      |
| 11                       | 17h00 | 73         | bajo        | 12                                | 18h00 | 612         | recomendado |
| Promedio de iluminación: |       | 425 lx     | mínimo      | Promedio de iluminación:          |       | 1064 lx     | óptimo      |

2.6.2 TIPOLOGÍA B: Aula del departamento de Idiomas

Datos del aula

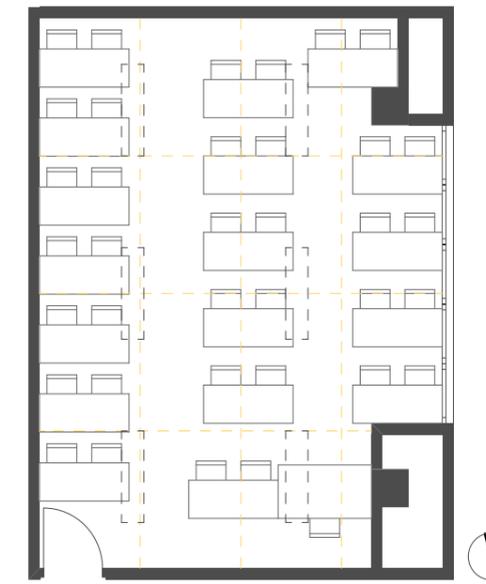
- Fecha de medición: 03 de marzo de 2020
- Condiciones de cielo: nublado
- Protección solar: alero horizontal de 60 cm
- Número de luminarias: 6
- Color luminarias: blanco
- Interruptores: 2

Cálculo de K (índice del local)

$$K = \frac{7,20 \times 5,40}{1,65 (12,60)} = 1,87 = 2$$

Cálculo de N

$$N = (2+2)2 = 16 \text{ puntos de medición}$$



Fotografía 16: Aula del Departamento de Idiomas  
Fuente: Patricia Mejía Montenegro

| Datos de luz natural     |       |            |             | Datos de luz natural + artificial |       |             |             |
|--------------------------|-------|------------|-------------|-----------------------------------|-------|-------------|-------------|
| No. TOMAS                | HORA  | LUX. PROM. | ESTADO      | No. TOMAS                         | HORA  | LUXES PROM. | ESTADO      |
| 1                        | 7h00  | 533        | recomendado | 2                                 | 8h00  | 998         | óptimo      |
| 3                        | 9h00  | 616        | recomendado | 4                                 | 10h00 | 1112        | óptimo      |
| 5                        | 11h00 | 588        | recomendado | 6                                 | 12h00 | 880         | óptimo      |
| 7                        | 13h00 | 886        | óptimo      | 8                                 | 14h00 | 1100        | óptimo      |
| 9                        | 15h00 | 547        | recomendado | 10                                | 16h00 | 777         | óptimo      |
| 11                       | 17h00 | 104        | bajo        | 12                                | 18h00 | 752         | recomendado |
| Promedio de iluminación: |       | 546 lx     | recomendado | Promedio de iluminación:          |       | 936 lx      | óptimo      |

### 2.6.3 TIPOLOGÍA C: Aula de la Facultad de Diseño

#### Datos del aula

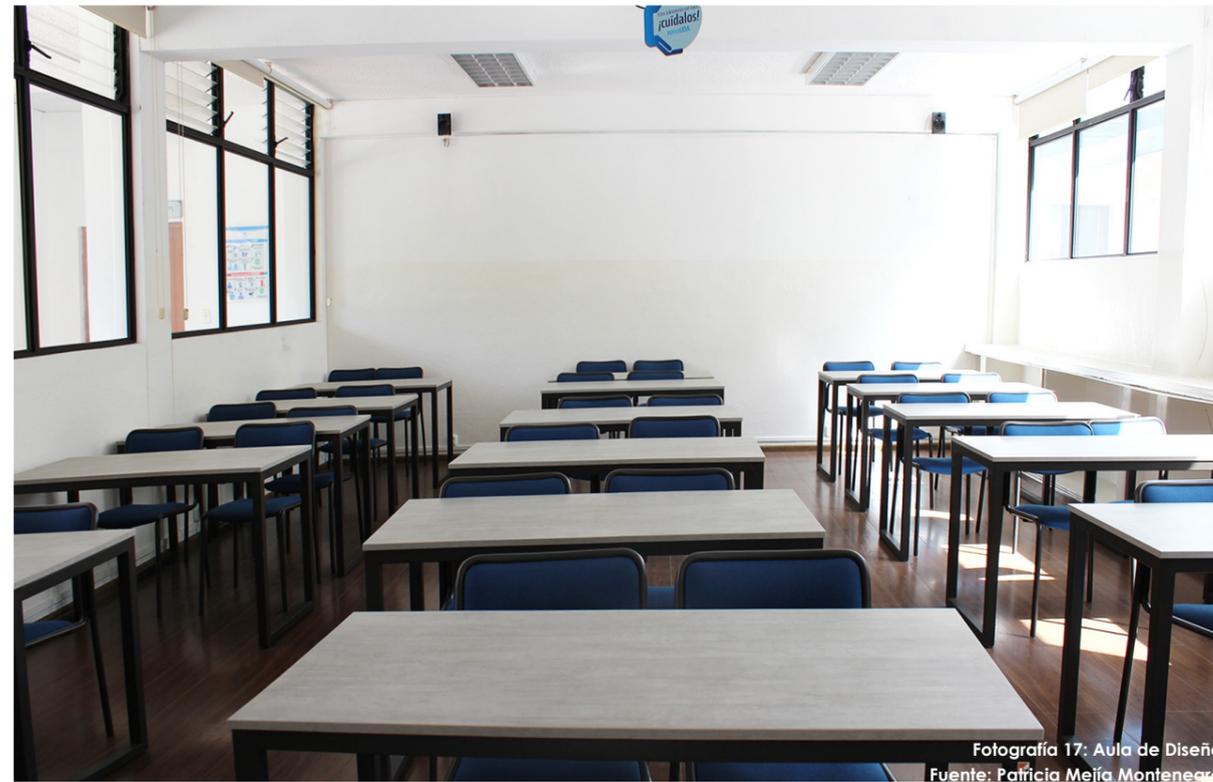
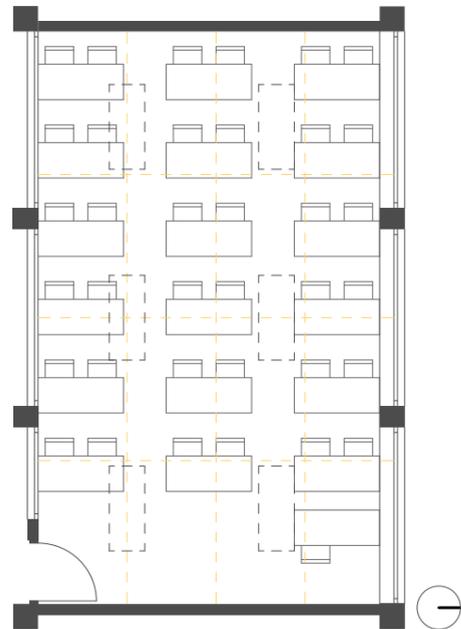
- Fecha de medición: 04 de marzo de 2020
- Condiciones de cielo: parcialmente nublado
- Protección solar: alero horizontal de 60 cm
- Número de luminarias: 6
- Color luminarias: blanco
- Interruptores: 1

#### Cálculo de K (índice del local)

$$K = \frac{8 \times 5}{2,15(13)} = 1,43 = 2$$

#### Cálculo de N

$$N = (2+2)2 = 16 \text{ puntos de medición}$$



Fotografía 17: Aula de Diseño  
Fuente: Patricia Mejía Montenegro

| Datos de luz natural     |       |            |        | Datos de luz natural + artificial |       |             |             |
|--------------------------|-------|------------|--------|-----------------------------------|-------|-------------|-------------|
| No. TOMAS                | HORA  | LUX. PROM. | ESTADO | No. TOMAS                         | HORA  | LUXES PROM. | ESTADO      |
| 1                        | 7h00  | 733        | óptimo | 2                                 | 8h00  | 1696        | óptimo      |
| 3                        | 9h00  | 951        | óptimo | 4                                 | 10h00 | 1860        | óptimo      |
| 5                        | 11h00 | 1340       | óptimo | 6                                 | 12h00 | 1858        | óptimo      |
| 7                        | 13h00 | 1159       | óptimo | 8                                 | 14h00 | 1425        | óptimo      |
| 9                        | 15h00 | 425        | mínimo | 10                                | 16h00 | 1185        | óptimo      |
| 11                       | 17h00 | 156        | bajo   | 12                                | 18h00 | 698         | recomendado |
| Promedio de iluminación: |       | 794 lx     | óptimo | Promedio de iluminación:          |       | 1454 lx     | óptimo      |

### 2.6.4 TIPOLOGÍA D: Aula de la Facultad de Administración

#### Datos del aula

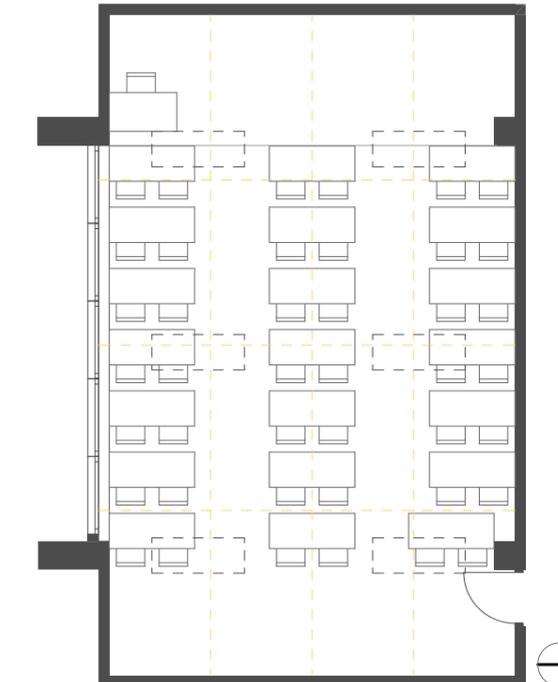
- Fecha de medición: 06 de marzo de 2020
- Condiciones de cielo: medio nublado
- Protección solar: alero horizontal de 1,10 m
- Número de luminarias: 6
- Color luminarias: blanco
- Interruptores: 1

#### Cálculo de K (índice del local)

$$K = \frac{9,35 \times 5,70}{2,50(15,05)} = 1,41 = 2$$

#### Cálculo de N

$$N = (2+2)2 = 16 \text{ puntos de medición}$$



Fotografía 18: Aula de Administración  
Fuente: Patricia Mejía Montenegro

| Datos de luz natural     |       |            |             | Datos de luz natural + artificial |       |             |        |
|--------------------------|-------|------------|-------------|-----------------------------------|-------|-------------|--------|
| No. TOMAS                | HORA  | LUX. PROM. | ESTADO      | No. TOMAS                         | HORA  | LUXES PROM. | ESTADO |
| 1                        | 7h00  | 378        | mínimo      | 2                                 | 8h00  | 933         | óptimo |
| 3                        | 9h00  | 707        | recomendado | 4                                 | 10h00 | 921         | óptimo |
| 5                        | 11h00 | 512        | recomendado | 6                                 | 12h00 | 1057        | óptimo |
| 7                        | 13h00 | 916        | óptimo      | 8                                 | 14h00 | 775         | óptimo |
| 9                        | 15h00 | 871        | óptimo      | 10                                | 16h00 | 876         | óptimo |
| 11                       | 17h00 | 203        | bajo        | 12                                | 18h00 | 427         | mínimo |
| Promedio de iluminación: |       | 632 lx     | recomendado | Promedio de iluminación:          |       | 831 lx      | óptimo |

## 2.6.5 TIPOLOGÍA E: Aula del Aulario

### Datos del aula

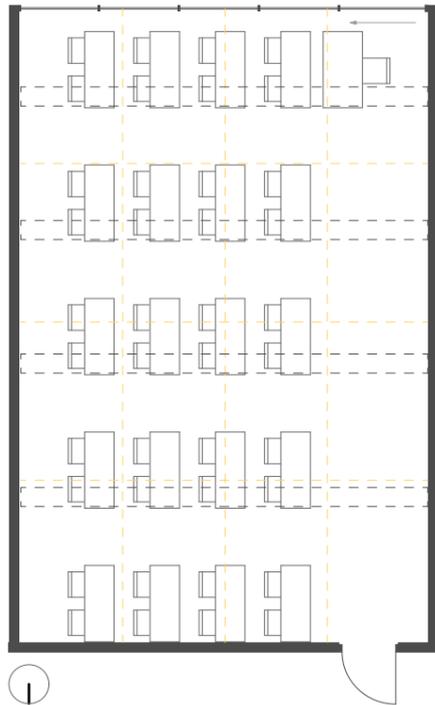
- Fecha de medición: 07 de marzo de 2020
- Condiciones de cielo: lluvioso
- Protección solar: alero horizontal de 1,05 cm
- Número de luminarias: 4
- Color luminarias: blanco
- Interruptores: 3

### Cálculo de K (índice del local)

$$K = \frac{10 \times 6,30}{2,25 (16,30)} = 1,71 = 2$$

### Cálculo de N

$$N = (2+2)2 = 16 \text{ puntos de medición}$$



Fotografía 19: Aulario  
Fuente: Patricia Meña Montenegro

| Datos de luz natural     |       |            |             | Datos de luz natural + artificial |       |             |        |
|--------------------------|-------|------------|-------------|-----------------------------------|-------|-------------|--------|
| No. TOMAS                | HORA  | LUX. PROM. | ESTADO      | No. TOMAS                         | HORA  | LUXES PROM. | ESTADO |
| 1                        | 7h00  | 215        | bajo        | 2                                 | 8h00  | 1194        | óptimo |
| 3                        | 9h00  | 733        | recomendado | 4                                 | 10h00 | 1396        | óptimo |
| 5                        | 11h00 | 1103       | óptimo      | 6                                 | 12h00 | 1880        | óptimo |
| 7                        | 13h00 | 340        | mínimo      | 8                                 | 14h00 | 1273        | óptimo |
| 9                        | 15h00 | 186        | bajo        | 10                                | 16h00 | 1018        | óptimo |
| 11                       | 17h00 | 188        | bajo        | 12                                | 18h00 | 795         | óptimo |
| Promedio de iluminación: |       | 461 lx     | mínimo      | Promedio de iluminación:          |       | 1259 lx     | óptimo |

# 03

RESULTADOS & DISCUSIÓN

### 3.1 RESULTADOS

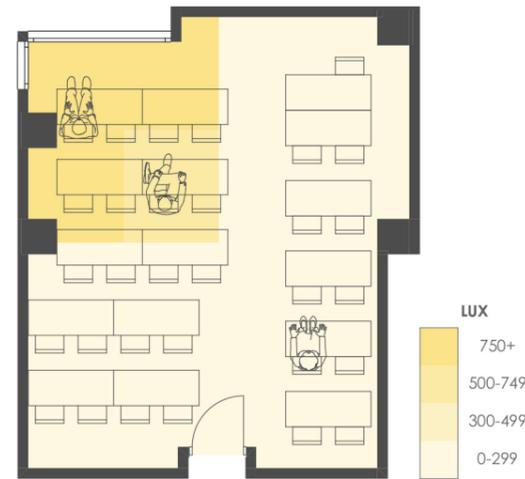
#### 3.1.1 Tipología A: aula de la Facultad de Idiomas

##### Mediciones en sitio

Como se muestra en la figura 49, la luminancia promedio en el aula con luz natural alcanza niveles mínimos de iluminación. Esto corresponde al flujo de luz que va por debajo de los 300 luxes, ocupando un 75,5% del área, en donde se ubican los puestos de trabajo del 74% de los estudiantes.

En cuanto a la luz artificial, sobresale valores mínimos recomendados de iluminación que van sobre los 500 luxes, iluminando al 48% de los puestos de trabajo (fig. 50).

Fig 49: Niveles promedio de luz natural



| (lux)   | nivel       | m <sup>2</sup> | 31 alumnos |     |
|---------|-------------|----------------|------------|-----|
| 750+    | óptimo      | 17,80%         | 6          | 19% |
| 500-749 | recomendado | 6,70%          | 2          | 6%  |
| 300-499 | mínimo      | —              | —          | —   |
| 0-299   | bajo        | 75,50%         | 23         | 74% |

Fig 50: Niveles promedio de luz artificial

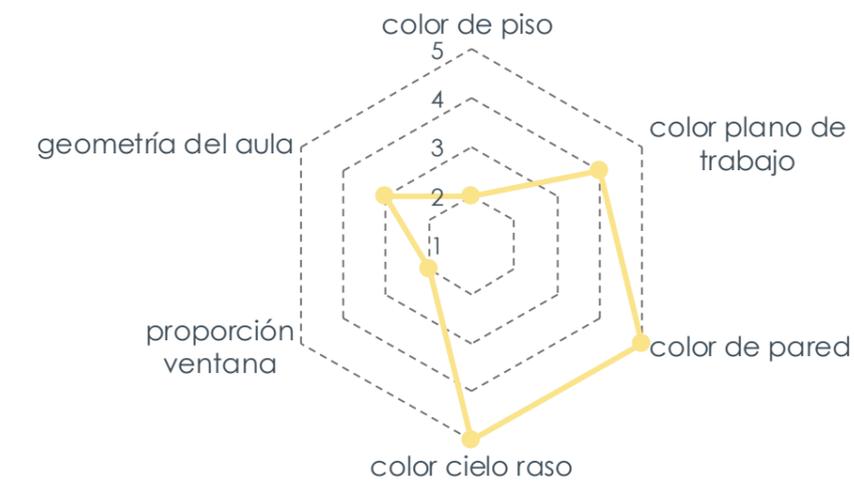


| (lux)   | nivel       | m <sup>2</sup> | 31 alumnos |     |
|---------|-------------|----------------|------------|-----|
| 750+    | óptimo      | 44,65%         | 14         | 45% |
| 500-749 | recomendado | 48,65%         | 15         | 48% |
| 300-499 | mínimo      | 6,70%          | 2          | 6%  |
| 0-299   | bajo        | —              | —          | —   |

Tabla 11. Calificación de las variables que inciden en la iluminación interior

| Variables               | Datos      | Calificación |
|-------------------------|------------|--------------|
| Color de piso           | Blanco 80% | 2            |
| Color puesto de trabajo | Rojizo 16% | 4            |
| Color de pared          | Blanco 80% | 5            |
| Color de cielo raso     | Blanco 80% | 5            |
| Proporción de ventanas  | 13,25%     | 2            |
| Geometría del aula      | 73%        | 3            |

Fig. 51 Calificación del aula



##### Relación entre las variables de diseño y su confort lumínico

Se observa en los gráficos anteriores que la iluminación natural se distribuye de manera desproporcional al interior del lugar, esto corresponde a la ubicación y la proporción deficiente de las ventanas, en donde se tiene que el área de ventanas alcanza tan solo el 13,25% (tab. 11). Como resultado, el 74% de los puestos de trabajo quedan en penumbra, y con ello podrían encontrarse en condiciones de realizar un sobre esfuerzo visual.

Un elemento importante a mencionar en el aula es el color del piso, ya que ayuda a la incidencia de la luz. Por su color blanco se tiene una reflexión mayor de la que usualmente se recomienda usar en el área de pisos. En este caso, como la incidencia de la luz natural es baja, el piso claro ayuda a reflejar la luz hacia el fondo del aula; claro que, esos niveles de luz no son los suficientes, pero contribuye a que el ambiente no sea aún más oscuro.

Con respecto a la luz artificial, si bien ayuda al 45% de los puestos de trabajo (fig. 50), puede producirse efectos de deslumbramiento debido a las iluminancias muy elevadas en los puestos más cercanos a la ventana, en horas donde la luz del sol es muy alta.

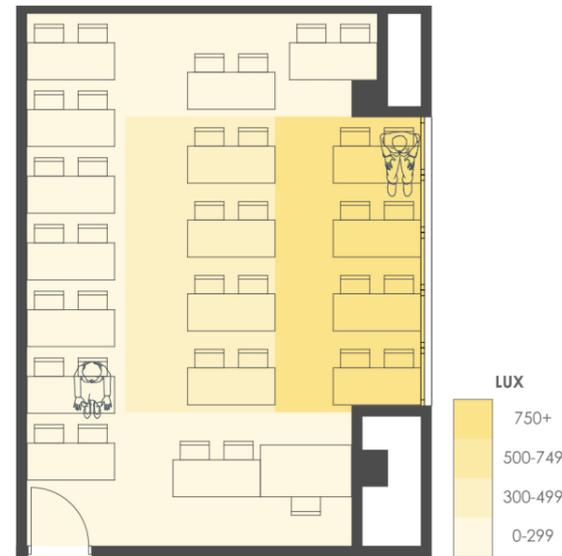
### 3.1.2 Tipología B: aula de la Facultad de Idiomas

#### Mediciones en sitio

En la tipología B, la iluminación promedio de luz natural se encuentra en niveles recomendado de luxes, sin embargo, al igual que la tipología anterior, el flujo luminoso no es uniforme. Apenas el 30% del lugar se encuentra en niveles denominados óptimos, ocupando el 32% de los puestos de trabajo (fig. 52).

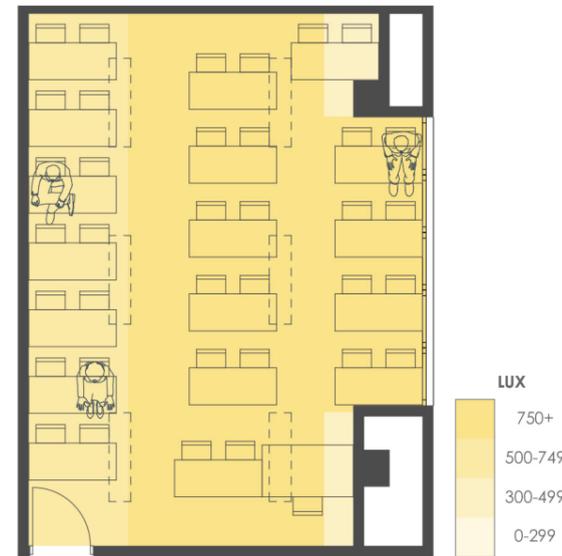
Por otro lado, los niveles de luz artificial se encuentran por encima de los 750 luxes, dirigiéndose al 59% de los puestos de trabajo (fig. 53).

Fig 52. Niveles promedio de luz natural



| (lux)   | nivel       | m <sup>2</sup> | 37 alumnos |     |
|---------|-------------|----------------|------------|-----|
| 750     | óptimo      | 30%            | 12         | 32% |
| 500-749 | recomendado | —              | —          | —   |
| 300-499 | mínimo      | —              | —          | —   |
| 0-299   | bajo        | 70%            | 25         | 68% |

Fig 53. Niveles promedio de luz artificial

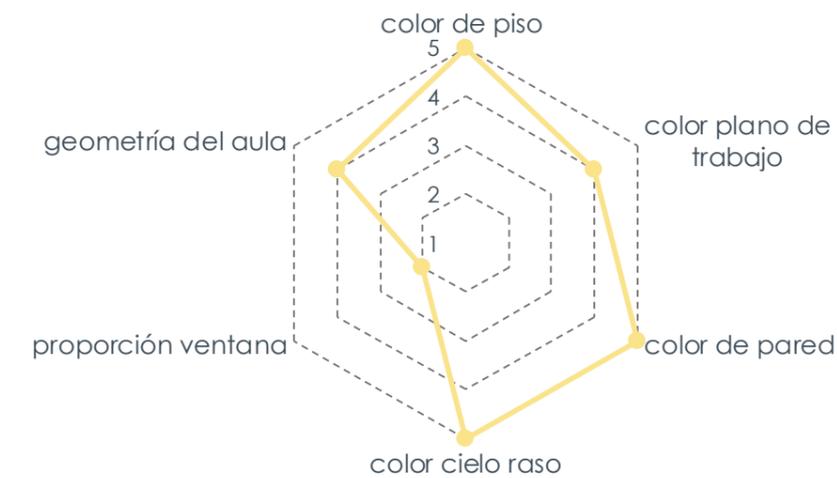


| (lux)   | nivel       | m <sup>2</sup> | 37 alumnos |     |
|---------|-------------|----------------|------------|-----|
| 750     | óptimo      | 67,90%         | 22         | 59% |
| 500-749 | recomendado | 18,50%         | 8          | 22% |
| 300-499 | mínimo      | 13,60%         | 7          | 19% |
| 0-299   | bajo        | —              | —          | —   |

Tabla 12. Calificación de las variables que inciden en la iluminación interior

| Variabes                | Datos         | Calificación |
|-------------------------|---------------|--------------|
| Color de piso           | Marrón 30-40% | 5            |
| Color puesto de trabajo | Rojizo 16%    | 4            |
| Color de pared          | Blanco 80%    | 5            |
| Color de cielo raso     | Blanco 80%    | 5            |
| Proporción de ventanas  | 15%           | 2            |
| Geometría del aula      | 88,15%        | 4            |

Fig. 54 Calificación del aula



#### Relación entre las variables de diseño y su confort lumínico

El 70% del aula se encuentra en niveles bajos de iluminación natural, perjudicando al 68% de los estudiantes en la comodidad de sus tareas (fig. 52). La razón de ello, además de tener una proporción insuficiente de ventanas (tab. 12), podría corresponder al retranqueo de la pared colindante a la ventana. Este elemento podría actuar como un obstáculo para transmitir la luz natural al interior.

El uso de la luz artificial, ayuda a mitigar el problema de la falta de la luz natural en los puestos de trabajo que se encuentran al fondo de la ventana, dejándolos en un nivel de iluminación equilibrada. Sin embargo, los puestos de trabajo adyacentes a la ventana, adquieren niveles altos de iluminación, y podrían presentar problemas de fatiga visual que puede ser causado por efectos de deslumbramiento o por contrastes fuertes de luz.

### 3.1.3 Tipología C: aula de la Facultad de Diseño

#### Mediciones en sitio

En la figura 55, se observa la distribución de la luz natural con niveles más uniformes en relación a las anteriores tipologías expuestas. En esta aula predominan niveles óptimos y recomendados de iluminación, en un porcentaje del 25% y 57% del área respectivamente. De esta forma los niveles inciden en 33 puestos de trabajo, dejando a los 4 puestos restantes en niveles mínimos de iluminación.

Mientras que, con la presencia de la iluminación artificial, los niveles de luz son altos, sobrepasando los 1000 luxes en toda el aula (fig. 56).

Fig 55. Niveles promedio de luz natural

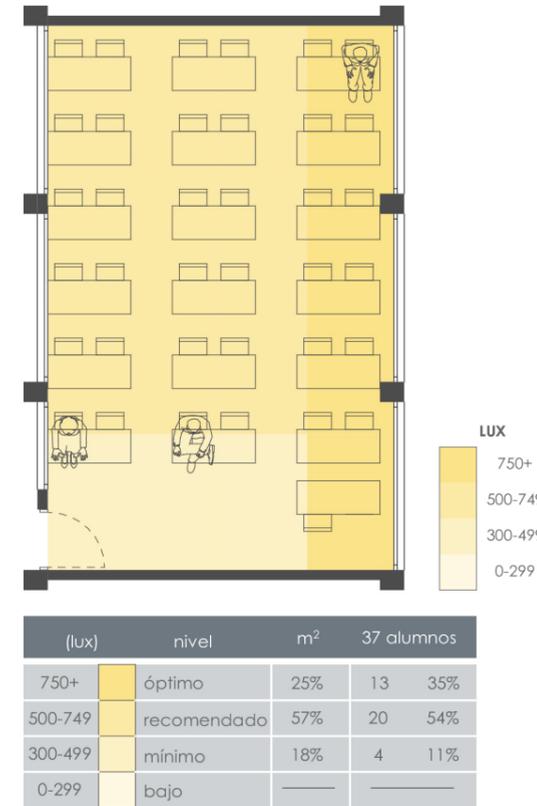


Fig 56. Niveles promedio de luz artificial

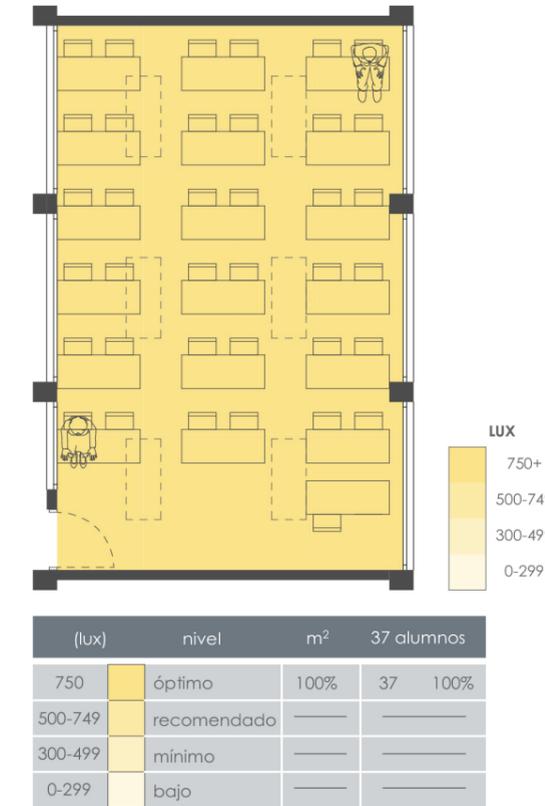
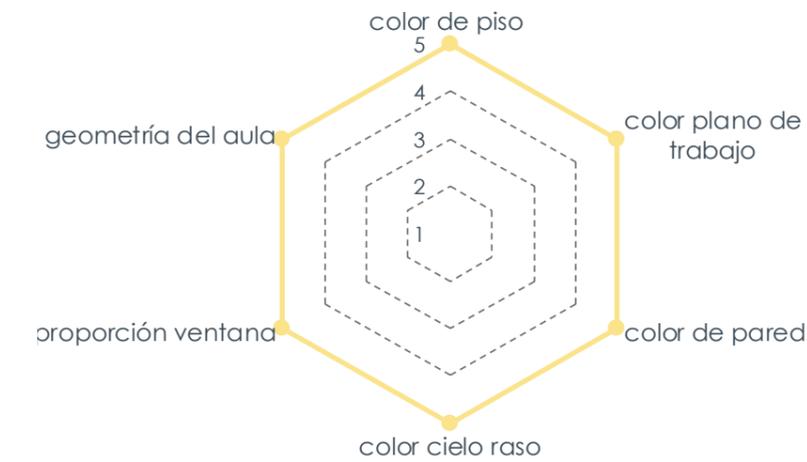


Tabla 13. Calificación de las variables que inciden en la iluminación interior

| Variabes                | Datos             | Calificación |
|-------------------------|-------------------|--------------|
| Color de piso           | Marrón 30-40%     | 5            |
| Color puesto de trabajo | Gris claro 40-60% | 5            |
| Color de pared          | Blanco 80%        | 5            |
| Color de cielo raso     | Blanco 80%        | 5            |
| Proporción de ventanas  | 52%               | 5            |
| Geometría del aula      | 100%              | 5            |

Fig. 57 Calificación del aula



#### Relación entre las variables de diseño y su confort lumínico

Esta tipología además de tener ventanas ubicadas en 2 de las paredes, cuenta con lineamientos adecuados para proporcionar un ambiente luminoso interior, como es la implementación del color, proporción de ventanas y geometría del lugar (tab. 13). Esto ayuda a que la incidencia de la luz natural sea suficiente para proporcionar un buen confort lumínico; ya que se encuentra el aula en niveles de luz equilibrada y se distribuye al 82% del área, abasteciendo a los 33 puestos de trabajo. Los 4 puestos restantes, se encuentran en un nivel mínimo de iluminación ubicados cerca de la puerta.

Con los resultados de las mediciones, se pudo comprobar que el aula funciona bien con luz natural hasta las 5 de la tarde con un cielo parcialmente despejado. Por ello, con el uso de la iluminación artificial en horas tempranas podría provocar efectos de deslumbramiento acompañados con contrastes intensos en los puestos de trabajo.

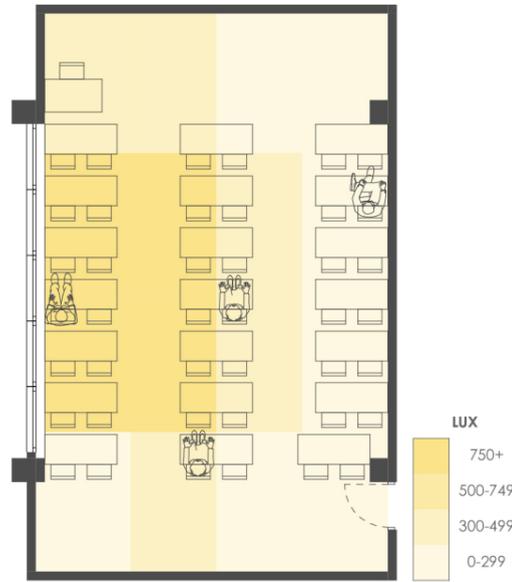
### 3.1.4 Tipología D: aula de la Facultad de Administración

#### Mediciones en sitio

Esta tipología con luz natural en promedio alcanza los niveles recomendados de iluminancia. A pesar de ello, se calculó que el 44% del área del aula proporciona niveles menores a 300 luxes, es decir que el nivel de iluminancia es bajo y llega al 42% de los puestos de trabajo (fig. 58).

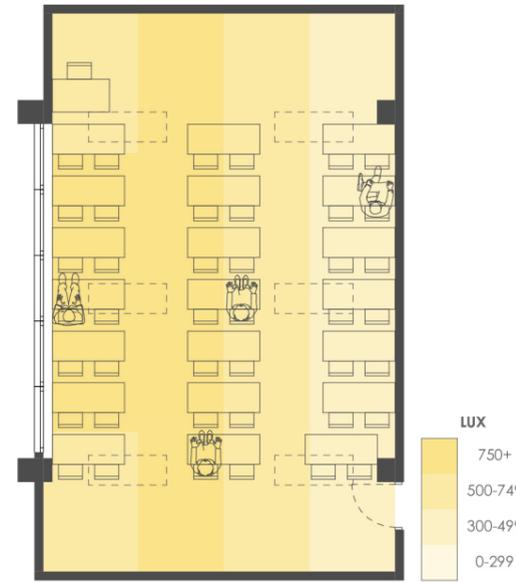
En cuanto a la figura 59, en donde se indica los niveles de iluminación artificial, se ve un incremento del flujo lumínico distribuido a lo largo del aula, en donde se ubica el 68% de los puestos de trabajo en niveles óptimos y recomendados de luz.

Fig. 58. Niveles promedio de luz natural



| (lux)   | nivel       | m <sup>2</sup> | 43 personas |
|---------|-------------|----------------|-------------|
| 750+    | óptimo      | 25%            | 15 35%      |
| 500-749 | recomendado | —              | —           |
| 300-499 | mínimo      | 31%            | 10 23%      |
| 0-299   | bajo        | 44%            | 18 42%      |

Fig. 59. Niveles promedio de luz artificial

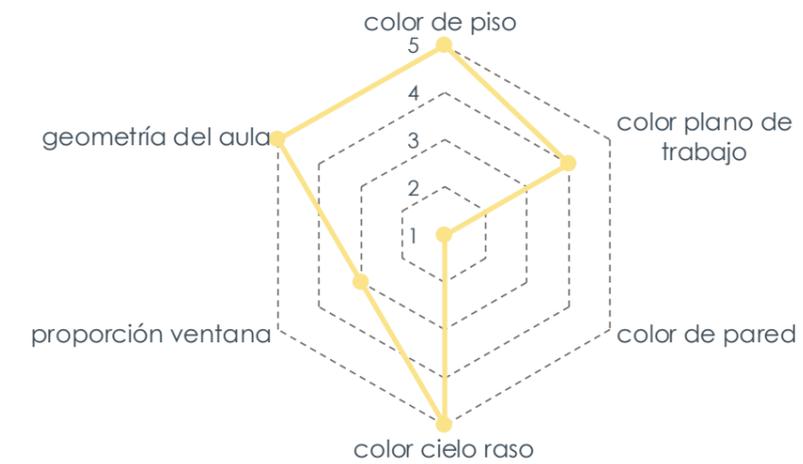


| (lux)   | nivel       | m <sup>2</sup> | 43 personas |
|---------|-------------|----------------|-------------|
| 750+    | óptimo      | 37,30%         | 17 40%      |
| 500-749 | recomendado | 37,80%         | 12 28%      |
| 300-499 | mínimo      | 24,90%         | 14 33%      |
| 0-299   | bajo        | —              | —           |

Tabla 14. Calificación de las variables que inciden en la iluminación interior

| Variables               | Datos         | Calificación |
|-------------------------|---------------|--------------|
| Color de piso           | Marrón 30-40% | 5            |
| Color puesto de trabajo | Rojizo 16%    | 4            |
| Color de pared          | Ladrillo 18%  | 1            |
| Color de cielo raso     | Blanco 80%    | 5            |
| Proporción de ventanas  | 23,70%        | 3            |
| Geometría del aula      | 100%          | 5            |

Fig. 60 Calificación del aula



#### Relación entre las variables de diseño y su confort lumínico

Como se aprecia en las gráficas previas, la incidencia de la luz natural es deficiente en el 42% de los puestos de trabajo. La razón de ello puede deberse como punto principal al manejo de las superficies internas, en este caso por el color de las paredes y del piso (coeficiente de reflexión bajo). El ladrillo visto de las paredes absorbe la luz que recibe, al igual que el piso de cerámica de color marrón oscuro, impidiendo transmitir la luz percibida al interior del espacio.

En cambio, con la luz artificial se obtiene niveles lumínicos equilibrados, sin embargo, los puestos cercanos a la ventana pueden tener el mismo problema de fatiga visual que en las anteriores tipologías, por el exceso de luz natural y artificial en estos espacios.

### 3.1.5 Tipología E: aula del Aulario

#### Mediciones en sitio

Se observa en la figura 61 que el 25% del área cerca del muro cortina proporciona niveles óptimos de iluminación, y según se va distanciando de ella, los valores van bajando a niveles mínimos y bajos en un 25% y 50% respectivamente.

Por otro lado, con la luz artificial, el nivel lumínico se encuentra en condiciones mayores a 750 luxes en un 75% del área del aula, abasteciendo al 70% de los puestos de trabajo (fig. 62).

Fig. 61. Niveles promedio de luz natural

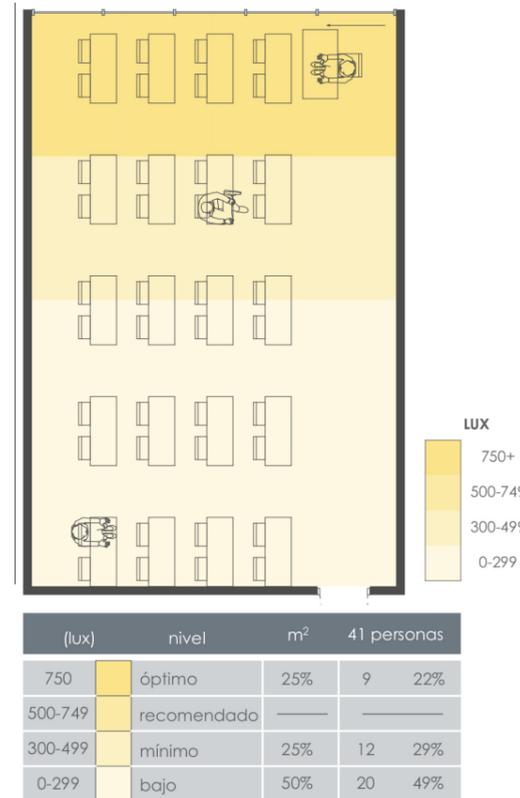


Fig. 62. Niveles promedio de luz artificial

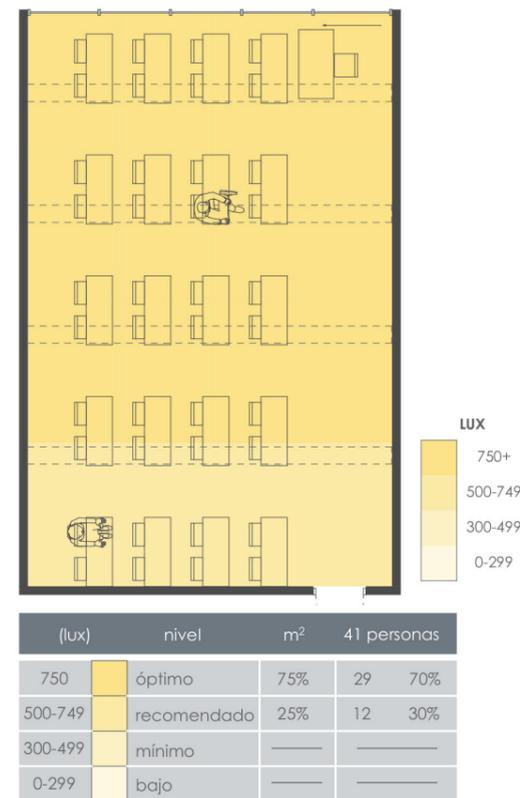
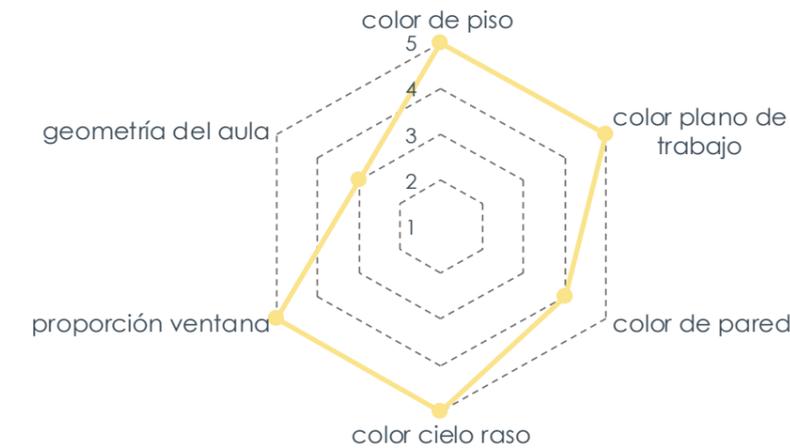


Tabla 15. Calificación de las variables que inciden en la iluminación interior

| Variables               | Datos         | Calificación |
|-------------------------|---------------|--------------|
| Color de piso           | Gris 32%      | 5            |
| Color puesto de trabajo | Marrón 30-40% | 5            |
| Color de pared          | Beige 25%     | 4            |
| Color de cielo raso     | Blanco 80%    | 5            |
| Proporción de ventanas  | 35,60%        | 5            |
| Geometría del aula      | 60%           | 3            |

Fig. 63. Calificación del aula



#### Relación entre las variables de diseño y su confort lumínico

El manejo de las variables de diseño es bueno, pero la geometría del aula afecta el alcance de la luz desde la mitad del aula, es decir, el 50% de los puestos de trabajo se encontrarían en condiciones de penumbra, no estimulante (fig. 61).

En cuanto a la luz artificial, los niveles de luz aumentan significativamente, mejorando el estado lumínico y con ello su confort. A diferencia del resto de las tipologías, esta cuenta con un mejor control de los circuitos de luz artificial. Sin embargo, no se descarta que pueda tener problemas de deslumbramiento, producto de iluminancias elevadas en los puestos de trabajos adyacentes al área de ventanas, como en el resto de las tipologías.

## 3.2 DISCUSIÓN

### **El espacio construido y su confort lumínico en las aulas del campus central de la Universidad del Azuay**

Esta investigación tuvo como propósito determinar de qué forma incide el espacio construido con el confort lumínico interior en las aulas del campus central de la Universidad del Azuay. Principalmente, se identificó cuáles son las variables de diseño dentro de las aulas que influyen en las condiciones de confort lumínico.

Los resultados obtenidos por medio de las herramientas de medición lumínicas, levantamiento físico espacial y análisis de las variables de diseño, evidencian efectivamente que el espacio construido influye directamente en el confort lumínico interior de las aulas. Por lo mencionado, se valida la hipótesis planteada: Las características morfológicas del espacio construido intervienen de manera directa en el confort lumínico interior en las aulas del campus central de la Universidad del Azuay.

Por consiguiente, se expone aquellos aspectos que coinciden y otros que contrastan la información recopilada de la revisión de la literatura con relación a los resultados obtenidos de esta investigación.

#### **Mediciones en sitio**

Durante los días de las mediciones en sitio realizadas en el mes de marzo, se observó la carencia de la luz de del sol desde horas muy tempranas del día. De manera independiente de las condiciones de cielo que se tuvo en esos días, se pudo comprobar la dependencia que se tiene de la luz artificial. La misma que no cumple con los requisitos de regulación de la intensidad de la luz para proporcionar una iluminación interior uniforme, como nos demuestra Ching y

Shapiro (2015) en su Manual de Arquitectura Ecológica. Con esto, se reafirma el argumento de Ibañez et al. (2017) acerca de la importancia de desarrollar la iluminación natural y planificar la iluminación artificial con la finalidad de trabajar en armonía.

#### **Confort lumínico**

Con respecto al confort, en el estudio de las 5 tipologías de aulas, se identifica que el grado de iluminación depende del diseño. Esto confirma el aporte de El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de Iluminación (CEI) (2001), en donde menciona que trabajando en conjunto con los elementos de diseño interior se puede lograr un balance de iluminación, en donde los niveles y contrastes no deben ser ni demasiado altos ni muy bajos para proporcionar un ambiente lumínico óptimo que aporta en el confort visual de los ocupantes.

#### **Variables de diseño**

En relación a las variables de diseño que se estudiaron en las aulas, se constata que se cumple con la incidencia de la luz natural por la pared de mayor longitud de acuerdo con el libro "Reglas técnicas de Arquitectura y Urbanismo" del Distrito Metropolitano de Quito (2011).

Sin embargo, en 3 de las 5 aulas de estudio, se evidencia un déficit en el área de las ventanas, por lo que se afirma la importancia de tener más del mínimo de área de ventanas requerida para conseguir una buena iluminación interior. En consecuencia, un

espacio que no cuente con dicho porcentaje, puede tener problemas en la incidencia de la luz natural, y depender del uso de la iluminación artificial.

Asimismo, es pertinente acotar las variables de diseño que se encuentran bien llevadas y aportan a la luminosidad de las aulas. Se deja en evidencia el correcto manejo del color que se debe tener presente en las superficies internas, en función al rango establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

El adecuado empleo del color hace que sus propiedades de reflexión favorezcan al ambiente, transmitiendo la luz hacia el interior de las aulas. No obstante, se comprobó que, en ciertos casos, los rangos de reflexión están fuera de los valores establecidos y, aun así, aportan con la luminosidad requerida. Por lo que se puede concluir que los elementos de diseño se deben trabajar en conjunto y no de manera aislada, para obtener resultados eficientes de diseño.

## 3.3 CONCLUSIONES

•En las 5 tipologías de estudio, el problema del confort lumínico que se lleva es similar. Esto corresponde al mismo manejo del sistema constructivo que se tiene y que inciden en la iluminación. Se estudiaron 2 tipos de orientación de aulas, 3 aulas orientadas de Norte-Sur correspondientes a las tipologías de la Facultad de Diseño, la Facultad de Administración y el edificio del Aulario; y 2 aulas orientadas de Este-Oeste, correspondientes a las aulas del Departamento de Idiomas.

•De los resultados obtenidos se destaca que en los puestos de trabajo cercanos al área de ventanas tienen un flujo de iluminancia elevada, por lo general va por encima de los 1000 luxes; en donde se debe tener especial cuidado en aquellas aulas que se encuentran orientadas de Este-Oeste, como es el caso de la tipología A y B. La incidencia de la luz solar directa podría ocasionar contrastes fuertes de luz y producir deslumbramiento, como consecuencia, los estudiantes podrían presentar problemas de fatiga visual.

•En contraste a esta situación, los puestos de trabajo distantes a la superficie de ventanas, tienen el problema de contar con insuficiente luz natural que afectaría en la comodidad visual de las tareas. Entonces en ese caso, la presencia de la luz artificial ayuda a contrarrestar este problema. Sin embargo, dependiendo de la hora del día y suponiendo el estado de un cielo despejado, la presencia de la iluminación artificial puede ser un impacto negativo para los puestos más próximos a la ventana, debido al exceso de luz natural y artificial que se puede llegar a obtener en esa área del aula.

•Las aulas deberían adoptar los criterios de iluminación artificial implementados en las aulas del aulario con ciertas readecuaciones de optimización.

•Por otro lado, se comprobó que las aulas que tienen mayor relación con la proporción h-2h se encuentran en mejores niveles de iluminación y por lo tanto se intuye que en mejor confort visual.

•Las superficies internas se encuentran regularmente bien y aportan a la luminosidad del lugar, sin embargo, se debería hacer una revisión a las superficies de las aulas de la Facultad de Administración.

•Si bien las aulas cuentan con protecciones solares internas (cortinas), no disponen de protecciones solares exteriores adicionales al alero de los edificios. Esto podría ser perjudicial para las aulas orientadas de Este-Oeste.

•Tener cuidado con la utilización de las cortinas en horas donde el sol es fuerte, ya que se podría tener un sobrecalentamiento en el aula, perjudicial para la comodidad de los ocupantes.

•Las iluminancias altas en los puestos de trabajo no significan que se disponga de una iluminación óptima, se requiere de un balance.

#### **Observaciones**

Por otra parte, al revisar el estado del arte se identificó que en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2018) tiene una carencia con respecto a los lineamientos de diseño interior en espacios educativos que profundicen el manejo adecuado de la iluminación. Por lo que, esta investigación se apoya además de la NEC en libros y artículos a nivel internacional.

Por lo mencionado, se hace un llamado a las entidades municipales en profundizar las normas específicas de iluminación en espacios educativos, con la finalidad de emplear diseños más eficientes que mejoren las condiciones lumínicas y aprovechar de manera más eficiente los recursos naturales que se disponen.

#### **Temas de investigación**

Se sugiere en futuras investigaciones con temas relacionados, profundizar en:

•Comparar los resultados que se consiguieron en esta investigación y poderlas triangular con una herramienta metodológica de encuestas. Para conseguir un carácter subjetivo y poder encontrar la percepción de los estudiantes en relación a estos espacios.

•Enfocarse en el gasto energético que tienen los edificios educativos, y como por medio del diseño se podría conseguir ahorros de energía.

•Estudiar a las envolventes de los edificios: cómo actúan en el diseño y de qué forma aportan al confort humano.

04

ESTRATEGIAS DE DISEÑO & PROPUESTA

## 4.1 ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN INTERIOR

En base a la revisión de la literatura y lo constatado en los resultados, se establece una serie de pautas de diseño que aportan a la luminosidad de los espacios interiores, los mismo que se podrían aplicar en intervenciones a futuro en el campus de la Universidad del Azuay, bajo un análisis previo del espacio y adaptándolo a los requerimientos del lugar.

### 4.1.1 Recomendaciones de diseño

- Como regla inicial, siempre se debe contar con luz natural al interior de las aulas. Piderit (2012) recomienda tener ventanales amplios por lo menos a un lado de las paredes, desde el piso hasta el techo o desde 1 metro sobre el suelo hasta el techo.

- La sección de las ventanas es preferible que sean continuas para que la distribución de la luz sea mayor e uniforme (Piderit, 2012).

- Heywood (2015) señala que para la luz natural tenga mayor alcance al interior, se recomienda que la profundidad del aula sea 2 veces la altura de la ventana con respecto al área del suelo.

- Para evitar el efecto de deslumbramiento en los puestos de trabajo, se aconseja que todas las superficies internas del aula tengan acabados mate: paredes, piso, puestos de trabajo (Comité Español de Iluminación, 2001).

- En cuanto a la orientación de las aulas, su orientación óptima de ventanas es de Norte a Sur, dado que los rayos solares no inciden de manera directa, puesto que en el Ecuador el sol sale por el Este y se oculta por el Oeste.

- En caso de que el emplazamiento del lugar, obligue a orien-

tar las aulas de Este a Oeste, es necesario contar con sistemas de sombreado adicionales a los aleros, para que la luz ingrese de manera indirecta sobre los puestos de trabajo. Estos sistemas pueden ser: estantes de luz, quebrasoles, aleros horizontales móviles, lamas, etc.

### 4.1.2 Recomendaciones sobre el uso de sistemas de regulación y control de la luz artificial

Una forma de complementar o sustituir la luz natural cuando las condiciones del día no proporcionan la iluminación requerida, es a través de la iluminación artificial. No obstante, el manejo de la luz artificial no siempre es el adecuado y se llega a producir un exceso de luz innecesario que conlleva problemas de confort y gastos energéticos.

Una opción para utilizar de manera eficiente este recurso, es a través de controles de encendido y apagados de las instalaciones de las luminarias, regulando su intensidad con relación a la cantidad de luz natural que se disponga.

A continuación, se muestra un listado de recomendaciones establecidas por el Comité Español de Iluminación.

- La instalación de las luminarias se debe conectar a varios circuitos, teniendo en cuenta un circuito independiente para las luminarias que se encuentran más cerca de las ventanas.

- Para obtener el número de interruptores manuales necesarios, no debe ser menor a la raíz cuadrada del número de luminarias existentes o instaladas.

- Se recomienda para estos espacios implementar el control de encendidos por fotocélulas (en función a la luz natural que se

capta al interior).

- Las luminarias se deben colocar en hileras paralelas a las ventanas.

- Se recomienda tener un control de encendidos y apagados por periodos, para evitar cambios fuertes de iluminación.

### 4.1.3 Recomendaciones de mantenimiento

Dar mantenimiento periódico a los elementos de diseño y a las instalaciones es importante, ya que se puede evitar que las propiedades de trasmisión de las ventanas, la reflexión de las superficies y la potencia de las luminarias disminuyan con el paso del tiempo. Por lo que se recomienda las siguientes reglas:

- Los vidrios de las ventanas y las superficies internas del cielo raso, paredes y pisos deben ser limpiados con frecuencia para mantener la transmisión de la luz natural y la reflectancia de las mismas.

- Limpiar las luminarias de forma regular y cambiar las lámparas en intervalos apropiados.

- Cada cierto tiempo, repintar las superficies como cielo raso y paredes para que no pierdan sus propiedades de reflectancia.

## 4.2 PROPUESTAS DE DISEÑO

Las propuestas de diseño que se muestran a continuación, se adaptan al medio construido actual de la Universidad del Azuay, por lo tanto, son intervenciones sutiles pero significativas que consiguen incrementar el nivel y distribución de la iluminación en las aulas, y con ello se incrementa el grado de confort lumínico interior en los puestos de trabajo.

Estos lineamientos de diseño pueden ser aplicados a otras aulas dentro del campus con características similares a las aulas de estudio, claro que siempre teniendo en consideración a todo el conjunto de elementos de diseño que conforma el espacio.

### Simulaciones

Por medio de simulaciones computacionales empleadas en el programa Dialux Evo 8.2, se pudo obtener simulaciones del estado de iluminación interior en tiempo real con las estrategias de diseño propuestas.

De esta forma, se pudo confirmar la mejoría de los espacios y con ello los niveles de iluminación se aproximan a los valores establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en espacios de estudio mencionados en el capítulo 2, sección 2.5.2.

Las simulaciones son el resultado de un cálculo lumínico, en donde se obtiene la cantidad de luxes existentes, medidos desde la altura de un plano horizontal, en este caso, desde la altura de los puestos de trabajo.

Una forma efectiva para representar visualmente este cálculo, es a través de los colores falsos. Estos colores falsos funcionan como una cámara térmica, en donde cada color indica un nivel diferente de iluminación.

## 4.2.1 TIPOLOGÍA A: AULA DE IDIOMAS

### Elementos propuestos

La figura 64 nos muestra las intervenciones que se plantean, sin afectar su estructura principal. En primer lugar, se propone aumentar el área de ventanas de 13,25% a 21,65% con relación a la superficie del suelo. Al aumentar la superficie de ventanas, se debe readecuar la posición de los puestos de trabajo, de tal forma que se ubiquen paralelos al lado de la ventana. Por otro lado, se recomienda alinear a las columnas con la colocación de paredes no estructurales o mobiliario auxiliar para que las columnas salidas no sean elementos que obstaculicen el paso de la luz a los puestos de trabajo. En cuanto a las luminarias del aula, se plantea 3 circuitos paralelos que funcionen de manera independiente, esto permite tener un mayor control de la cantidad de iluminación por zonas.

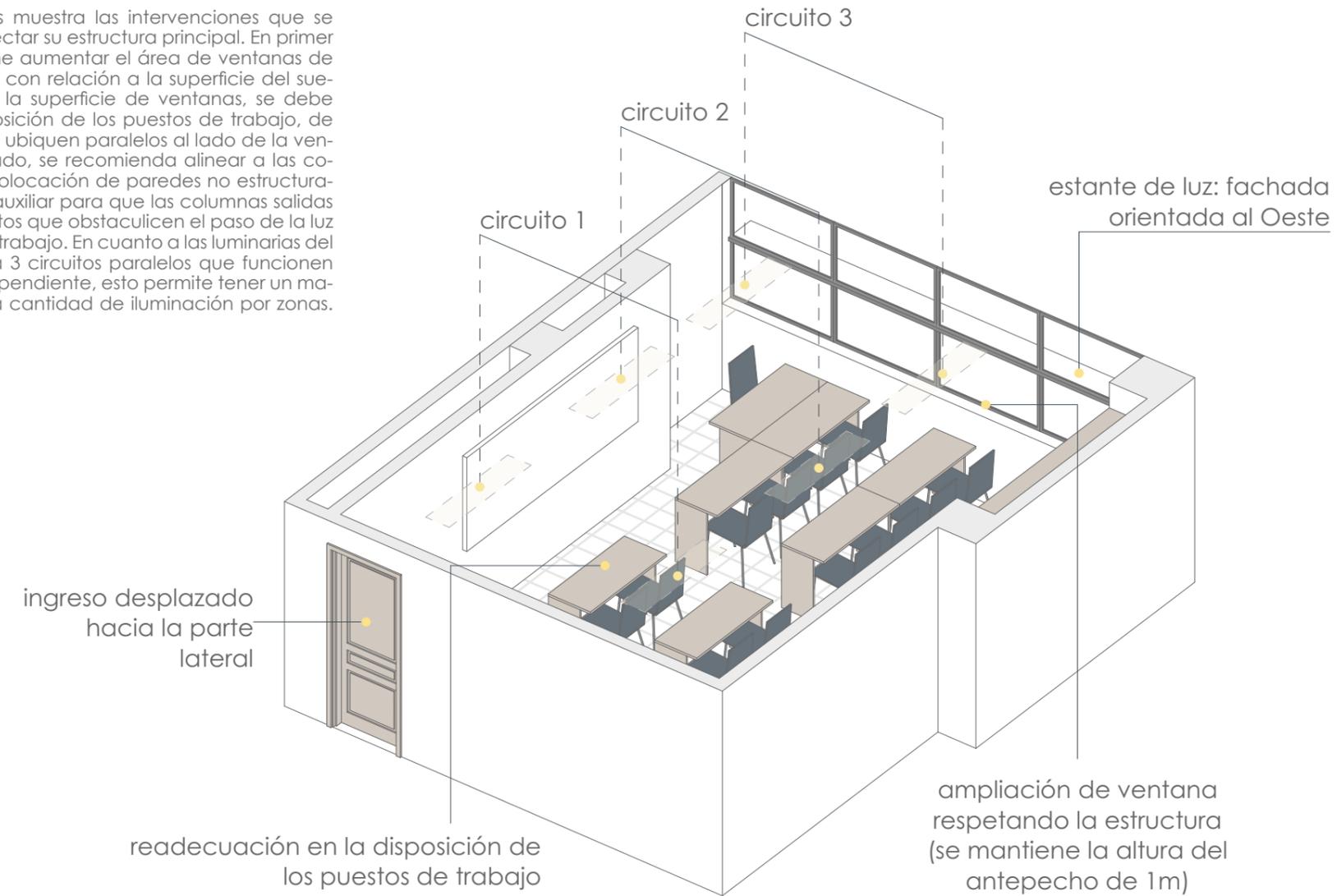


Fig. 64: Propuesta  
Fuente: Elaboración propia

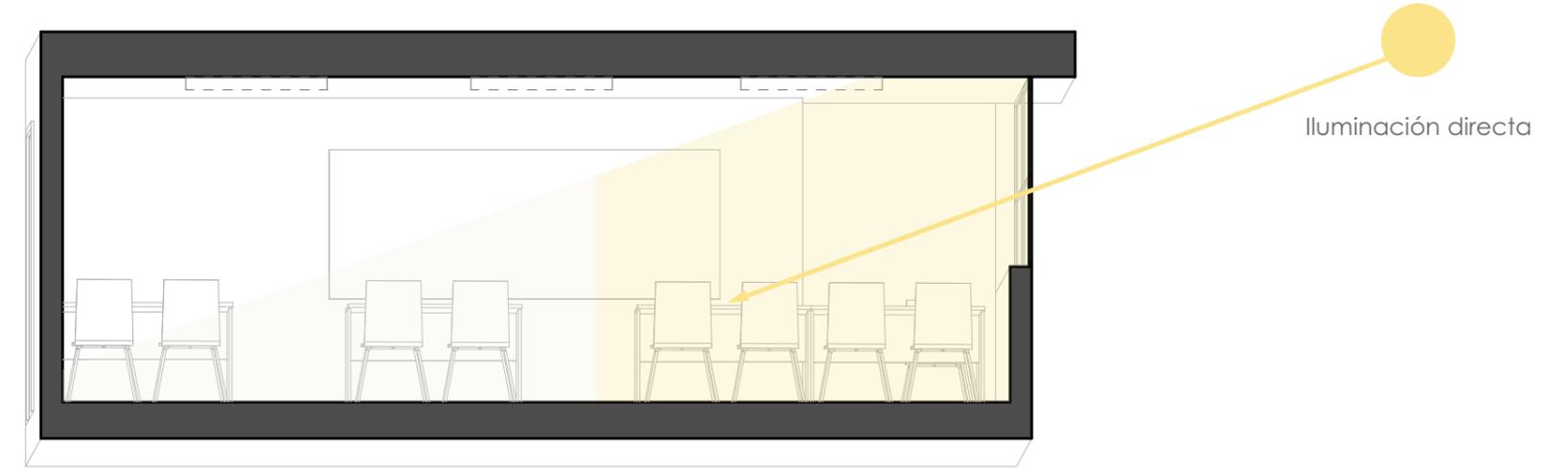


Fig. 65: Estado actual  
Fuente: Elaboración propia

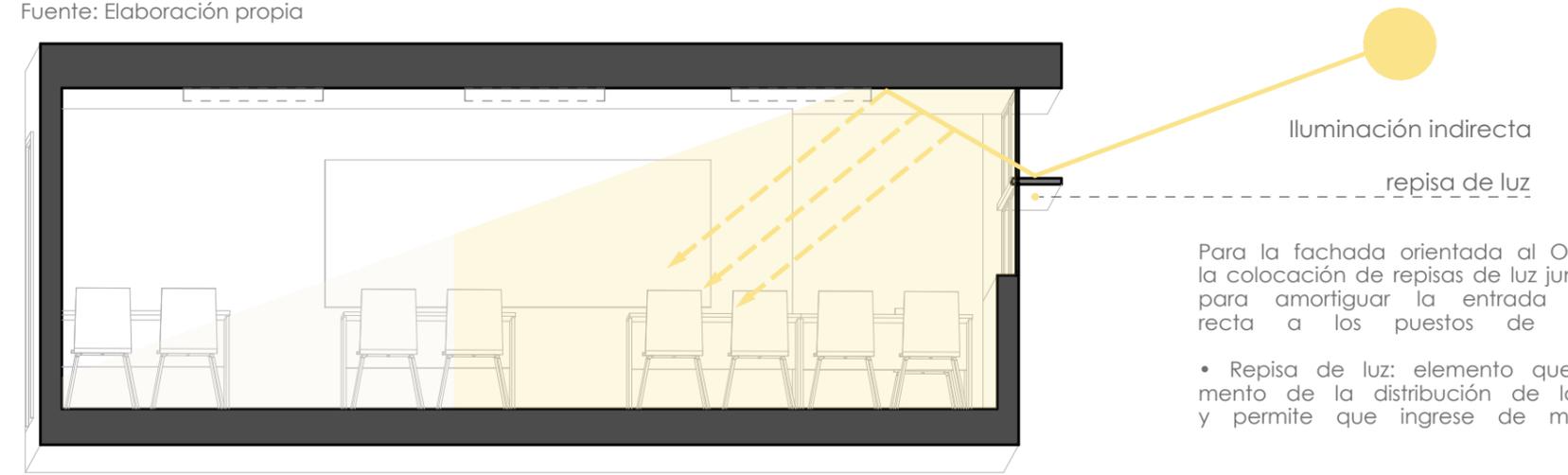


Fig. 66: Propuesta  
Fuente: Elaboración propia

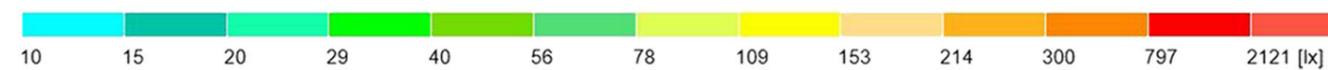
Para la fachada orientada al Oeste se propone la colocación de repisas de luz junto a la ventana, para amortiguar la entrada de la luz directa a los puestos de trabajo (fig.66).

- Repisa de luz: elemento que aporta al aumento de la distribución de la luz al interior y permite que ingrese de manera indirecta.

Estado actual con luz natural



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

425 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO



ÁREA DE VENTANAS

13,25%

Propuesta con luz natural



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

791 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

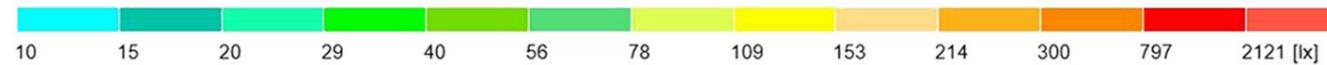


ÁREA DE VENTANAS

21,65%



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

1064 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

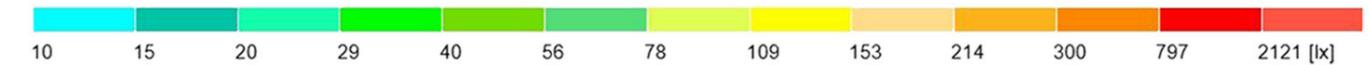


LUMINARIAS

6 encendidas  
100%



ESCALA DE ILUMINANCIA

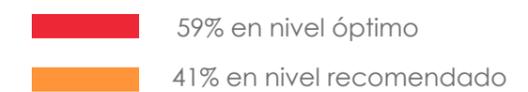


DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

984 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO



LUMINARIAS

4 encendidas  
33,3%

## 4.2.2 TIPOLOGÍA B: AULA DE IDIOMAS

### Elementos propuestos

Se sugiere realizar 3 cambios puntuales respetando la estructura existente. En la figura 67 podemos observar que, para empezar, se propone ampliar la sección de la ventana hasta llegar a la columna adyacente. Con este cambio se ganaría 5,40% más de área de ventana en el local. Así mismo, en la ventana es importante la colocación de un estante de luz, o podría ser cualquier otro elemento que sirva de amortiguador de los rayos solares, ya que el aula se orienta de Este-Oeste. En este caso, al igual que en el aula anterior se elige el estante de luz, puesto que además de actuar como un elemento amortiguador trabaja con la superficie del cielo raso, permitiendo aprovechar sus propiedades de reflectancia al interior. Por último, para el manejo de la luz artificial se plantea instalar 3 circuitos independientes de luminarias.

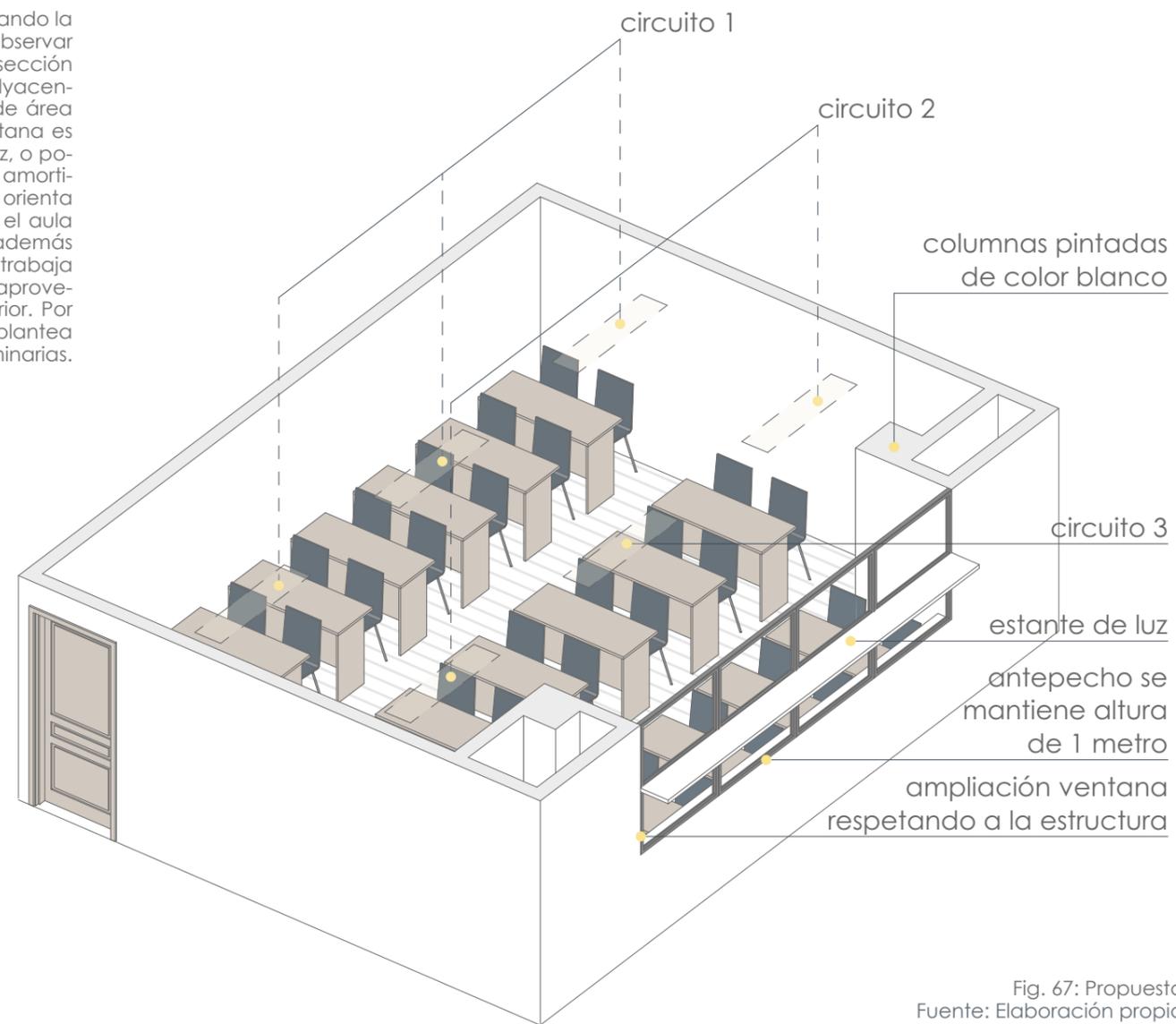


Fig. 67: Propuesta  
Fuente: Elaboración propia

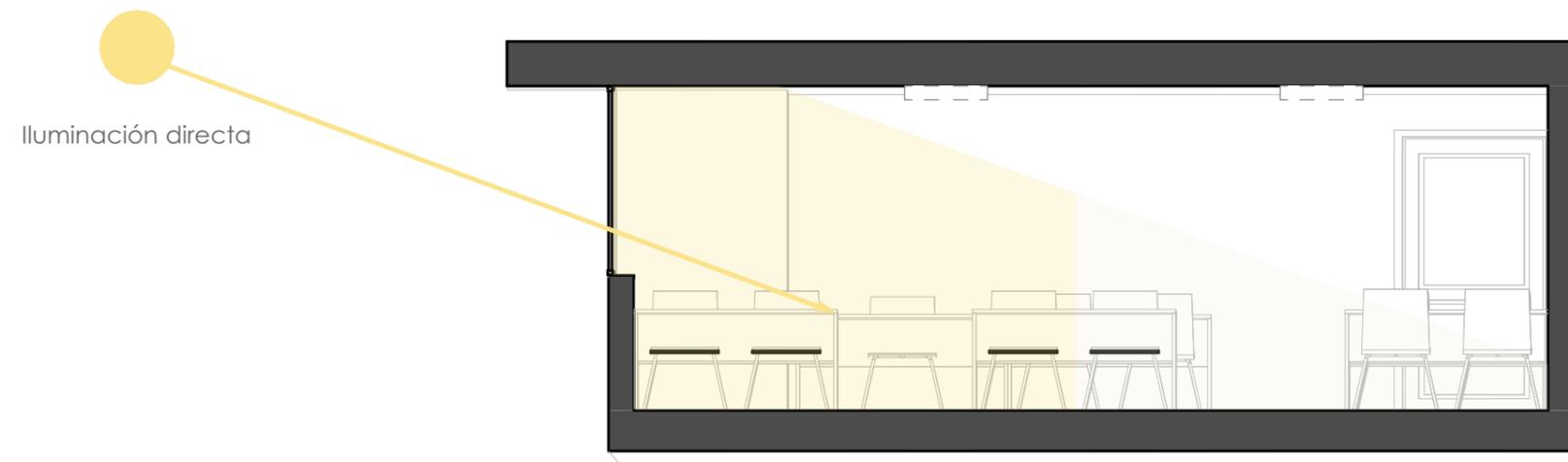
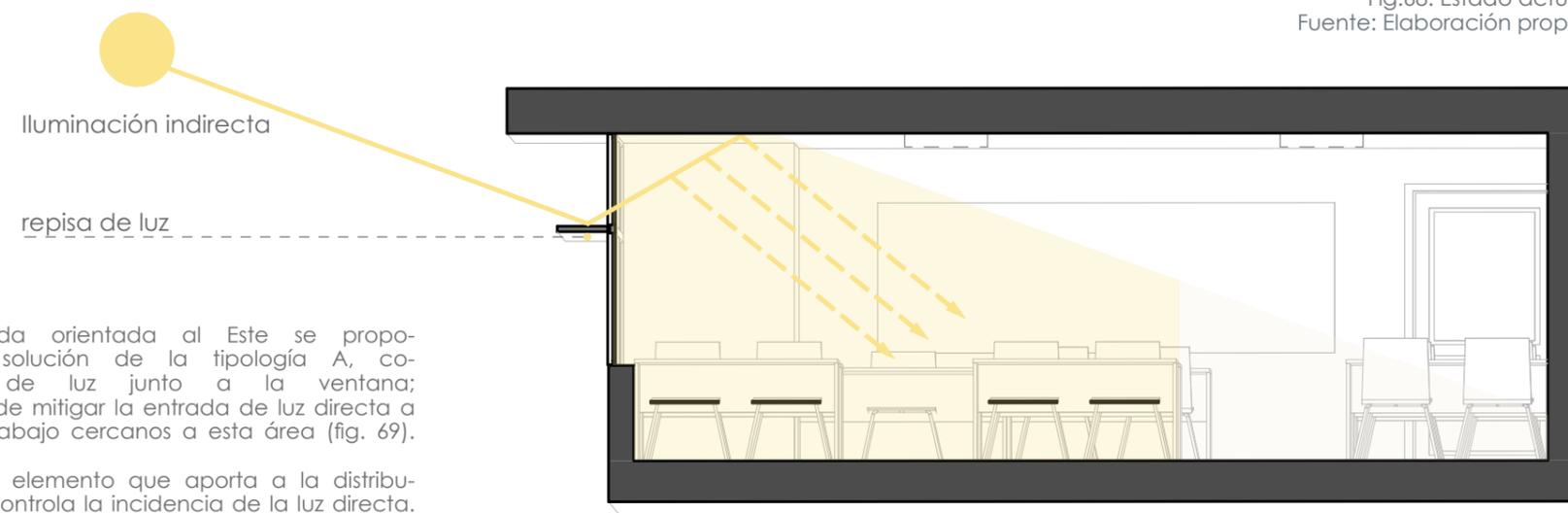


Fig.68: Estado actual  
Fuente: Elaboración propia



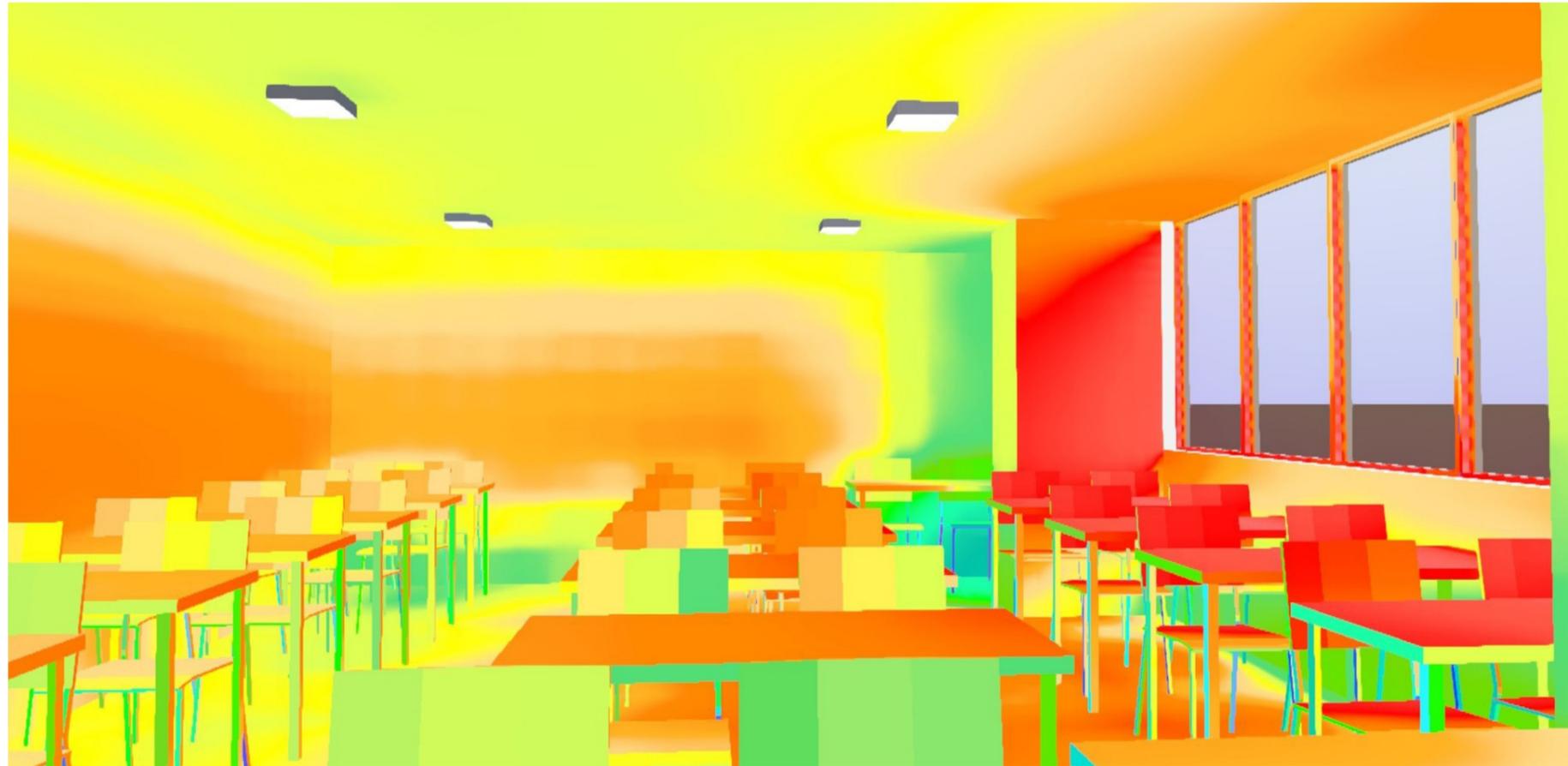
Para la fachada orientada al Este se propone la misma solución de la tipología A, colocar repisas de luz junto a la ventana; con la finalidad de mitigar la entrada de luz directa a los puestos de trabajo cercanos a esta área (fig. 69).

- Repisa de luz: elemento que aporta a la distribución de la luz y controla la incidencia de la luz directa.

Fig. 69: Propuesta  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2 TIPOLOGÍA B: AULA DE IDIOMAS

Estado actual con luz natural



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

546 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

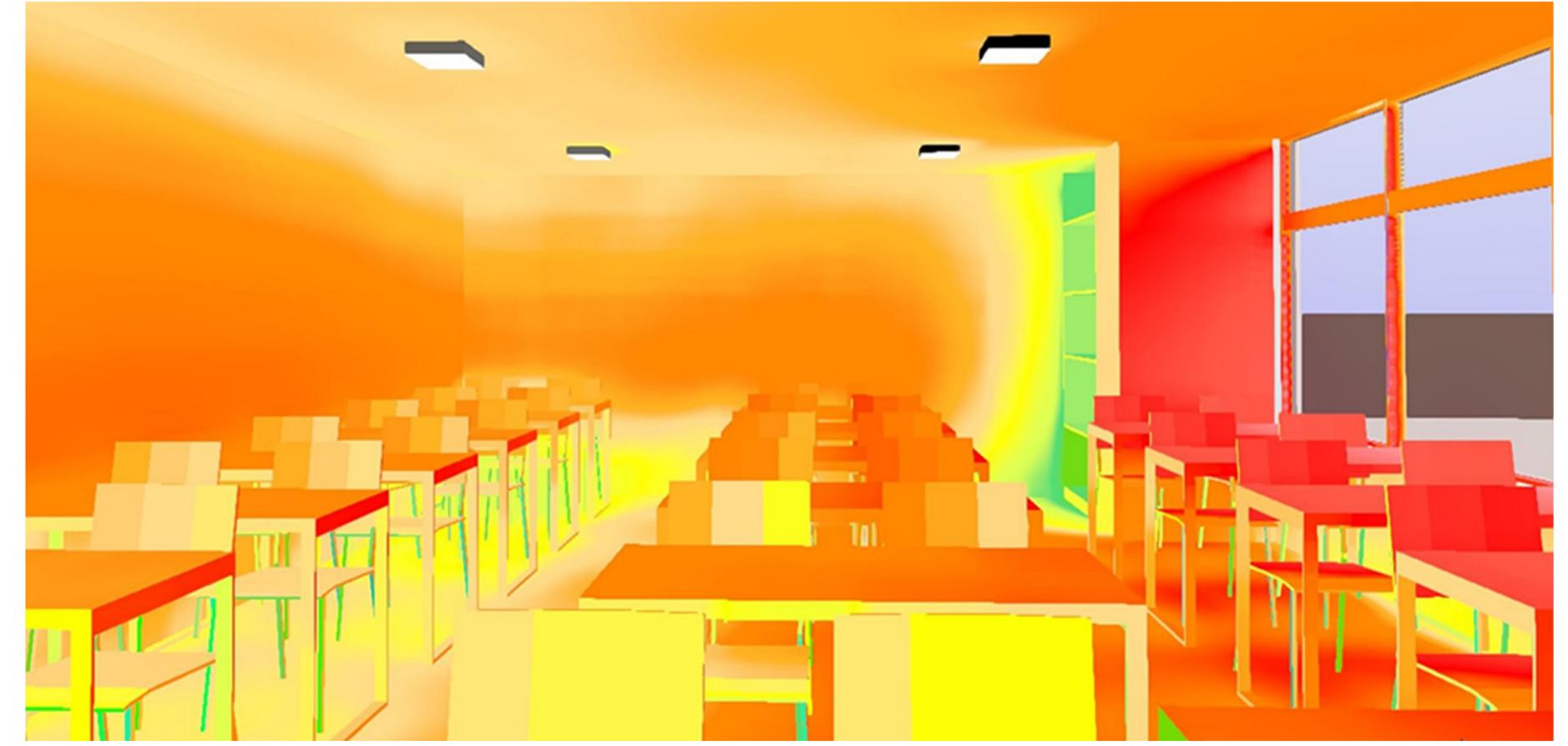
32% en nivel óptimo

68% en nivel bajo

ÁREA DE VENTANAS

15%

Propuesta con luz natural



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

788 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

32% en nivel óptimo

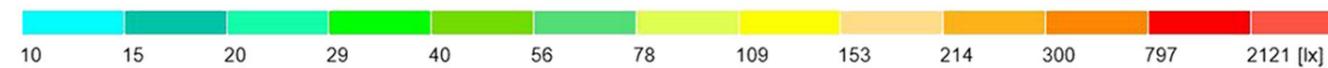
68% en nivel recomendado

ÁREA DE VENTANAS

20,40%



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

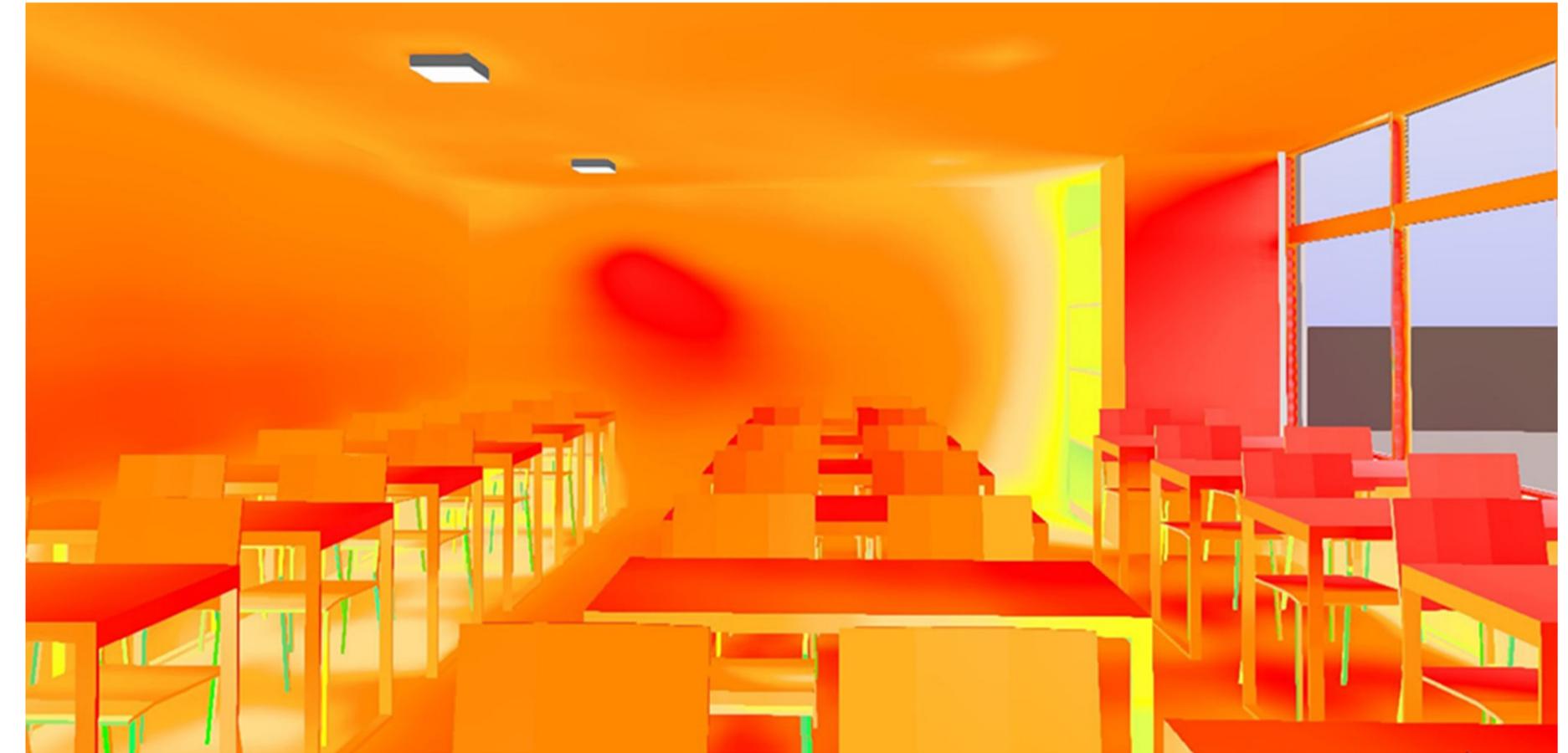
996 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

59% en nivel óptimo  
22% en nivel recomendado  
19% en nivel mínimo

ÁREA DE VENTANAS

6 encendidas  
100%



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

936 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

59% en nivel óptimo  
41% en nivel recomendado

LUMINARIAS

3 encendidas  
50% de uso

### 4.2.3 TIPOLOGÍA C: AULA DE DISEÑO

#### Elementos propuestos

Actualmente el aula proporciona una adecuada iluminación natural durante el transcurso del día, sin embargo, el 11% de los puestos de trabajo, es decir 4 puestos ubicados en la parte central del local se encuentran en niveles mínimos de iluminación. Como solución a esto se propone la implementación de 3 circuitos independientes de luminarias, para encenderlas en las zonas necesarias (fig. 70). Así se controlará problemas de deslumbramiento por exceso de luz combinada y se reducirá el gasto energético.

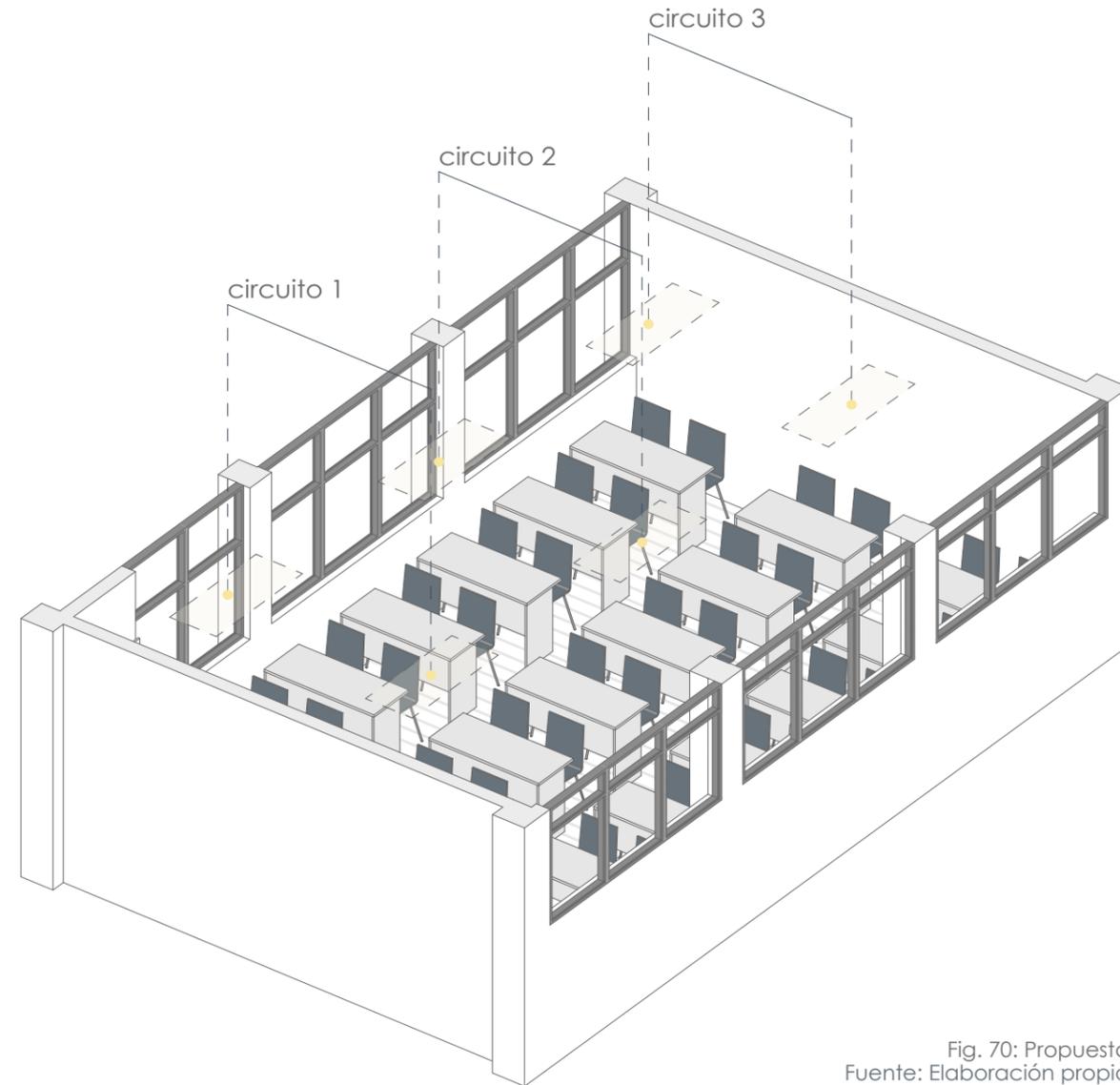


Fig. 70: Propuesta  
Fuente: Elaboración propia

### Propuesta con luz combinada



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

840 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

100% en nivel óptimo  
con menor cantidad de luz

LUMINARIAS

2 encendidas  
33,3%

Estado actual con luz natural



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

794 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO



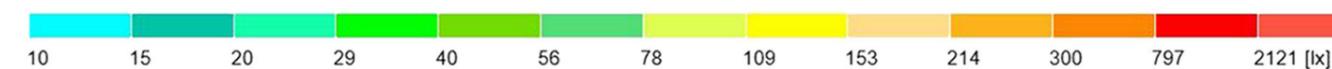
ÁREA DE VENTANAS

52%

Estado actual con luz combinada



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

1454 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO



LUMINARIAS

6 encendidas  
100% de uso

#### 4.2.4 TIPOLOGÍA D: AULA DE ADMINISTRACIÓN

##### Elementos propuestos

En esta tipología se recomienda trabajar en las superficies internas para aumentar sus niveles de reflexión. En primer lugar, como nos indica la figura 71, se plantea repintar los ladrillos vistos de las paredes de color blanco y cambiar el piso de cerámica café por un piso más claro. Estos cambios ayudan significativamente a que se genere un ambiente mucho más luminoso, mejorando el nivel de agudeza visual en el campo de estudio y con ello evitando prender las luces en horas tempranas en el día. Además, se propone bajar el antepecho de 1,25 metros a 1 metro de alto, para obtener más apertura de la luz natural hacia los puestos de trabajo. Por último, con respecto a la luz artificial, al igual que en las tipologías anteriores se recomienda cambiar a 3 circuitos independientes, en donde se pueda controlar las luminarias en función a la luz natural que se tenga.

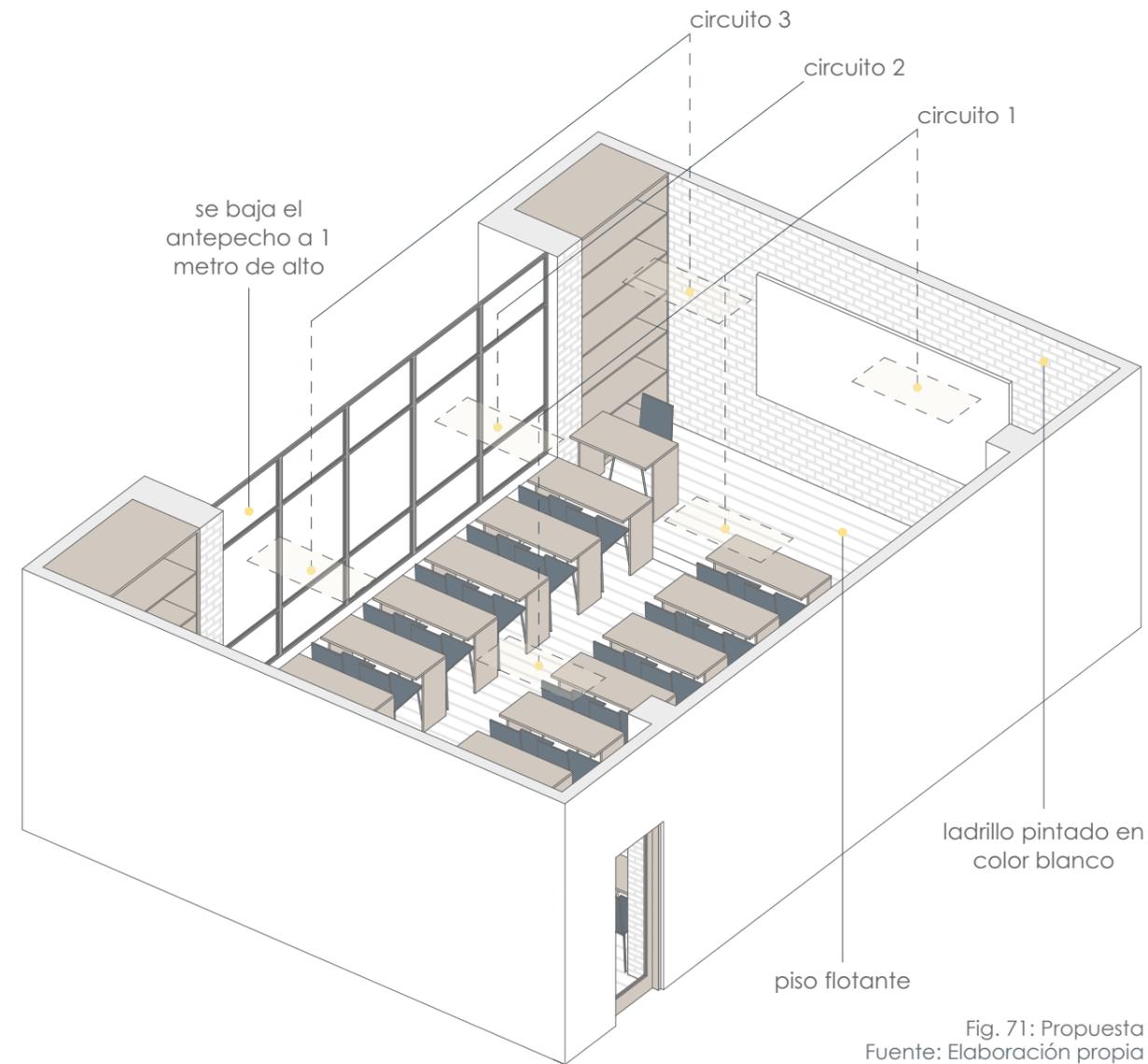


Fig. 71: Propuesta  
Fuente: Elaboración propia





ESCALA DE ILUMINANCIA

10 15 20 29 40 56 78 109 153 214 300 797 2121 [lx]

DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

632 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

35% en nivel óptimo  
23% en nivel recomendado  
42% en nivel bajo

ÁREA DE VENTANAS

21%



ESCALA DE ILUMINANCIA

10 15 20 29 40 56 78 109 153 214 300 797 2121 [lx]

DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

1889 luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

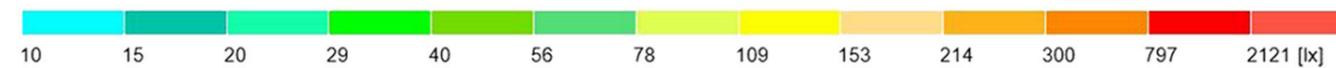
35% en nivel óptimo  
23% en nivel recomendado  
42% en nivel mínimo

ÁREA DE VENTANAS

24%



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

831luxes

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO



LUMINARIAS

6 encendidas  
100%



ESCALA DE ILUMINANCIA

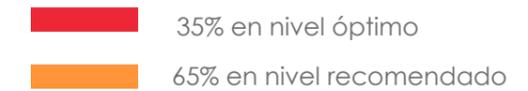


DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

1011 luxes nivel alto

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO



LUMINARIAS

3 encendidas  
50% de su uso

## 4.2.5 TIPOLOGÍA E: AULARIO

### Elementos propuestos

Con respecto a las aulas del aulario, al ser una edificación relativamente nueva, no se puede realizar cambios en cuanto al diseño. Como se muestra en la figura 72, lo que se recomienda en este caso es trabajar de manera más eficiente con el uso de la iluminación artificial, readecuando a los 3 circuitos de luminarias ya existentes; de tal forma que las 2 hileras de las lámparas próximas al muro cortina funcionen de manera independiente de las otras 2 ubicadas cerca de la puerta. De esta manera, se controla el deslumbramiento que puede ser provocado por tener demasiada luminancia combinada en los puestos más cercanos al muro cortina; y además contribuye en el ahorro de energía al no tener que encender todas las luminarias en horas donde la luz del sol es suficiente.

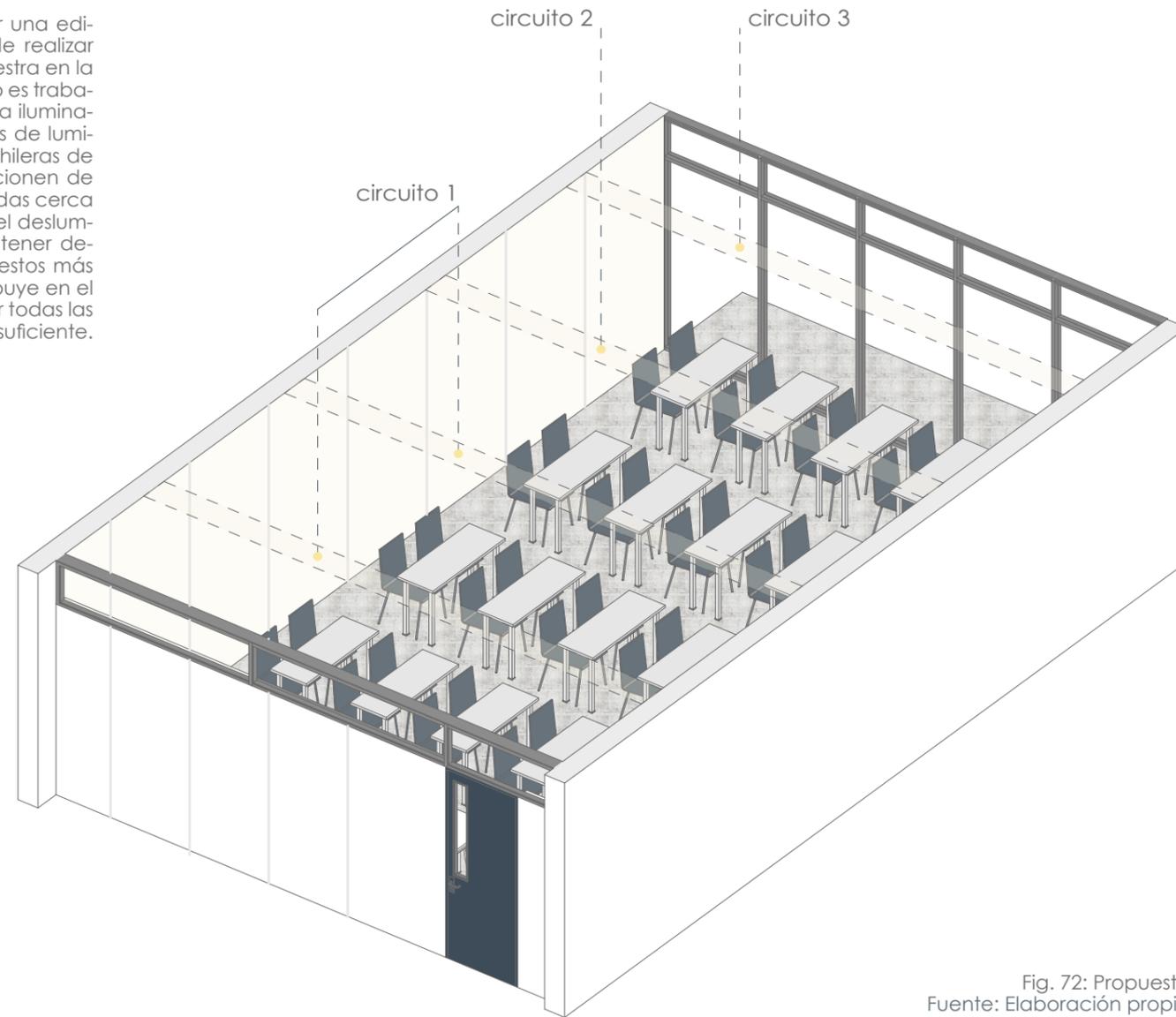
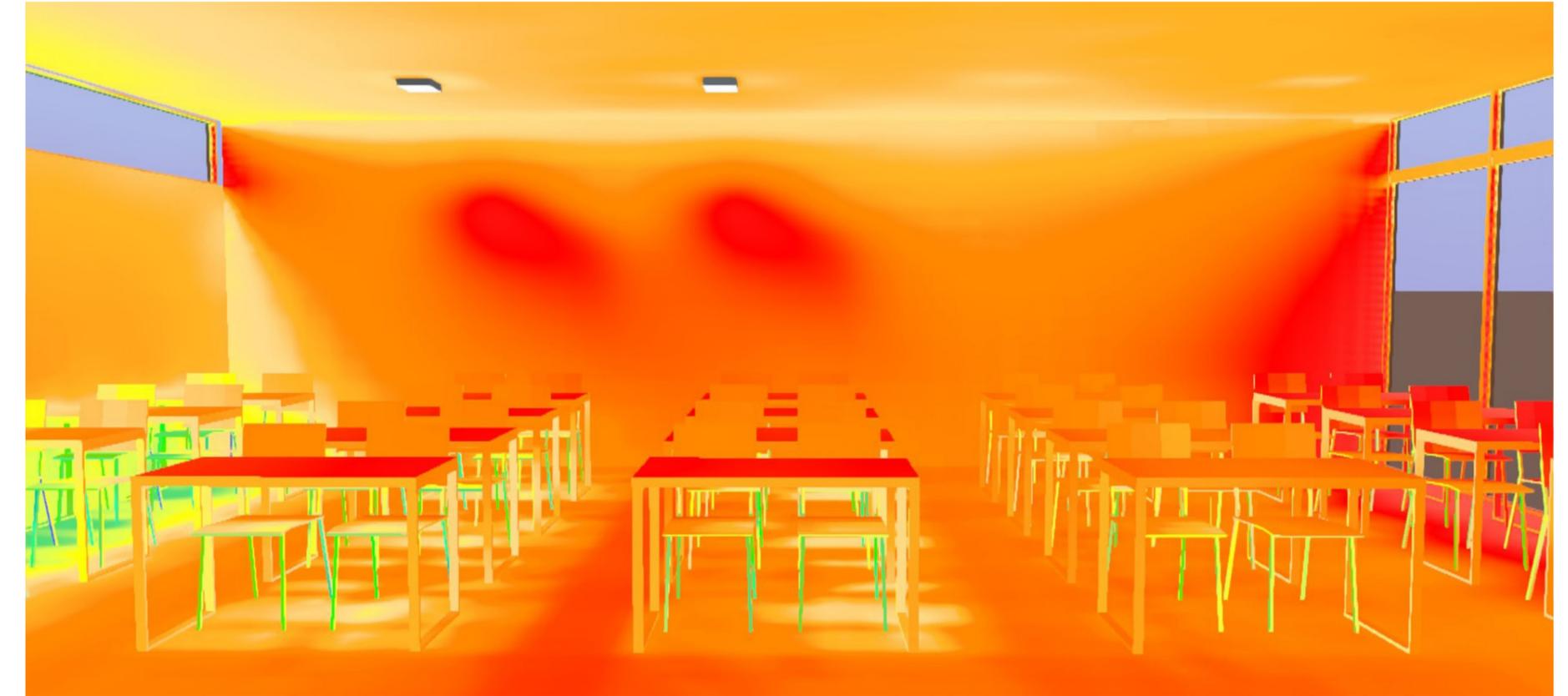
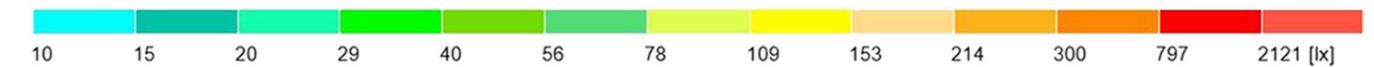


Fig. 72: Propuesta  
Fuente: Elaboración propia

## Propuesta con luz combinada



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO

750 luxes nivel óptimo

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

60% en nivel óptimo

40% en nivel recomendado

LUMINARIAS

2 encendidas  
50% de uso

Estado actual con luz natural



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO  
7461 luxes nivel mínimo

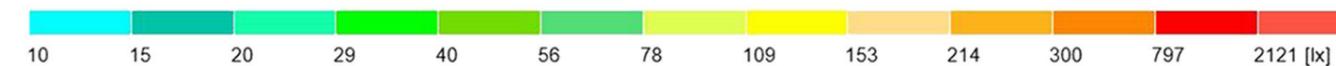
ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO  
 22% en nivel óptimo  
 29% en nivel recomendado  
 49% en nivel bajo

ÁREA DE VENTANAS  
35,60%

Estado actual con luz combinada



ESCALA DE ILUMINANCIA



DESCRIPCIÓN

ILUMINACIÓN PROMEDIO  
1259 luxes nivel alto

ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO  
 70% en nivel óptimo  
 30% en nivel recomendado

LUMINARIAS  
4 encendidas  
100% de su uso

05

BIBLIOGRAFÍA

05

BIBLIOGRAFÍA

- Heywood, H. (2017). 101 reglas básicas para edificios y ciudades sostenibles. Editorial Gustavo Gili.
- Heywood, H. (2015). 101 reglas básicas para una arquitectura de bajo consumo energético. Editorial Gustavo Gili.
- Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (2004). Arquitectura y energía natural (Vol. 17). Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- de Iluminación, C. E., & Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (España). (2005). Guía técnica [para el] aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. IDAE.
- Real Academia Española. (2001). Diccionario de la lengua española (22. Ed.). Consultado en <https://dle.rae.es/lux%20?m=form>
- EADIC (2013,09). Tema 3: Arquitectura Bioclimática. Recuperado de <http://eadic.com/wp-content/uploads/2013/09/Tema-3-Confort-Ambiental.pdf>
- Krüger, E. L., & Zannin, P. H. (2004). Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. *Building and Environment*, 39(9), 1055-1063.
- Li, X., Wei, Y., Zhang, J., & Jin, P. (2019). Design and analysis of an active daylight harvesting system for building. *Renewable energy*, 139, 670-678.
- Katunský, D., Dolníková, E., & Doroudiani, S. (2017). Integrated lighting efficiency analysis in large industrial buildings to enhance indoor environmental quality. *Buildings*, 7(2), 47.
- Ibañez, C. A., Zafra, J. C. G., & Sacht, H. M. (2017). Natural and artificial lighting analysis in a classroom of technical drawing: measurements and HDR images use. *Procedia engineering*, 196, 964-971.
- Krüger, E. L., & Dorigo, A. L. (2008). Daylighting analysis in a public school in Curitiba, Brazil. *Renewable Energy*, 33(7), 1695-1702.
- Ricciardi, P., & Buratti, C. (2018). Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Building and Environment*, 127, 23-36.
- Tureková, I., Lukáčová, D., & Bánesz, G. (2018). Quality Assessment of the University Classroom Lighting-A Case Study. *TEM Journal*, 7(4), 829.
- Cheong, K. H., Teo, Y. H., Koh, J. M., Acharya, U. R., & Yu, S. C. M. (2020). A simulation-aided approach in improving thermal-visual comfort and power efficiency in buildings. *Journal of Building Engineering*, 27, 100936.
- Buratti, C., Belloni, E., Merli, F., & Ricciardi, P. (2018). A new index combining thermal, acoustic, and visual comfort of moderate environments in temperate climates. *Building and Environment*, 139, 27-37.
- Tureková, I., Lukáčová, D., & Bánesz, G. (2018). Quality Assessment of the University Classroom Lighting-A Case Study. *TEM Journal*, 7(4), 829.
- Krüger, E. L., & Dorigo, A. L. (2008). Daylighting analysis in a public school in Curitiba, Brazil. *Renewable Energy*, 33(7), 1695-1702.
- Ricciardi, P., & Buratti, C. (2018). Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Building and Environment*, 127, 23-36.
- Bustillos Yaguana, D. A. Calidad del ambiente interior de las edificaciones residenciales urbanas de la ciudad de cuenca: determinación de estándares de confort.
- Ching, F. D., & Shapiro, I. M. (2015). *Arquitectura ecológica: un manual ilustrado*.
- Tabrizi, E. A., Al-Hussein, M., & Inyang, N. (2012). Multi-criteria Design Evaluation and Optimization of School Buildings Using Artificial Intelligent Approaches. In *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World* (pp. 1340-1349).
- De Quito, D. M. (2011). Anexo Del Libro Innumerado "Del Régimen Administrativo Del Suelo En El Distrito Metropolitano De Quito". CODIGO RT-AU ANEXO.
- Piderit, M. (2012). *Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos*. Santiago.
- de Iluminación, C. E. (2001). *Guía técnica de eficiencia energética en iluminación*. Centros Docentes, Madrid.
- NEC-2011 Norma ecuatoriana de la construcción. Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador.
- NEC-2018 Norma ecuatoriana de la construcción. Capítulo NEC-HS-EE: Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales.

- Dibujo de portada: Sebastián Domínguez
- Figura 01. Heywood, H. (2017). 101 reglas básicas para edificios y ciudades sostenibles. Editorial Gustavo Gili.
- Figura 02. Heywood, H., & Landrove, S. (2015). 101 reglas básicas para una arquitectura de bajo consumo energético. Gustavo Gili.
- Figura 03. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 04. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 06. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 07. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 08. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 09. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 10. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 11. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 12. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 13. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 14. Rodríguez, M. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago.
- Figura 15. Ching, F. D., & Shapiro, I. M. (2015). *Arquitectura ecológica: un manual ilustrado*.
- Figura 16. Ching, F. D., & Shapiro, I. M. (2015). *Arquitectura ecológica: un manual ilustrado*.
- Figura 17. Ching, F. D., & Shapiro, I. M. (2015). *Arquitectura ecológica: un manual ilustrado*.

- Figura 18. Ching, F. D., & Shapiro, I. M. (2015). *Arquitectura ecológica: un manual ilustrado*.
- Figura 19. Ching, F. D., & Shapiro, I. M. (2015). *Arquitectura ecológica: un manual ilustrado*.
- Figura 20. Krüger, E. L., & Dorigo, A. L. (2008). Daylighting analysis in a public school in Curitiba, Brazil. *Renewable Energy*, 33(7), 1695-1702.
- Figura 21. Krüger, E. L., & Dorigo, A. L. (2008). Daylighting analysis in a public school in Curitiba, Brazil. *Renewable Energy*, 33(7), 1695-1702.
- Figura 22. Ricciardi, P., & Buratti, C. (2018). Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Building and Environment*, 127, 23-36.
- Figura 23. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 24. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 28. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 29. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 23. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 33. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 35. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 38. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 39. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 43. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.
- Figura 44. Departamento de Planificación de la Universidad del Azuay.

•Fotografía 01: Ana Muñoz Gonzales Arquitectos.

•Fotografía 02: Ana Muñoz Gonzales Arquitectos.

•Fotografía 03: Krüger & Dorigo (2008).

•Fotografía 04: Ricciardi & Buratti (2018).

•Fotografía 05: Tureková et al. (2018).

•Fotografía 06: Tureková et al. (2018).

•Fotografía 07: Noveno ciclo de Arquitectura UDA (2018-2019).

•Fotografía 08: Noveno ciclo de Arquitectura UDA (2018-2019).

•Fotografía 09: Patricia Mejía Montenegro.

•Fotografía 10: Patricia Mejía Montenegro.

•Fotografía 11: Doménica Cuesta.

•Fotografía 15: Patricia Mejía Montenegro.

•Fotografía 16: Patricia Mejía Montenegro.

•Fotografía 17: Patricia Mejía Montenegro.

•Fotografía 18: Patricia Mejía Montenegro.

•Fotografía 19: Patricia Mejía Montenegro.

06

ANEXOS

## Abstract of the project

4

**Title of the project** Relation between built space and interior lighting comfort.

**Project subtitle** Classrooms at the central campus of the Universidad del Azuay.

**Summary:**

In buildings with educational purposes, it's essential to maintain a comfortable indoor environment. One way to achieve this environment is by providing adequate lighting management, but light as such doesn't intervene alone, it depends on the design of the space for its proper functioning. This investigation determined how the morphological characteristics of the built space affect indoor lighting comfort. From the results, design strategies were established to improve the lighting environment. The research took as a case study the classrooms located in the central campus of Universidad del Azuay in Cuenca- Ecuador.

**Keywords** Internal lighting, illuminance, design elements, visual comfort, educational environments.

**Student** Contreras Silva María Paula

C.I. 0106423569

**Código:**

75515

**Director** Ana Rodas

**Codirector:** Pablo Ochoa

Para uso del Departamento de Idiomas >>>

**Revisor:**

Arteaga Magali

**Nº. Cédula Identidad** 0102603453

En el siguiente código QR, se presenta información del procesamiento de datos obtenidos en las mediciones en sitio y fotografías de las aulas de estudio.



CARPETA DE ANEXOS



UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY

DISEÑO  
ARQUITECTURA  
Y ARTE  
FACULTAD