



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Maestría en Conversión de Energía y Sostenibilidad

Diseño lumínico eficiente para el bloque A3 de la UNL

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Conversión de Energía y Sostenibilidad.

**AUTOR:**

Ing. Pablo David Auquilla Tenezaca

**DIRECTOR:**

Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, MSc.

Loja – Ecuador

2024

*Educamos para* **Transformar**

## Certificación

Loja, 22 de noviembre de 2024

Ingeniero Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, MSc.  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del trabajo de Titulación denominado: **Diseño lumínico eficiente para el bloque A3 de la UNL**, previo a la obtención del título de **Magister en Conversión de Energía y Sostenibilidad**, de la autoría del estudiante **Pablo David Auquilla Tenezaca**, con **cédula de identidad Nro. 0104685474**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
**CARLOS GUSTAVO  
SAMANIEGO OJEDA**

Ingeniero Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, MSc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## Autoría

Yo, **Pablo David Auquilla Tenezaca**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:** \_\_\_\_\_



**Cedula de identidad:** 0104685474

**Fecha:** 22 de noviembre de 2024

**Correo electrónico institucional:** [pablo.auquilla@unl.edu.ec](mailto:pablo.auquilla@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 099 458 0056

***Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Titulación***

Yo, **Pablo David Auquilla Tenezaca** declaro ser el autor del trabajo de Titulación denominado: “**Diseño lumínico eficiente para el bloque A3 de la UNL**”, como requisito para optar el título de **Magíster en Conversión de Energía y Sostenibilidad**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinte y dos días del mes de noviembre del dos mil veinticuatro.

**Firma:**  \_\_\_\_\_

**Autor:** Pablo David Auquilla Tenezaca

**Cédula:** 0104685474

**Fecha:** 22 de noviembre de 2024

**Dirección:** Cantón Cuenca (Av. Ordoñez Laso)

**Correo electrónico:** [pablo.auquilla@unl.edu.ec](mailto:pablo.auquilla@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 099 458 0056

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, MSc.

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mis padres, Luis y Mariana; a mis hermanos, Diego y Víctor; a mis sobrinos, Gaby, David, Dayana, Kevin y Doménica; y a mi cuñada, Carmita. Su presencia ha sido un eje fundamental en cada etapa de mi vida, gracias.

***Pablo David Auquilla Tenezaca***

### *Agradecimientos*

Agradezco a Dios; sin su guía, nada sería posible. Agradecimientos especiales a los docentes de la Universidad Nacional de Loja por su profesionalismo y carisma, y de manera especial al Ing. Carlos Samaniego, quienes siempre estuvieron prestos a ayudarnos. A mis compañeros de trabajo y, de manera especial a Fabián Aucapiña, por su apoyo. A mis amigos de la vida, que siempre se alegraron con mis metas. Y, por último, pero no menos importante, quiero agradecerme a mí por aceptar el reto y cumplir uno de los objetivos de la vida. Gracias por no rendirte hoy, ni nunca.

***Pablo David Auquilla Tenezaca***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AUTORÍA.....	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN .....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XIV
SIMBOLOGÍA .....	XV
<b>1. TÍTULO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
ABSTRACT .....	3
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
4.1 CAPÍTULO I: CONCEPTOS GENERALES.....	6
4.1.1 <i>Conceptos de la luz</i> .....	6
4.1.2 <i>Propiedades de la luz</i> .....	6
4.1.3 <i>Propiedades Cromáticas de la luz</i> .....	8
4.1.4 <i>Temperatura de Color</i> .....	8
4.1.5 <i>Magnitudes y unidades Luminosas</i> .....	9
4.1.6 <i>Fotometría</i> .....	9
4.1.7 <i>Familias de fuente de luz artificial</i> .....	13
4.1.8 <i>Uniformidad de iluminancia</i> .....	15
4.1.9 <i>Índice de reproducción de color (Ra)</i> .....	15
4.1.10 <i>Índice de deslumbramiento unificado</i> .....	15
4.1.11 <i>Cálculo del flujo luminoso</i> .....	17
4.1.12 <i>Cálculo del número de luminarias</i> .....	17
4.1.13 <i>Altura de suspensión de las luminarias</i> .....	18
4.1.14 <i>Cálculo de coeficiente de utilización (Cu)</i> .....	18
4.1.15 <i>Emplazamiento y separación de las luminarias</i> .....	19
4.1.16 <i>Evaluación de resultados</i> .....	20
4.1.17 <i>Valor de eficiencia energética de la instalación</i> .....	21

4.1.18	Potencia instalada en el edificio.....	22
4.1.19	Tarifa eléctrica .....	23
4.2	CAPÍTULO II: POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL ECUADOR .....	24
4.2.1	Ley orgánica de eficiencia Energética.....	24
4.2.2	Plan Nacional de eficiencia Energética .....	25
4.2.3	Normas de alumbrado .....	27
4.2.4	Cálculo de la malla de referencia para medición de iluminación.....	31
4.3	CAPÍTULO III: EFICIENCIA ENERGÉTICA, SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA Y CONTROL DE ALUMBRADO .....	34
4.3.1	Introducción .....	34
4.3.2	Iluminación en centros docentes.....	35
4.3.3	Eficiencia lumínica en sistemas de iluminación .....	36
4.3.4	Ahorro energético en iluminación.....	36
4.3.5	Control de iluminación interior .....	37
<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>44</b>
5.1	ÁREA DE TRABAJO.....	44
5.1.1	Equipos.....	44
5.1.2	Materiales.....	44
5.1.3	Recursos tecnológicos.....	45
5.1.4	Recursos humanos .....	45
5.2	PROCEDIMIENTO .....	45
5.2.1	Primero objetivo.....	45
5.2.2	Segundo objetivo .....	46
5.2.3	Tercer objetivo .....	47
5.3	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	48
5.3.1	Primero objetivo.....	48
5.3.2	Segundo objetivo .....	54
5.3.3	Tercer objetivo .....	58
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
6.1.1	Primer Objetivo.....	62
6.1.2	Segundo Objetivo.....	64
6.1.3	Tercer Objetivo.....	71
<b>7.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>75</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>80</b>

11. ANEXOS .....	84
------------------	----

## *Índice de tablas*

<b>TABLA 1.</b> COLORES Y SUS LONGITUDES DE ONDA.....	<b>6</b>
<b>TABLA 2.</b> TEMPERATURA DE COLOR DE ACUERDO AL TIPO DE ILUMINACIÓN .....	<b>9</b>
<b>TABLA 3.</b> TIPO DE DISTRIBUCIÓN FOTOMÉTRICA DE LA LUMINARIA.....	<b>10</b>
<b>TABLA 4.</b> TABLA DE CÁLCULO DE UGR .....	<b>16</b>
<b>TABLA 5.</b> DISTANCIA MÁXIMA ENTRE LUMINARIAS.....	<b>20</b>
<b>TABLA 6.</b> VALORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN.....	<b>22</b>
<b>TABLA 7.</b> POTENCIA MÁXIMA DE ILUMINACIÓN PARA EDIFICIOS.....	<b>23</b>
<b>TABLA 8.</b> NIVELES DE ILUMINACIÓN EN EDIFICIOS EDUCATIVOS. ....	<b>28</b>
<b>TABLA 9.</b> NIVELES DE ILUMINACIÓN SEGÚN NOM-007.....	<b>29</b>
<b>TABLA 10.</b> NIVELES DE ILUMINACIÓN PARA DIFERENTES ÁREAS. ....	<b>30</b>
<b>TABLA 11.</b> NIVELES DE ILUMINACIÓN SEGÚN NEC.....	<b>31</b>
<b>TABLA 12.</b> RESUMEN DE ILUMINACIÓN PARA LOCALES EDUCATIVOS Y EDIFICIOS EDUCATIVOS. ....	<b>31</b>
<b>TABLA 13.</b> ENERGÍA CONSUMIDA EN LOS PARQUEADEROS DE LA UNIVERSIDAD DE SEÚL.....	<b>42</b>
<b>TABLA 14.</b> ENERGÍA CONSUMIDA POR DÍA EN LOS PARQUEADEROS DE LA UNIVERSIDAD DE SEÚL. ....	<b>43</b>
<b>TABLA 15.</b> CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN AULAS DE LA UNIVERSIDAD DE SEÚL.....	<b>43</b>
<b>TABLA 16.</b> INFORMACIÓN RELEVANTE DEL EDIFICIO A3 DE LA UNL.....	<b>49</b>
<b>TABLA 17.</b> TABLEROS Y CIRCUITOS DE ILUMINACIÓN DEL EDIFICIO A3 DE LA UNL. ....	<b>49</b>
<b>TABLA 18.</b> RESUMEN DE CÁLCULOS PARA LA MALLA DE TRABAJO REFERENCIAL. ....	<b>51</b>
<b>TABLA 19.</b> CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS BLOQUE A3 DE LA UNL.....	<b>53</b>
<b>TABLA 20.</b> CARACTERÍSTICAS DE LA LUMINARIA .....	<b>57</b>
<b>TABLA 21.</b> PÉRDIDA DE ENERGÍA POR NO APAGADO DE LUMINARIAS EN HORAS NO LABORABLES. ....	<b>58</b>
<b>TABLA 22.</b> PÉRDIDA DE ENERGÍA POR EQUIPOS AUXILIARES.....	<b>59</b>
<b>TABLA 23.</b> POTENCIA INSTALADA Y POTENCIA DE EQUIPOS AUXILIARES. ....	<b>62</b>
<b>TABLA 24.</b> UNIFORMIDAD EXISTENTE EN LAS AULAS DEL BLOQUE A3 DE LA UNL. ....	<b>63</b>
<b>TABLA 25.</b> ILUMINANCIA MEDIA EXISTENTE EN LAS AULAS DEL BLOQUE A3 DE LA UNL. ....	<b>63</b>
<b>TABLA 26.</b> ENERGÍA CONSUMIDA POR EL BLOQUE A3.....	<b>64</b>
<b>TABLA 27.</b> ENERGÍA CONSUMIDA POR EL BLOQUE A3.....	<b>64</b>

<b>TABLA 28.</b> RESUMEN DEL FLUJO LUMINOSO PROYECTADO DEL BLOQUE A3 DE LA UNL.....	<b>65</b>
<b>TABLA 29.</b> CÁLCULO DE LUMINARIAS PARA CADA AULA DEL BLOQUE.....	<b>65</b>
<b>TABLA 30.</b> CÁLCULO DE ÍNDICE DEL LOCAL Y COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN. ....	<b>66</b>
<b>TABLA 31.</b> CÁLCULO DE NÚMERO DE LUMINARIAS A LO ANCHO Y LARGO DE CADA AULA. ....	<b>67</b>
<b>TABLA 32.</b> CÁLCULO DE LA ALTURA DE SUSPENSIÓN DE LUMINARIAS.....	<b>67</b>
<b>TABLA 33.</b> CÁLCULO DE ILUMINANCIA MEDIA .....	<b>68</b>
<b>TABLA 34.</b> ILUMINANCIA MEDIA PROYECTADA EN LAS AULAS DEL BLOQUE A3 DE LA UNL.....	<b>68</b>
<b>TABLA 35.</b> CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS PROYECTADAS DEL BLOQUE A3 DE LA UNL. ....	<b>69</b>
<b>TABLA 36.</b> COMPARACIÓN DE POTENCIA INSTALADA Y POTENCIA INSTALADA PROYECTADA.....	<b>70</b>
<b>TABLA 37.</b> ENERGÍA PROYECTADA MENSUAL.....	<b>70</b>
<b>TABLA 38.</b> ENERGÍA CONSUMIDA POR EL BLOQUE A3.....	<b>71</b>
<b>TABLA 39.</b> POTENCIA EXISTENTE Y PROYECTADA DE EQUIPOS AUXILIARES. ....	<b>71</b>
<b>TABLA 40.</b> ENERGÍA PERDIDA EN HORARIO NO LABORABLE. ....	<b>71</b>
<b>TABLA 41.</b> ENERGÍA AHORRADA POR USO DE SENSORES.....	<b>72</b>
<b>TABLA 42.</b> COSTO DE ENERGÍA ANUAL PROYECTADA. ....	<b>72</b>
<b>TABLA 43.</b> ANÁLISIS FINANCIERO. ....	<b>73</b>
<b>TABLA 44.</b> ANÁLISIS FINANCIERO COMPLEMENTARIO.....	<b>73</b>

## *Índice de figuras*

<b>FIGURA 1.</b> LEY DE LA REFLEXIÓN .....	<b>7</b>
<b>FIGURA 2.</b> LEY DE REFRACCIÓN .....	<b>8</b>
<b>FIGURA 3.</b> CLASIFICACIÓN DE LUMINARIAS DE ACUERDO A LA CIE.....	<b>11</b>
<b>FIGURA 4.</b> CURVAS DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA.....	<b>12</b>
<b>FIGURA 5.</b> CURVAS DE DISTRIBUCIÓN POLAR.....	<b>12</b>
<b>FIGURA 6.</b> DIAGRAMA DE ISOLUMINANCIA .....	<b>13</b>
<b>FIGURA 7.</b> DIAGRAMA ISOCANDELA EN PROYECCIÓN ACIMUTAL .....	<b>13</b>
<b>FIGURA 8.</b> EJEMPLO DE ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA. ....	<b>15</b>
<b>FIGURA 9.</b> DISTANCIA DE SEPARACIÓN ENTRE LUMINARIAS (E).....	<b>20</b>
<b>FIGURA 10.</b> POTENCIA EVITADA DEBIDO A PROYECTOS EJECUTADOS .....	<b>26</b>
<b>FIGURA 11.</b> EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA RESIDENCIAL, COMERCIAL Y PÚBLICO.....	<b>27</b>
<b>FIGURA 12.</b> EJEMPLO PARA UN ÁREA DE TRABAJO.....	<b>28</b>
<b>FIGURA 13.</b> MALLA DE TRABAJO .....	<b>32</b>
<b>FIGURA 14.</b> TAMAÑO DE LA MALLA EN FUNCIÓN DEL ÁREA DE MEDICIÓN. ....	<b>33</b>
<b>FIGURA 15.</b> IMAGEN DE UN AULA CON ILUMINACIÓN ADECUADA .....	<b>35</b>
<b>FIGURA 16.</b> TEMPERATURA DE COLOR VS TIPO DE LUZ .....	<b>36</b>
<b>FIGURA 17.</b> ESQUEMA DE CONTROL CON DALI Y SENSORES .....	<b>39</b>
<b>FIGURA 18.</b> CONEXIÓN DE REGULAR 0 – 10 V. ....	<b>39</b>
<b>FIGURA 19.</b> PARQUEADERO SUBTERRÁNEO.....	<b>42</b>
<b>FIGURA 20.</b> UBICACIÓN DEL BLOQUE 3 DE LA UNL. ....	<b>44</b>
<b>FIGURA 21.</b> MONITOR DE ENERGÍA. ....	<b>45</b>
<b>FIGURA 22.</b> LUXÓMETRO AOPUTTRIVER AP-881D. ....	<b>46</b>
<b>FIGURA 23.</b> SENSOR DE PRESENCIA. ....	<b>48</b>
<b>FIGURA 24.</b> NÚMERO DE PUNTOS EN LA DIRECCIÓN RELEVANTE.....	<b>50</b>
<b>FIGURA 25.</b> PUNTOS PARA LAS MEDICIONES DE ILUMINACIÓN EN EL AULA 312.....	<b>51</b>
<b>FIGURA 26.</b> MEDICIONES DE ILUMINACIÓN EN EL AULA 312. ....	<b>52</b>
<b>FIGURA 27.</b> CURVA DE POTENCIA PROMEDIO DEL AULA 312. ....	<b>53</b>

<b>FIGURA 28.</b> DIMENSIONES DEL AULA 312. ....	<b>54</b>
<b>FIGURA 29.</b> TABLA DE CORRECCIÓN. ....	<b>55</b>
<b>FIGURA 30.</b> FOTOMETRÍA DE LA LUMINARIA ELEGIDA PARA SIMULAR. ....	<b>56</b>
<b>FIGURA 31.</b> SIMULACIÓN DEL AULA 322 EN EL SOFTWARE DIALUX. ....	<b>57</b>
<b>FIGURA 32.</b> POTENCIA PROMEDIO CORRESPONDIENTE AL BLOQUE A3 DE LA UNL. ....	<b>58</b>
<b>FIGURA 33.</b> USO DE SENSOR DE PRESENCIA PARA AULA TIPO 1. ....	<b>59</b>
<b>FIGURA 34.</b> USO DE SENSOR DE PRESENCIA PARA AULA TIPO 2. ....	<b>60</b>
<b>FIGURA 35.</b> CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA LUMINARIA. ....	<b>61</b>
<b>FIGURA 36.</b> UGR PARA EL AULA 312 DEL BLOQUE A3. ....	<b>61</b>

## Índice de anexos

<b>ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA GENERAL Y ESPECIFICA .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO 2. PLANOS .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO 3. CUADRO DE CARGAS.....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO 4. SIMULACIÓN DE ILUMINACIÓN EXISTENTE.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO 5. MEDICIONES DE ILUMINACIÓN REALIZADAS .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO 6. POTENCIA INSTALADA Y COSTO ANUAL DE ENERGÍA .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO 7. POTENCIA PROMEDIO DE LAS AULAS DEL BLOQUE A3 .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO 8. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN PROYECTADA.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO 9. COSTOS DE ENERGÍA PROYECTADOS.....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO 10. DETALLE COSTOS PROYECTADOS .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO 11. DETALLE ANÁLISIS FINANCIERO .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO 12. DETALLE ANÁLISIS FINANCIERO COMPLEMENTARIO .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO 13. DETALLE PERDIDAS DE ENERGÍA ANUAL.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO 14. DETALLE SIMULACIÓN PROYECTADA.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO 15. DETALLE PLIEGO TARIFARIO.....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXO 16. CERTIFICADO TRADUCCIÓN DEL RESUMEN.....</b>	<b>153</b>

## *Simbología*

*TWh*: Teravatio-hora

$\mu\text{m}$ : micrómetro

TC: temperatura de color [ $^{\circ}\text{K}$ ]

lm: lumen [  $\phi$  ]

cd: candela [ I ]

lx: lux [ E]

lm/W: lumen por vatio

BT: baja tensión

CIE: Comisión Internacional de Alumbrado

$U_m$ : Uniformidad de iluminancia

$R_a$ : Índice de reproducción de color

*UGR*: Índice de deslumbramiento unificado

$\phi_T$ : Flujo luminoso [ lm]

*NL*: numero de luminarias

$C_u$ : Coeficiente de utilización

$C_m$ : Coeficiente de mantenimiento

$k$ : Índice del local k

$E_m$ : Nivel de iluminación medio [ lux]

*VEEI*: Valor de eficiencia energética de la instalación

*PMI*: Potencia máxima instalada

*MEM*: Ministerio de Energía y Minas

*PLANEE*: Plan Nacional de Eficiencia Energética

*CNEE*: Comité nacional de Eficiencia energética

*SNEE*: Sistema nacional de Eficiencia energética

*UNE*: Una Norma Española

*NEC*: Norma Ecuatoriana de la Construcción

RETILAP: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público

RETILAP: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público

$p$ : Tamaño máximo de la celda de la malla [m]

$x$ : número de puntos en la dirección relevante

IEC: Comisión Electrónica Internacional

TDS#: Tablero de distribución secundario #

CI#: Circuito de Iluminación #

kWh: kilovatio-hora

VAN: Valor actual neto

TIR: Tasa interna de retorno

PR: Periodo de retorno [ años]

## **1. Título**

Diseño lumínico eficiente para el bloque A3 de la UNL

## 2. Resumen

La iluminación forma parte de nuestra vida diaria; la obtenemos de forma natural a través de los rayos del sol y de forma artificial con la conversión de la energía eléctrica en luz. En 2016, se estimó que el consumo de energía utilizada para iluminación fue de 2900 TWh a nivel mundial. Se proyecta que, en veinte años, el consumo de energía para iluminación aumentará en un 50%. El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio de iluminación en las aulas del bloque A3. Para ello, se llevó a cabo un levantamiento de la información física y técnica de las aulas del bloque A3 de la UNL, con el propósito de medir, simular y obtener datos técnicos de las instalaciones existentes para su respectivo análisis. Luego, se calculó, diseñó y simuló el nuevo sistema de iluminación, de manera que los parámetros de medición cumplan con los requisitos de la normativa. Finalmente, al diseño de iluminación proyectado se le añadió un sistema de control, que permite el encendido y apagado de luminarias de forma autónoma. Se detecta que el 100% de las aulas revisadas no cumplen con los niveles de iluminación y uniformidad requeridos. Al realizar el diseño proyectado, se cumplieron los valores de los parámetros exigidos para que la iluminación resultara confortable. El cambio de luminarias e implementación de un sistema de control ha proyectado un ahorro del 55,22% en el pago anual de energía eléctrica. La evaluación del sistema de iluminación interior reveló que el 100% de las aulas evaluadas no cumplen con los parámetros de iluminación sugeridos por la norma UNE-12464-1-2022. El diseño proyectado redujo la potencia instalada en un 29,68%, lo que contribuye a la eficiencia energética. Además, el sistema de control evita que las luminarias permanezcan encendidas, previniendo pérdidas de energía y gastos innecesarios.

**Palabras claves:** Eficiencia energética, iluminación, norma, confort, optimizar.

## Abstract

Lighting is part of our daily life; we obtain it naturally through the sun's rays and artificially with the conversion of electrical energy into light. In 2016, it was estimated that the energy consumption used for lighting was 2900 TWh worldwide. It is projected that, in twenty years, energy consumption for lighting will increase by 50%. The objective of this work was to carry out a lighting study in the classrooms of block A3. To do so, a survey of the physical and technical information of the classrooms of block A3 of the UNL was carried out, with the purpose of measuring, simulating and obtaining technical data of the existing facilities for their respective analysis. Then, the new lighting system was calculated, designed and simulated, so that the measurement parameters comply with the requirements of the regulations. Finally, a control system was added to the projected lighting design, which allows the switching on and off of luminaires autonomously. It was found that 100% of the classrooms inspected do not meet the required levels of illumination and uniformity. When carrying out the projected design, the values of the parameters required for the lighting to be comfortable were met. The change of lighting and implementation of a control system has resulted in a projected saving of 55.22% in annual electricity bills. The evaluation of the interior lighting system revealed that 100% of the classrooms evaluated do not comply with the lighting parameters suggested by the UNE-12464-1-2022 standard. The projected design reduced the installed power by 29.68%, which contributes to energy efficiency. In addition, the control system prevents the luminaires from remaining on, preventing energy losses.

**Keywords:** Energy efficiency, lighting, regulations, comfort, optimize.

### 3. Introducción

La iluminación es parte de nuestra vida diaria, lo tenemos de forma natural con los rayos del sol y de forma artificial con la conversión de energía eléctrica a luz. La iluminación artificial contribuye al desarrollo de nuestras vidas, nos permite aumentar nuestra productividad, mejora la calidad de vida, pero a medida que la población crece, las necesidades de las personas aumentan, la demanda de energía es más grande y es de suma importancia ser más eficientes, potenciar la eficiencia energética.

Uno de los usos que se le da a la electricidad es la de iluminar un espacio, ya sea este abierto o cerrado. Sin embargo, el uso de luminarias con tecnología de baja eficiencia genera emisiones de gases de efecto invernadero. Para 2016 se estimaba que el consumo de energía para iluminación era de 2900 TWh a nivel mundial, se proyecta que en veinte años el consumo de energía para alumbrado se incrementará en un 50 % (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2016).

De acuerdo con modelos de iluminación realizados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para el año 2016 existían alrededor de siete mil millones de lámparas incandescentes que aún estaban en funcionamiento. Por lo cual se genera la necesidad de tomar medidas políticas que ayuden a reforzar la eficiencia energética. Según estudios realizados por el PNUMA, es de vital importancia tomar acciones políticas y reducir la cantidad de demanda de energía para iluminación. Se estima que, si existe políticas serias de cambio de tecnologías tradicionales como lámparas incandescentes, estado sólido, halógenas, etc. por tecnología LED puede existir una disminución de 640 TWh proyectada para 2030 (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, (2016).

Estudios previos han determinado que el consumo de energía eléctrica para iluminación representa el 57,14 % del consumo total. Por ello la importancia de optimizar el uso de la iluminación en diferentes áreas. En la actualidad el uso de tecnología LED para iluminación está ampliamente difundido ya que la tecnología LED ha ayudado a reducir el consumo hasta un 28,37 % en algunos casos (Hinojosa Guanoluisa, 2022).

El objetivo general que nos ha llevado al presente trabajo es el de “Realizar un estudio de luminotecnia en las aulas del bloque A3”.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Evaluar el sistema de iluminación interior existente del bloque A3 de la UNL.
- Proponer un diseño de iluminación interior eficiente y que cumpla con las normativas.

- Optimizar el diseño del sistema de iluminación mediante la aplicación de un sistema de control.

Mediante este trabajo se busca mejorar la tecnología de iluminación del edificio A3 de la UNL, reducir el consumo de energía, incrementar la eficiencia energética y proveer de un sistema de control de iluminación adecuado, sin afectar el confort de las personas.

## 4. Marco teórico

### 4.1 Capítulo I: Conceptos generales

Según (García Márquez Robledillo, 2013) describe a la iluminación eléctrica como uno de los avances que revolucionó la sociedad. Gracias a ella, el ser humano pudo ampliar sus actividades en horas donde la iluminación solar no era suficiente. (pág. 6)

La iluminación interior tiene dos objetivos: permitir visibilidad en zonas oscuras y crear efectos visibles en zonas con deficiencia de luz natural. Teniendo como premisa estos objetivos, se ha creado la rama de la ciencia denominada “luminotecnia” la cual estudia conceptos básicos que son importantes conocer (García Márquez Robledillo, 2013).

#### 4.1.1 *Conceptos de la luz*

Se denomina luz a la parte del espectro electromagnético que es percibido por el ojo humano. La capacidad de percepción del ojo humano de la longitud de onda va entre 0.38 y 0.78  $\mu\text{m}$ . La luz visible está compuesta por partículas que carecen de masa llamados fotones, los mismos que se comportan como ondas y como partículas al mismo tiempo. La capacidad del ojo humano para distinguir los colores va desde el violeta-azul que tiene 0.4  $\mu\text{m}$  hasta el naranja-rojo que tiene 0.70  $\mu\text{m}$ . (ICARO, 2020)

El color de los objetos depende de cómo cada objeto refleja la luz y de cómo están iluminados. A un objeto que se le observa blanco significa que se refleja toda la luz que se emite sobre él. Por el contrario, si se observa un objeto negro significa que absorbe toda la luz y no se refleja nada. La **Tabla 1** muestra las diferentes longitudes de onda.

**Tabla 1:** Colores y sus longitudes de onda.

Longitud de onda (mm)	Tipo de radiaciones
380 - 436	Violeta
436 – 495	Azul
495 – 566	Verde
566 – 589	Amarillo
589 – 627	Naranja
627 - 770	Rojo

Fuente: (ICARO, 2020)

#### 4.1.2 *Propiedades de la luz*

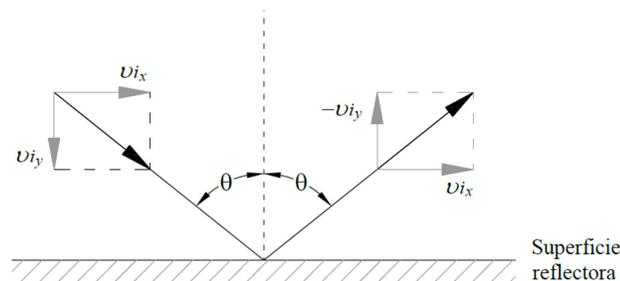
Existen cuatro fenómenos diferentes que presenta la luz:

##### 4.1.2.1 Reflexión

Es un fenómeno que se genera al incidir cualquier tipo de onda sobre una barrera plana como un espejo, que genera nuevas ondas que se alejan de la barrera. La luz al ser reflejada por una superficie, un porcentaje de la luz se pierde, esto se genera por el fenómeno de la

absorción, como se observa en la **Figura 1**. Toda superficie que no sea completamente negra puede reflejar luz, y la cantidad de luz reflejada y la forma de luz reflejada depende de las propiedades que tiene la superficie. Dentro de la reflexión se distingue cuatro tipos de reflexión: (ICARO, 2020)

- Reflexión especular: Cuando la superficie reflectora es lisa.
- Reflexión Compuesta: el ángulo de la intensidad máxima reflejada es igual al ángulo de incidencia, la superficie es irregular o rugosa.
- Reflexión difusa: La luz reflejada es en todas las direcciones. Superficies como el papel blanco mate, nieve, paredes de yeso, etc.
- Reflexión Mixta: combinación entre la especular y difusa. Se presenta en papel brillante, metales no pulidos, superficies barnizadas.



**Figura 1.** Ley de la reflexión

**Fuente:** (Mejía Barbosa, 2020)

#### 4.1.2.2 Transmisión

Este fenómeno se da cuando la radiación pasa a través de un medio sin que se genere un cambio en la frecuencia de las radiaciones que la componen. Este fenómeno se da en ciertos vidrios, agua, plásticos, algunos líquidos y en el aire. La transmisión se puede clasificar en tres tipos: regular, difusa y mixta (ICARO, 2020).

- Transmisión regular: Un haz incide sobre un medio y lo atraviesa y sale como tal has. Se denomina transparentes a los medios que cumplen esta propiedad.
- Transmisión difusa: El haz que incide sobre un medio se difunde en dicho medio, y sale en varias direcciones. Los cristales esmerilados y vidrios opacos opalizados generan este fenómeno.
- Transmisión mixta: es una combinación entre la regular y la difusa. Se genera en vidrios orgánicos y cristales de superficie labrada.

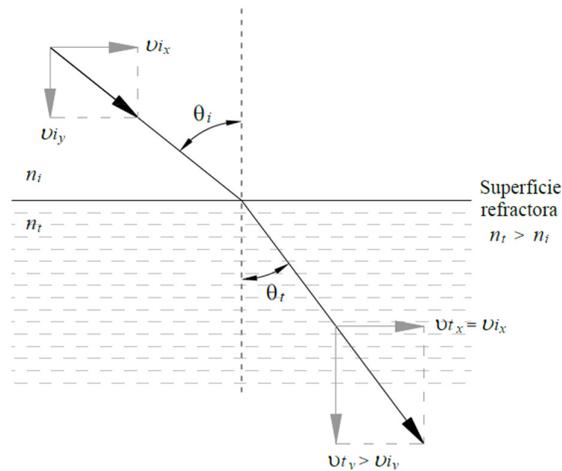
#### 4.1.2.3 Absorción

Es un fenómeno que transforma la energía radiante en otra forma de energía, por lo general en calor. Es una característica de los materiales que no son completamente

reflectoras. La absorción selectiva se da cuando la superficie absorbe ciertas longitudes de onda. El color se debe a la absorción selectiva (ICARO, 2020).

#### 4.1.2.4 Refracción

Se da cuando un rayo de luz cambia de dirección al pasar por un medio, como se observa en la **Figura 2**. Este cambio se da por la alteración de la velocidad de la luz. La variación de la refracción depende de la longitud de las ondas (Mejía Barbosa, 2020).



**Figura 2.** Ley de refracción

**Fuente:** Mejía Barbosa, (2020)

#### 4.1.3 Propiedades Cromáticas de la luz

Se utiliza dos sistemas para medir las propiedades cromáticas de una fuente lumínica. El primero es la Temperatura de Color ( $T_c$ ), que es la apariencia cromática de la luz, donde se puede observar los colores que van de violeta al rojo. El segundo sistema es el Índice de Rendimiento del Color ( $R_a$ ), que nos indica cual es la apariencia de un objeto que es iluminado.

#### 4.1.4 Temperatura de Color

Influye en varios aspectos de la percepción como es el estado de ánimo, salud, productividad y bienestar. La temperatura de color es expresada en grados Kelvin  $^{\circ}K$ . De acuerdo a la temperatura de color de la luz artificial, en este caso, las superficies a iluminar pueden percibirse de una forma distinta. La **Tabla 2** muestra la temperatura de color, iluminancia y la sensación que genera a las personas (Villazón Godoy, 2018).

**Tabla 2.** Temperatura de color de acuerdo al tipo de iluminación.

Iluminancia (lux)	Color de las fuentes lumínicas		
	Cálido	Neutral	Frio
Respuesta emocional			
Menor a 500 500 – 1000	Agradable	Neutral	Frio
1000 – 2000 2000 – 3000	Estimulante	Agradable	Neutral
Mayor a 3000	No natural	Estimulante	Agradable

Fuente: (Villazón Godoy, 2018)

#### 4.1.5 *Magnitudes y unidades Luminosas*

La luz es una de las diferentes formas de energía que existen. No toda la luz generada por una fuente de llega al ojo humano, y tampoco no toda la energía que consume en un foco se convierte en luz. Por esto se distinguen algunas magnitudes como: Flujo luminoso, Luminancia, Iluminancia e Intensidad lumínica (Idea, 2020).

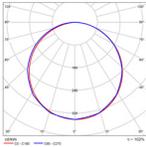
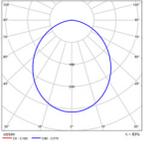
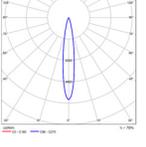
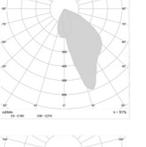
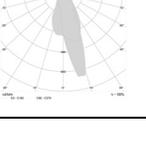
- Flujo Luminoso: es la cantidad de energía luminosa que emite una fuente. Su unidad es el lumen (lm) y su símbolo es el ( $\Phi$ ).
- Intensidad Luminosa: se define como la energía luminosa que se emite en una dirección. La unidad es la candela (cd) y su símbolo (I)
- Iluminancia: es la cantidad de luz que llega a una superficie, cuya unidad es el lux (lx) y su símbolo es Idea. Está relacionado el flujo luminoso que recibe una unidad de superficie,  $lux = lumen/m^2$ .
- Rendimiento luminoso: también llamada eficacia luminosa, se define como el flujo emitido por unidad de potencia de las fuentes luminosas (lm/W). Su símbolo idea(R).

#### 4.1.6 *Fotometría*

La fotometría es una rama de la ciencia que estudia la forma y dirección en la cual se distribuye la luz en el espacio y la percepción que tiene el ojo humano para medirla. La forma en la cual la luz se distribuye depende del tipo de fuente de luz.

Al elegir un tipo de distribución, cambia el haz de luz, lo cual provoca que el objeto a iluminar tenga resultados diferentes. En la **Tabla 3** se tiene un resumen del tipo de distribuciones fotométricas que existen para luminarias.

**Tabla 3.** Tipo de distribución fotométrica de la luminaria.

Tipo de distribución	Aplicación	Grafica de distribución
Difusa	General y decorativa	
Extensiva	General	
Intensiva	General para grandes alturas	
Asimétrica	Iluminación perimetral	
Iluminación orientable	Intensiva de acento y decorativo	

Fuente:(Chacaliza-Huapaya, 2023)

#### 4.1.6.1 Clases de luminarias

La Comisión Internacional de Alumbrado (CIE), describe 6 tipos de distribuciones de intensidad luminosa, como se aprecia en la **Figura 3**. Esta clasificación es según el porcentaje de flujo luminoso que se emite por encima o por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara.

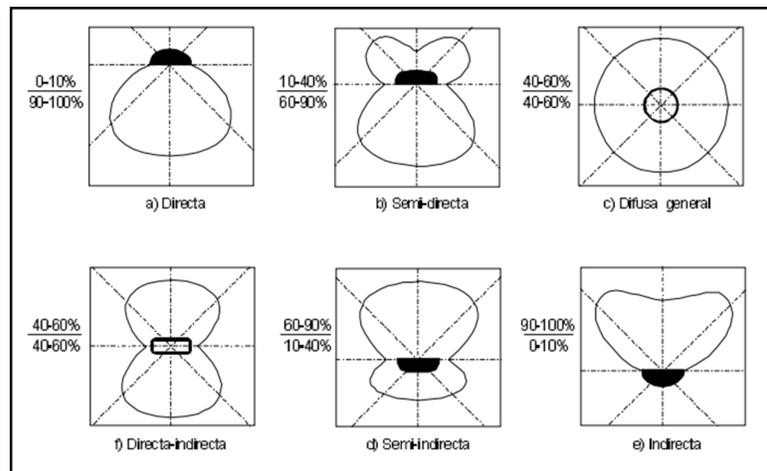
**Iluminación directa:** el porcentaje de luz emitida es del 90 al 100% hacia abajo. Varios factores intervienen en la distribución, como el material del reflector, el contorno, si son de haz abierto o de haz estrecho, el apantallamiento, la terminación. Corresponden a luminarias de gran eficiencia, pero pueden generar deslumbramiento lo que presenta una gran desventaja. Las luminarias que tienen haz estrecho son de poca iluminancia vertical. Por lo general se utiliza este tipo de luminarias en locales de baja altura.

**Iluminación semi-directa:** este tipo de iluminación el flujo luminoso emitido hacia abajo varía entre el 60 al 90%, el resto del flujo luminoso va hacia el techo o paredes. En este tipo de luminarias el haz de luz predominante es dirigido hacia abajo, aunque a veces va hacia el techo lo que genera manchas luminosas.

Iluminación general difusa: el porcentaje de flujo luminoso varía entre el 40 y 60%. Emite tanto hacia arriba como hacia abajo. Al ser de bajo rendimiento, este tipo de luminarias se utiliza en locales con reflectancias altas. En caso de existir deslumbramiento se recomienda colocar las luminarias a mayor altura o ver una opción de menor potencia.

Iluminación semi-indirecta: el flujo luminoso varía entre el 60 a 90% hacia arriba. En estos casos el haz de luz se dirige también hacia el hemisferio inferior, siendo la luminancia equivalente tanto en el cielo raso como el de la propia luminaria. Para estas luminarias se debe cuidar la correcta ubicación para evitar deslumbramientos.

Iluminación indirecta: el flujo luminoso es entre el 90 al 100%, pero emitido hacia arriba sobre el techo. Estas luminarias utilizan al cielo raso como amplio difusor. Se debe tener cuidado que las luminarias al generen manchas de luz, para ello se debe regular convenientemente la altura de montaje. La uniformidad de la iluminación mejora con pocos puntos de luz, es ideal para locales que necesitan limitar los reflejos. En comparación con los demás sistemas este es el de menor eficiencia. (Assaf Leonardo, 2002.)



**Figura 3.** Clasificación de luminarias de acuerdo a la CIE

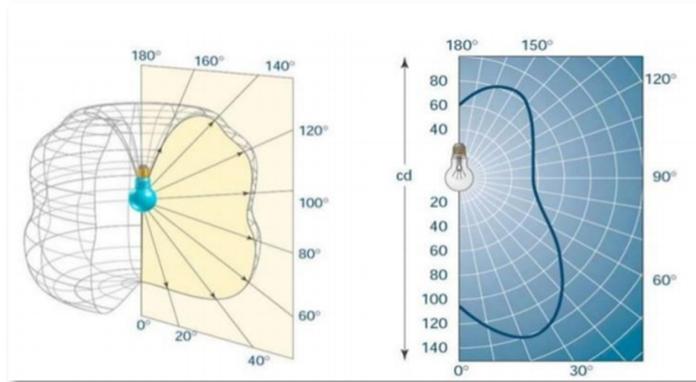
**Fuente:** (Assaf Leonardo, 2002.)

#### 4.1.6.2 Tipos de Curvas fotométricas

##### ➤ Diagrama Polar

El diagrama polar representa la forma de distribución del flujo luminoso en el espacio. Cuando la distribución luminosa proviene de una fuente simétrica, axial o circular se puede representar únicamente con una mitad del plano que pasa por el eje de simetría.

En la **Figura 4**, se identifica una curva fotométrica con simetría axial en su eje vertical de una luminaria.

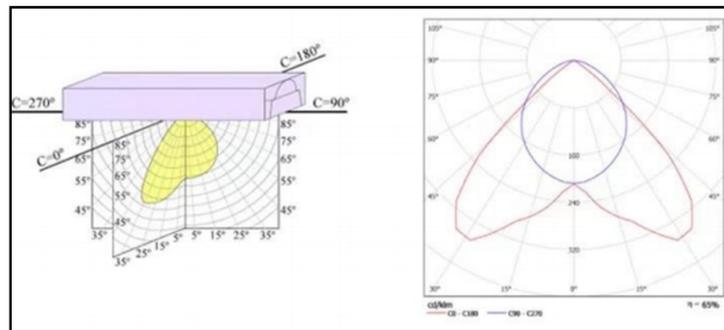


**Figura 4.** Curvas de distribución luminosa

**Fuente:** (Blanca Giménez, n.d.)

Como se observa en la **Figura 5**, las intensidades luminosas se determinan para algunos ángulos alrededor del eje de simetría, que por lo general son cada  $10^\circ$ , los cuales van desde el polo siguiendo la dirección que se hizo la medida. Por regla general se toma como  $0^\circ$  a la dirección vertical hacia abajo.

Existen luminarias lineales como las fluorescentes que es necesario representar las curvas de distribución respecto a los dos ejes, longitudinal y transversal. En la **Figura 5**, se representa una curva de distribución polar en el eje transversal y en el eje longitudinal.



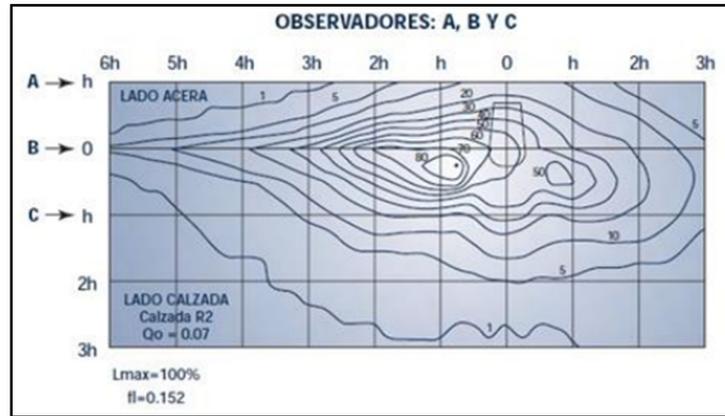
**Figura 5.** Curvas de distribución polar

**Fuente:** (Blanca Giménez, n.d.)

La distribución luminosa de las luminarias toma como referencia el flujo luminoso de 1000 lúmenes, por esto la intensidad está dada por cd/klm. Con este criterio se puede comparar gráficos para diferentes fuentes de luz con diferentes potencias.

Diagrama de curvas de isoluminancia

Este tipo de diagramas es utilizado especialmente para alumbrado público, debido a que este tipo de alumbrado requiere la luminancia media en la superficie de la calzada y también la línea-guía para la uniformidad. En la **Figura 6** se indican las letras A, B, C lo que representa las diferentes posiciones de un observador.



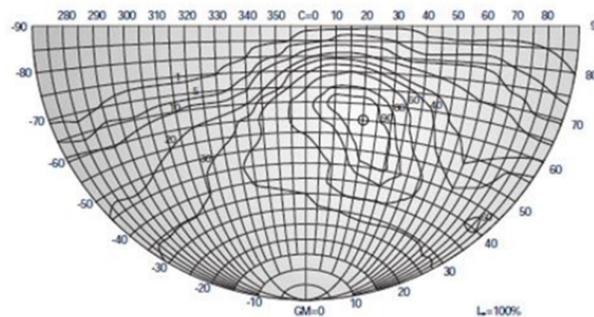
**Figura 6.** Diagrama de isoluminancia

**Fuente:** (Blanca Giménez, n.d.)

### ➤ Diagramas isocandela

Este diagrama coloca a la luminaria en el centro de una esfera, en cuya superficie exterior están todos los puntos de igual intensidad y se unen por líneas. Los ángulos sólidos que están en esta representación están dados por las superficies iguales. Gracias a esto, este diagrama puede ser utilizado para determinar el flujo luminoso en una zona dada, únicamente multiplicando el área por la intensidad luminosa.

Cuando la luminaria está instalada con un ángulo de inclinación  $\delta$ , las líneas deberán ser giradas alrededor del centro con un ángulo de  $\delta$  para encontrar las nuevas coordenadas  $C-\gamma$ . Como se indica en la **Figura 7**, las líneas paralelas al eje de la calzada van desde el centro en líneas rectas. (Blanca Giménez, n.d.)



**Figura 7.** Diagrama isocandela en proyección acimutal

**Fuente:** (Blanca Giménez, n.d.)

#### 4.1.7 Familias de fuente de luz artificial

(Idae, 2020) describe las diferentes tecnologías para la generación de luz artificial, a continuación, se nombra las más importantes: (pág. 65)

- Lámpara incandescente estándar: En este tipo de lámparas la corriente eléctrica es conducida por un filamento fino de alta resistencia, este filamento se calienta hasta llegar a la incandescencia emitiendo luz. La temperatura de color que se logra con estas luminarias es de 2700 y los 2800 K. Tienen un espectro continuo  $Ra=100$ . Tienen una vida media de 1000 horas. Una eficacia luminosa de 14 lm/W (Idae, 2020).
- Lámpara incandescente halógena: el filamento luminoso de esta lámpara se encuentra dentro de una capsula de vidrio, que tiene un gas inerte con halógenos. Las propiedades regenerativas del halógeno hacen que el filamento llegue hasta los 3000 K, sin afectar la vida útil del filamento. Genera una luz más blanca. Una mayor vida media y eficacia con respecto a la lámpara incandescente estándar (Idae, 2020).
- Lámpara de vapor de sodio de baja presión: en estas lámparas se genera una descarga eléctrica en el interior de un tubo de descarga, en cuyo interior hay una mezcla de gases y vapor de sodio a baja presión produciendo una radiación visible. Tienen una eficacia entre los 100 lum/W y los 198 lm/W. Tiene una  $TC = 1800K$ . Una vida útil de 12000 horas. Se requiere de un equipo auxiliar para su funcionamiento, y se requiere alrededor de 12 minutos para alcanzar su pleno funcionamiento (Idae, 2020).
- Lámparas fluorescentes: su funcionamiento se basa en la descarga en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, este gas este contenido en un tubo, el mismo que esta recubierto internamente de polvos fluorescentes que tienen como objetivo convertir la radiación ultravioleta que se genera en la descarga, en luz visible para el ser humano. Tiene la  $Tc$  entre 2700 K y 3000 K. Se requiere varios segundos para alcanzar su funcionamiento nominal (Idae, 2020).
- Lámparas LED: estas lámparas a diferencia de las anteriores, no tienen ni un filamento incandescente, ni generan descargas eléctricas en algún gas, por el contrario, estas lámparas utilizan LED's (diodo emisor de luz). Un diodo es un semiconductor que cuando le atraviesa una corriente eléctrica bajo ciertas condiciones emite luz. El color de los Leds depende del material semiconductor que se utiliza para su fabricación. Presenta varias ventajas con respecto a las luminarias anteriores como: emisión monocromática, dimensiones pequeñas, elevada eficiencia entre 100 lm/W o 120 lm/W, vida útil de 50000 horas, no emite radiación ultravioleta ni infrarroja, resistencia a golpes inmediato (Idae, 2020).

#### 4.1.8 Uniformidad de iluminancia

Además del valor de iluminancia media, la cual es un valor referencial bueno, sin embargo, es necesario determinar la uniformidad de iluminancia  $U_m$ , para dar un criterio de calidad de iluminación, la uniformidad se define según la ecuación 1 como:

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_m} \quad (1)$$

donde:

$E_{min}$ : iluminancia mínima sobre la superficie

$E_m$ : iluminancia media sobre la superficie.

El valor de la uniformidad media es igual o superior a 0.6 para centros educativos, incluso en aplicaciones más puntuales puede llegar hasta 0.7.

#### 4.1.9 Índice de reproducción de color (Ra)

Según (Idae, 2020) el índice de reproducción de color Ra es el efecto que genera una fuente luminosa sobre el objeto que ilumina. Es la capacidad que tiene la fuente de luz para reflejar los colores que ilumina, tomando de referencia una fuente de luz patrón. En la **Figura 8** se establece los diferentes valores de Ra de diferentes fuentes luminosas (pág. 63)



**Figura 8.** Ejemplo de índice de reproducción cromática.

**Fuente:** (Idae, 2020)

#### 4.1.10 Índice de deslumbramiento unificado

El índice de deslumbramiento unificado o UGR es un valor importante en el diseño de iluminación de interiores debido a que ayuda a asegurar que las condiciones de iluminación sean las idóneas para realizar las actividades en un determinado lugar. El deslumbramiento puede producirse de forma directa por luminarias, lámparas, ventanas o superficies que tengan una alta reflectancia y afecten directamente a la visión de observador. El UGR analiza el deslumbramiento de un local y depende de la posición del observador, además el grado de

deslumbramiento directo está en función del tipo de actividad que se realiza en el local. Para calcular el índice de deslumbramiento UGR, debe aplicarse la ecuación 2, así: (Idae, 2020)

$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_B} \sum_i \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (2)$$

Donde

$L_B$  = luminancia ambiente, calculada como  $E_{ind} / \pi$ , donde  $E_{ind}$  es la iluminancia vertical

$L$  = luminancia de las partes luminosas de cada luminaria

$\omega$  = ángulo sólido de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador .

$p$  = índice de posición de Guth para cada luminaria desde la línea de visión.

Mediante la ecuación 2 los fabricantes proporcionan tablas que proporcionan el valor UGR, este valor está comprendido entre 10 y 30, mientras más bajo sea, el índice es mejor.

L a **Tabla 4** muestra los valores de UGR para distintas zonas de un centro educativo.

**Tabla 4.** Tabla de cálculo de UGR

Valoración de deslumbramiento según UGR											
p techo		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
p paredes		50	30	30	30	30	50	30	50	30	30
p suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local		Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente el eje de lámpara				
X											
Y											
2H	2H	17,2	18,4	17,5	18,6	18,8	17,5	18,7	17,8	18,9	19,1
	3H	17,1	18,1	17,4	18,4	18,7	17,9	19	18,3	19,2	19,5
	4H	17	18	17,4	18,3	18,5	17,9	18,9	18,3	19,2	19,4
	6H	17	17,8	17,3	18,1	18,4	17,9	18,8	18,2	19	19,4
	8H	16,9	17,8	17,3	18,1	18,4	17,8	18,7	18,2	19	19,3
	12H	16,9	17,7	17,2	18	18,3	17,8	18,6	18,2	18,9	19,3
4H	2H	17,5	18,5	17,8	18,7	19	17,8	18,8	18,1	19	19,3
	3H	17,4	18,2	17,8	18,5	18,9	18,3	19,1	18,7	19,4	19,8
	4H	17,4	18,1	17,7	18,4	18,8	18,3	19	18,7	19,3	19,7
	6H	17,3	17,9	17,7	18,3	18,7	18,2	18,9	18,7	19,2	19,6
	8H	17,2	17,8	17,7	18,2	18,6	18,2	18,8	18,6	19,2	19,6
	12H	17,2	17,7	17,7	18,1	18,5	18,2	18,7	18,6	19,1	19,5
8H	4H	17,3	17,8	17,7	18,2	18,6	18,2	18,8	18,6	19,1	19,6
	6H	17,2	17,7	17,7	18,1	18,5	18,1	18,6	18,6	19	19,5
	8H	17,2	17,6	17,6	18	18,5	18,1	18,5	18,6	19	19,4
	12H	17,1	17,5	17,6	17,9	18,4	18,1	18,4	18,6	18,9	19,4
12H	4H	17,3	17,7	17,7	18,2	18,6	18,2	18,7	18,6	19,1	19,5
	6H	17,2	17,6	17,6	18	18,5	18,1	18,5	18,6	18,9	19,4
	8H	17,1	17,5	17,6	17,9	18,4	18,1	18,4	18,6	18,9	19,4
Valoración de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S=1,0H		+0,8/-0,9					+0,3/-0,5				

S=1,5H	+2,1 / -5,6	+1,4/-2,2
S=2,0H	+3,5 / -10,9	+1,6/-4,1
Tabla estándar	BK01	BK01
Sumando de corrección	-2,1	-1,5
Índice de deslumbramiento corregido en relación con 13400 lm, flujo luminoso total		

Fuente: (Idae, 2020)

La **Tabla 4** se muestra **índices** UGR para una luminaria de un flujo determinado, para manejar la misma tabla y manejar otros valores de flujo luminoso es necesario aplicar la ecuación 3.

$$R_{UG} = R_{UG}(\Phi_0) + 8 \log_{10} \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (3)$$

Donde:

$R_{UG}(\Phi_0)$  = valor UGR no corregido

$\Phi$  = flujo luminoso de la luminaria (lm)

$$\Phi_0 = 1000 \text{ lm}$$

#### 4.1.11 **Cálculo del flujo luminoso**

La unidad de medida del flujo luminoso es el lumen (lm), el mismo nos indica la cantidad de luz que emite una luminaria en todas las direcciones. Para esto se debe considerar el área total a iluminar y los factores de utilización y de mantenimiento de cada luminaria a utilizar según la ecuación 4, así: (Cálculo Iluminación Según El Método de Los Lúmenes, 2011.)

$$\phi_T = \frac{E_m \times S}{C_u \times C_m} \quad (4)$$

$E_m$  = nivel de iluminación medio (lux)

$\phi_T$  = flujo luminoso que un determinado local o ona necesita (lm)

$S$  = superficie a iluminar ( $m^2$ )

$C_u$  = coeficiente de utilización.

$C_m$  = coeficiente de mantenimiento.

#### 4.1.12 **Cálculo del número de luminarias**

Para determinar el número de luminarias necesarias para la correcta iluminación de un área en específico, se debe tener presente el flujo luminoso mínimo para el área, dividido para el flujo luminoso de cada lampara que tiene la luminaria como lo dice la ecuación 5, así: (Cálculo Iluminación Según El Método de Los Lúmenes, 2011.)

$$NL = \frac{\phi_T}{n \times \phi_L} \quad (5)$$

$NL$  = número de luminarias

$\phi_T$  = flujo luminoso total necesario en la zona o local

$\phi_L$  = flujo luminoso de una lámpara

$n$  = número de lámparas que tiene la luminaria

#### 4.1.13 *Altura de suspensión de las luminarias*

La altura de las luminarias en locales, depende de la actividad que se desarrolle en cada local. Existen dos tipos de ecuaciones que se usan, las veremos a continuación (Cálculo Iluminación Según El Método de Los Lúmenes, 2011.).

- **Ecuaciones para locales con iluminación directa, difusa y semidirecta**

Para estos tipos de iluminación se debe considerar la altura del local, la altura entre el plano de trabajo y las luminarias. Para una condición mínima se usa la ecuación 6 y para una condición optima la ecuación 7.

Mínimo

$$h = \frac{2}{3} \cdot (H - h') \quad (6)$$

Optimo

$$h = \frac{4}{5} \cdot (H - h') \quad (7)$$

- **Ecuaciones para locales con iluminación indirecta**

Cuando es iluminación indirecta se debe tener en consideración la altura entre el plano de las luminarias y el techo. La ecuación 8 y 9 se usan para una condición mínima y optima respectivamente.

Mínimo

$$d' \approx \frac{1}{5} \cdot (H - h') \quad (8)$$

Optimo

$$d' \approx \frac{3}{4} \cdot (H - h') \quad (9)$$

#### 4.1.14 *Cálculo de coeficiente de utilización (Cu)*

El coeficiente de utilización nos indica la relación que existe el número de lúmenes que emite una luminaria, y el número de lúmenes que llegan al plano ideal de trabajo. El coeficiente de utilización será más grande cuanto más grandes sean los coeficientes de reflexión, más alto sea la altura y longitud, y menor sea la altura del plano de trabajo (Cálculo Iluminación Según El Método de Los Lúmenes, 2011.).

- **Índice del local k**

Iluminación directa, semidirecta, directa- indirecta y general difusa.

El índice de local k depende exclusivamente de las dimensiones del local a iluminar.

La ecuación 10 define estas características.

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a+b)} \quad (10)$$

$a$  = ancho

$b$  = largo

$h$  = altura

$k$  = Índice de local k

Luego del cálculo del índice k, es necesario utilizar coeficientes de reflexión, para posteriormente mediante una tabla de corrección encontrar el coeficiente de utilización  $C_u$ . Los coeficientes cambian según el material, acabado y superficie, además existen diferentes coeficientes según el espacio como: techos, paredes, suelo. Se puede utilizar coeficientes referenciales, si se tiene más detalles se puede usar una tabla específica. Para el cálculo del coeficiente de utilización se puede usar una tabla de corrección e interpolar los valores de reflexión y el valor de índice k.

- **Iluminación Indirecta y general difusa**

Para este índice de local con este tipo de iluminación, al igual que el índice anterior se considera las dimensiones del local altura, ancho y largo, pero a más de eso se considera la altura entre el plano de trabajo y el plano de trabajo de las luminarias ( $h$ ), y la altura del plano de trabajo al suelo ( $h'$ ) como se observa en la ecuación 11.

$$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h+h') \cdot (a+b)} \quad (11)$$

$a$  = ancho

$b$  = largo

$h$  = altura entre plano de trabajo y luminarias

$h'$  = altura del plano de trabajo al suelo

$k$  = Índice de local k

#### 4.1.15 **Emplazamiento y separación de las luminarias**

Cuando se tiene el número total de luminarias que van dentro de un área determinada, se procede a la distribución uniforme de las luminarias, de manera horizontal y vertical para conseguir una iluminación uniforme (Cálculo Iluminación Según El Método de Los Lúmenes, 2011.).

Cuando el local es rectangular se considera el ancho (a) y el largo (b). Para determinar la distribución de las luminarias a lo ancho del local se aplica la ecuación 12. Para determinar la distribución de las luminarias a lo largo del local se aplica la ecuación 13.

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{b}} \cdot a \quad (12)$$

$$N_{largo} = N_{ancho} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) \quad (13)$$

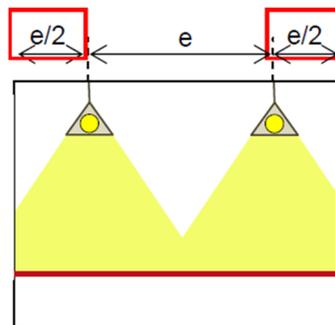
Un dato importante a tener en consideración es la separación entre luminarias, la cual va a depender del ángulo de la apertura del haz de luz y también de la altura de la luminaria referente al plano de trabajo. En la **Tabla 5** tenemos una distancia referencial acorde a la altura de montaje.

**Tabla 5.** Distancia máxima entre luminarias.

Tipo de luminaria	Altura de local (m)	Distancia máxima entre luminarias (m)
Intensiva	>10	$e \leq 1,2 h$
extensiva	6 – 10	$e \leq 1,5 h$
semiextensiva	4 – 6	$e \leq 1,5 h$
extensiva	$\leq 4$	$e \leq 1,6 h$

Fuente: (Cálculo Iluminación Según El Método de Los Lúmenes, 2011.).

La distancia h corresponde a la altura entre el plano de trabajo y la luminaria, determinada en la ecuación 7. El valor de e, se refiere a la distancia existente entre las luminarias como se lo observa en la **Figura 9**.



**Figura 9.** Distancia de separación entre luminarias (e).

Fuente:(Cálculo Iluminación Según El Método de Los Lúmenes, 2011.)

#### 4.1.16 *Evaluación de resultados*

Para determinar la validez de los resultados, usamos la ecuación 14, se debe comparar la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada con la iluminancia recomendada en las tablas de normativa (Cálculo Iluminación Según El Método de Los Lúmenes, 2011.).

$$E_m = \frac{NL \cdot n \cdot \phi_L \cdot C_u \cdot C_m}{S} \geq E_{tablas} \quad (14)$$

$E_m$  = nivel de iluminación medio (lux)

NL = número de luminarias

n = número de lámparas que tiene la luminaria

$\phi_L$  = flujo luminoso de una lámpara

S = superficie a iluminar ( $m^2$ )

$C_u$  = coeficiente de utilización.

$C_m$  = coeficiente de mantenimiento.

#### 4.1.17 Valor de eficiencia energética de la instalación

Para la iluminación artificial se debe considerar el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI), cuyo valor puede variar en función de las características de los espacios. Según (Youg Xu, 2017)(Xu - Estudio de Eficiencia Energética de Un Edificio de Enseñanza Pública Situado En Alicante, p.g. 40) el VEEI de las instalaciones de iluminación la ecuación 15 se define como:

$$VEEI = \frac{Px100}{SxE_m} \quad (15)$$

Donde:

p = potencia instalada incluyendo a los equipos auxiliares (W)

S= superficie iluminada ( $m^2$ )

$E_m$  = iluminancia media horizontal mantenida (lux)

Para encontrar la VEEI (1) únicamente hace falta determinar el valor de iluminancia media  $E_m$ .

En la **Tabla 6** de establecen los valores de eficiencia energética límite para recintos interiores de un edificio (Idae, 2020).

**Tabla 6.** Valores de eficiencia energética de la instalación.

<b>Zonas de actividad diferenciada</b>	<b>VEEI limite</b>
Administrativa en general	3
Andenes de estaciones de transporte	3
Pabellones de exposición o ferias	3
Salas de diagnostico	3,5
Aulas y laboratorios	3,5
Habitaciones de hospital	4
Recintos interiores no descritos en este listado	4
Zonas comunes	4
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4
Aparcamientos	4
Espacios deportivos	4
Estaciones de transporte	5
Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5
Bibliotecas, museos y galerías de arte	5
Zonas comunes en edificios no residenciales	6
Centros comerciales (excluidas tiendas)	6
Hostelería y restauración	8
Religiosas en general	8
Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencia	8
Tiendas y pequeño comercio	8
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10
Locales con nivel de iluminación superior a 600 lux	2,5

Fuente: (Idae, 2020)

#### 4.1.18 *Potencia instalada en el edificio*

Se refiere a la potencia máxima instalada, pero tomando en cuenta la potencia de la luminaria y la potencia del equipo auxiliar. La ecuación 16 la define así:

$$PMI = \frac{P(luminaria + Equipo Auxiliar)}{s} \quad (16)$$

El valor de la potencia máxima dependiendo el uso del área se resume en la **Tabla 7**.

**Tabla 7.** Potencia máxima de iluminación para edificios.

Uso del edificio	Potencia máxima instalada (W/m <sup>2</sup> )
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios teatros, cines	15
Residencial publico	12
Otros	10
Edificios con iluminación superior a 600 lux	25

Fuente: Idae, (2020)

#### 4.1.19 *Tarifa eléctrica*

La agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables (ARCERNNR) a través de la publicación anual del pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica pone en conocimiento la estructura, nivel y régimen tarifario para el servicio público de energía eléctrica. En el anexo 15 se adjunta la tabla de cargos tarifarios vigente en el periodo enero – diciembre de 2024. (CNEL EP, 2024.)

## 4.2 Capítulo II: Políticas de *eficiencia energética en el Ecuador*

MEM (2022) en junio del 2022 expidieron “Las políticas públicas para fomentar la eficiencia energética en el Ecuador”. Podemos destacar lo más importante del artículo 2: (pág. 5)

- Promover en todos los sectores de la sociedad la eficiencia energética, con la finalidad de reducir los gases de efecto invernadero y contribuir con el cambio climático.
- Impulsar, fortalecer y garantizar la eficiencia energética a corto, mediano y largo plazo. Además, generar el marco jurídico, normativo e institucional.
- Fomentar la innovación tecnológica. Incentivar la energía eficiente en los sectores de oferta y demanda.
- Formular los incentivos económicos y no económicos para masificar el uso de tecnologías y equipos eficientes.
- Propiciar la investigación, fortalecimiento de capacidades, financiamiento y emprendimiento con la ayuda del sector público, privado, universidades y sociedad para el desarrollo y aplicación de la energía eficiente.

### 4.2.1 *Ley orgánica de eficiencia Energética*

La (Asamblea Nacional Ecuador, 2019) expidió la “Ley orgánica de eficiencia energética” emitida el 19 de marzo de 2019 en el registro oficial, en el artículo 1, declara como objetivo de dicha ley promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas, con la finalidad de incrementar la seguridad energética, aumentar la productividad energética, construir una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética. El artículo dos, declara de interés nacional el uso racional, eficiente y sostenible de la energía, como una base para el desarrollo de la sociedad la producción y la sostenibilidad económica y ambiental. El artículo tres nos indica los principios de la eficiencia energética, los cuales tiene como base la constitución, señalamos los más importantes a continuación: (pág. 4)

- Mejorar la productividad y competitividad a través de la reducción de costos por uso eficiente de energía.
- Promocionar el uso de energía eficiente y los recursos energéticos.
- Reducción de gases de efecto invernadero mediante el uso de energía limpia.

Los artículos cinco, seis, y siete nos hablan del Sistema Nacional de Eficiencia Energética, su estructura, instituciones, políticas y planes para el cumplimiento del Plan nacional de Eficiencia Energética (PLANEE), el ente rector que vigila las políticas de

eficiencia energética es el comité Nacional de Eficiencia Energética (CNEE). Además, detallas las competencias que tiene para fomentar la eficiencia energética tanto en el sector público como privado. También se destaca los ejes de acción del CNEE. El artículo ocho detalla las funciones del CNEE, resumimos las más importantes: (Asamblea Nacional Ecuador, 2019)

- Coordinar el funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética (SNEE), y evaluar los objetivos del PLANEE para que se cumplan y proponer mejoras de ser necesario.
- Elaboración de propuestas en materia de eficiencia energética y uso racional de la energía, establecer las políticas para incrementar la productividad energética en los sectores de oferta y demanda de energía.
- Elaborar programas de eficiencia energética, su desarrollo y evaluación.
- Involucrarse con los actores educativos, ambientales, GAD y la sociedad para promover la eficiencia energética.
- Participar en programas educativos, informativos o de sensibilización, que tengan como objetivo fomentar la eficiencia energética, y uso de energía de bajo impacto ambiental.

El artículo 22 se refiere a los incentivos para la eficiencia energética, donde los consumidores que apliquen acciones de eficiencia energética puedan elaborar auditorías energéticas y así obtener por ejemplo obtener condiciones de financiamiento preferentes. La rama del transporte también será beneficiada con tarifas diferenciadas preferenciales para transporte eléctrico particular o público.

#### **4.2.2 Plan Nacional de eficiencia Energética**

(Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017) informo que para 2015 el consumo energético del sector residencial, comercial y público representaba aproximadamente el 57 % de la energía eléctrica según consta en el BEN 2015. Por lo cual el ministerio encargado de la energía eléctrica en atención a la política energética ha impulsado instrumentos regulatorios, incentivos fiscales y tributarios relacionados con la eficiencia energética, entre los cuales destacamos los siguientes: (pág. 28)

**Instrumentos Regulatorios:** Desde 2017 se han generado 11 normas de eficiencia energética, 23 reglamentos técnicos de eficiencia energética para equipos, e industria con la finalidad de mejorar su rendimiento.

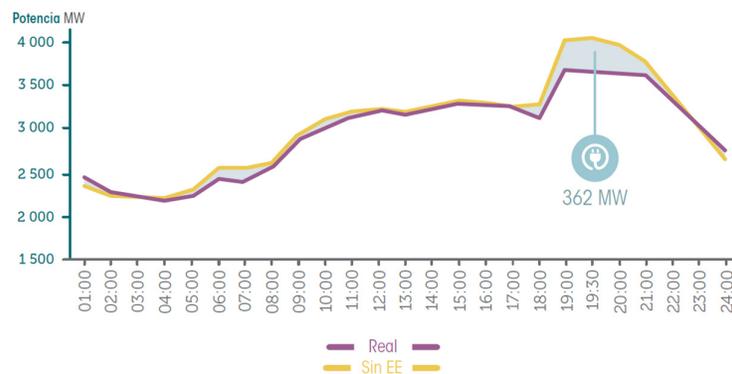
**Reconversión tecnológica en iluminación residencial:** Desde 2008 a 2014 se realizó el cambio de focos incandescentes por focos ahorradores, lo cual generó una sustitución de 16

millones de unidades aproximadamente. Esta medida redujo aproximadamente 287000 MWh/año.

Alumbrado público eficiente: Entre 2012 y 2014 se realizó el cambio de luminarias de vapor de mercurio a vapor de sodio, con lo cual se logró una reducción de energía anual de 20037 MWh.

Renovación de equipos de consumo energético: Se realizó la sustitución de refrigeradoras que eran ineficientes por equipos nuevos. En los cuatro años que duró el plan se sustituyeron alrededor de 95652 refrigeradoras lo cual redujo un estimado de 38200 MWh/año de electricidad.

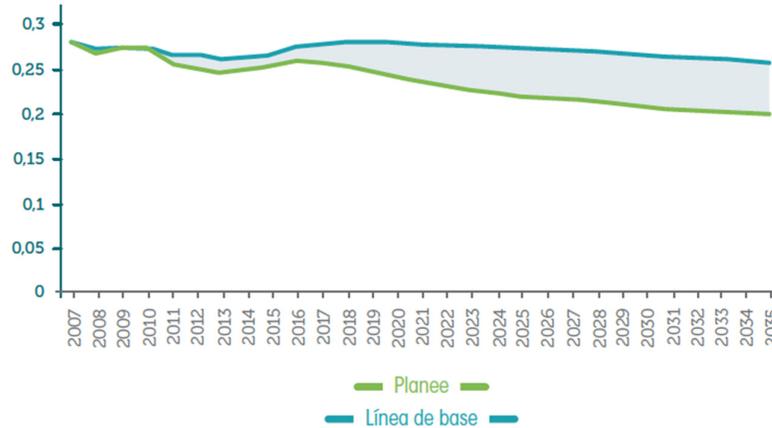
Y otros planes y estrategias más que tenían como finalidad la disminución de consumo de energía en todo el país en horas de máxima demanda. En la **Figura 10** se observa la potencia real y la potencia proyectada con los planes de eficiencia energética.



**Figura 10.** Potencia evitada debido a proyectos ejecutados

**Fuente:** (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017).

Para el año 2035 se proyecta que el consumo de energía en los sectores residenciales, comerciales y públicos reduzcan en al menos 88,8 MBep con la aplicación del Plan Nacional de Eficiencia Energética PLANEE, la **Figura 11** muestra las diferentes proyecciones.



**Figura 11.** Evolución de la intensidad energética residencial, comercial y público

**Fuente:** (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017).

Para que los objetivos sectoriales se cumplan se tiene planteado los dos siguientes objetivos específicos, así: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017)

- Fortalecer los programas de recambio y etiquetado de electrodomésticos y equipos que tienen alto consumo.
- Establecer mecanismos de fiscalización y control para la implementación y aplicación de la Norma NEC a nivel de los GADs.

#### 4.2.3 Normas de alumbrado

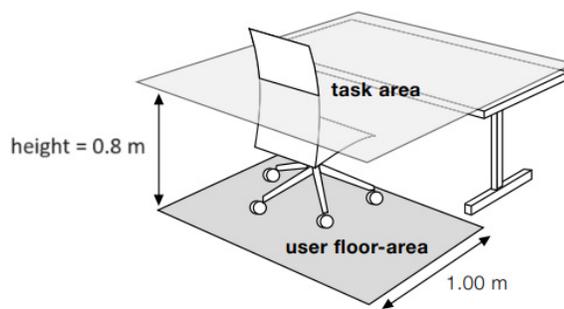
A nivel del mundo existen varios tipos de normas que dan las directrices para realizar alumbrado interior sea seguro, eficiente y confort visual. A continuación, veremos lo más relevante de algunas de ellas.

##### 4.2.3.1 Norma europea UNE 12464.1

La iluminación en las diferentes dependencias de un centro educativo debe proporcionar un entorno visual confortable y suficiente, según las diferentes actividades que se llevan acaban dentro del centro educativo.

En la **Figura 12** se observa valores normalizados de iluminación para áreas de trabajo interior. Si se realiza una medición en el área de trabajo esta debe cumplir los valores normalizados (ZUMTOBEL, 2013).

Los espacios educativos deben tener un ambiente agradable, con confort visual para evitar un esfuerzo visual y reduciendo el cansancio y dolores de cabeza que se generan por la inadecuada iluminación. La **Tabla 8** nos muestra un resumen de los niveles de iluminación para edificios educativos (UNE-EN 12464-1:2022 Luz e Iluminación, 2022)



**Figura 12.** Ejemplo para un área de trabajo

**Fuente:** (ZUMTOBEL, 2013).

**Tabla 8.** Niveles de iluminación en edificios educativos.

No. Ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	Em lux	UGRL	Ra	Observaciones
1	Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
2	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
3	Sala de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
4	Pizarra	500	19	80	Evitar reflexiones espectaculares
5	Mesa de demostraciones	500	19	80	En salas de lectura 750 lux
6	Aulas de arte	500	19	80	
7	Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	90	
8	Aulas de dibujo técnico	750	16	80	
9	Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	80	
10	Aulas de manualidades	500	19	80	
11	Talleres de enseñanza	500	19	80	
12	Aulas de prácticas de música	300	19	80	
13	Aulas de prácticas de informática	300	19	80	
14	Laboratorios de lenguas	300	19	80	
15	Aulas de preparación y talleres	500	22	80	
16	Halls de entrada	200	22	80	
17	Áreas de circulación, pasillos	100	25	80	
18	Escaleras	150	25	80	
19	Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	80	
20	Salas de profesores	300	19	80	
21	Biblioteca: estanterías	200	19	80	
22	Biblioteca: salas de lectura	500	19	80	
23	Almacenes de material de profesores	100	25	80	
24	Salas de deporte, gimnasios	300	22	80	
25	piscinas	300	22	80	
26	Cantinas escolares	200	22	80	
26	Cocina	500	22	80	

Fuente: (UNE-EN 12464-1:2022 Luz e Iluminación, 2022)

#### 4.2.3.2 Norma Mexicana NOM-007-ENER-2014

La norma de Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales establece un método de cálculo para determinar la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) que deben cumplir los edificios no residenciales. En la **Tabla 9** se indica el DPEA según la ocupación: DOF - Diario Oficial de La Federación, (2014).

**Tabla 9.** Niveles de iluminación según NOM-007

<b>Tipo de edificio</b>	<b>DPEA (W/m2)</b>
<b>Oficinas</b>	
Oficinas	12
<b>Escuelas y centros docentes</b>	
Escuelas o instituciones educativas	14
Bibliotecas	15
<b>Establecimientos comerciales</b>	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	15
<b>Hospitales</b>	
Hospitales, sanatorios y clínicas	12
<b>Hoteles</b>	
Hoteles	12
Moteles	14
<b>Restaurantes</b>	
Bares	14
Cafeterías y venta de comida rápida	15
Restaurantes	14
<b>Bodegas</b>	
Bodegas o áreas de almacenamiento	10
<b>Recreación y cultura</b>	
Salas de cine	12
Teatros	15
Centros de convenciones	15
Gimnasios y centros deportivos	14
Museos	14
Templos	14
<b>Talleres de servicio</b>	
Talleres de servicio automóviles	11
Talleres	15

**Fuente:** (DOF - Diario Oficial de La Federación, 2014.).

Para determinar el DPEA se calcula a partir de la carga total de la iluminación, para el total del área por iluminar como se muestra en la ecuación 16.

$$DPEA = \frac{n\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \quad (16)$$

4.2.3.3 Norma Técnica EM.010 Instalaciones Eléctricas Interiores del Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú.

Los requisitos mínimos de iluminación para las diferentes áreas de edificación según la norma peruana se indican en la **Tabla 10**: (Norma EM, 2006)

**Tabla 10.** Niveles de iluminación para diferentes áreas.

<b>Tipo de interior, tarea o actividad</b>	<b>Em lux</b>	<b>UGRL</b>	<b>Uo</b>	<b>Ro</b>
Sala de manualidades	300	19	0,6	80
Aulas de profesores	300	19	0,6	80
Aulas para clases nocturnas y de educación de adultos	500	19	0,6	80
Salas de lectura	500	19	0,6	80
Zona de pizarra	500	19	0,7	80
Mesa de demostraciones	500	19	0,7	80
Locales de artes y oficios	500	19	0,6	80
Locales de artes (en escuelas de arte)	750	19	0,7	80
Salas de dibujo técnico	750	16	0,7	80
Locales de prácticas y laboratorios	500	19	0,6	80
Aulas de manualidades	500	19	0,6	80
Taller de enseñanza	500	19	0,6	80
Locales de practica de música	300	19	0,6	80
Locales de prácticas de computación	300	19	0,6	80
Laboratorio de idiomas	300	19	0,6	80
Locales y talleres de preparación	500	22	0,6	80
Áreas de circulación, pasillos	100	25	0,4	80
Escaleras	150	25	0,4	80
Locales comunes de estudiantes y salas de reuniones	200	22	0,4	80
Locales de maestros	300	19	0,6	80
Biblioteca: estanterías	200	19	0,6	80
Biblioteca: áreas de lectura	500	19	0,6	80
Almacenes de material de profesores	100	25	0,4	80
Salas deportivas, gimnasios y piscinas	300	22	0,6	80
Cocina	500	22	0,6	80

**Fuente:** (Norma EM, (2006)

4.2.3.4 NEC Norma Ecuatoriana

En el Ecuador los niveles de iluminación para edificaciones están regulados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, como se indica en la **Tabla 11** siguiente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018)

**Tabla 11.** Niveles de iluminación según NEC.

Áreas	Mínimo (Lux)	Recomendado (Lux)	Óptimo (Lux)
Viviendas			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de estudio o trabajo	300	500	750
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación y pasillos	50	100	150
Escaleras, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018)

#### 4.2.3.5 Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP)

Para iluminación en centros educativos donde se realizan diversas tareas visuales y actividades específicas se detalla requisitos como la iluminancia media  $E_m$ , uniformidad  $U_m$ , índices cromáticos  $R_a$  y Nivel de deslumbramiento unificado UGR. En la **Tabla 12** observamos diferentes niveles de iluminancia los cuales pueden ser variables y ajustables a la actividad a realizar (Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público-RETILAP, 2024).

**Tabla 12.** Resumen de Iluminación para locales educativos y edificios educativos.

Áreas	$E_m$ (Lux)	$U_m$	$R_a$	UGR
Aula o salón de clases, sala de lectura	500	0.6	80	19
Auditorio, salas de conferencias	500	0.6	80	19
Salas de conferencias	750	0.7	80	19
Trabajos con computadoras	300	0.6	80	19
Salas de dibujo técnico	750	0.6	80	19
Salas de prácticas y laboratorios	500	0.6	80	19

Fuente: (Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público-RETILAP 2024)

#### 4.2.4 Cálculo de la malla de referencia para medición de iluminación

Para realizar la medición de valores de iluminancia en un área se debe primero generar una rejilla o malla en la cual se indique la ubicación de los puntos a verificar. Para el cálculo de la malla se utiliza de preferencia una celda cuadrada o una celda que tenga una relación entre su longitud y ancho de 0,5 y 2. La ecuación 17 define el tamaño de la rejilla como: (UNE-EN 12464-1:2022 Luz e Iluminación, 2022)

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10}(d)} \quad (17)$$

Donde

$p < 10 m$

$d$  es la dimensión mayor del área (m); pero si la relación entre los lados del área es mayor o igual a dos, entonces se define a  $d$  como la dimensión menor del área.

$p$  se convierte en el tamaño máximo de la celda de la malla (m).

Según (UNE-EN 12464-1:2022 Luz e Iluminación, 2022) el número de puntos en la dimensión relevante viene dado por el número entero más próximo, se aplica la ecuación 18, así: (pág. 18)

$$x = d/p \quad (18)$$

$x$  número de puntos en la dimensión relevante  $x$ .

$p$  se convierte en el tamaño máximo de la celda de la malla (m).

$d$  es la dimensión mayor del área (m); pero si la relación entre los lados del área es mayor o igual a dos, entonces se define a  $d$  como la dimensión menor del área.

Además, el espaciado entre los puntos de la malla resultante se utiliza para calcular el número entero más próximo de los puntos de la malla en la otra dimensión. Esto genera una relación de longitud a ancho de una celda de malla cercana a uno. Los valores de iluminancia se miden en el punto central de los rectángulos de la malla, en la **Figura 13** se observa una malla de referencia (UNE-EN 12464-1:2022 Luz e Iluminación, 2022).

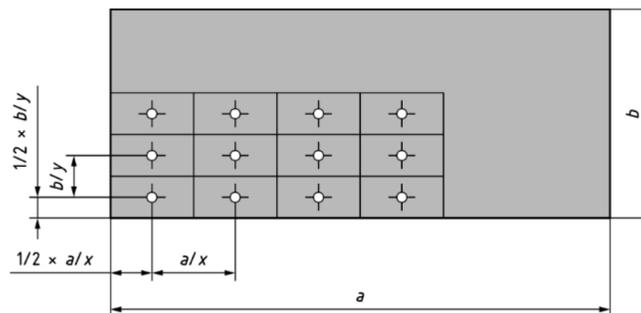
donde

$a$  Dimensión del lado mayor del área de calculo

$b$  Dimensión del lado menor del área de calculo

$x$  Número de puntos a lo largo del lado mayor

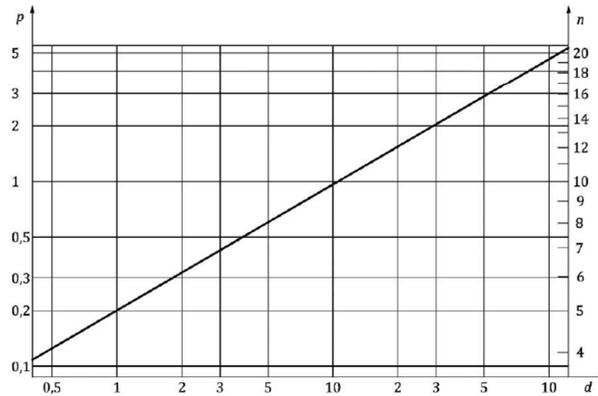
$y$  Número de puntos a lo largo del lado menor



**Figura 13. Malla de trabajo**

**Fuente:** (UNE-EN 12464-1:2022 Luz e Iluminación, 2022)

En la **Figura 14** observamos el tamaño de las celdas de la malla de acuerdo a la dimensión del área de medición.



**Figura 14. Tamaño de la malla en función del área de medición.**

**Fuente:** (UNE-EN 12464-1:2022 Luz e Iluminación, 2022)

Según (UNE-EN 12193:2020, 2020) para la aplicación de la malla de cálculo se puede tomar un número reducido de puntos, es decir generar una malla reducida, y comparar los valores medidos con valores calculados. Para fines prácticos es necesario notificar en el contrato este tipo de cambios. Al momento de realizar el cálculo del número de puntos para longitud y ancho, estos puntos son impar, lo cual permite una malla de medición cada dos puntos, pero conservando la simetría de los puntos sobre el área de cálculo. (pág. 15)

### **4.3 Capítulo III: Eficiencia energética, sostenibilidad energética y control de alumbrado**

#### **4.3.1 Introducción**

La obtención de los mismos servicios energéticos, los mismos bienes con una menor cantidad de energía se denomina eficiencia energética. Reducir la contaminación, mejorar la calidad de vida, reducir precios actuales, prolongar la vida de los recursos son los principales objetivos de la eficiencia energética.

La eficiencia energética en edificaciones se basa en la búsqueda de aprovechar los recursos naturales al máximo, reduciendo el impacto ambiental. Para lograr este objetivo se consideran varios factores como: las condiciones climáticas, los ecosistemas que rodean la edificación, la hidrología, el tipo y eficacia de los materiales utilizados en la construcción, el uso de energías renovables para cubrir las necesidades de calefacción, refrigeración e iluminación, tratando de minimizar el balance energético de la edificación durante su vida útil.

En 2007 la Comisión Europea planteo el Plan Estratégico de la Energía, donde se indicaban una serie de medidas sobre el clima y la energía, con el objetivo de reducir el 20 %. Por esto se motiva a aplicar este plan a las nuevas edificaciones, ya que estas son las responsables de más del 40 % de consumo de energía consumida y de emisiones de CO<sub>2</sub> (Mercedes Almenar-Muñoz, 21 C.E.)

Para tener una eficiencia energética real se debe tener presente varios factores como el cumplimiento de las normativas vigentes de donde se encuentre la edificación, tener presente la uniformidad que requiere el espacio que se ilumina, tener un control de deslumbramiento y la temperatura del ambiente, además de no descuidar el confort para el personal que labora bajo la iluminación. El cumplimiento de los puntos anteriores va de la mano de un plan de mantenimiento para prolongar la vida de las luminarias y que cumplan con los valores mínimos de fábrica (POTES DÍAZ, 2021).

En la actualidad se han desarrollado varios métodos de control y regulación para optimizar el uso de la iluminación, además hoy se prioriza el uso de luz natural sobre la artificial para tener un menor consumo energético. Por ello para tener una instalación eléctrica eficiente es necesario hacer un estudio y un diseño previo del ambiente a iluminar cumpliendo con todas las necesidades que exija el proyecto (POTES DÍAZ, 2021).

Una correcta determinación del tipo de luminaria utilizada en la edificación, así como de su ubicación, nos permite determinar cómo está actualmente el consumo de la energía eléctrica en iluminación del local. Nos permite comprender si se están cumpliendo con las

normativas vigentes en la localidad. Con la correcta información se podrá plantear una alternativa para mejorar la eficiencia energética, el cambio por luminarias más eficientes, el correcto posicionamiento de las luminarias, entre otras cosas se podrá plantear para reducir el consumo de energía en iluminación (Fernando & Mendoza, 2022).

#### 4.3.2 *Iluminación en centros docentes*

Los edificios destinados a la educación deben ofrecer un entorno visual confortable de tal forma que todas las actividades que se van a desarrollar sean llevadas de la mejor manera. Un entorno correctamente iluminado, garantiza confort visual y evita realizar sobreesfuerzos como se puede apreciar en la **Figura 15**. Para que un espacio educativo este correctamente iluminado debe cumplir evitarse problemas como: (Idae, 2020)

- Ingreso de luz natural con deslumbramiento a pizarrones.
- Luminarias mal ubicadas, evitar el deslumbramiento.
- Luminarias con temperatura de color inadecuada.
- Una mala distribución de luminarias y ventanas puede causar sombras.



**Figura 15.** Imagen de un aula con iluminación adecuada

**Fuente:** (Idae, 2020).

Dentro de las recomendaciones que se tomar en cuenta para una correcta iluminación tenemos: (Idae, 2020)

- El espacio que ocupa el docente y los alumnos debe tener el mismo nivel de iluminación, de tal forma que se tenga un correcto desempeño visual.
- Adecuada uniformidad en todos los planos de trabajo.
- Iluminación específica en la pizarra para evitar brillos y deslumbramientos.
- Es importante elegir el color de temperatura que emiten las luminarias, siendo la luz fría, elevados grados de color la ideal para espacios de estudio y concentración.

Mientras tanto la luz cálida es ideal para espacios más sociables y relajados. En la **Figura 16** observamos la temperatura de color acorde a cada tipo de luz.



**Figura 16.** Temperatura de color vs tipo de luz

**Fuente:** Idae, (2020).

#### 4.3.3 *Eficiencia lumínica en sistemas de iluminación*

El diseño debe ser realizado buscando: (Idae, 2020)

- La eficacia de las lámparas: Las luminarias deben utilizar fuentes con una eficacia mínima de 65 lúmenes/vatio.
- Eficacia en los equipos electrónicos complementarios para el funcionamiento de las lámparas.
- Las características particulares de cada aula como son dimensiones, estructura, factor de reflexión.
- Rendimiento de luminarias recomendado: Para alumbrado general en locales como aulas, laboratorios, bibliotecas se tendrá un rendimiento superior al 60 %.

#### 4.3.4 *Ahorro energético en iluminación*

Para que las personas podamos utilizar la energía eléctrica en forma de iluminación hay un proceso largo que empieza en la generación, transformación, distribución y consumidor final, sin embargo, desde el inicio hasta el consumidor final existen pérdidas e indudablemente impacto ambiental.

Para lograr que un proyecto de alumbrado sea eficiente podemos tener en cuenta los siguientes puntos: Idae, (2020)

- Parámetros luminosos claros (Uniformidad, URG, Lux), cada área a iluminar debe cumplir con ciertas medidas que se encuentran normadas.

- Luminarias de alto rendimiento y con control de energía luminosa, además deben cumplir con las características mecánicas y ambientales específicas para cada instalación.
- Los equipos auxiliares o adicionales que se van a conectar a las luminarias deben ser tener bajos niveles de pérdidas.
- La luminaria debe contar con una fuente de luz con un elevado ratio lm/W.
- Tener un plan de mantenimiento que garantice el nivel de servicio a lo largo de la vida útil de la luminaria.
- Organizar un sistema de regulación y control que optimice la eficiencia energética de las instalaciones
- Dentro del plan de mantenimiento debe constar los mecanismos para la gestión y reciclaje de luminarias que han cumplido su vida útil con lo cual evitamos o minimizamos el impacto ambiental.

Si la instalación no tiene el mantenimiento adecuado existirá una degradación del producto. Además, si no existe el remplazo de luminarias en este caso, luego de que hayan cumplido su vida útil, las prestaciones lumínicas serán bajas y el consumo energético será igual, por lo tanto, es importante el mantenimiento adecuado.

#### 4.3.5 *Control de iluminación interior*

En la actualidad es más común encontrar en diferentes ámbitos el uso de sistemas para mejorar el confort, teniendo la posibilidad de adaptar la iluminación según la necesidad de ese momento en el ambiente.

Por ello el control de iluminación se define como dispositivos que varían la luminosidad de forma automática, con la finalidad de crear diferentes ambientes según la ocasión.

Dentro de los principales beneficios que se presentan con el uso del control son:

- Ahorro energético: a mayor atenuación mayor ahorro.
- Confort: Una iluminación adecuada según la necesidad real del usuario, eleva su confort en el ambiente.
- Mayor vida de las luminarias: el uso de reguladores, aumenta la vida útil de las luminarias.

##### 4.3.5.1 Protocolo DALI

El protocolo DALI (Digital Addressable Lighting Interface) que significa “Interfaz de iluminación direccionable digital”. DALI no es un producto, sino más bien es un protocolo de comunicación creado por un consorcio de empresas dedicadas al sistema de iluminación

por la década de 1990. Su origen fue pensado en mejorar el control de la iluminación con:  
Sistema de Control DALI, (2024)

- Un sistema centralizado
- Cableado simple y económico
- Control de luminarias por separado
- No estar restringido a un solo fabricante
- Sistema standard para que sea utilizado de manera normal.

Al tratarse de un protocolo de control y comunicación su principal ventaja es Controlar cada luminaria de manera independiente que este dentro del sistema de iluminación.

Se puede crear diferentes escenas para un mismo espacio, o se puede agrupar luminarias para que ejecuten una determinada función.

Brinda la posibilidad de planificar una instalación en función del usuario y sus necesidades. Además, se tiene la posibilidad de controlar la iluminación mediante un equipo de pared, tablets o teléfonos móviles desde cualquier parte del mundo.

Otra ventaja que presenta el protocolo DALI es que se puede integrar con otros sistemas más complejos, gracias a que desde su concepción fue pensado como un protocolo de integración.

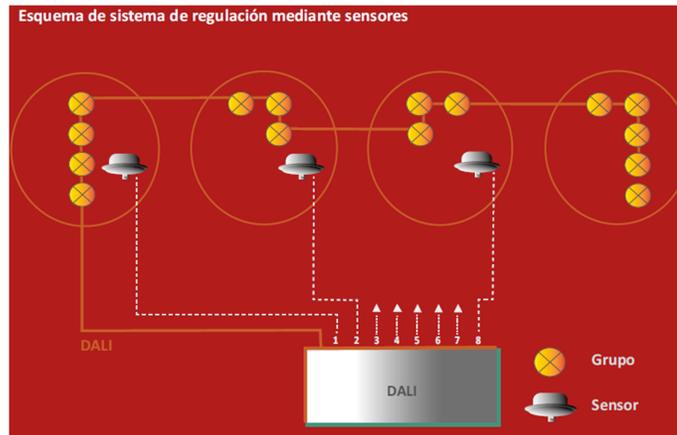
Su principal desventaja es que no todos los drivers que se encuentran disponibles en el mercado funcionan con el protocolo DALI, lo cual dificulta poder integrar el protocolo a sistemas ya instalados.

Su funcionamiento es gracias a un software específico que envía las órdenes a un controlador DALI, el cual transmite estas órdenes a los diferentes periféricos como luminarias, persianas, sensores, puertas, o cualquier equipo electrónico que sea compatible con este protocolo. Gracias a este protocolo se puede controlar diferentes elementos de una vivienda, oficina o industria desde un mismo punto.

Se puede conectar a la red lo que facilita que se puede controlar desde cualquier parte del mundo, y se puede controlar cada área por separado, ya que cada área tiene una determinada tarea. Cada balastro DALI posee una dirección única que va desde 1 a 64 para su identificación. En la **Figura 17** se observa el ejemplo de este sistema.

Con este protocolo se puede controlar cualquier tipo de luminaria siempre y cuando disponga del driver adecuado. Las luminarias que se pueden controlar pueden ser:

- Luminarias industriales
- Luminarias de piscinas
- Apliques de pared
- Luminarias colgantes
- Tiras led.



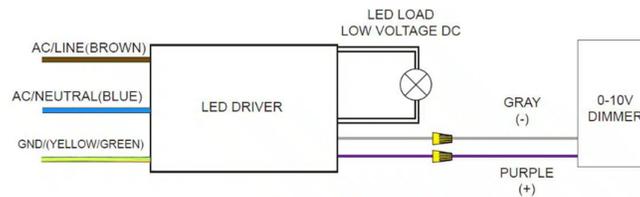
**Figura 17.** Esquema de control con DALI y sensores

**Fuente:** (Idac, 2020).

#### 4.3.5.2 Atenuación 0-10V

La atenuación de 0-10V es un método de control que se desarrolló para el control de balastos fluorescentes, por ello también su otro nombre “atenuación de 5 hilos”. En la actualidad con el crecimiento de la iluminación LED, se ha convertido en una topología de control muy utilizada. Controla el brillo de la iluminación mediante una señal de voltaje de CC de 0-10V, en el cual el 0V indica que la lámpara está apagada, mientras que 10V indica que la lámpara está funcionando a plena carga. La atenuación de 0-10V está reconocida por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en el apéndice E de la norma IEC 60929. Regulación 0-10V y Su Aplicación En Alumbrado Público | ZGSM, (2023)

Para evitar confusiones en los cables de control a partir del 2021 se designó que las líneas de señal de 0-10V vayan de colores morado/rosa o morado/gris. En la **Figura 18** se ve un ejemplo de conexión.



**Figura 18.** Conexión de regular 0 – 10 V.

**Fuente:** Regulación 0-10V y Su Aplicación En Alumbrado Público | ZGSM, (2023)

El controlador tiene 2 cables, el primero gris que representa la señal estándar, y el otro color violeta que representa 10V. Cuando están abiertos los dos conductores la señal

permanece en 10V y la intensidad de la luminaria es al 100%. Los cables al entrar en contacto el controlador estable el brillo al mínimo 0V.

El sistema permite que se regule el flujo lumínico, gracias a un interruptor colocado en línea de alimentación. Al ser un sistema analógico no se puede controlar a través de un software, por esto que para poder agruparlos por secciones se lo realiza mediante el cableado.

Un sistema de atenuación de 0-10V puede manejar varios vatios en un solo interruptor, a diferencia del regulador normal que solo puede manejar 100W. Este sistema de atenuación no daña las luces debido al flujo de corriente. Es compatible con las luminarias LED, es una tecnología robusta. Aumenta la vida útil de la lampara.

La principal desventaja de este sistema es la caída de volteje, esto se da por la resistencia del conductor utilizado. La instalación de este sistema, representa un mayor costo de materiales y mano de obra.

#### 4.3.5.3 Sensores de movimiento

Los sensores de movimiento son dispositivos que emiten y reciben señales, que detectan el movimiento en un área establecida. Los sensores tienen un emisor y receptor, que están conectados entre sí. Estos transmiten señales de radio en alta frecuencia, y emiten señales de aviso al detectar un movimiento.

Una de las acciones que realiza el sensor al detectar movimiento es encender la luminaria de manera automática, de igual manera la apaga al pasar el tiempo fijado en la configuración del sensor.

Los sensores de movimiento son ampliamente utilizados para la reducción del consumo de energía eléctrica, ya que, gracias a su uso, se ilumina ciertas áreas solo cuando existe presencia de personas, evitando el desperdicio de energía. Las áreas donde más son utilizados los sensores son: pasillos, gradas, jardines, parqueaderos y terrazas.

Existen 3 tipos principales de sensores de movimiento:

- Detectores de movimiento infrarrojos pasivos (PIR): este tipo de sensor emite luz infrarroja sobre los objetos que están en su campo de visión, y detecta algún cambio de radiación que se da en el ambiente por la presencia de una persona o un vehículo.
- Sensores de microondas: este sensor tiene una sensibilidad mayor al sensor PIR, esto gracias a que emiten una señal de microondas sobre su campo de visión, y detecta si existe alguna interferencia o distorsión por algún objeto o persona.
- Sensores de luz fotoeléctrica o crepuscular (PE): Este tipo de sensor crepuscular detecta la cantidad de luz sobre su área de visión. Por esto se utiliza para el encendido de luminarias en las noches dependiendo del nivel de luz.

#### 4.3.5.4 Detectores de Movimiento y Presencia

El control energético por movimiento en la actualidad representa la solución más efectiva para el ahorro de energía en edificios y sector residencial. Los sensores de presencia son dispositivos que detectan el movimiento dentro de su campo de acción. De acuerdo a su tecnología se clasifican en:

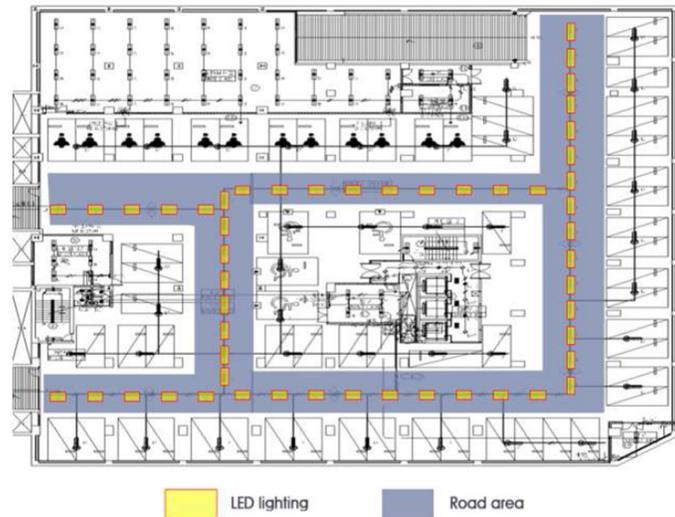
Tecnología PIR: su funcionamiento se basa en la detección de movimiento mediante la diferencia de temperatura que existe entre la temperatura del ambiente y la temperatura de la persona.

Tecnología microondas: los detectores de este tipo basan su funcionamiento en el efecto Doppler, el cual consiste en la variación de frecuencia entre las ondas emitidas y las ondas recibidas producto de la variación de movimiento.

Tecnología dual: es la combinación de tecnología PIR y de los ultrasonidos. En la actualidad es el detector más eficiente y tecnológico que existe en el mercado.

Dentro de los detectores PIR existen dos tipos, los de presencia y movimiento. Los dos funcionan bajo el mismo principio, identifican la radiación térmica que existe a su alrededor. La sensibilidad en los sensores es la principal diferencia que existe entre los sensores de presencia y los sensores de movimiento. Los detectores de presencia tienen sensores más sensibles que registran los cambios mínimos que se presenten en el ambiente. Por su parte los detectores de movimiento solo reaccionan ante grandes cambios que se den en el ambiente. Otra diferencia que presentan es que los detectores de movimiento miden la luminosidad una sola vez, y estos se accionan a pesar de que en algunas ocasiones la iluminación natural es suficiente para suplir las necesidades que se presenten en el ambiente, por otra parte, los detectores de presencia miden la luminosidad en repetidas ocasiones, lo que le permite estar evaluando constante si se pasa el valor de luminosidad programado, y se apagara la luz, aunque exista movimiento.

Para reducir el consumo de energía en determinadas áreas de la Universidad de Seúl, se aplicaron sensores presencia. Se tomó muestras por cuatro y seis semanas en un mismo espacio. Estas muestras fueron tomadas con y sin sensores para cuantificar el ahorro de energía. A continuación, se resume los estudios realizados a tres aulas y a un parqueadero de la universidad (Lee & Kim, 2020).



**Figura 19. Parqueadero subterráneo.**

**Fuente:** Lee & Kim, (2020)

Al ser los parqueaderos subterráneos lugares de alta demanda de iluminación, ver **Figura 19**, es necesario el ahorro de energía cuando no hay presencia de vehículos. Por ello, para este caso particular, se utilizó un sensor RF, para controlar luminarias de 40 W. Cuando el sensor detecta un vehículo moviéndose alrededor de los pasillos por donde circulan los automotores se eleva el nivel de la luminaria al 100%, para luego de que pase el vehículo lo reduce al 20% de la capacidad de la luminaria. El área del parqueadero era de 918,66 m<sup>2</sup>. Dicho experimento se realizó por seis semanas en las cuales se midió el consumo de energía con y sin el uso del sensor, ver la **Tabla 13**. Lee & Kim, (2020).

**Tabla 13.** Energía consumida en los parqueaderos de la Universidad de Seúl.

Semana	operación	Potencia acumulada (kWh)	Potencia por unidad de área (Wh/m <sup>2</sup> )
1	Apagado	327,60	356,61
2	Encendido	73,10	79,57
3	Apagado	327,70	356,72
4	Encendido	67,90	73,91
5	Apagado	327,40	356,39
6	Encendido	79,60	86,65

**Fuente:** Lee & Kim, (2020)

En la **Tabla 14** se indica los valores obtenidos de las pruebas realizadas, donde se evidencia un ahorro del 77.6% Lee & Kim, (2020).

**Tabla 14.** Energía consumida por día en los parqueaderos de la Universidad de Seúl.

	Sensor apagado (Wh/m <sup>2</sup> *día)	Sensor encendido (Wh/m <sup>2</sup> *día)	Porcentaje de energía guardado (%)
Prueba 1	50,90	11,4	77,70
Prueba 2	51,00	10,6	79,30
Prueba 3	50,9	12,4	75,70
Promedio	50,90	11,4	77,60

Fuente: Lee & Kim, (2020)

En el segundo caso se utilizó un sensor de presencia RF en las aulas para controlar la iluminación. Las aulas al tener variación en los horarios, se promedió el uso de las tres aulas dentro de las 4 semanas del experimento. Los sensores controlan 27 luminarias LED de 42W de potencia. En la **Tabla 15** se indica el consumo de energía eléctrica medio de las aulas con y sin sensor Lee & Kim, (2020).

**Tabla 15.** Consumo de energía eléctrica en aulas de la Universidad de Seúl.

		Sensor apagado (Wh/m <sup>2</sup> *día)	Sensor encendido (Wh/m <sup>2</sup> *día)	Tasa de ahorro (%)
Energía	Prueba 1	70,11	43,50	37,9
Luminosa	Prueba 2	84,16	60,74	27,8
	Promedio	77,14	52,12	32,4

Fuente: Lee & Kim, (2020)

En la **Tabla 15** se evidencia que, con el uso del sensor, se reduce el consumo de energía. En promedio con el uso del sensor se redujo el consumo de energía para iluminación en un 32.4% Lee & Kim, (2020).

## 5. Metodología

### 5.1 Área de trabajo

El lugar donde se realizó el diseño es el bloque A3 de la Universidad Nacional de Loja. Ubicado en la provincia de Loja, cabecera cantonal del Cantón Loja, en la Avenida Reinaldo Espinoza y Eduardo Kigman. El bloque A3 está ubicado en las coordenadas  $4^{\circ} 1.802' S$   $79^{\circ} 11.962' O$ , en la **Figura 20** se muestra la ubicación obtenida en Google Maps.



**Figura 20.** Ubicación del bloque 3 de la UNL.

**Fuente:** Google Maps (2024)

El bloque A3 de la UNL está conformado por tres plantas: planta baja, primera planta alta y segunda planta alta. Estas instalaciones son utilizadas como aulas. Cada planta tiene un área de aproximadamente 140 metros cuadrados y poseen sus respectivos tableros eléctricos, los cuales suministran energía a cada aula. Estos tableros son alimentados desde el tablero de medición, que a su vez se alimentan de un banco de tres transformadores monofásicos de 25 kVA colocados en un poste de hormigón armado.

Como detalle adicional, existe un tablero de medición especial, el cual registra la potencia que cada aula requiere para iluminar sus espacios: Estos datos son de utilidad ya que con los mismos podemos apreciar detalles importantes que nos ayuden a mejorar el diseño propuesto.

#### 5.1.1 Equipos

- Luxómetro
- Multímetro digital
- Laptop
- Cámara fotográfica

#### 5.1.2 Materiales

- Flexómetro de 50 metros

- Cuaderno de apuntes
- Juego de destornilladores y alicates

### 5.1.3 *Recursos tecnológicos*

- Autocad 2023
- Microsoft Office
- Dialux Evo 12

### 5.1.4 *Recursos humanos*

- Director de tesis
- Maestrante

## 5.2 **Procedimiento**

Para cumplir con el diseño, este trabajo fue dividido por etapas de acuerdo a los objetivos planteados de la siguiente manera.

### 5.2.1 *Primero objetivo*

El primer objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el sistema de iluminación interior existente del bloque A3 de la UNL. Para ello se llevó a cabo el levantamiento de información en sitio, se recorrió cada una de las aulas que conforman el bloque A3 de la UNL. Estas aulas fueron seleccionadas de manera intencional, debido a que las mismas están conectadas a un monitor de energía que tiene la capacidad de registrar y guardar datos para su posterior análisis.

El monitor de energía denominado Emporia Vue 2, ver **Figura 21**, permitió el monitoreo de energía 24 horas al día y acceso a una plataforma para revisión de datos en vivo.



**Figura 21. Monitor de energía.**

**Fuente:** (Vue: Gen 2 – Emporia Energy, 2024.)

A través de este recorrido se levantó información importante de cada aula, como dimensiones, altura, número de luminarias, entre otros. Con la finalidad de realizar los

cálculos respectivos para la generación de la malla de medición, esta malla permitió definir los puntos donde se realizó la medición de iluminación existente.

En cada piso del bloque A3 de la UNL existió un monitor de energía. Este equipo registra datos de potencia en cada una de las aulas. Estos datos resultaron importantes para identificar el comportamiento, uso y consumo de energía en cada una de las aulas del bloque A3.

#### 5.3.1.1 Medición de iluminación en las aulas que conforman el bloque A3 de la UNL

Para la medición de la iluminación existente en cada una de las aulas seleccionadas, se procedió a realizar el cálculo de la malla de trabajo referencial de medición de iluminación, con la ayuda de la ecuación 17. El luxómetro empleado para la medición de la iluminación existente fue el equipo AOPUTTRIVER AP-881D, se lo aprecia en la **Figura 22**.



**Figura 22.** Luxómetro AOPUTTRIVER AP-881D.

Los puntos referenciales de la malla de trabajo, a lo largo del eje X y Y, se calcularon utilizando la Figura 13.

#### 5.2.2 Segundo objetivo

El segundo objetivo de este trabajo fue proponer un diseño de iluminación interior eficiente y que cumpla con las normativas. Para ello, se llevaron a cabo las actividades asociadas al objetivo y se desarrolló lo siguiente:

Antes de iniciar el diseño se hizo una revisión de normativa existente, tanto local, como de otros países, como las que describimos continuación:

- Norma Europea UNE 12646 – 1
- Norma Mexicana NOM-007-ENER-2014

- Norma técnica EM.010 Instalaciones eléctricas interiores del Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú
- Norma Ecuatoriana de Construcción NEC.
- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), Colombia.
- Guía Técnica de eficiencia energética en Iluminación. Centros Docentes de España

Al revisar estas normativas, vemos que la gran mayoría de ellas presentan grandes similitudes. Sin embargo, la norma europea UNE 12646-1 y la Guía de técnicas de eficiencia energética en Iluminación constituyeron la base para este trabajo, debido a que ofrecieron información más detallada y específica en cuanto a iluminación de centros educativos.

Luego de la revisión de la normativa, resultó necesario diseñar un sistema de iluminación que cumpla con los cálculos de diseño y, a su vez, con los requisitos establecidos por la norma.

Con base a los datos obtenidos en el objetivo anterior, se procede a realizar los cálculos respectivos. Los cálculos fueron los siguientes:

- Cálculo de flujo luminoso
- Cálculo de luminarias
- Cálculo de coeficientes
- Cálculo de emplazamiento y altura de luminarias

Adicional a esto, se realizó una simulación de la iluminación interior proyectada y se verificó que el cálculo y diseños realizado cumplieran con lo solicitado por la normativa.

Se revisó el cumplimiento de la uniformidad de iluminancia  $U_o$ , el cumplimiento del índice de deslumbramiento unificado UGR y que índice de reproducción de color (Ra) estuviera dentro de los parámetros establecidos.

### 5.2.3 *Tercer objetivo*

El tercer objetivo del presente trabajo fue optimizar el sistema de iluminación mediante la aplicación de un sistema de control. Para lo cual se desarrolló lo siguiente:

Luego de la revisión de información, se optó por un sistema de control sencillo, práctico y de costo reducido. Se incorporó sensores de presencia a este diseño de iluminación.

Se eligieron sensores de presencia debido a su capacidad de detectar a personas en su área de influencia, incluso si la persona no está en movimiento. Se procedió a incorporar los sensores de presencia en cada aula, según las características técnicas y necesidades.

Se determinó la potencia instalada proyectada y la demanda estimada del diseño optimizado. Finalmente, se realizó un análisis financiero para determinar su viabilidad económica.

#### 5.2.3.1 Sistema de control de iluminación

Con la finalidad de reducir costo en facturas, incrementar la flexibilidad de la iluminación y reducir pérdidas, ha sido necesario agregar al sistema proyectado elementos que realicen encendido y apagado selectivo de la iluminación. Para ello, hemos elegido un sensor que nos ayude con esta tarea. El sensor de presencia, que podemos observar en la **Figura 23**, tiene una conexión básica y sencilla de realizar.

De acuerdo con la cobertura del sensor y sus características técnicas, hemos diseñado la ubicación y cantidad de sensores necesarios en cada una de las aulas.

El sensor de proximidad tiene un alcance de 6 metros a su alrededor, por lo cual es necesario usar uno o dos sensores por aula.



**Figura 23.** Sensor de presencia.

### 5.3 Procesamiento y análisis de datos

#### 5.3.1 *Primero objetivo*

##### 5.3.1.1 Levantamiento de información del bloque A3 de la UNL

La **Tabla 16** se muestran algunas de las características de las aulas del bloque A3 de la UNL, como los nombres, el número de aulas, la denominación, etc. Además, en el Anexo 2 se detalla el plano eléctrico, en el cual se puede observar la parte arquitectónica como la eléctrica del bloque.

**Tabla 16.** Información relevante del edificio A3 de la UNL.

Nombre	Número de aulas	Denominación	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)
		A312	6.5	4.25	27,63	
Planta Baja	4	A313	11.67	3.25	58.63	
		A314	4.6	4.5		2,8
		A315	6.85	4.28	29.32	
Primera Planta Alta	3	A322	5.85	4.28	25.04	
		A323	7.5	6.1	45.75	
		A324	7.5	5.7	42.75	2,8
Segunda Planta Alta	3	A332	10	6	60	
		A333	7.5	6.1	45.75	
		A334	7.5	5.7	42.75	2,8

En la **Tabla 17** se detallaron los circuitos de iluminación existentes en cada piso. Aquí se pueden observar los circuitos de iluminación existentes y el tablero del cual se derivan.

**Tabla 17:** Tableros y circuitos de iluminación del edificio A3 de la UNL.

Nombre	Tablero eléctrico	Iluminación
Planta Baja	TDS1A	CI - 1
		CI - 2
		CI - 3
		CI - 4
Primera Planta Alta	TDS2A	CI - 3
		CI - 4
		CI - 5
Segunda Planta Alta	TDS3A	CI - 1
		CI - 3
		CI - 4

En el Anexo 3 se adjuntó el cuadro de cargas, con la finalidad de complementar la información existente en la **Tabla 17**.

Con los datos obtenidos a lo largo de este punto, se obtuvo la información necesaria para simular la iluminación existente mediante el software DIALux Evo, ver Anexo 4.

### 5.3.1.2 Cálculo de iluminancia existente en las aulas del bloque A3 de la UNL

Antes de realizar la medición de iluminancia existente en cada aula, ha sido necesario calcular la malla de trabajo referencial. Para el cálculo de cada malla de medición, se ha utilizado la ecuación 17, con la cual se ha definido el tamaño de la malla de trabajo y el número de puntos de medición.

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10}(4,25)}$$

$$p = 0,54$$

Para calcular el número de puntos de medición en la dimensión X o Y, aplicamos la ecuación 18, obtenemos lo siguiente para el aula 312.

$$x = 4,25/0.498$$

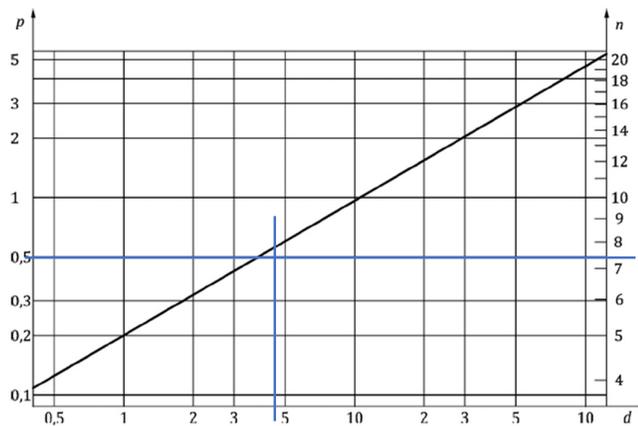
$$x = 11,82$$

$$y = 6,50/0.54$$

$$y = 7,73$$

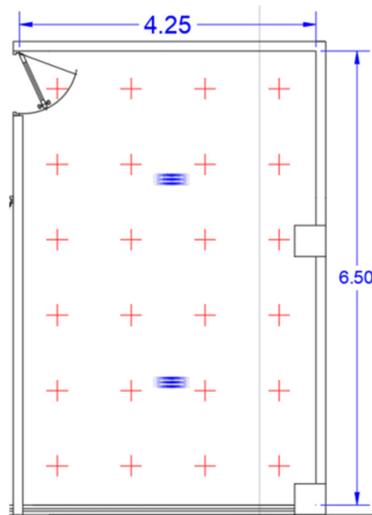
Según UNE-EN 12193:2020, (2020), debido a la cantidad grande de puntos de medición, se puede tomar un número reducido de puntos, generando una malla reducida. Esta nueva malla ha tomado en cuenta las mediciones cada dos puntos y no cada punto, como lo señalado anteriormente. De tal forma que la medición de puntos se reduce a la mitad. Por lo cual, en la **Figura 25** no se observa 8 mediciones a lo largo del eje X y 12 alrededor del eje Y, sino 4 y 6 mediciones respectivamente.

También se ha podido realizar el cálculo de manera gráfica, como se observa en la **Figura 24**. Aquí, el valor de d es 4,25 y p 0,54. De manera gráfica, podemos observar que el valor de n es 7,7, en este caso, para el número de puntos en la dirección X.



**Figura 24.** Número de puntos en la dirección relevante.

La **Figura 25** muestra el aula 312, ubicada en la planta baja del bloque A3 de la UNL. Aquí se pueden observar las dimensiones del aula y los diferentes puntos donde se han realizado las mediciones.



**Figura 25.** Puntos para las mediciones de iluminación en el aula 312.

**Tabla 18** muestra el resumen del cálculo realizado para cada una de las aulas.

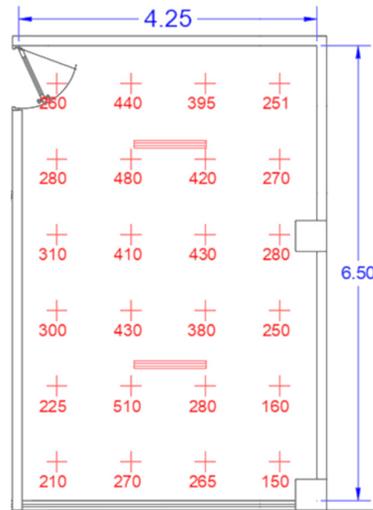
Como podemos observar, generalmente el valor de  $d$  es el ancho del aula, sin embargo, para el aula 313 dadas sus características, el valor de  $d$  es igual a 11,67. Este valor corresponde al largo del aula, lo cual se da debido a las condiciones dadas por la ecuación 17. Los datos de malla reducida son el número de puntos que constituyen la malla de trabajo; estos puntos son los que fueron usados para la medición de iluminación con el luxómetro.

**Tabla 18.** Resumen de cálculos para la malla de trabajo referencial.

Aulas	Ancho del Área de trabajo Y	Largo del Área de trabajo X	Relación	d	p	Puntos en el eje X	Puntos en el eje Y	Malla Reducida	
								Puntos en el eje X	Puntos en el eje Y
<b>Planta baja</b>									
A 312	4,25	6,50	1,53	4,25	0,55	11,82	7,73	6	4
A 313	3,25	11,67	3,59	11,67	1,11	10,48	2,92	6	3
A 314	4,28	6,85	1,60	4,28	0,55	12,40	7,75	6	4
A 315	4,28	5,85	1,37	4,28	0,55	10,59	7,75	5	4
<b>Primera planta alta</b>									
A 322	6,10	7,50	1,23	6,10	0,71	10,60	8,62	5	4
A 323	5,70	7,50	1,32	5,70	0,68	11,11	8,44	6	4
A 324	6,00	10,00	1,67	6,00	0,70	14,29	8,57	7	4
<b>Segunda planta alta</b>									
A 332	6,10	7,50	1,23	6,10	0,71	10,60	8,62	5	4
A 333	5,70	7,50	1,32	5,70	0,68	11,11	8,44	5	4
A 334	6,00	10,00	1,67	6,00	0,70	14,29	8,57	7	4

### 5.3.1.3 Medición de iluminación en las aulas que conforman el bloque A3 de la UNL

Primero se ha procedido a realizar el cálculo de las mallas de trabajo referencial, como se observa en la **Tabla 18**. Luego, hemos procedido a medir la iluminancia en cada uno de los puntos que nos indica la malla de trabajo reducida. Estos puntos se han medido a una altura de 0,80 metros desde el nivel del suelo. En la **Figura 26**, se observa el aula 312 y los luxes medidos en cada punto. Esta medición se ha realizado con el luxómetro AOPUTTRIVER AP-881D.



**Figura 26.** Mediciones de iluminación en el aula 312.

Los detalles de todas las mediciones realizadas se encuentran en el Anexo 5. Allí se detalla cada aula con los respectivos valores obtenidos.

### 5.3.1.4 Potencia instalada

En la **Tabla 19** se observan las características eléctricas de la iluminación que existe en cada aula. Existen luminarias LED tipo tubo 2x18 W y fluorescentes 2x32 W. También se puede observar que existen 65 luminarias instaladas en total en el bloque; de estas el 68 % son LED y el 32% son fluorescentes. A continuación, el detalle:

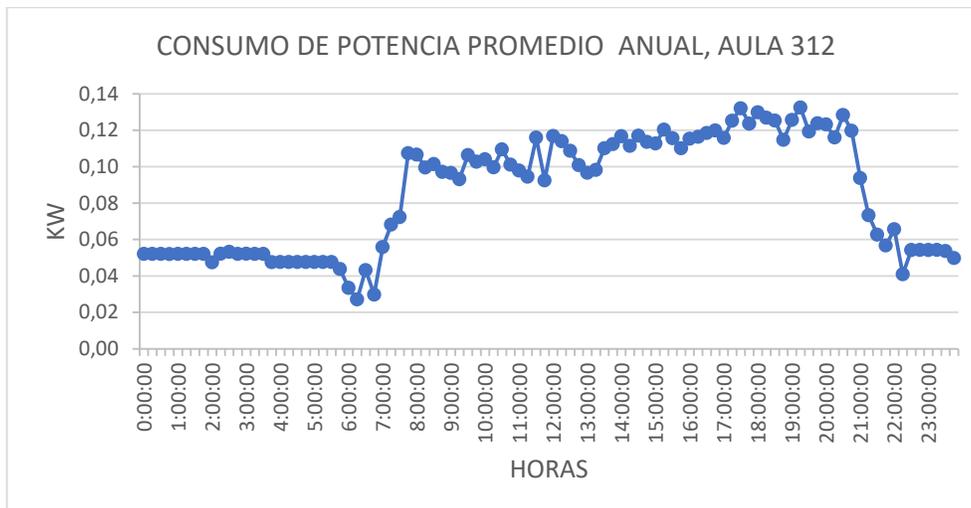
**Tabla 19.** Características eléctricas bloque A3 de la UNL.

Nombre	Aula	Tipo luminaria	Cantidad de luminarias	Potencia LED (w)	Potencia fluorescente (w)	Potencia total (w)
Planta Baja	A 312		0/2	0	128	
	A 313	LED /	5/0	153	0	525
	A 314	fluorescente	2/1	72	64	
	A 315		3/0	108	0	
Primera Planta	A 322	LED /	6/2	216	128	1132
	A 323	fluorescente	5/3	180	192	
	A 324		8/2	288	128	
Segunda Planta	A 332	LED /	7/1	252	64	1244
	A 333	fluorescente	3/5	108	320	
	A334		5/5	180	320	

El estado de las luminarias fluorescentes ha sido malo; deben ser remplazadas. Se ha observado que, a pesar de que algunas funcionan, las condiciones físicas no son las mejores.

#### 5.3.1.5 Potencia promedio anual del aula 312

Junto a cada uno de los tableros de iluminación, ha estado instalado el equipo Emporia Vue 2, cuya función es la de registrar la potencia cada 15 minutos. Esto ha permitido tener un registro detallado de horas y fechas de los datos registrados. A continuación, en la **Figura 27**, presentamos la potencia promedio durante un año de registro de datos del aula 312. El periodo de datos corresponde a la etapa de mayo de 2023 a abril de 2024.



**Figura 27.** Curva de potencia promedio del aula 312.

Al observar la **Figura 27**, se ha notado potencias fuera de horas laborables. Esto, si bien no está definido, puede haber sido causado por luminarias o equipos auxiliares en mal estado

o luminarias que no han sido apagadas; sin embargo, han generado pérdidas de energía. En el anexo 7 se tiene el detalle de la potencia promedio anual de cada uno de los pisos del bloque A3 de la UNL.

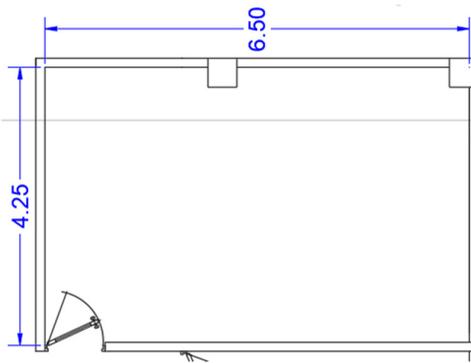
### 5.3.2 Segundo objetivo

#### 5.3.2.1 Cálculo del flujo luminoso

Por medio del cálculo, según el método de lúmenes, hemos realizado la deducción del flujo luminoso necesario para cada aula. Utilizamos la ecuación 4 aplicada al aula 312, mostrada en la **Figura 28**, de la siguiente manera:

$$\phi_T = \frac{500 \times (4,25 \times 6,50)}{0,82 \times 0,8}$$

$$\phi_T = 21055,64 \text{ lumenes}$$



**Figura 28.** Dimensiones del aula 312.

#### 5.3.2.2 Cálculo de las luminarias

Para el cálculo de luminarias, nos hemos basamos en la ecuación 5. Hemos definido el cálculo de luminarias del aula 312 de la siguiente manera:

$$NL = \frac{(21855,22)}{1 \times 3640}$$

$$NL = 6,004$$

Por lo cual, la cantidad de luminarias necesarias para iluminar el aula 312 ha sido de 6 luminarias.

#### 5.3.2.3 Cálculo de coeficientes

El valor del coeficiente de mantenimiento  $C_m$  puede variar entre 0,8 y 0,6 dependiendo de si está limpio o sucio, respectivamente. Para este cálculo elegimos 0.8.

Para calcular el coeficiente de utilización  $C_u$ , hemos aplicado la ecuación 10 para el cálculo del índice del local  $k$  del aula 312, así:

$$k = \frac{4,25 \times 6,50}{2,8 \times (4,25 \times 6,50)}$$

$$k = 0,92$$

Luego, se ha realizado el cálculo del índice del local  $k$ , es necesario utilizar los coeficientes de reflexión para luego usar la tabla de corrección y encontrar el coeficiente de utilización  $C_u$ . Para el techo y paredes, hemos utilizado los siguientes valores referenciales.

Techo blanco: 0,5 – 0,65

Paredes blanco: 0,7 – 0,85

Con estos valores y el valor de  $k = 0.92$ , hemos procedido a verificar el valor de  $k$  en la tabla de corrección, como se indica en la **Figura 29**. El promedio entre los valores 0,84 y 0,81 es 0,82; este es el valor que se ha usado para el coeficiente de utilización.

Techo	80			70			50		30			
Pared	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10
K	Coeficiente de utilización											
0	1.03	1.03	1.03	10.1	10.1	1.01	0.97	0.97	0.97	0.92	0.92	0.92
1	0.94	0.90	0.86	0.92	0.88	0.84	0.84	0.81	0.79	0.81	0.79	0.76
2	0.85	0.78	0.72	0.83	0.76	0.70	0.73	0.68	0.64	0.70	0.66	0.63
3	0.77	0.68	0.60	0.75	0.66	0.59	0.64	0.58	0.53	0.61	0.56	0.52

**Figura 29.** Tabla de corrección.

#### 5.3.2.4 Emplazamiento y altura de suspensión de luminarias

La ecuación 12 y 13 fueron utilizadas para calcular el número de luminarias a lo largo y ancho del aula. Para el aula 312, los cálculos realizados han sido los siguientes:

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{6}{6,50} \times 4,25}$$

$$N_{ancho} = 2$$

$$N_{largo} = 2 \times \frac{6,25}{4,25}$$

$$N_{largo} = 3$$

Como se ha observado en la columna de número de luminarias, muchos de los datos no fueron números enteros, sin embargo, podemos redondearlo para una aplicación práctica.

Para determinar la altura de montaje de las luminarias, hemos aplicado la ecuación 7, como estamos usando luminarias directas, la ecuación es la adecuada. Como estamos usando la misma luminaria para todo el edificio y la altura de cada piso es la misma, el valor que calculamos será el mismo para todas las aulas. El cálculo es el siguiente:

$$h = \frac{4}{5}(2,8 - 0,8)$$

$$h = 1,6 \text{ m}$$

Se define a h como la altura medida desde el plano de trabajo hacia el techo.

### 5.3.2.5 Evaluación de cálculos realizados

Para verificar que los datos calculados en los puntos anteriores han tenido validez, utilizamos la ecuación 14, la aplicamos a las características del aula 312 y se ha obtenido:

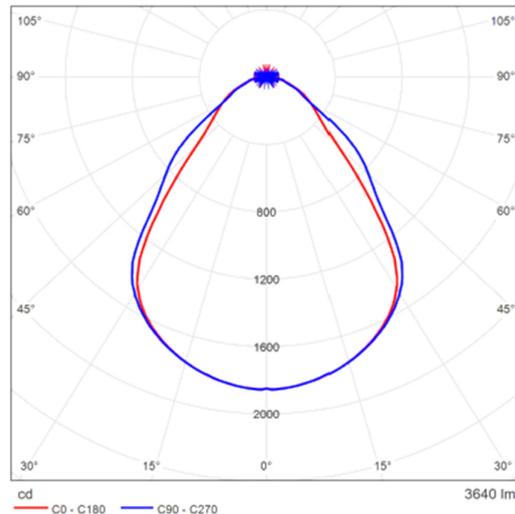
$$E_m = \frac{6 \times 1 \times 3640 \times 0,82 \times 0,8}{4,25 \times 6,50} \geq E_{tablas}$$

$$E_m = 518,63 \geq 500$$

Como se ha podido observar en el resultado anterior,  $E_m \geq 500$ ; por lo tanto, los cálculos realizados para el aula 312 se han cumplido.

### 5.3.2.6 Simulación de la iluminación proyectada

Para la simulación de la iluminación proyectada, se probó anteriormente con algunas luminarias de flujo luminoso directo. Una de las que mejores resultados dio fue la luminaria cuya fotometría se observa en la **Figura 30**.



**Figura 30.** Fotometría de la luminaria elegida para simular.

Fuente: (PANEL COMFORT 625 UGR<19 PS, n.d.)

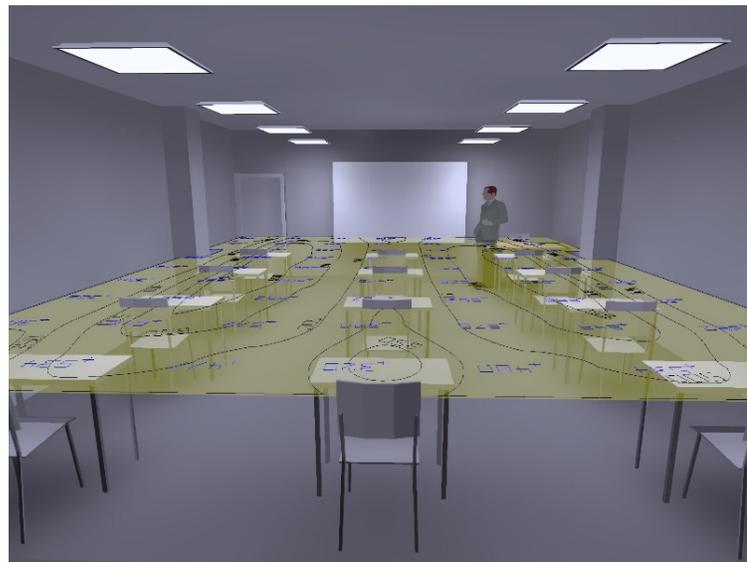
Además, la **Tabla 20** ha mostrado algunas de las características técnicas de la luminaria elegida. Una de las características fundamentales para la elección de esta luminaria ha sido el alto rendimiento lumínico.

**Tabla 20.** Características de la luminaria

Fabricante	Nombre del artículo	Número de lamparas	Potencia (w)	Flujo luminaria (lm)	Eficacia Luminosa (lm/w)
Ledvance	PANEL COMFORT 625 P 28W 840 U19 PS	1	28	3640	130

Fuente: (PANEL COMFORT 625 UGR<19 PS, n.d.)

Luego de definir la cantidad de flujo luminoso y la cantidad de luminarias, se ha procedido a realizar la simulación en el software de DIALux Evo. En este programa, hemos asignado las características físicas de las aulas para luego cargar luminarias previamente seleccionadas. Las luminarias seleccionadas han sido elegidas de acuerdo a las características de iluminación que se desea obtener. En la **Figura 31**, observamos el aula 322 simulada en DIALux Evo. Como se puede apreciar, existe una capa de referencia que determina la cantidad de iluminación que existe a la altura del área de trabajo. También podemos observar la disposición de las luminarias, para este caso, una disposición 4x2. En el caso particular de esta aula, la iluminación promedio alcanzada fue de 506 luxes y una uniformidad de 0,61, cumpliendo con los que solicita la norma.

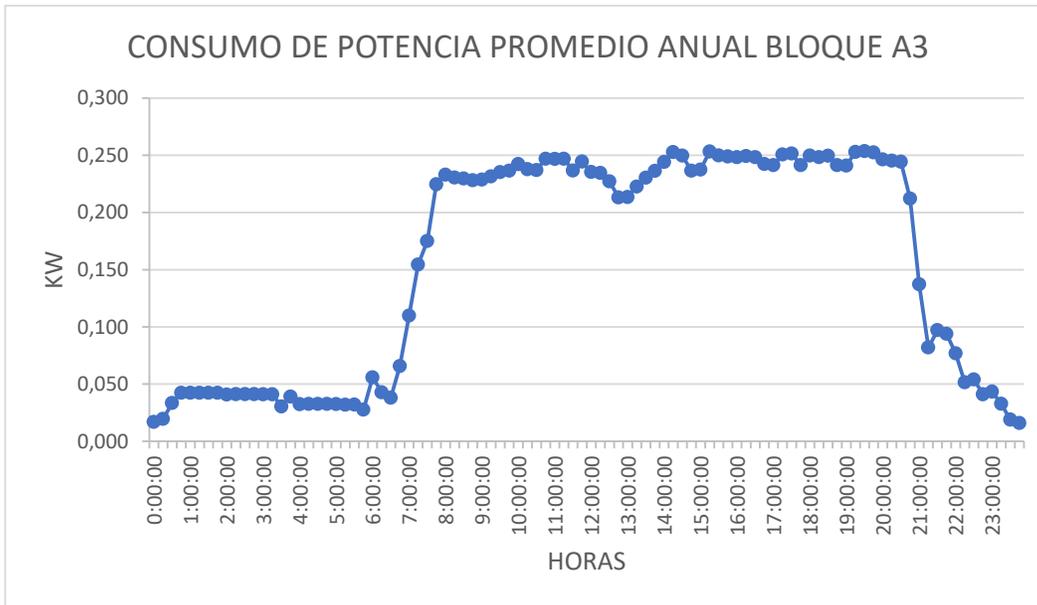


**Figura 31.** Simulación del aula 322 en el software DIALux.

### 5.3.3 Tercer objetivo

#### 5.3.3.1 Pérdidas de energía en las aulas del bloque A3.

En la **Figura 32** hemos observado la curva de potencia promedio correspondiente al bloque A3. Como se puede observar, las horas laborables empiezan desde las 7:00 a.m. hasta las 9h00 p.m., pero luego, de las 9:00 p.m. hasta las 6:59 a.m., existe un pequeño consumo debido a algunas luminarias que no se han apagado o quizá están en mal estado, lo cual genera consumo de energía y pérdidas económicas.



**Figura 32.** Potencia promedio correspondiente al bloque A3 de la UNL.

En base a los datos que se han obtenido del equipo monitor de energía Emporia Vue 2, se ha procedido a filtrar la información de las horas donde el personal no está dentro de la institución, es decir, en horas no laborables. En la **Tabla 21**, se observa un resumen de lo obtenido. De la energía utilizada para iluminación por parte de bloque A3, el 7,1 % de energía se ha desperdiciado, esto debido a que las luminarias no se han apagado o están en mal estado. Los datos de pérdidas por luminarias no apagadas se encuentran en el anexo 13.

**Tabla 21.** Pérdida de energía por no apagado de luminarias en horas no laborables.

Consumo de energía bloque A3 (kWh/año)	Pérdidas por luces no apagadas (kWh/año)	Porcentaje de energía por pérdida (%)	Costo anual por pérdida (\$)
3148,93	223,66	7,10	14,54

Además, se ha realizado un cálculo de las pérdidas causadas por los equipos auxiliares de las luminarias. Como se mencionó anteriormente, los equipos auxiliares, al ser antiguos

tienen un mayor consumo. La **Tabla 22** resume el porcentaje de pérdida anual y el costo de la energía. Los datos de pérdidas por equipos auxiliares se encuentran en el anexo 6.

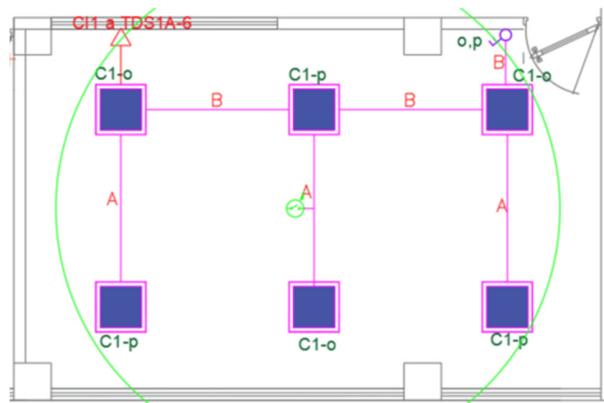
**Tabla 22.** Pérdida de energía por equipos auxiliares

Consumo de energía bloque A3 (kWh/año)	Pérdidas por equipos auxiliares (kWh/año)	Porcentaje de energía por pérdida (%)	Costo anual por pérdida (\$)
3148,93	516,73	16,41	33,59

### 5.3.3.2 Ubicación de sensores de presencia.

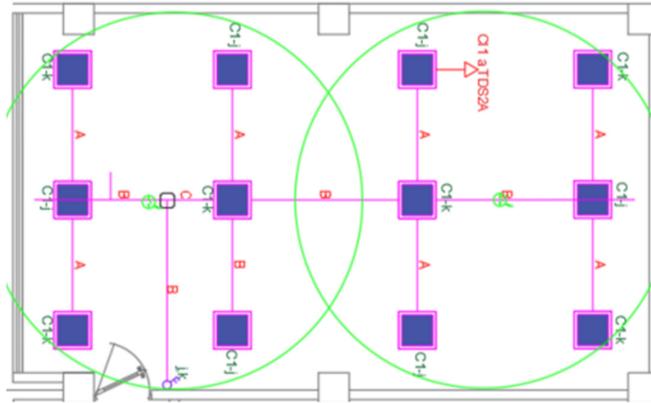
Se ha procedido a agregar sensores de presencia al circuito de iluminación que se ha diseñado. Dadas las características del sensor, el cual puede cubrir un área de 6 metros aproximadamente, se ha procedido a colocar sensores de la siguiente manera.

En la Figura 33 se ha observado la disposición de luminarias y del sensor de presencia. Como se puede apreciar, en este tipo de aula es suficiente la cobertura de todo el espacio con un solo sensor. Se ha colocado un interruptor doble para la manipulación de encendido y apagado manual. El color verde señala la cobertura aproximada del sensor.



**Figura 33.** Uso de sensor de presencia para aula tipo 1.

Para aulas que son más grandes, ha sido necesario el uso de dos sensores de presencia, de tal manera que cubran el mayor porcentaje del área. En la **Figura 34** se observa el aula 324, en donde se ha colocado dos sensores.



**Figura 34.** Uso de sensor de presencia para aula tipo 2.

Con la incorporación de sensores de movimiento al nuevo diseño, se ha proyectado reducir de forma total las pérdidas por luces encendidas en horarios no laborables, como nos lo ha mostrado la **Tabla 21**, en donde se puede apreciar que el 7,10 % de la energía se ha desperdiciado a causa de luminarias no apagadas.

### 5.3.3.3 Cálculo del VEEI y potencia instalada máxima de iluminación

Para este cálculo, hemos usado el aula 312 del bloque A3 como referencia. Mediante la ecuación 15, procedemos a calcular lo siguiente:

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_m}$$

$$VEEI = \frac{1,68 \times 100}{27,62 \times 585}$$

$$VEEI = 1,04$$

De la misma forma, para el aula 312, se ha calculado el valor de potencia máxima con la ayuda de la ecuación 16.

$$PMI = \frac{176,40}{27,62}$$

$$PMI = 6,39$$

Para el aula 312, la potencia máxima de iluminación ha sido de 6,39 w/m<sup>2</sup>; este valor está dentro de los rangos de la norma pide. En el anexo 8 se encuentra los detalles de los cálculos de la VEEI y PMI de las demás aulas.

#### 5.3.3.4 Índice de reproducción cromática (Ra) de la luminaria escogida

El valor de Ra de una luminaria comúnmente lo entrega el fabricante, ya que para su medición se necesita equipos especializados. Se ha adjuntado en la **Figura 35** un extracto de la tabla de características, en donde se aprecia el índice de reproducción cromática (Ra) para la luminaria. Este índice es correcto y está dentro de lo sugerido por norma.

Datos fotométricos	
Flujo luminoso	3640 lm / 3250 lm / 2900 lm <sup>1)</sup>
Eficacia luminosa	130 lm/W <sup>1)</sup>
Temperatura de color	4000 K
Tono de luz (denominación)	Blanco neutro
Índice de reproducción cromática Ra	> 80
Desviación estándar de ajuste de color	≤3 sdcn
Libre de flickering	Sí
Valor del Flickering Pst LM	<1
Valor del efecto del estroboscópico SVM	< 0.4
Grupo de seguridad fotobiológica EN62778	RG0
Ángulo de radiación	90 °
UGR longitudinal	< 19

**Figura 35. Características técnicas de la luminaria.**

**Fuente:** (PANEL COMFORT 600 UGR<19 PS, n.d.)

#### 5.3.3.5 Índice de deslumbramiento UGR

A continuación, en la **Figura 36** se observa el UGR obtenido para el aula 312 simulado en el programa DIALux Evo. La cantidad de deslumbramiento del aula ha sido de 16.7, y está dentro de lo que la norma pide como nivel máximo. En el Anexo 14, se puede observar los índices de cada aula, y como se puede verificar, los mismos están dentro de la norma.

UGR 312 (UGR)	
Máx. deslumbramiento a	225°
máx	16.6
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG6

**Figura 36. UGR para el aula 312 del bloque A3.**

## 6. Resultados

### 6.1.1 Primer Objetivo

#### 6.1.1.1 Potencia instalada y potencia de equipos auxiliares.

La **Tabla 23** muestra un resumen de la potencia instalada en el bloque A3. Han existido 2901 W instalados para iluminación. Al realizar el cálculo de la potencia consumida por el equipo auxiliar de las luminarias, hemos observado que la potencia consumida en estos elementos ha sido de 569,55 W. Esto se ha dado en gran porcentaje debido a la existencia de luminarias fluorescentes con arrancadores antiguos. Este elemento ha consumido alrededor del 25 % de la potencia de la luminaria, lo cual ha resultado muy ineficiente. En porcentajes, el 16,41 % de la potencia se ha perdido en los elementos auxiliares. A continuación, en la **Tabla 23** se ha mostrado la potencia instalada en cada aula y la potencia instalada más la potencia del equipo auxiliar.

**Tabla 23.** Potencia instalada y potencia de equipos auxiliares.

Planta	Aula	Potencia LED (w)	Potencia fluorescente (w)	Potencia instalada (w)	Potencia equipos Aux. (w)	Potencia total (w)
Planta Baja	A 312	0	128	128	32,00	160,00
	A 313	153	0	153	22,95	175,95
	A 314	72	64	136	26,80	162,80
	A 315	108	0	108	16,20	124,20
Primera Planta Alta	A 322	216	128	344	64,40	408,40
	A 323	180	192	372	75,00	447,00
	A 324	288	128	416	75,20	491,20
Segunda Planta Alta	A 332	252	64	316	53,80	369,80
	A 333	108	320	428	96,20	524,20
	A334	180	320	500	107,00	607,00
Total				2901	569,55	3470,55

#### 6.1.1.2 Iluminación y uniformidad existente.

Ha existido una mezcla entre luminarias LED y fluorescentes, por lo que algunas aulas no han tenido un nivel de uniformidad adecuado. La **Tabla 24** ha mostrado el índice de uniformidad simulado para cada aula del bloque.

**Tabla 24.** Uniformidad existente en las aulas del bloque A3 de la UNL.

Nombre	Aula	Um existente
Planta Baja	A 312	0,58
	A 313	0,35
	A 314	0,49
	A 315	0,51
Primera Planta Alta	A 322	0,58
	A 323	0,56
	A 324	0,36
Segunda Planta Alta	A 332	0,60
	A 333	0,57
	A334	0,38

Como hemos observado, nueve de los diez valores de las mediciones de uniformidad no han cumplido con el nivel mínimo solicitado.

En la **Tabla 25** hemos podido ver el resumen de la iluminancia media en cada aula; además se ha observado el valor de teórico sugerido por la norma UNE 12464.1 UNE-EN 12464-1:2022 Luz e Iluminación, (2022).

**Tabla 25.** Iluminancia media existente en las aulas del bloque A3 de la UNL.

Nombre	Aula	Iluminancia Media medida (lx)	Iluminancia Norma UNE 12464-1 (lx)
Planta Baja	A 312	195	500
	A 313	152	
	A 314	157	
	A 315	136	
Primera Planta Alta	A 322	316	
	A 323	406	
	A 324	246	
Segunda Planta Alta	A 332	282	
	A 333	306	
	A334	443	

Como se ha podido observar en los datos de la tabla 25, ninguna de las aulas ha cumplido con las características sugeridas por la norma. Los datos de la simulación existente están en el anexo 4.

### 6.1.1.3 Energía consumida por el sistema actual.

En la **Tabla 26** se ha podido observar la potencia instalada, el consumo de energía mensual de cada aula y el consumo de energía por planta.

**Tabla 26.** Energía consumida por el bloque A3.

Planta	Aula	Potencia instalada (W)	Energía (kWh/año)	Energía (kWh/año)
Planta Baja	A 312	160,00	109,90	
	A 313	175,95	128,35	
	A 314	162,80	110,97	394,56
	A 315	124,20	45,34	
Primera Planta Alta	A 322	408,40	445,83	
	A 323	447,00	374,66	1245,24
	A 324	491,20	424,76	
Segunda Planta Alta	A 332	369,80	398,54	
	A 333	524,20	456,41	1509,13
	A334	607,00	654,17	

La planta baja ha tenido un consumo de 394,56 kWh/año, lo cual ha representado el 12,53 % de la energía consumida. La primera planta alta ha consumido 1245,24 kWh/año, lo que ha representado el 39,54 %, y la segunda planta alta ha consumido 1509,13 kWh/año, representando el 47,92 %.

El costo de la energía consumida por cada piso se lo detalla en la **Tabla 27**. El precio del kWh ha sido de 0,065 dólares. Este valor ha resultado menor que el de un usuario residencial o comercial, debido a que la universidad tiene una tarifa de beneficiario público. Se puede apreciar el costo por piso y el costo final del bloque A3 de la UNL.

**Tabla 27.** Energía consumida por el bloque A3.

Planta	Energía (kWh/año)	Costo kWh (\$)	Costo por piso anual (\$)	Costo anual bloque A3 de la UNL (\$)
Planta Baja	394,56		40,64	
Primera Planta Alta	1245,24	0,065	128,26	204,68
Segunda Planta Alta	1509,13		155,44	

## 6.1.2 Segundo Objetivo

### 6.1.2.1 Flujo luminoso de las aulas del bloque A3

Se ha aplicado la ecuación 4 a cada una de las aulas. La **Tabla 28** ha resumido el cálculo del flujo luminoso para todas las aulas del bloque A3.

**Tabla 28.** Resumen del flujo luminoso proyectado del bloque A3 de la UNL.

Aulas	Ancho (m)	Largo (m)	$C_v$	$C_m$	Superficie (m <sup>2</sup> )	$E_m$	Flujo Luminoso (lumens)
<b>Planta Baja</b>							
A 312	4,25	6,50	0,82	0,8	27,62	500	21055,6
A 313-parte 1	3,25	11,67	0,82	0,8	37,92	500	28908,1
A 313-parte 2	4,50	4,60	0,82	0,8	20,70	500	15777,4
A 314	4,28	6,85	0,82	0,8	29,31	500	22346,0
A 315	4,28	5,85	0,82	0,8	25,03	500	19083,84
<b>Primera planta alta</b>							
A 322	6,10	7,50	0,82	0,8	45,75	500	40848,21
A 323	5,70	7,50	0,82	0,8	42,75	500	38169,64
A 324	6,00	10,00	0,82	0,8	60	500	53571,43
<b>Segunda planta alta</b>							
A 332	6,10	7,50	0,82	0,8	45,75	500	40848,21
A 333	5,70	7,50	0,82	0,8	42,75	500	38169,64
A 334	6,00	10,00	0,82	0,8	60,00	500	53571,43

#### 6.1.2.2 Número de luminarias para cada aula

Hemos aplicado la ecuación 5 para el cálculo de luminarias. La **Tabla 29** ha mostrado el cálculo de luminarias para el resto de aulas del bloque A3.

**Tabla 29.** Cálculo de luminarias para cada aula del bloque.

Aulas	Flujo Luminoso (lumens)	Flujo luminoso Luminaria	Número de lamparas	Número total de luminarias Cálculo / redondeó
<b>Planta Baja</b>				
A 312	21055,64	3640	1	5,78 6
A 313-parte 1	28908,16	3640	1	7,94 8
A 313-parte 2	15777,16	3640	1	4,33 4
A 314	22346,04	3640	1	6,13 6
A 315	19083,84	3640	1	5,24 5
<b>Primera planta alta</b>				
A 322	34905,54	3640	1	9,60 10
A 323	32583,84	3640	1	8,95 9
A 324	45731,71	3640	1	12,56 13
<b>Segunda planta alta</b>				
A 332	34870,43	3640	1	9,57 10
A 333	32583,84	3640	1	8,95 9
A 334	45731,71	3640	1	12,56 13

### 6.1.2.3 Coeficiente de utilización e índice de local k

En la **Tabla 30** hemos observado el resumen de los cálculos realizados para el índice del local y coeficiente de utilización. Se ha aplicado la tabla de corrección que se aprecia en la **Figura 29** para obtener estos datos.

**Tabla 30.** Cálculo de índice del local y coeficiente de utilización.

<b>Aulas</b>	<b>Ancho (a)</b>	<b>Largo (b)</b>	<b>Altura (h)</b>	<b>K</b>	<b>Cu</b>
<b>Planta Baja</b>					
A 312	4,25	6,50	2,8	0,92	0,82
A 313-parte 1	3,25	11,67	2,8	0,91	0,82
A 313-parte 2	4,50	4,60	2,8	0,81	0,82
A 314	4,28	6,85	2,8	0,94	0,82
A 315	4,28	5,85	2,8	0,88	0,82
<b>Primera planta alta</b>					
A 322	6,10	7,50	2,8	1,20	0,82
A 323	5,70	7,50	2,8	1,16	0,82
A 324	6,00	10,00	2,8	1,34	0,82
<b>Segunda planta alta</b>					
A 332	6,10	7,50	2,8	1,20	0,82
A 333	5,70	7,50	2,8	1,16	0,82
A 334	6,00	10,00	2,8	1,34	0,82

### 6.1.2.4 Disposición y altura de luminarias

Luego de aplicar la ecuación 12 y 13 hemos obtenido el cálculo de la ubicación de las luminarias en cada aula. En la **Tabla 31** tenemos el detalle de las luminarias que se han colocado en cada aula. Los datos obtenidos han sido redondeados para cumplir con la disposición real en el aula.

**Tabla 31.** Cálculo de número de luminarias a lo ancho y largo de cada aula.

Aulas	Ancho (a)	Largo (b)	Número total de luminarias	Número de luminarias ancho	Número de luminarias largo
<b>Planta Baja</b>					
A 312	4,25	6,50	6	2	3
A 313-parte 1	3,25	11,67	8	2	4
A 313-parte 2	4,50	4,60	4	2	2
A 314	4,28	6,85	6	2	3
A 315	4,28	5,85	6	2	3
<b>Primera planta alta</b>					
A 322	6,10	7,50	10	3	3
A 323	5,70	7,50	9	3	3
A 324	6,00	10,00	13	3	4
<b>Segunda planta alta</b>					
A 332	6,10	7,50	10	3	3
A 333	5,70	7,50	9	3	3
A 334	6,00	10,00	13	3	4

Luego de aplicar la ecuación 7, hemos obtenido un cálculo de la altura de las luminarias en cada aula, descrito en la **Tabla 32**.

**Tabla 32.** Cálculo de la altura de suspensión de luminarias

Aulas	h'	H	C	h	H'
<b>Planta Baja</b>					
A 312	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
A 313-parte 1	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
A 313-parte 2	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
A 314	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
A 315	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
<b>Primera planta alta</b>					
A 322	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
A 323	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
A 324	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
<b>Segunda planta alta</b>					
A 332	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
A 333	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4
A 334	0,8	2,8	4/5	1,6	2,4

El resumen de cálculos de alturas para todas aulas se encuentra en la **Tabla 32**, siendo el valor de  $h = 1,6$  metros. El valor de  $H'$  es el valor medido desde el suelo hacia la dirección del techo.

### 6.1.2.5 Evacuación de iluminancia media para las aulas del bloque A3

Luego de aplicar la ecuación 14 a cada aula, en la **Tabla 33** detallamos los cálculos de iluminancia media para las aulas del bloque A3.

**Tabla 33.** Cálculo de Iluminancia media

Aulas	Ancho (a)	Largo (b)	Area	Número total de luminarias	n	Flujo Luminoso Luminaria	Cu	Cm	Em
A 312	4,25	6,50	27,63	6,0	1,0	3640	0,82	0,80	518,63
A 313- parte 1	3,25	11,67	37,93	8,0	1,0	3640	0,82	0,80	482,54
A 313- parte 2	4,50	4,60	20,70	4,0	1,0	3640	0,82	0,80	
A 314	4,28	6,85	29,32	6,0	1,0	3640	0,82	0,80	488,68
A 315	4,28	5,85	25,04	5,0	1,0	3640	0,82	0,80	572,21
A 322	6,10	7,50	45,75	10,0	1,0	3640	0,82	0,80	521,93
A 323	5,70	7,50	42,75	9,0	1,0	3640	0,82	0,80	502,70
A 324	6,00	10,00	60	13,0	1,0	3640	0,82	0,80	517,37
A 332	6,10	7,50	45,75	10,0	1,0	3640	0,82	0,80	521,93
A 333	5,70	7,50	42,75	9,0	1,0	3640	0,82	0,80	502,70
A 334	6,00	10,00	60,00	13,0	1,0	3640	0,82	0,80	517,37

### 6.1.2.6 Datos obtenidos a partir de la simulación de iluminación interior

Una vez realizado el diseño y cálculos, se ha procedido a realizar la simulación de la iluminación en cada una de las aulas del bloque A3. Las características de la luminaria están descritas en la **Tabla 19**. En la **Tabla 34** se observa los datos fotométricos obtenidos en el software DIALux Evo. Como se puede observar, los datos de iluminación supera los 500 lux solicitados por la norma; además, la uniformidad en todos los casos es superior a 0,6, cumpliendo así con los parámetros de la norma.

**Tabla 34.** Iluminancia media proyectada en las aulas del bloque A3 de la UNL.

Nombre	Aula	Iluminancia Media medida (lx)	Uniformidad Um
Planta Baja	A 312	588	0,71
	A 313	568	0,62
Primera Planta Alta	A 314	511	0,69
	A 315	586	0,73
	A 322	506	0,61
Segunda Planta Alta	A 323	505	0,62
	A 324	521	0,68
Tercera Planta Alta	A 332	502	0,60
	A 333	524	0,62
	A334	501	0,75

El detalle de las simulaciones realizadas se las puede observar en el anexo 14.

La **Tabla 35** nos ha mostrado las características eléctricas del diseño de iluminación proyectado y simulado en DIALux Evo. Como se observa, los datos de cantidad de luminarias han diferido en comparación con la **Tabla 31**, esto se ha debido a los cambios en la configuración de la disposición de luminarias al momento de realizar la simulación; una nueva configuración redujo la cantidad de luminarias necesarias para iluminar las aulas de manera adecuada, además una fotometría adecuada ayuda obtener una mejor iluminancia.

La **Tabla 35** nos ha mostrado la potencia instalada proyectada en cada una de las aulas del bloque A3, como se puede observar, la potencia por equipos auxiliares es muy inferior a la potencia en la instalación existente. La potencia por equipos auxiliares es 116,2 W y representa el 4.76 % de la potencia total.

La potencia en equipos auxiliares en la instalación existente, como se observó en la **Tabla 22** ha sido de 569,55 W. En porcentajes se ha reducido las pérdidas por equipos auxiliares en un 79,59 %.

**Tabla 35.** Características eléctricas proyectadas del bloque A3 de la UNL.

Nombre	Aula	Cantidad de luminarias	Potencia LED (W)	Potencia total (W)	Potencia equipo Aux. (W)	Potencia total (W)
Planta Baja	A 312	6	28	168	8,4	176,4
	A 313	9	28	252	12,60	264,6
	A 314	6	28	168	8,4	176,4
	A 315	6	28	168	8,4	176,4
Primera	A 322	8	28	224	11,20	235,20
Planta Alta	A 323	8	28	224	11,20	235,20
	A 324	12	28	336	16,80	352,80
Segunda	A 332	8	28	224	11,20	235,20
Planta Alta	A 333	8	28	224	11,20	235,20
	A334	12	28	336	16,80	352,80
Total		83		2324,00	116,20	2440,20

Al revisar la Tabla 36 y comparar la potencia instalada existente con la potencia instalada proyectada, hemos observado que existe 1030,35 W menos proyectados. Se ha disminuido la potencia instalada en un 29,68%.

**Tabla 36.** Comparación de potencia instalada y potencia instalada proyectada

Planta	Aula	Instalación existente. Potencia instalada + pérdidas (W)	Instalación proyectada. Potencia instalada + pérdidas (W)	Ahorro de potencia (W)
	A 312	160,00	176,4	-16,40
Planta	A 313	175,95	264,6	-88,65
Baja	A 314	162,80	176,4	-13,60
	A 315	124,20	176,4	-52,20
Primera	A 322	408,40	235,20	173,20
Planta Alta	A 323	447,00	235,20	211,80
	A 324	491,20	352,80	138,40
Segunda	A 332	369,80	235,20	134,60
Planta Alta	A 333	524,20	235,20	289,00
	A334	607,00	352,80	254,20
Total		3470,55	2440,20	1030,35

#### 6.1.2.7 Energía proyectada en el nuevo sistema

Luego de haber realizado los respectivos cálculos y simulaciones y haber verificado que los datos obtenidos cumplen con la normativa, se ha procedido a realizar una proyección de la energía que se consume en el bloque A3.

En la **Tabla 37** hemos podido observar la potencia instalada proyectada, el factor de diversidad, las horas de trabajo promedio y el consumo de energía mensual proyectado de cada aula.

**Tabla 37.** Energía proyectada mensual.

Planta	Aula	Potencia instalada (W)	Factor de diversidad	Horas trabajo promedio	Energía /mes (kWh)
	A 312	176,40	0,35	12,00	14,82
Planta	A 313	264,60	0,35	12,00	22,23
Baja	A 314	176,40	0,35	12,00	14,82
	A 315	176,40	0,35	12,00	14,82
0Primera	A 322	235,20	0,5	14,00	32,93
Planta	A 323	235,20	0,5	14,00	32,93
Alta	A 324	352,80	0,5	14,00	49,39
Segunda	A 332	235,20	0,5	14,00	32,93
Planta	A 333	235,20	0,5	14,00	32,93
Alta	A334	352,80	0,5	14,00	49,39

En la **Tabla 38** se ha realizado la valoración económica mensual y anual de cada piso del bloque A3 de la UNL según la energía proyectada en la tabla anterior.

**Tabla 38.** Energía consumida por el bloque A3.

Planta	Energía (kWh/año)	Costo kWh (\$)	Costo por piso mensual (\$)	Costo por piso anual (\$)	Costo anual bloque A3 de la UNL (\$)
Planta Baja	66,68		4,33	43,34	
Primera Planta Alta	115,25	0,065	7,49	74,91	193,16
Segunda Planta Alta	115,25		7,49	74,91	

Los detalles de la Tabla 37 y 38 se pueden encontrar en el anexo 9.

### 6.1.3 Tercer Objetivo

Con la incorporación de luminarias nuevas, la reducción de la potencia instalada, la reducción de potencia de equipos auxiliares y la reducción de pérdidas de energía a causa de luminarias no apagadas, se ha proyectado los siguientes consumos de energía.

En la **Tabla 39** se ha mostrado la potencia de los equipos auxiliares que existe en las luminarias instaladas actualmente. Además, se ha podido apreciar la potencia de los equipos auxiliares proyectados. Como se ha observado en la proyección realizada, la potencia de equipos auxiliares se ha reducido en 453,35 W, lo cual representa un ahorro anual de \$ 24,39.

**Tabla 39.** Potencia existente y proyectada de equipos auxiliares.

Aulas	Potencia actual de equipos auxiliares (W)	Potencia proyectada de equipos auxiliares (W)	Reducción de potencia (W)	Costo de energía Anual (\$)
Bloque A3	569,55	116,20	453,35	24,39

Otro de los puntos importantes que se ha analizado es la reducción de consumo de energía con la implementación de sensores de presencia. Como se ha observado en la **Tabla 21**, el 7,1 % de la energía se pierde debido a que las personas no apagan las luminarias. Al incorporar sensores de presencia, hemos reducido este problema y hemos ahorrado energía. La **Tabla 40** muestra la energía que se ha desperdiciado anualmente y su costo.

**Tabla 40.** Energía perdida en horario no laborable.

Aulas	Energía perdida (kWh/año)	Costo de energía Anual (\$)
Bloque A3	223,66	14,54

Finalmente tenemos la intervención de los sensores de presencia en horarios laborables. Muchas veces, los estudiantes han tenido actividades en otros espacios, como prácticas en los laboratorios, horarios de almuerzo y horas que no han tenido clases, por

ejemplo, pero no han desconectado las luminarias de las aulas. Por lo cual, hemos proyectamos el ahorro de energía de la siguiente manera. En la **Tabla 41** se ha observado la reducción de 962,84 kWh con la implementación de sensores de presencia al diseño propuesto, lo cual representa \$ 62,59 del total del costo anual de energía consumida. Tal como se ha demostrado en la Tabla 15, en donde se ha verificado la reducción de consumo de energía en un promedio de 32,4 % al aplicar sensores de presencia en las aulas de la Universidad de Seúl.

**Tabla 41.** Energía ahorrada por uso de sensores.

Aulas	Energía proyectada anualmente (w)	Porcentaje de energía ahorrada con sensores (%)	Reducción de energía (kWh)	Costo de energía Anual (\$)
Bloque A3	2971,75	32,40	962,84	62,59

Luego de haber realizado el diseño de iluminación que cumpla con la normativa, confort y eficiencia energética, hemos procedido a optimizar este diseño. Como se expuso anteriormente, los elementos como sensores de presencia nos han generado ahorro de energía gracias a sus prestaciones. A continuación, en la **Tabla 42** se ha detallado el consumo de energía proyectado, tomando en cuenta la implementación de los sensores de presencia y cambio de luminarias.

**Tabla 42.** Costo de energía anual proyectada.

Aulas	Costo anual proyectado (\$)	Ahorro por sensores (\$)	Ahorro por horas no laborables (sensores) (\$)	Ahorro por equipos auxiliares (\$)	Ahorro total de energía (\$)	Costo energía anual (\$)
Bloque A3	193,16	62,59	14,54	24,39	101,51	91,65

Al revisar la **Tabla 27**, hemos observado que la cantidad de dinero pagada anualmente por consumo de energía es de \$ 204,68. La **Tabla 42** ha detallado el valor estimado a pagar anualmente por consumo de energía, ha sido de \$ 91,65. Si comparamos estos dos últimos valores, concluimos que la iluminación proyectada disminuye el costo anual de energía en 55,22%. Generando anualmente un ahorro de \$ 113,03. Estos datos han sido detallados en el anexo 10.

### 6.1.3.1 Análisis financiero

Para poder realizar la instalación de luminarias y sensores en todo el bloque A3 de la UNL, ha sido necesario una inversión de \$ 1917,30. El ahorro anual de energía es de \$ 113,03. La vida útil del proyecto ha sido de 15 años, esto debido a la vida útil de las luminarias. Se ha considerado una tasa de interés del 8,25 tomada de las tasas de intereses del Banco Central, ver **Tabla 43**. Se ha obtenido lo siguiente:

**Tabla 43.** Análisis financiero.

VAN	TIR	Periodo de retorno
-964,42	-1,50	43,02

Como se ha podido observar, el valor del VAN ha sido negativo. El valor del TIR ha sido menor a la tasa de interés. El periodo de retorno ha sido mayor a 15 años. Los detalles de este análisis están presentes en el anexo 11.

### 6.1.3.2 Análisis financiero complementario

Se ha optado en este análisis al cambio de las luminarias solo de la segunda planta alta del bloque A3 de la UNL. Además, se ha implementado sensores de presencia en cada una de las aulas de la planta baja y primera planta. En base a esto se realiza una inversión de \$ 829,60. La **Tabla 44** se observa el análisis financiero complementario para este caso.

**Tabla 44.** Análisis financiero complementario.

VAN	TIR	Periodo de retorno
74,56	9,71	12,72

El VAN obtenido ha sido positivo. El valor del TIR de 9,71 ha sido superior al valor de la tasa. El valor de retorno ha sido de 12,72 años. Al implementar cambios de luminarias solamente en la segunda planta y la implementación de sensores en todo el edificio, se genera un ahorro económico de \$ 107,25. Lo cual representa un 53% menos de dinero a cancelar anualmente. Los detalles de estos análisis se encuentran en el anexo 12.

### 6.1.3.3 Diferencias entre los análisis financieros realizados

Se ha tomado como premisa que ha sido necesario realizar una mejora en la iluminación de las aulas del bloque A3 de la UNL, ante los datos expuestos en este trabajo, ha existido una base sólida para dicha afirmación. Sin embargo, al haber planteado un

cambio de luminarias e implementación de sensores de presencia en todo el bloque A3 de la UNL, nos hemos dado cuenta que la inversión inicial para el proyecto no tiene un tiempo de retorno adecuado, como lo ha mostrado la **Tabla 43**, por lo cual ha sido importante replantear el proyecto.

Es así que se ha planteado un análisis financiero complementario. En este análisis, se ha propuesto el cambio de luminarias solamente en las aulas de la segunda planta y la implantación de sensores de presencia en todas las aulas del bloque A3. Con eso, se ha buscado que la evaluación financiera del proyecto sea viable y rentable. El análisis financiero complementario ha arrojado valores positivos, como los mostrados en la Tabla 44, lo cual nos da una nueva estrategia para el cambio de luminarias en el bloque A3 de la UNL.

## 7. Discusión

En el bloque A3 de la UNL existen 10 aulas. En total, hay 65 luminarias instaladas, entre LED y fluorescentes; de estas el 68 % son luminarias LED y el resto, fluorescente. Al revisar la iluminación media en cada aula, ninguna de las aulas cumple con los parámetros establecidos por la norma UNE 12464-1-2022, que establece un valor de iluminación de 500 lx. Estas mediciones se las realizó en horas de la tarde (15h00 a 18:00), resultados disimiles a los reportados por Xavier et al., (2024) en el bloque 3 de la FEIRNNR, se realizó la medición de tres aulas del bloque, una de cada piso, en tres horarios diferentes. De las mediciones realizadas, el 61% no cumplieron con lo solicitado por la norma, que establece 300 lx para su caso. Las características de las luminarias existentes cambiaron, la potencia instalada fue diferente. Sin embargo, la medición de iluminación realizada por nuestro estudio incluyó diez aulas del bloque, y se utilizó un luxómetro, un equipo adecuado para este tipo de mediciones.

Los resultados obtenidos son positivos; a pesar de que la metodología no fue la misma, las mediciones demostraron que la iluminación de las aulas del bloque A3 de la UNL no cumplen con los estándares establecidos por las normas.

(Fernando & Mendoza, 2022) realizó un estudio de eficiencia energética en el sistema de iluminación en la Municipalidad de Orcotuna, donde existió un total de 187 lámparas, de las cuales 115 fueron fluorescentes y 72 LED, representando el 62 % y el 38 % respectivamente de la iluminación. Luego de realizar la evaluación lumínica, según la norma NT EM.010, que indica el nivel de iluminación para cada área, se identificó que el 50% de los espacios no cumplieron con los niveles mínimos exigidos por la norma.

Con este estudio previo, se corroboró que mucha de la iluminación existente no cumplió con lo establecido por la norma. Además, se evidenció que fuentes de luz como las luminarias fluorescentes ya no son de uso común en la actualidad.

Luego de diseñar la iluminación proyectada para cada una de las aulas, se simula cada espacio en el software de alumbrado DIALux Evo, obteniendo lo siguiente: para el alumbrado proyectado se utilizan 83 luminarias LED de 28 W tipo panel led. Según los resultados del trabajo, la cantidad de iluminación promedio supera los 500 lx y la uniformidad  $U_m$  es superior al 0,6. De la misma manera, el índice de deslumbramiento UGR, de acuerdo a los datos simulados, es menor a 19. Todos estos datos están dentro de los parámetros exigidos por la norma UNE 12464-1-2022. Resultados diferentes a Xavier et al., (2024) en su diseño, ha utilizado la luz natural y la luz artificial de 37 luminarias de 20 w para iluminar las aulas. Al utilizar solo luz natural, siete de las diez aulas no han cumplido con la normativa de

iluminación. En cambio, al usar iluminación artificial y natural, la iluminación simulada está dentro de lo sugerido por la normativa. Los resultados obtenidos han confirmado que la iluminación propuesta ha mejorado la iluminación en las aulas. Sin embargo, nuestro estudio ha abordado otros parámetros importantes de la iluminación interior, como son cálculo de URG, Ra y Um, los cuales son fundamentales para garantizar un confort visual.

Se ha corroborado con el trabajo de Hinojosa Guanoluisa, (2022), en los estudios de eficiencia energética del sistema de iluminación para los laboratorios de la facultad CIYA, que existe un inventario de 235 lámparas fluorescentes de 3x17 W y 63 lámparas de 3x32 W. Luego de los estudios realizados, se ha procedido a proponer una iluminación con luminarias de 3x9 W tipo LED empotrable, una cantidad de 131 unidades, y tubos LED tipo T8 de 9 W, en una cantidad de 392 unidades. El cambio de luminarias ha cumplido con los parámetros de iluminación exigidos en la norma INEN 1153 1984-05, en donde se especifica que la iluminación adecuada es de 300 lux. Se ha confirmado la importancia de un rediseño de iluminación, la iluminación existente muchas veces no ha sido la adecuada, tiene tecnología antigua y no cumple con parámetros mínimos exigidos por la norma.

El sistema de control elegido para el diseño de iluminación es sencillo y de bajo costo. Mediante 12 sensores de presencia ubicados en las diferentes aulas, se mejora el control de encendido y apagado de luces. Además, se evita que las luces queden conectadas de manera permanente. Al agregar sensores de presencia al sistema de iluminación, se evita que el 7,10 % de la iluminación usada este conectada sin necesidad. También se proyecta que, con el uso de sensores y cambio de luminarias se pueda ahorrar anualmente 55,22% por concepto de ahorro de energía. A diferencia de Pacheco-Macas et al., (2023), quien ha realizado un control de automático de iluminación mediante sensores de movimiento y sensores de iluminación, este sistema con equipos antiguos y sin control, consumía 27,56 kWh. Al implementar el sistema de control, ha comenzado a consumir mensualmente 10,55 kWh, ahorrando un 61,7% de energía. Este resultado ha sido positivo, y, a pesar de utilizar diferentes métodos de control en comparación con el planteado por nosotros, se ha reforzado la idea de que los sistemas de control para iluminación interior son efectivos.

## 8. Conclusiones

La evaluación del sistema de alumbrado interior del bloque A3 de la UNL ha revelado resultados importantes. Primero, ha revelado que las aulas evaluadas no cumplen con los parámetros de iluminación sugeridos por la norma UNE-12464-1-2022. Este resultado ha concordado con la hipótesis inicial de que los niveles de iluminación no eran los idóneos. Sin embargo, ha sido necesario reconocer ciertas limitaciones. La medición de iluminancia solo se ha realizado una vez y en un solo horario. En futuros trabajos, es necesario realizar más mediciones en diferentes horarios. En segundo lugar, ha sido evidente que el uso de luminarias antiguas sigue siendo común nuestro medio. Más del 30 % de las luminarias existentes eran de tecnología fluorescente y con equipo auxiliar (balastro) ineficiente, lo cual repercute en pérdidas por consumo de energía. Y tercero, e igual de importante, parámetros como deslumbramiento, uniformidad y reproducción cromática han revelado que, al no cumplirse, dificultan el confort de las personas que desarrollan sus actividades.

La propuesta de iluminación LED ha demostrado claramente una reducción de consumo de energía. Para nuestro caso en particular, la potencia instalada se ha reducido en un 29,68 %, sin descuidar los parámetros de iluminación determinados por la norma UNE-12464-1-2022.

Es importante destacar el uso de una luminaria con características fotométricas acordes al espacio a iluminar. Una buena elección de fotometría, una intensidad luminosa correcta y eficiencia luminosa alta ha contribuido directamente a la eficiencia del diseño.

Los sistemas de control han demostrado ser herramientas que pueden optimizar aún más un sistema de iluminación. La reducción del consumo de energía por parte de elementos como los sensores de presencia han garantizado que las luminarias se enciendan solamente cuando sea necesario. Para nuestro caso en particular, se proyecta que los sensores de presencia reducen en \$ 77,12 al año el consumo de energía, lo cual representa un 37,70% del pago anual actual.

El análisis financiero para este proyecto mostro que la inversión inicial, para el cambio de todas las luminarias e implementación de sensores, no fue recuperable en el periodo de retorno estimado, es decir, los 15 años de vida útil de las luminarias. Por lo cual se planteó un análisis complementario, donde se propone un cambio de luminarias solamente en la segunda planta e implementar sensores en todas las aulas del bloque A3 de la UNL. Este último análisis entregó un VAN positivo, un TIR superior a la tasa de interés y un periodo de retorno de 12.7 años, lo cual hizo viable el proyecto.

Aunque los resultados de ahorro han sido positivos, es necesario implementar este nuevo sistema de iluminación ya sea en un aula o en una planta del edificio, para realizar la toma de datos, verificar su funcionamiento, y comprobar los niveles de ahorro de energía.

Además, es importante señalar que la tarifa por kWh para instituciones educativas es preferencial y es menor a la tarifa residencial o general, por lo cual se debe tener muy en cuenta este dato para los cálculos económicos ya que esto repercute directamente en la viabilidad del proyecto. En nuestro caso en particular, al ser tarifa preferencial, es 27 % más económica que las tarifas antes señaladas.

## 9. Recomendaciones

Al momento de evaluar la iluminación interior, se recomienda agregar a la metodología planteada mediciones en diferentes horarios. Además, se debe tomar en cuenta las condiciones de luz natural existentes.

Cumpliendo con el objetivo de diseño de iluminación, se recomienda agregar a esta metodología algún tipo de control que regule el ingreso de luz natural.

Luego de optimizar el diseño de iluminación con algún método de control, como el propuesto en este trabajo, se propone la inclusión de algún método de medición de luxes y control de luminarias dimerizables. Esto complementaría el uso de los sensores de presencia propuestos en este trabajo.

Dentro del análisis financiero realizado, se observó que el periodo de recuperación para la implementación del diseño propuesto es demasiado largo, ( $PR = 43,02$  años). Por lo cual, se propuso un análisis financiero complementario en el cual se recomienda cambiar las luminarias de la segunda planta alta y colocar sensores de presencia en todas las aulas, lo que reducirá el periodo de recuperación a 12,72 años, el cual está dentro de los 15 años vida útil de las luminarias.

Se recomienda la revisión del pliego tarifario para proyectos similares, ya que el precio del kWh es diferente según el tipo de cliente.

Se recomienda tener datos de curvas de carga, esto ayuda a tener una idea mucho más clara de la demanda a diferentes horas del día, además se puede identificar picos y valles y ayuda a identificar áreas críticas lo cual es importante al momento de realizar un nuevo diseño.

## 10. Bibliografía

- (1)\_Xu - *Estudio de eficiencia energética de un edificio de enseñanza pública situado en Alicante y p...* (n.d.).
- A I C R O Manual de la ILUMINACIÓN.* (n.d.).
- Asamblea Nacional Ecuador. (2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética.*  
[www.registroficial.gob.ec](http://www.registroficial.gob.ec)
- Assaf, L., Colombo, E., & O'donell, B. (n.d.). *Capítulo 5 Luminarias para Iluminación de Interiores.*
- Blanca Giménez, V. (n.d.). *Representación gráfica de magnitudes fotométricas.* Retrieved November 4, 2024, from  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103661/Blanca?sequence=1>
- Blanca;Martínez;Castilla - Representacion gráfica de curvas fotometricas.* (n.d.).
- Cálculo iluminación según el método de los lúmenes.* (n.d.). Retrieved November 5, 2024, from  
[https://www.researchgate.net/publication/318588498\\_Calculo\\_iluminacion\\_segun\\_el\\_metodo\\_de\\_los\\_lumenes](https://www.researchgate.net/publication/318588498_Calculo_iluminacion_segun_el_metodo_de_los_lumenes)
- Chacaliaza-Huapaya, L., Bernaza-Zavala, E., Velazco-Fernandez, E., Chacaliaza-Huapaya, L., Bernaza-Zavala, E., & Velazco-Fernandez, E. (2023). Impacto en la eficiencia energética según el tipo de curva fotométrica en proyectos de iluminación de almacenes. *Tecnia*, 33(2), 30–38. <https://doi.org/10.21754/TECNIA.V33I2.1570>
- DOF - Diario Oficial de la Federación.* (n.d.). Retrieved July 11, 2024, from  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355593&fecha=07/08/2014#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355593&fecha=07/08/2014#gsc.tab=0)
- Fernando, T. J., & Mendoza, P. (2022). Eficiencia energética del sistema eléctrico de iluminación y su influencia en el análisis de costos de energía de la Municipalidad Distrital de Orcotuna - Concepción. *Universidad Continental.*  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12275>
- García Márquez Robledillo, V., González Jiménez, Juan., & González Pérez, J. (2013). *Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior (UF0567).* 251.  
[https://books.google.com.pe/books/about/Eficiencia\\_energ%C3%A9tica\\_en\\_las\\_instalacio.html?id=sdKNCwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp\\_read\\_button&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books/about/Eficiencia_energ%C3%A9tica_en_las_instalacio.html?id=sdKNCwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

- Hinojosa Guanoluisa, L. E. (2022). *Eficiencia energética del sistema de iluminación para los laboratorios de la facultad de CIYA en los predios del subsuelo del teatro universitario de la Universidad Técnica de Cotopaxi en el campus la matriz en el año 2022. diseño de un plan de eficiencia energética*. <http://localhost/handle/27000/8894>
- Idae. (2020). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación*.  
[www.idae.eswww.ceisp.com](http://www.idae.eswww.ceisp.com)
- Mejía Barbosa, Y. (2020). *Fundamentos de óptica: Curso introductorio*.  
<https://doi.org/10.36385/FCBOG-11-0>
- Mercedes Almenar-Muñoz, D. (21 C.E.). *LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS. ANALISIS REGULATORIO Y CASO PRÁCTICO Curso 2020-21. Metodología de la Investigación/Recopilación. Patricia Adriana Rebollo y Emma Mariana Ábalos - Editorial Autores de Argentina*. (n.d.). Retrieved July 13, 2024, from <https://autoresdeargentina.com/product/metodologia-de-la-investigacion-recopilacion-patricia-adriana-rebollo-y-emma-mariana-abalos/>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2018). *NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción*.
- Norma EM. (2006). *INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS*.
- Pacheco-Macas, J., Chávez-Romero, R., Chávez-Romero, S., Chunchu-Morocho, J., Coronel-Villavicencio, I., Gomez-Peña, J., Ortega-Reyes, C., Paccha-Herrera, E., Ramírez-Cabrera, F., & Samaniego-Ojeda, C. (2023). Diseño e implementación de un sistema de control automático para iluminación: Regulación de la iluminancia artificial en función de la iluminación natural. *CEDAMAZ*, 13(2), 205–217.  
<https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i2.2110>
- PANEL COMFORT 600 UGR<19 PS*. (n.d.). Retrieved August 14, 2024, from <https://www.ledvance.es/profesional/productos/luminarias/luminarias-profesionales/paneles/luminarias-de-panel-empotrables-con-cct-y-potencia-seleccionable--tecnologia-dali-2-or-zigbee-30/luminarias-empotrables-de-panel-cuadrado--montaje-sin-herramientas--para-sistemas-de-techo-de-600-x-600-mm/luminarias-cuadradas-empotrables-en-panel-con-funcion-de-seleccion-de-potencia-ps-y-bajo-deslumbramiento--para-sistemas-de-techo-de-600-x-600-mm-c236111>
- PANEL COMFORT 625 UGR<19 PS*. (n.d.). Retrieved September 9, 2024, from <https://www.ledvance.com/professional/products/luminaires/professional-luminaires/panel-luminaires/recessed-panel-luminaires-with-selectable-cct-and-power--dali-2-or-zigbee-30-technology/square-recessed-panel-luminaires--tool-free->

installation--for-625-x-625-mm-ceiling-system/square-recessed-panel-luminaires-with-power-select-ps-feature-and-low-glare--for-625-x-625-mm-ceiling-systems-c236117?productId=225992

*Pliego Tarifario 2024 - CNELEP*. (n.d.). Retrieved November 15, 2024, from

<https://www.cnelep.gob.ec/pliego-tarifario-2023/>

*“Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público-RETILAP” MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA LIBRO 3 INSTALACIONES DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO RETILAP*. (n.d.).

POTES DÍAZ, S. (2021). *DISEÑO DE ILUMINACIÓN ENFOCADO A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA BIBLIOTECA ACDA DE LA UNIVERSIDAD DEL NORTE*.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2016). *Aceleración de la adopción mundial de la iluminación energéticamente eficiente*.

<http://united4efficiency.org/>

*Regulación 0-10V y su aplicación en alumbrado público | ZGSM*. (n.d.). Retrieved August 12, 2024, from <https://es.zgsm-china.com/blog/0-10v-dimming-and-its-application-in-street-lighting.html#introduccion>

*Sistema de control DALI*. (n.d.). Retrieved August 12, 2024, from

<https://blog.buyled.es/sistema-de-control-dali/>

*Standard values for indoor and outdoor lighting Checklists Lighting application Technology Emergency lighting Lamps Technology and tables Design tools Lighting control and control gear Lighting technology*. (n.d.).

*UNE-EN 12193:2020 Iluminación. Iluminación de instalaciones de...* (n.d.). Retrieved July 18, 2024, from <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0063585>

*UNE-EN 12464-1:2022 Luz e iluminación. Iluminación de los luga...* (n.d.). Retrieved July 11, 2024, from <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0068596>

Villazón Godoy, R. N. S. A. F. R. D. P. L. A. (2018). *Luz/materia: Estrategias proyectuales para la iluminación de espacios arquitectónicos*.

Vue: Gen 2 – Emporia Energy. (n.d.). *Vue: Gen 2 – Emporia Energy*. Retrieved November 8, 2024, from [https://shop.emporiaenergy.com/pages/vue-gen-2?srsltid=AfmBOorE\\_oW6y7hWrDtNqpDMoieKyU61u7Y8O29fVejunwDchE6EHC2](https://shop.emporiaenergy.com/pages/vue-gen-2?srsltid=AfmBOorE_oW6y7hWrDtNqpDMoieKyU61u7Y8O29fVejunwDchE6EHC2)

Xavier, W., Mogrovejo, S., Raúl, I., Chávez, A., & Mg, R. S. (2024). *Evaluación del ahorro energético en cuanto a iluminación proyectando medidas de arquitectura sostenible y control de iluminación mediante la domótica, para mejorar la eficiencia energética del Bloque 3 de la FEIRNNR*. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/29838>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Matriz de consistencia general y específica

PROBLEMA GENERAL DE INVESTIGACIÓN:

**Pregunta general**

¿Será posible mejorar la eficiencia lumínica del bloque A3 de la UNL mediante el cambio de tecnología led y sistemas de control?

**Preguntas específicas**

¿Cuáles son los niveles de iluminación interior en el bloque A3 de la UNL?

¿Cuáles son las características de un diseño de iluminación eficiente?

¿Qué tipo de sistema de control se debe diseñar para que el alumbrado sea eficiente?

TEMA	OBJETO DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
Diseño lumínico eficiente para el bloque A3 de la UNL	Sistema de iluminación bloque A3 de la UNL	Realizar un estudio de luminotecnía en las aulas del bloque A3.	Mediante los estudios de luminotecnía, se asegura una iluminación normalizada, flexible y un incremento del 15 % en la eficiencia del consumo de energía.

**PREGUNTA ESPECÍFICO 1:**

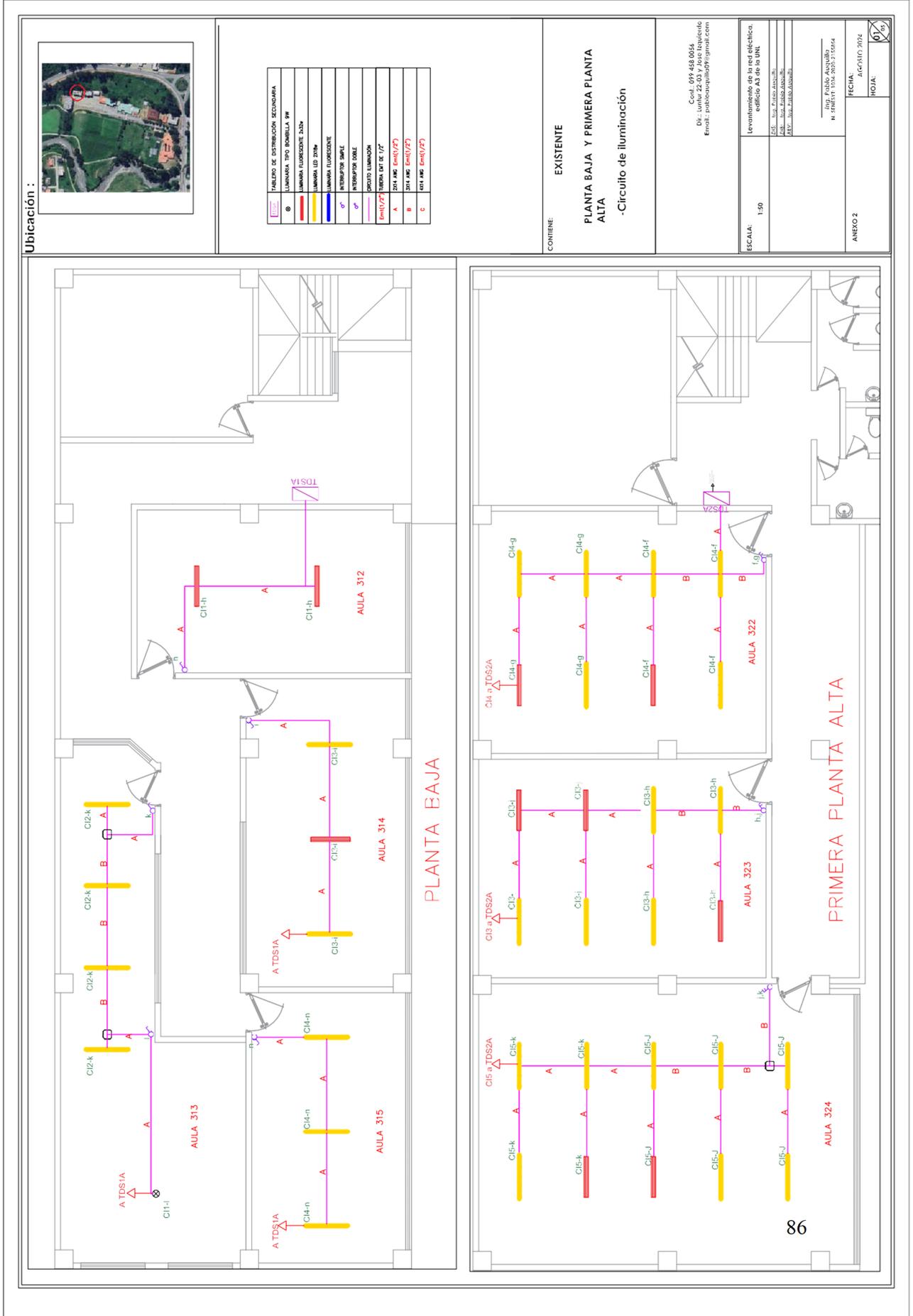
Necesidad de conocer las características de iluminación existente en el bloque A3 de la UNL.

OBJETIVO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
¿Cuáles son los niveles de iluminación interior en el bloque A3 de la UNL?	Niveles de Iluminación en los espacios del edificio.	El análisis de mediciones mostrara la cantidad de luxes existentes.	Medición de luxes en los diferentes espacios.  Tipos de luminarias existentes.  Características de los espacios físicos

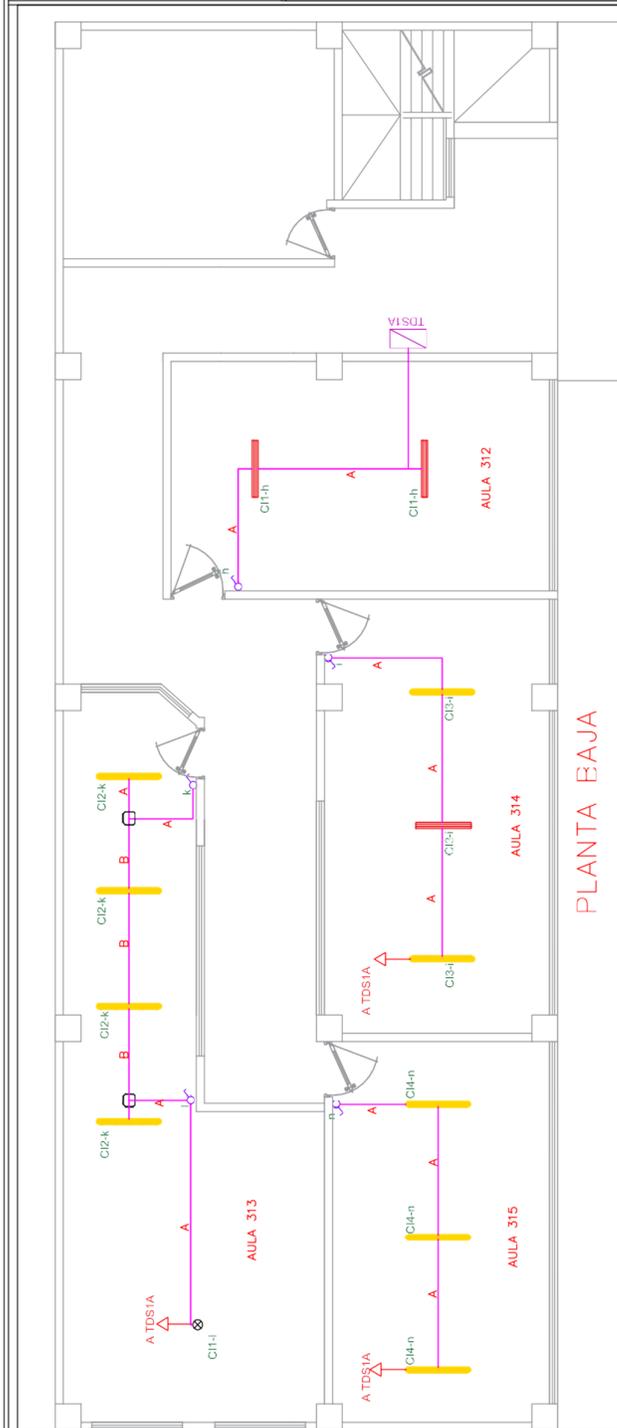
PREGUNTA ESPECÍFICO 2: Necesidad de diseñar un proyecto de iluminación eficiente.			
OBJETIVO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
¿Cuáles son las características de un diseño de iluminación eficiente?	Normativa nacional e internacional. Eficiencia lumínica,	A través del cumplimiento de normas, reglamentos, manuales, etc., diseñar un sistema de alumbrado eficiente.	Simulación en Dialux. Normativa.

PREGUNTA ESPECÍFICO 3: Necesidad de determinar un sistema de control para iluminación interior.			
OBJETIVO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
¿Qué tipo de sistema de control se debe diseñar para que el alumbrado sea eficiente?	Control de alumbrado	Agregar un sistema de control al alumbrado proyectado para mejorar la eficiencia energética.	Tecnologías de control de alumbrado. Eficiencia energética.

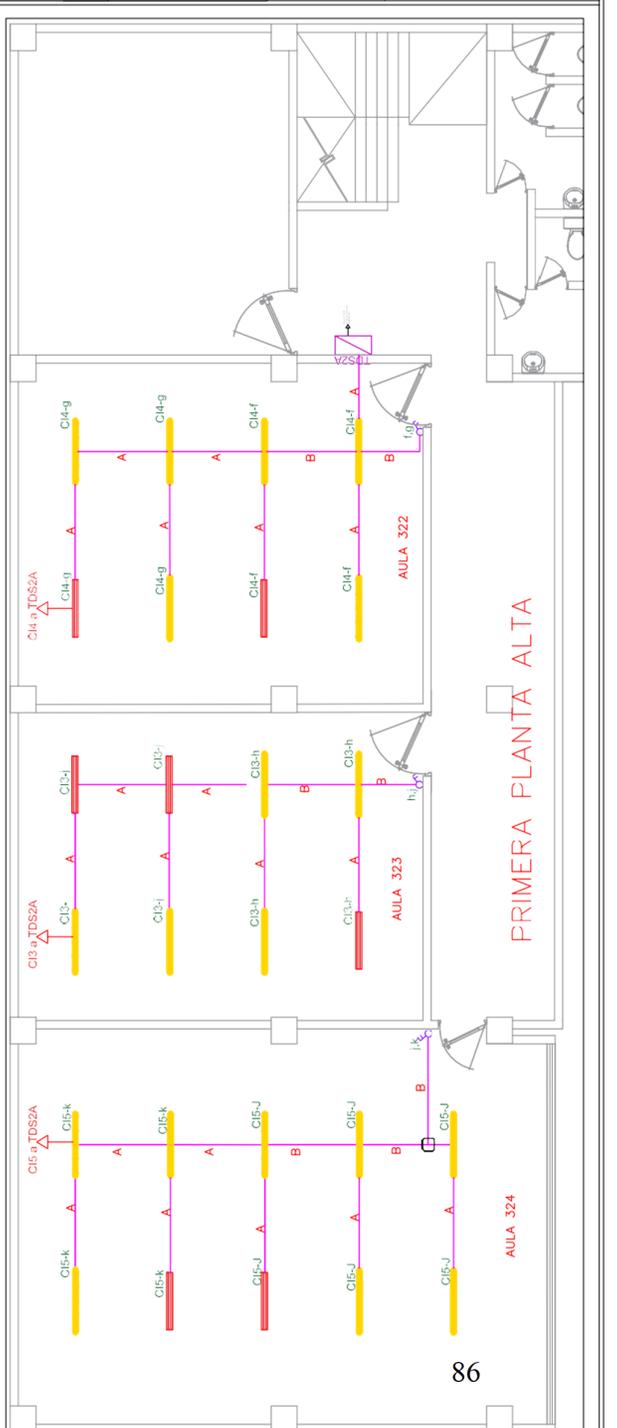
# Anexo 2. Planos



PLANTA BAJA



PRIMERA PLANTA ALTA



86



Ubicación :



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN SEÑALADORA	
	LUMINARIA CUADRADA 40W/2000 2W
	LUMINARIA CUADRADA 10W
	INTERRUPTOR SIMPLE
	INTERRUPTOR DOBLE
	CIRCUITO ILUMINACIÓN
	SEÑALADORA EN TIPO 1/2"

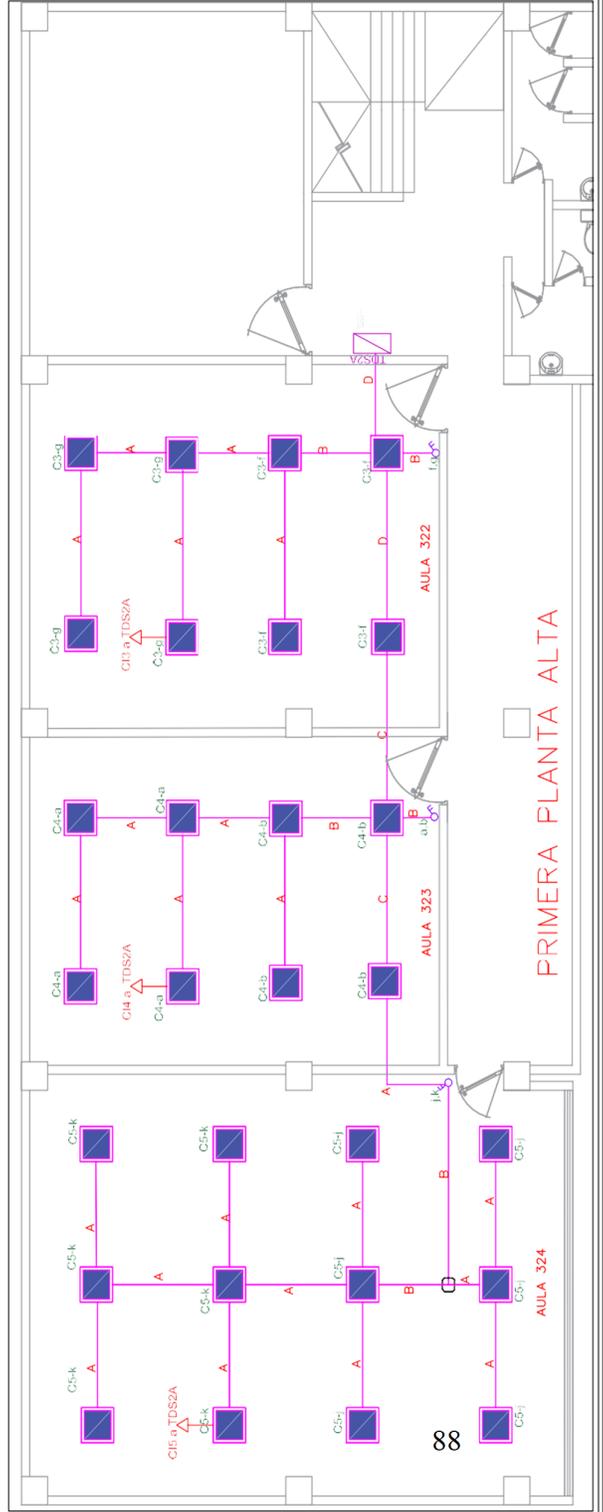
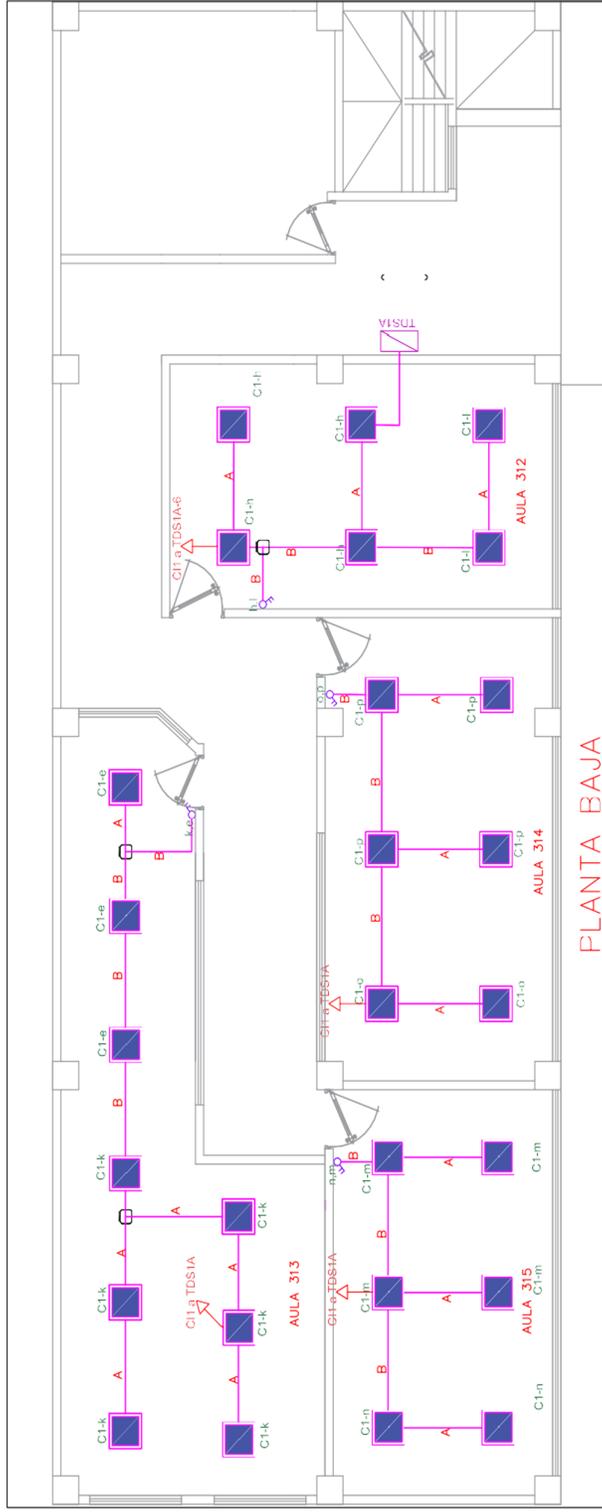
CONTIENE:  
**CIRCUITO ILUMINACIÓN PROYECTADO**  
 -Planta baja  
 -Primera planta alta

Cant. 099 458 0964  
 Dir.: Luitán 22 03 y Jose Izquierdo  
 Email: pabloquijado99@gmail.com

Levantamiento de la red eléctrica  
 edificio AS de la UN  
 DISE: Ing. Pablo Abadillo  
 REV: Ing. Pablo Abadillo

FECHA: AGOSTO 2024  
 HOJA: 02

ANEXO 2



Ubicación :



TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ECONOMIA	
	LUMINARIA CUADRADAS 60x60CM 25w
	LUMINARIA CUADRADAS 15w
	INTERRUPTOR SIMPLE
	INTERRUPTOR DOBLE
	CIRCUITO ILUMINACION
	TUBERIA ENT DE 1/2"
	A 2014 ANG Em(1/2')
	B 3014 ANG Em(1/2')
	C 4014 ANG Em(1/2')
	D 5014 ANG Em(1/2')

CONTIENE:  
**CIRCUITO ILUMINACION PROYECTADO**  
 -Segunda planta alta  
 -Diagrama unifilar

Cont.: 099 458 0036  
 Dirección: 22 03 y Jose Inguendo  
 Email: pablosquisel@sigmaluz.com

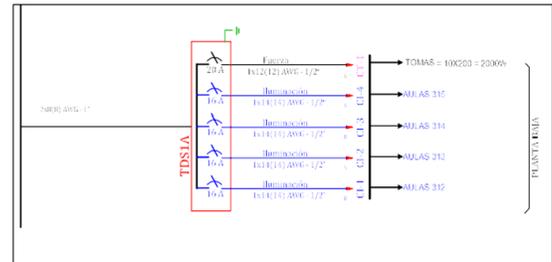
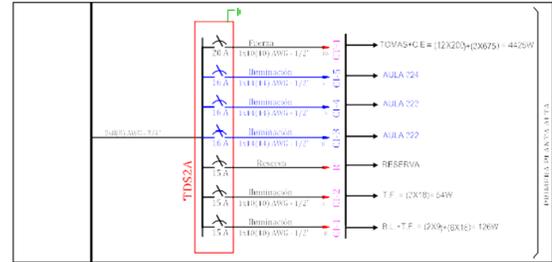
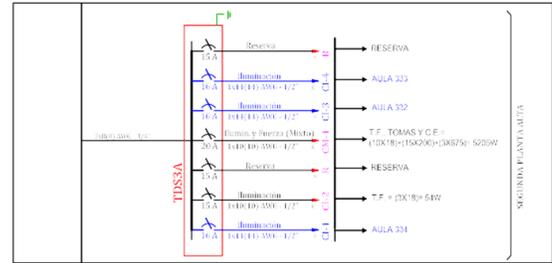
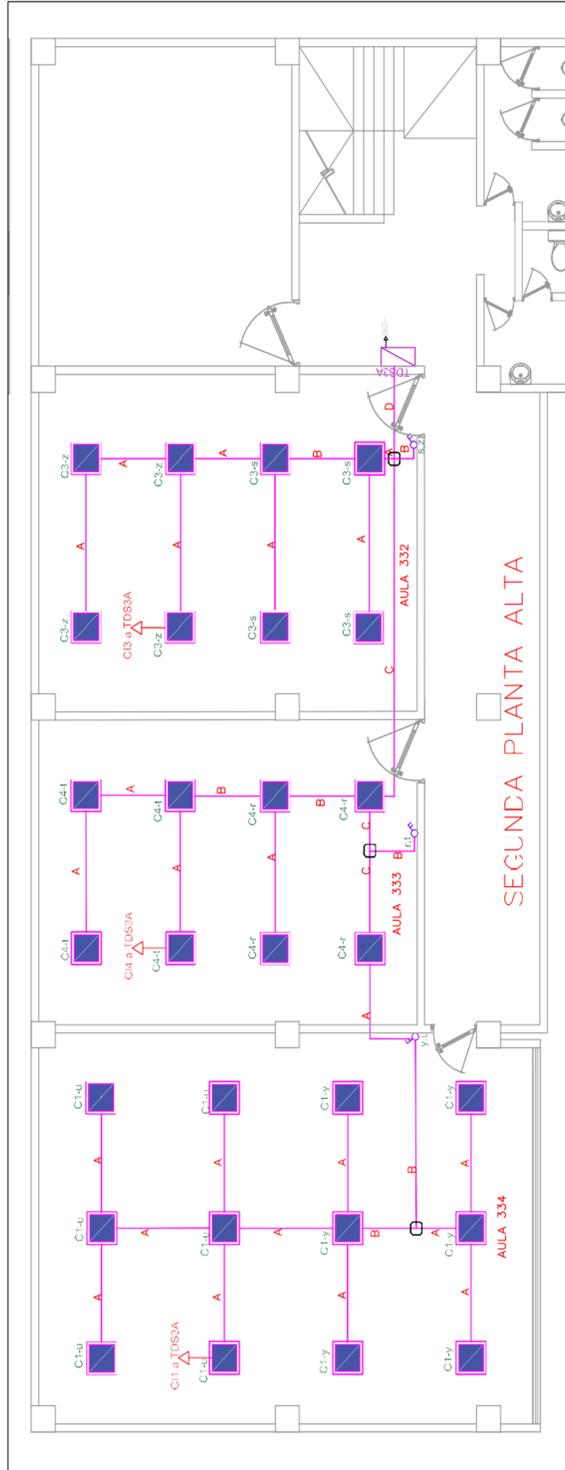
Levantamiento de la red eléctrica, edificio A3 de la UNL

ESCALA: 1:50

FECHA: AGOSTO 2024

HOJA: 04

ANEJO 2



### Anexo 3. Cuadro de cargas

CUADRO DE CARGAS EXISTENTE

Tablero / Circuito	Descripción	Fase	Tensión (V)	Cantidad de elementos	Potencia total	Carga Instalada (kW)	Factor de diversifica.	Factor de Potencia	Potencia Diversifica. (kW)	Corriente (A)	Calibre Conductor	Diámetro tubería (Pulgada)	Longitud (m)	Caida T. V	Caida T. %	Protección (A)
<b>TDS1A - AULAS : 312, 313, 314, 315 (PLANTA BAJA)</b>																
C1	ILUMINACIÓN 312	A	127	5	128	0,128	0,35	0,92	0,04	0,38	14 AWG	1/2"	25	0,16	0,13%	1x16 A
C2	ILUMINACIÓN 313	B	127	3	153	0,153	0,35	0,92	0,05	0,46	14 AWG	1/2"	25	0,19	0,15%	1x16 A
C3	ILUMINACIÓN 314	A	127	3	136	0,136	0,35	0,92	0,05	0,41	14 AWG	1/2"	25	0,17	0,13%	1x16 A
C4	ILUMINACIÓN 315	B	127	3	108	0,108	0,35	0,92	0,04	0,32	14 AWG	1/2"	25	0,13	0,11%	1x16 A
	ALIMENTADOR TDP1	A	220	14	525	0,525		0,92	0,184	0,91	# 8 AWG	3/4"				

Tablero / Circuito	Descripción	Fase	Tensión (V)	Cantidad de elementos	Potencia total	Carga Instalada (kW)	Factor de diversifica.	Factor de Potencia	Potencia Diversifica. (kW)	Corriente (A)	Calibre Conductor	Diámetro tubería (Pulgada)	Longitud (m)	Caida T. V	Caida T. %	Protección (A)
<b>TDS2A - AULAS: 322, 323, 324 (PRIMERA PLANTA ALTA)</b>																
C3	ILUMINACION AULA 322	A	127	8	344	0,344	0,50	0,92	0,17	1,47	14 AWG	1/2"	15	0,06	0,05%	1x16 A
C4	ILUMINACION AULA 323	B	127	8	372	0,372	0,50	0,92	0,19	1,59	14 AWG	1/2"	15	0,06	0,05%	1x16 A
C5	ILUMINACION AULA 324	B	127	12	416	0,416	0,50	0,92	0,21	1,78	14 AWG	1/2"	16	0,12	0,09%	1x16 A
	ALIMENTADOR TDP1	AB	220	28	1132	1,132		0,92	0,566	2,80	# 8 AWG	1"	26	0,07	0,03%	2x40A

Tablero / Circuito	Descripción	Fase	Tensión (V)	Cantidad de elementos	Potencia total	Carga Instalada (kW)	Factor de diversifica.	Factor de Potencia	Potencia Diversifica. (kW)	Corriente (A)	Calibre Conductor	Diámetro tubería (Pulgada)	Longitud (m)	Caida T. V	Caida T. %	Protección (A)
<b>TDS3A - AULAS: 332, 333, 334 (SEGUNDA PLANTA ALTA)</b>																
C1	ILUMINACION AULA 334	A	127	8	316	0,316	0,50	0,92	0,16	1,35	14 AWG	1/2"	15	0,05	0,04%	1x16 A
C3	ILUMINACION AULA 332	B	127	8	428	0,428	0,50	0,92	0,21	1,83	14 AWG	1/2"	15	0,07	0,06%	1x16 A
C4	ILUMINACION AULA 333	A	127	12	500	0,500	0,50	0,92	0,25	2,14	14 AWG	1/2"	16	0,14	0,11%	1x16 A
	ALIMENTADOR TDP1	AB	220	28	1244	1,244		0,92	0,622	3,07	# 8 AWG	1"	26	0,08	0,04%	2x40A

CARGA INSTALADA (kW)	2,90
DEMANDA MÁXIMA POR CIRCUITOS(Kw)	1,37
FACTOR DE SIMULTANEIDAD	0,8
DEMANDA PROYECTADA (kW)	1,10
DEMANDA PROYECTADA (kVA)	1,19

TIPO DE CARGA	
FUERZA (kW)	0,00
ILUMINACIÓN (kW)	1,2
ESPECIALES (kW)	0,00

BALANCE DE CARGA

DESCRIPCIÓN	(V)	CARGA X FASE (kW)	CARGA %	CARGA DIVERSIFICADA (kW)	Corriente (A)
CARGA FASE A	127	1,4	49,09%	1,31	5,96
CARGA FASE B	127	1,5	50,91%	1,36	6,18

CUADRO DE CARGAS PROYECTADO

Tablero / Circuito	Descripción	Fase	Tensión (V)	Cantidad de elementos	Potencia total	Carga Instalada (kW)	Factor de diversifica.	Factor de Potencia	Potencia Diversifica. (kW)	Corriente (A)	Calibre Conductor	Diámetro tubería (Pulgada)	Longitud (m)	Caida T. V	Caida T. %	Protección (A)
<b>TDS1A - AULAS: 312, 313, 314, 315 (PLANTA BAJA)</b>																
C1	ILUMINACIÓN 312	A	127	6	168	0,168	0,35	0,92	0,06	0,50	14 AWG	1/2"	25	0,21	0,16%	1x16 A
C2	ILUMINACIÓN 313	B	127	4	252	0,252	0,35	0,92	0,09	0,75	14 AWG	1/2"	25	0,31	0,25%	1x16 A
C3	ILUMINACIÓN 314	A	127	6	168	0,168	0,35	0,92	0,06	0,50	14 AWG	1/2"	25	0,21	0,16%	1x16 A
C4	ILUMINACIÓN 315	B	127	6	168	0,168	0,35	0,92	0,06	0,50	14 AWG	1/2"	25	0,21	0,16%	1x16 A
	ALIMENTADOR TDP1	A	220	6	756	0,756		0,92	0,265	1,31	# 8 AWG	3/4"				

Tablero / Circuito	Descripción	Fase	Tensión (V)	Cantidad de elementos	Potencia total	Carga Instalada (kW)	Factor de diversifica.	Factor de Potencia	Potencia Diversifica. (kW)	Corriente (A)	Calibre Conductor	Diámetro tubería (Pulgada)	Longitud (m)	Caida T. V	Caida T. %	Protección (A)
<b>TDS2A - AULAS: 322, 323, 324 (PRIMERA PLANTA ALTA)</b>																
C3	ILUMINACION AULA 322	A	127	8	224	0,224	0,50	0,92	0,11	0,96	14 AWG	1/2"	15	0,04	0,03%	1x16 A
C4	ILUMINACION AULA 323	B	127	8	224	0,224	0,50	0,92	0,11	0,96	14 AWG	1/2"	15	0,04	0,03%	1x16 A
C5	ILUMINACION AULA 324	B	127	12	336	0,336	0,50	0,92	0,17	1,44	14 AWG	1/2"	16	0,09	0,07%	1x16 A
	ALIMENTADOR TDP1	AB	220	28	784	0,784		0,92	0,392	1,94	# 8 AWG	1"	26	0,05	0,02%	2x40A

Tablero / Circuito	Descripción	Fase	Tensión (V)	Cantidad de elementos	Potencia total	Carga Instalada (kW)	Factor de diversifica.	Factor de Potencia	Potencia Diversifica. (kW)	Corriente (A)	Calibre Conductor	Diámetro tubería (Pulgada)	Longitud (m)	Caida T. V	Caida T. %	Protección (A)
<b>TDS3A - AULAS: 332, 333, 334 (SEGUNDA PLANTA ALTA)</b>																
C1	ILUMINACION AULA 334	A	127	8	224	0,224	0,50	0,92	0,11	0,96	14 AWG	1/2"	15	0,04	0,03%	1x16 A
C3	ILUMINACION AULA 332	B	127	8	224	0,224	0,50	0,92	0,11	0,96	14 AWG	1/2"	15	0,04	0,03%	1x16 A
C4	ILUMINACION AULA 333	A	127	12	336	0,336	0,50	0,92	0,17	1,44	14 AWG	1/2"	16	0,09	0,07%	1x16 A
	ALIMENTADOR TDP1	AB	220	28	784	0,784		0,92	0,392	1,94	# 8 AWG	1"	26	0,05	0,02%	2x40A

CARGA INSTALADA (kW)	2,32
DEMANDA MÁXIMA POR CIRCUITOS(Kw)	1,05
FACTOR DE SIMULTANEIDAD	0,8
DEMANDA PROYECTADA (kW)	0,84
DEMANDA PROYECTADA (kVA)	0,91

TIPO DE CARGA	
FUERZA (kW)	0,00
ILUMINACIÓN (kW)	0,8
ESPECIALES (kW)	0,00

BALANCE DE CARGA

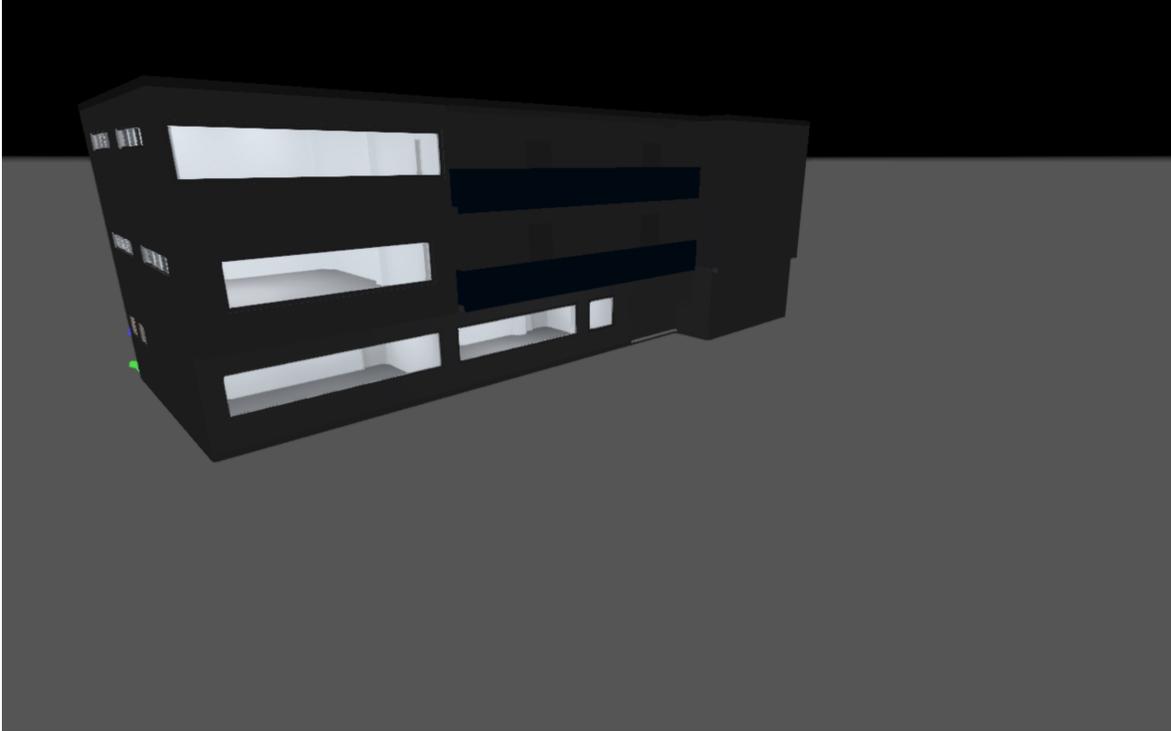
DESCRIPCIÓN	(V)	CARGA X FASE (kW)	CARGA %	CARGA DIVERSIFICADA (kW)	Corriente (A)
CARGA FASE A	127	1,1	48,19%	1,03	4,68
CARGA FASE B	127	1,2	51,81%	1,11	5,04

## Anexo 4. Simulación de iluminación existente

Fecha

13/7/2024

DIALux



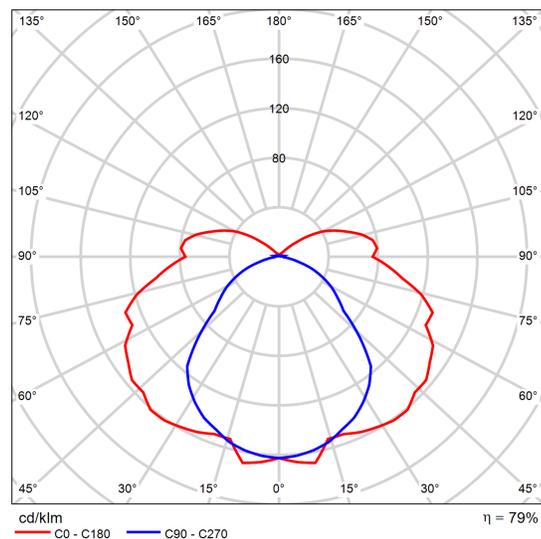
**SIMULACION DE ALUMBRADO INTERIOR EXISTENTE DEL  
EDIFICIO A3 DE LA UNL**

## Ficha de producto

### MAZINOOR - 2x36 W Zone 2 /Zone 22 Explosion-Proof Fluorescent Luminaire



N° de artículo	MSEXn162236EVG
P	72.0 W
Φ Lámpara	5000 lm
Φ Luminaria	3930 lm
η	78.60 %
Rendimiento lumínico	54.6 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



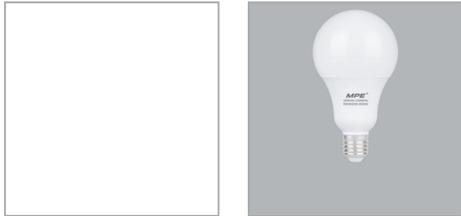
CDL polar

Valoración de deslumbramiento según UGR											
ρ Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
ρ Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
ρ Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
X	Y										
2H	2H	15.7	16.9	16.2	17.5	18.1	12.7	14.0	13.3	14.5	15.1
	3H	18.0	19.2	18.6	19.8	20.4	13.8	15.0	14.4	15.5	16.1
	4H	19.2	20.3	19.8	20.9	21.6	14.1	15.2	14.7	15.8	16.5
	6H	20.3	21.3	20.9	21.9	22.6	14.3	15.3	14.9	15.9	16.6
	8H	20.7	21.7	21.3	22.3	23.0	14.3	15.3	14.9	15.9	16.6
4H	12H	21.1	22.1	21.7	22.7	23.4	14.3	15.3	14.9	15.9	16.6
	2H	16.2	17.3	16.8	17.9	18.6	14.2	15.3	14.8	15.9	16.5
	3H	18.9	19.8	19.5	20.4	21.1	15.6	16.6	16.2	17.2	17.9
	4H	20.3	21.1	20.9	21.8	22.5	16.2	17.0	16.8	17.7	18.4
	6H	21.5	22.2	22.1	22.9	23.6	16.5	17.3	17.2	17.9	18.7
8H	8H	22.0	22.7	22.7	23.4	24.2	16.6	17.3	17.2	18.0	18.7
	12H	22.5	23.2	23.2	23.9	24.7	16.6	17.3	17.3	17.9	18.7
	4H	20.5	21.3	21.2	21.9	22.7	17.3	18.0	17.9	18.7	19.4
	6H	22.0	22.6	22.7	23.3	24.1	18.0	18.6	18.7	19.3	20.1
	8H	22.7	23.2	23.4	23.9	24.7	18.2	18.8	18.9	19.5	20.3
12H	12H	23.4	23.9	24.1	24.6	25.4	18.4	18.9	19.1	19.6	20.4
	4H	20.5	21.2	21.2	21.9	22.7	17.5	18.2	18.2	18.8	19.6
	6H	22.0	22.6	22.7	23.3	24.1	18.4	18.9	19.1	19.6	20.5
	8H	22.8	23.3	23.5	24.0	24.9	18.8	19.3	19.5	20.0	20.8
	Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias										
S = 1,0H	+0.1 / -0.1					+0.1 / -0.1					
S = 1,5H	+0.2 / -0.2					+0.3 / -0.3					
S = 2,0H	+0.3 / -0.4					+0.6 / -0.7					
Tabla estándar	BK10					BK13					
Sumando de corrección	6.4					1.7					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 5000lm Flujo luminoso total											

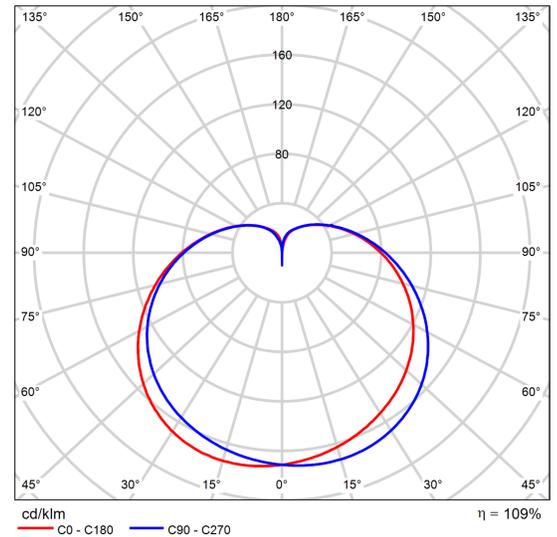
Diagrama UGR (SHR: 0.25)

## Ficha de producto

MPE - LED bulb 9W 6500/3000/4000K



N° de artículo	LB-9/3C
P	27.0 W
Φ Lámpara	2550 lm
Φ Luminaria	2771 lm
η	108.68 %
Rendimiento lumínico	102.6 lm/W
CCT	2800 K 4000 K 5470 K
CRI	81 86



CDL polar

Round shape, Ø60 x 108 mm, PBT plastic body, PC plastic cover, aluminum heat sink inside, base type: E27

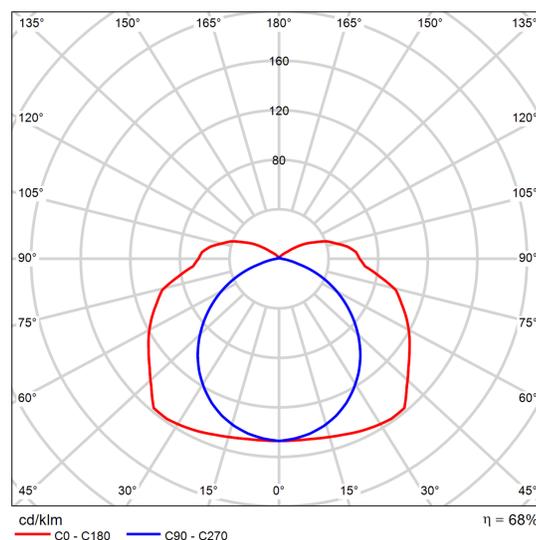
## Ficha de producto

SYLVANIA - Sylproof Superia Polycarbonate diffuser T8 2x18W magnetic( LLB PC)



N° de artículo	0056138
P	38.0 W
Φ Lámpara	2700 lm
Φ Luminaria	1831 lm
η	67.80 %
Rendimiento lumínico	48.2 lm/W
CCT	3000 K
CRI	83

- Moisture and Dust Protection to IP65
- Polycarbonate housing with polycarbonate diffuser with internal prism system
- Surrounding seal made from polyurethane
- New 'push push' stainless steel clips for convenient access during maintenance
- T8 versions, high frequency electronic or magnetic ballast or T5 energy efficient electronic ballast
- Newly developed interchangeable gear tray holding clips
- Low Lost Ballast
- Parallel Compensated



CDL polar

Valoración de deslumbramiento según UGR											
ρ Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
ρ Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
ρ Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
X	Y										
2H	2H	17.8	19.1	18.3	19.5	20.1	15.3	16.6	15.8	17.1	17.6
	3H	20.1	21.3	20.6	21.7	22.3	16.3	17.5	16.8	18.0	18.6
	4H	21.2	22.4	21.8	22.9	23.5	16.7	17.8	17.2	18.3	18.9
	6H	22.3	23.4	22.9	23.9	24.5	16.8	17.9	17.4	18.4	19.0
	8H	22.8	23.8	23.3	24.4	25.0	16.8	17.9	17.4	18.4	19.0
4H	2H	18.3	19.4	18.8	19.9	20.5	16.5	17.6	17.0	18.1	18.7
	3H	20.9	21.8	21.4	22.4	23.0	17.8	18.8	18.4	19.4	20.0
	4H	22.2	23.1	22.8	23.7	24.3	18.3	19.2	18.9	19.8	20.4
	6H	23.5	24.3	24.1	24.9	25.5	18.6	19.4	19.2	20.0	20.7
	8H	24.1	24.8	24.7	25.4	26.1	18.7	19.4	19.3	20.1	20.8
8H	2H	24.6	25.3	25.3	25.9	26.6	18.8	19.4	19.4	20.1	20.8
	4H	22.5	23.2	23.1	23.8	24.5	19.3	20.0	19.9	20.7	21.4
	6H	24.0	24.6	24.6	25.3	26.0	19.9	20.6	20.6	21.2	21.9
	8H	24.7	25.3	25.4	25.9	26.7	20.2	20.7	20.8	21.4	22.1
	12H	25.5	25.9	26.2	26.6	27.4	20.3	20.8	21.0	21.4	22.2
12H	4H	22.5	23.2	23.1	23.8	24.5	19.5	20.2	20.2	20.9	21.6
	6H	24.1	24.6	24.7	25.3	26.0	20.4	20.9	21.0	21.6	22.3
	8H	24.9	25.4	25.6	26.0	26.8	20.7	21.2	21.4	21.8	22.6
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+0.1 / -0.1					+0.1 / -0.1					
S = 1.5H	+0.2 / -0.2					+0.3 / -0.4					
S = 2.0H	+0.3 / -0.4					+0.5 / -0.8					
Tabla estándar	BK10					BK14					
Sumando de corrección	7.8					2.7					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 2700lm Flujo luminoso total											

Diagrama UGR (SHR: 0.25)

Edificación 1 · PLANTA BAJA

## Imágenes

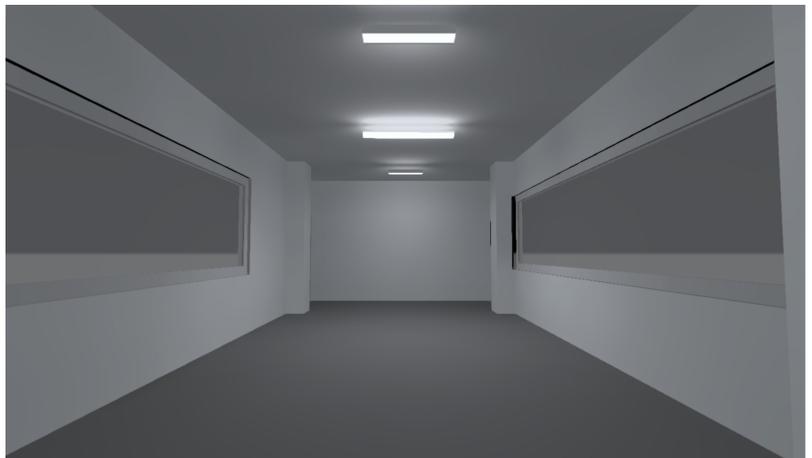
Aula 312



Aula 313

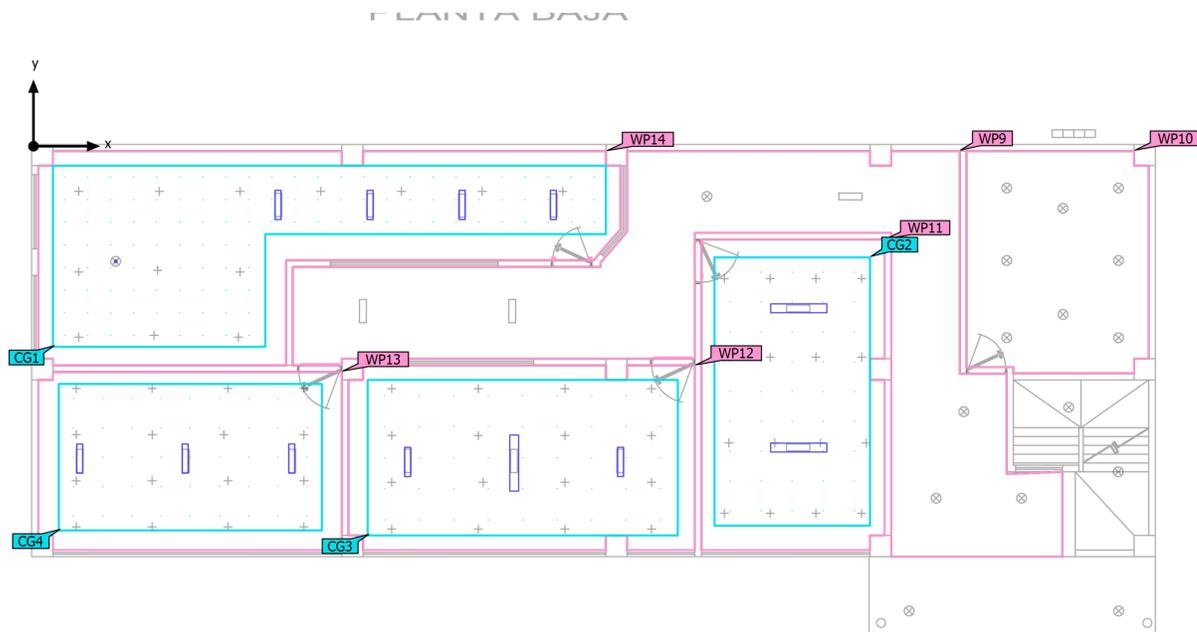


Aula 314



Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

### Objetos de cálculo



Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

**Objetos de cálculo**

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$U_o$ ( $g_1$ ) (Nominal)	$g_2$	Índice
Plano útil (Pasillo) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	17.7 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	0.064 lx	89.6 lx	0.004 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.001	WP9
Plano útil (Local 5) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	0.00 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	0.00 lx	0.00 lx	- ( $\geq 0.60$ )	-	WP10
Plano útil (Aula 312) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	195 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	114 lx	293 lx	0.58 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.39	WP11
Plano útil (Aula 314) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	157 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	76.5 lx	278 lx	0.49 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.28	WP12
Plano útil (Aula 315) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	136 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	69.8 lx	189 lx	0.51 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.37	WP13
Plano útil (Aula 313) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	152 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	53.0 lx	254 lx	0.35 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.21	WP14

Superficie de cálculo

Propiedades	$\bar{E}$	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$U_o$ ( $g_1$ )	$g_2$	Índice
URG 314 Iluminancia perpendicular Altura: 0.000 m	144 lx	103 lx	191 lx	0.72	0.54	CG3

Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

URG 313 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	195°
máx	>30
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG1

Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

URG 312 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	60°
máx	14.2
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	0.000 m
Índice	CG2

Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

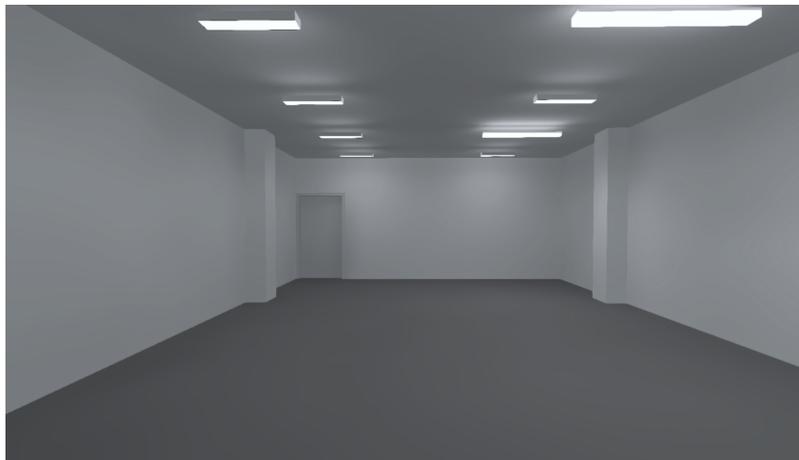
URG 315 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	345°
máx	20.6
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG4

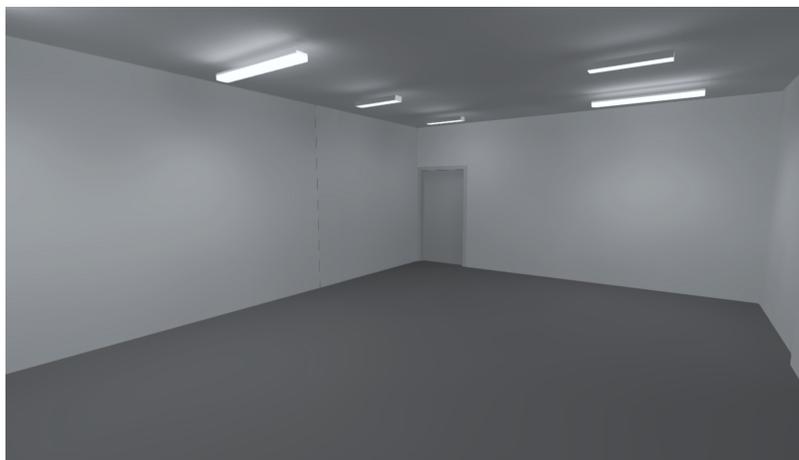
Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA

## Imágenes

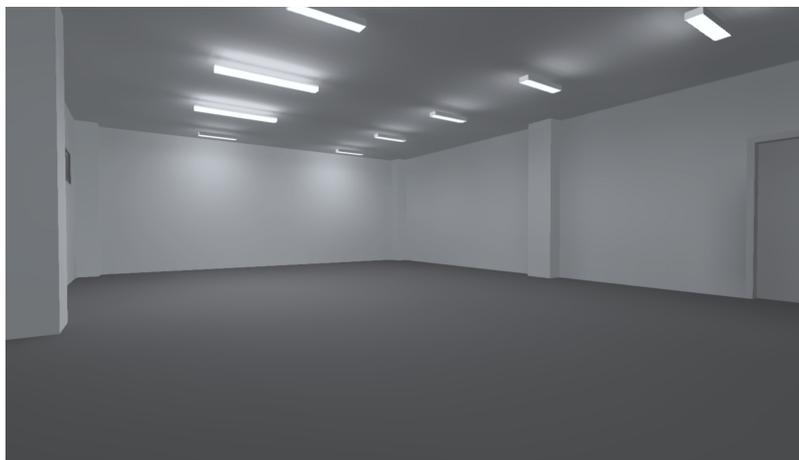
Aula 322



Aula 323

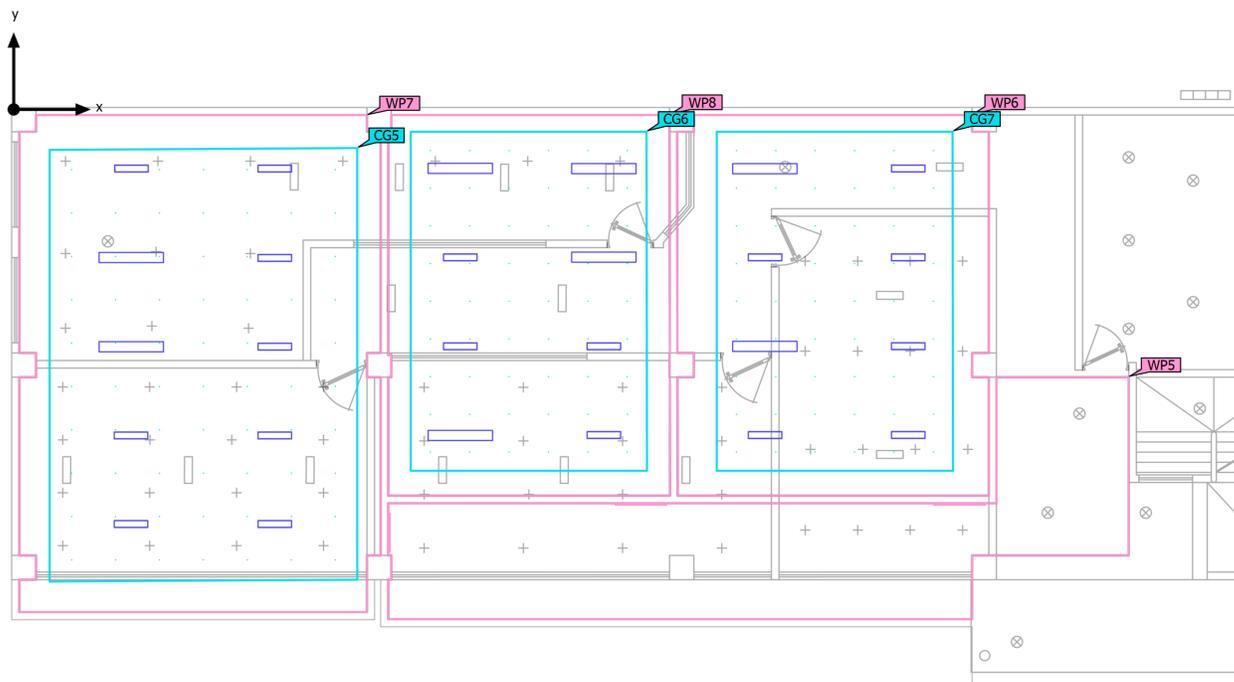


Aula 324



Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

### Objetos de cálculo



Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

**Objetos de cálculo**

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$U_0$ ( $g_1$ ) (Nominal)	$g_2$	Índice
Plano útil (Pasillo) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	0.000 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	0.00 lx	0.002 lx	- ( $\geq 0.60$ )	-	WP5
Plano útil (Aula 322) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	316 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	184 lx	437 lx	0.58 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.42	WP6
Plano útil (Aula 324) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	246 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	89.4 lx	422 lx	0.36 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.21	WP7
Plano útil (Aula 323) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	406 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	229 lx	531 lx	0.56 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.43	WP8

URG 324 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	75°
máx	22.3
Nominal	$\leq 19.0$
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG5

Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

URG 323 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	90°
máx	19.3
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG6

Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

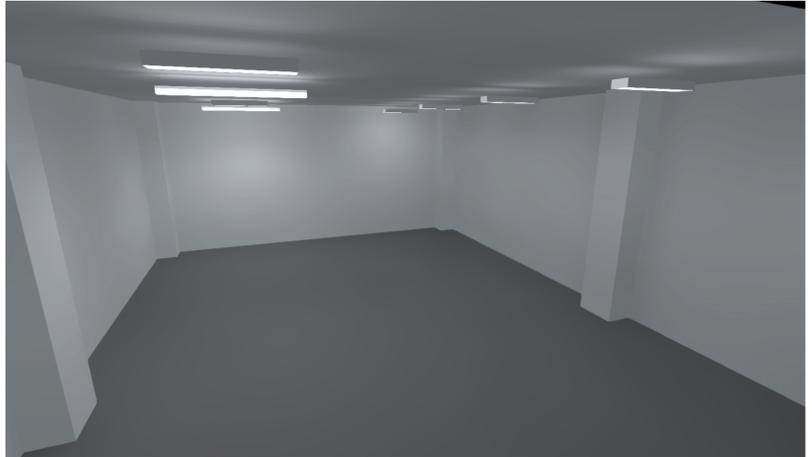
URG 322 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	255°
máx	20.0
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG7

Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA

## Imágenes

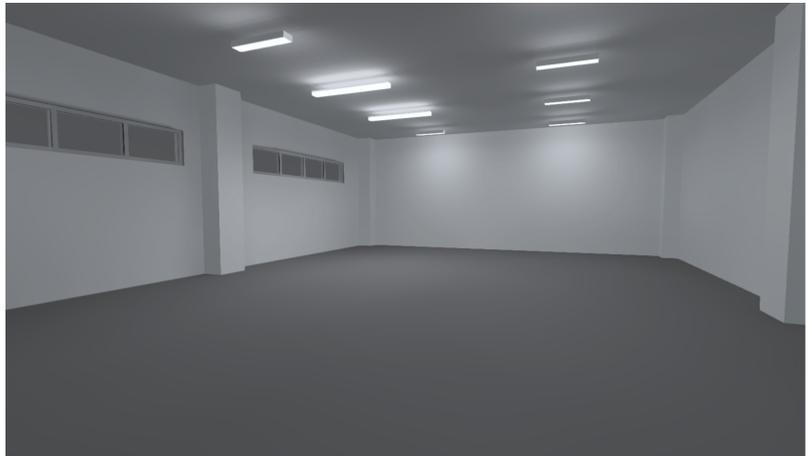
Aula 332



Aula 333

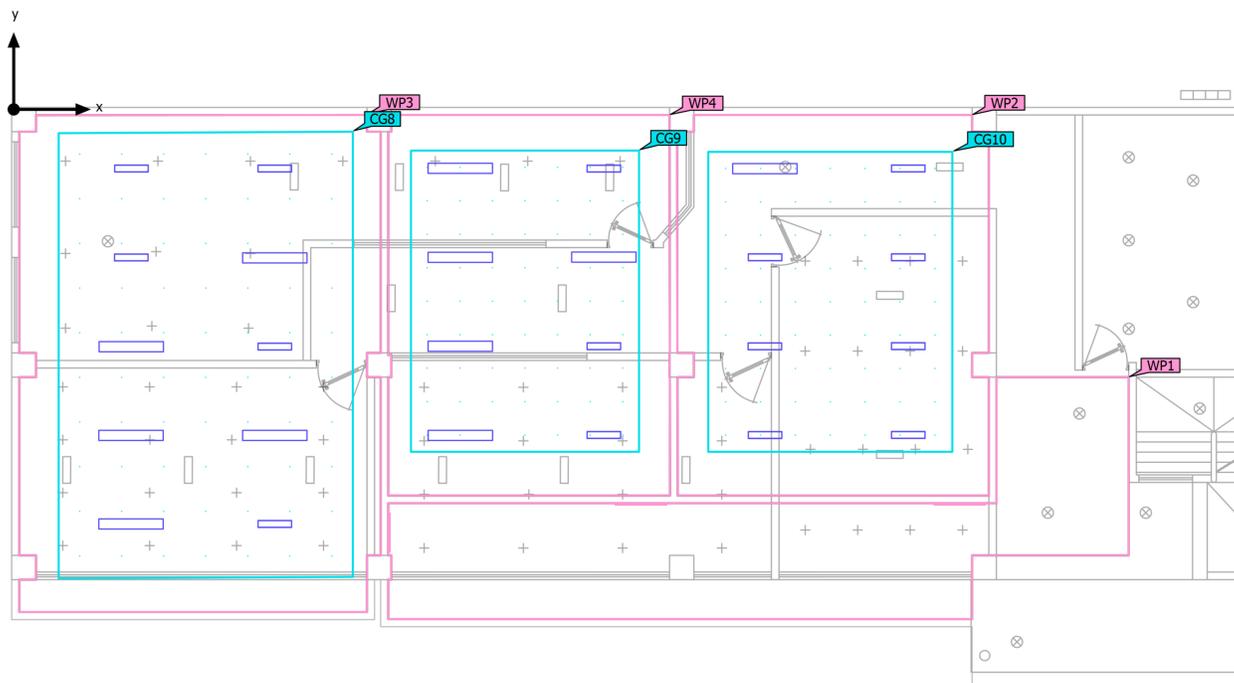


Aula 334



Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

### Objetos de cálculo



Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

**Objetos de cálculo**

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$U_o$ ( $g_1$ ) (Nominal)	$g_2$	Índice
Plano útil (Pasillo) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	0.00 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	0.00 lx	0.00 lx	- ( $\geq 0.60$ )	-	WP1
Plano útil (Aula 332) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	282 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	170 lx	408 lx	0.60 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.42	WP2
Plano útil (Aula 334) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	306 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	116 lx	471 lx	0.38 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.25	WP3
Plano útil (Aula 333) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	443 lx ( $\geq 500$ lx) ✗	251 lx	569 lx	0.57 ( $\geq 0.60$ ) ✗	0.44	WP4

URG 334 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	270°
máx	21.8
Nominal	$\leq 19.0$
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG8

Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

URG 333 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	90°
máx	18.9
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG9

Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

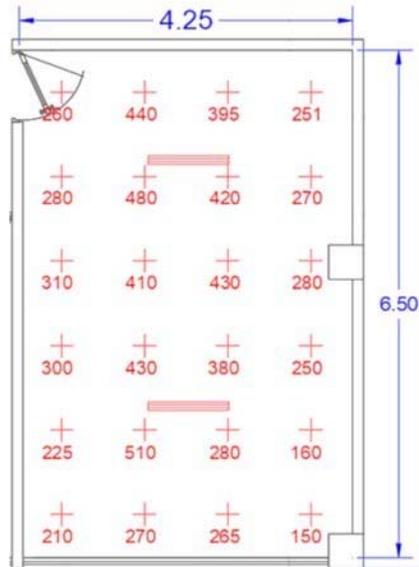
## Objetos de cálculo

Superficie de cálculo 12 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	75°
máx	20.1
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG10



## Anexo 5. Mediciones de iluminación realizadas



Aula	Altura de toma de muestra	Hora de toma de muestra	
312	0,8 m	16h00	
<b>Emínima (lux)</b>	<b>E media (lux)</b>	<b>Um</b>	
150	319	0,47	
Muestra	Valor Medido (lux)	Valor requerido (lux)	Observaciones
1	260	500	No cumple
2	440	500	No cumple
3	395	500	No cumple
4	251	500	No cumple
5	280	500	No cumple
6	480	500	No cumple
7	420	500	No cumple
8	270	500	No cumple
9	310	500	No cumple
10	410	500	No cumple
11	430	500	No cumple
12	280	500	No cumple
13	300	500	No cumple
14	430	500	No cumple
15	380	500	No cumple
16	250	500	No cumple
17	225	500	No cumple
18	510	500	Cumple
19	280	500	No cumple
20	160	500	No cumple
21	210	500	No cumple
22	270	500	No cumple
23	265	500	No cumple
24	150	500	No cumple

Aula	Altura de toma de muestra	Hora de toma de muestra	
313	0,8 m	15h30	
E mínima (lux)	E media (lux)	Um	
120	247,142857	0,49	
Muestra	Valor Medido (lux)	Valor requerido (lux)	Observaciones
1	230	500	No cumple
2	240	500	No cumple
3	325	500	No cumple
4	310	500	No cumple
5	290	500	No cumple
6	265	500	No cumple
7	170	500	No cumple
8	225	500	No cumple
9	315	500	No cumple
10	300	500	No cumple
11	280	500	No cumple
12	255	500	No cumple
13	120	500	No cumple
14	135	500	No cumple

Aula	Altura de toma de muestra	Hora de toma de muestra	
315	0,8 m	16h20	
E mínima (lux)	E media (lux)	Um	
138	249,20	0,55	
Muestra	Valor Medido (lux)	Valor requerido (lux)	Observaciones
1	138	500	No cumple
2	150	500	No cumple
3	200	500	No cumple
4	250	500	No cumple
5	215	500	No cumple
6	188	500	No cumple
7	200	500	No cumple
8	285	500	No cumple
9	405	500	No cumple
10	385	500	No cumple
11	197	500	No cumple
12	210	500	No cumple
13	270	500	No cumple
14	410	500	No cumple
15	400	500	No cumple
16	191	500	No cumple
17	200	500	No cumple
18	230	500	No cumple
19	240	500	No cumple
20	220	500	No cumple

Aula	Altura de toma de muestra	Hora de toma de muestra	
314	0,8 m	16h20	
E mínima (lux)	E media (lux)	Um	
110	200,21	0,55	
Muestra	Valor Medido (lux)	Valor requerido (lux)	Observaciones
1	130	500	No cumple
2	145	500	No cumple
3	200	500	No cumple
4	135	500	No cumple
5	145	500	No cumple
6	128	500	No cumple
7	240	500	No cumple
8	255	500	No cumple
9	215	500	No cumple
10	220	500	No cumple
11	270	500	No cumple
12	250	500	No cumple
13	285	500	No cumple
14	300	500	No cumple
15	290	500	No cumple
16	260	500	No cumple
17	290	500	No cumple
18	274	500	No cumple
19	122	500	No cumple
20	130	500	No cumple
21	150	500	No cumple
22	110	500	No cumple
23	135	500	No cumple
24	126	500	No cumple

Aula	Altura de toma de muestra	Hora de toma de muestra	
322	0,8 m	16h45	
E mínima (lux)	E media (lux)	Um	
375	468,75	0,80	
Muestra	Valor Medido (lux)	Valor requerido (lux)	Observaciones
1	375	500	No cumple
2	470	500	No cumple
3	490	500	No cumple
4	375	500	No cumple
5	450	500	No cumple
6	540	500	Cumple
7	508	500	Cumple
8	470	500	No cumple
9	495	500	No cumple
10	415	500	No cumple
11	510	500	Cumple
12	505	500	Cumple
13	510	500	Cumple
14	480	500	No cumple
15	475	500	No cumple
16	480	500	No cumple
17	460	500	No cumple
18	472	500	No cumple
19	465	500	No cumple
20	430	500	No cumple

Aula	Altura de toma de muestra	Hora de toma de muestra	
323	0,8 m	17h20	
E mínima (lux)	E media (lux)	Um	
360	467,88	0,77	
Muestra	Valor Medido (lux)	Valor requerido (lux)	Observaciones
1	380	500	No cumple
2	410	500	No cumple
3	440	500	No cumple
4	360	500	No cumple
5	400	500	No cumple
6	500	500	Cumple
7	480	500	No cumple
8	405	500	No cumple
9	400	500	No cumple
10	405	500	No cumple
11	560	500	Cumple
12	475	500	No cumple
13	480	500	No cumple
14	513	500	Cumple
15	575	500	Cumple
16	480	500	No cumple
17	400	500	No cumple
18	432	500	No cumple
19	514	500	Cumple
20	561	500	Cumple
21	486	500	No cumple
22	452	500	No cumple
23	537	500	Cumple
24	584	500	Cumple

Aula	Altura de toma de muestra	Hora de toma de muestra	
332	0,8 m	16h45	
E mínima (lux)	E media (lux)	Um	
355	429,05	0,83	
Muestra	Valor Medido (lux)	Valor requerido (lux)	Observaciones
1	360	500	No cumple
2	384	500	No cumple
3	385	500	No cumple
4	367	500	No cumple
5	420	500	No cumple
6	465	500	No cumple
7	502	500	Cumple
8	408	500	No cumple
9	495	500	No cumple
10	485	500	No cumple
11	552	500	Cumple
12	422	500	No cumple
13	476	500	No cumple
14	445	500	No cumple
15	420	500	No cumple
16	500	500	Cumple
17	360	500	No cumple
18	385	500	No cumple
19	395	500	No cumple
20	355	500	No cumple

Aula	Altura de toma de	Hora de toma de	
324	0,8 m	17h45	
E mínima (lux)	E media (lux)	Um	
320	473,32	0,68	
Muestra	Valor Medido (lux)	Valor requerido (lux)	Observaciones
1	346	500	No cumple
2	487	500	No cumple
3	562	500	Cumple
4	372	500	No cumple
5	433	500	No cumple
6	528	500	Cumple
7	529	500	Cumple
8	542	500	Cumple
9	488	500	No cumple
10	495	500	No cumple
11	502	500	Cumple
12	534	500	Cumple
13	491	500	No cumple
14	540	500	Cumple
15	472	500	No cumple
16	450	500	No cumple
17	405	500	No cumple
18	485	500	No cumple
19	562	500	Cumple
20	405	500	No cumple
21	488	500	No cumple
22	560	500	Cumple
23	575	500	Cumple
24	580	500	Cumple
25	342	500	No cumple
26	390	500	No cumple
27	370	500	No cumple
28	320	500	No cumple

Aula	Altura de toma de muestra	Hora de toma de muestra	
334	0,8 m	17h45	
E mínima (lux)	E media (lux)	Um	
365	684,50	0,53	
Muestra	Valor Medido (lux)	Valor requerido (lux)	Observaciones
1	365	500	No cumple
2	498	500	No cumple
3	562	500	Cumple
4	368	500	No cumple
5	386	500	No cumple
6	512	500	Cumple
7	584	500	Cumple
8	379	500	No cumple
9	562	500	Cumple
10	641	500	Cumple
11	700	500	Cumple
12	606	500	Cumple
13	1050	500	Cumple
14	1100	500	Cumple
15	840	500	Cumple
16	655	500	Cumple
17	980	500	Cumple
18	995	500	Cumple
19	793	500	Cumple
20	586	500	Cumple
21	1125	500	Cumple
22	1085	500	Cumple
23	980	500	Cumple
24	795	500	Cumple
25	480	500	No cumple
26	590	500	Cumple
27	520	500	Cumple
28	429	500	No cumple

### Anexo 6. Potencia instalada y costo anual de energía

La potencia de consumo de los equipos auxiliares fue mayor en luminarias fluorescentes, esta entre 25 % de la potencia de la luminaria. Las luminarias LED también tiene una potencia de consumo adicional, pero es menor en comparación con las luminarias fluorescentes. La tabla 1 mostró la cantidad de potencia instalada en cada aula, la potencia de los equipos auxiliares y la potencia total. Los equipos auxiliares tienen una potencia de 569,55 W, esto representa un 16,41 % de la potencia total instalada.

Aulas	Potencia Total Instalada	Potencia equipos auxiliares	Potencia Total
A 312	128	32	160,00
A 313	153	22,95	175,95
A 314	136	26,8	162,80
A 315	108	16,2	124,20
A 322	344	64,4	408,40
A 323	372	75	447,00
A 324	416	75,2	491,20
A 332	316	53,8	369,80
A 333	428	96,2	524,20
A 334	500	107	607,00
<b>Total</b>	<b>2901</b>	<b>569,55</b>	<b>3470,55</b>

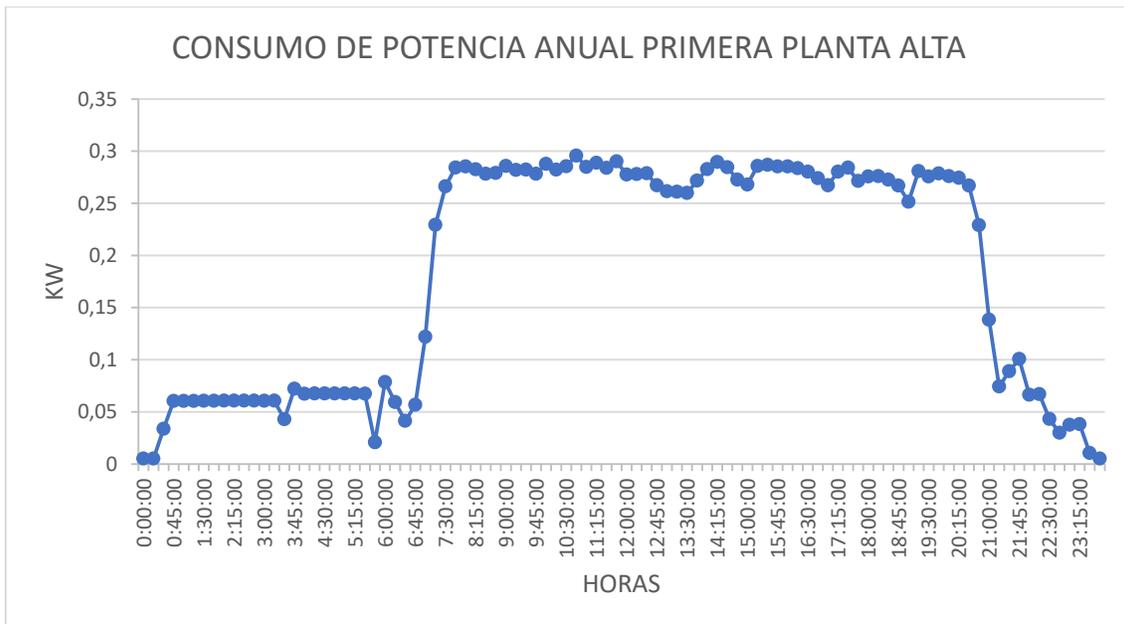
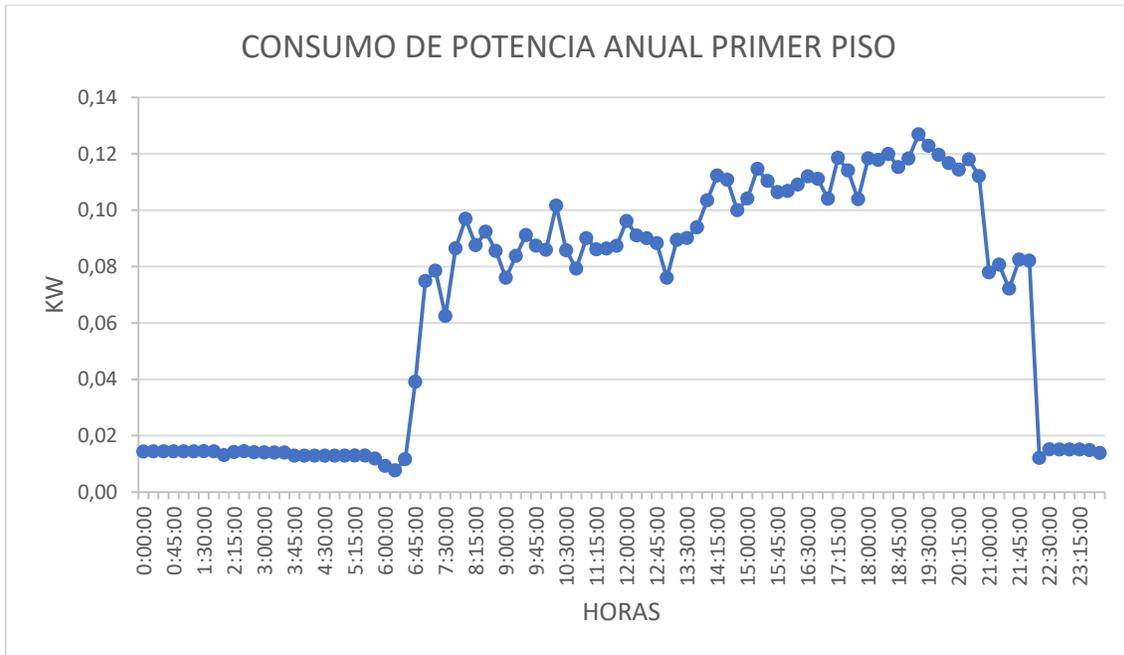
Tabla 1. Potencia total de las luminarias existentes.

En la tabla 2 se observó el consumo de energía anual acorde a la potencia total instalada. De esta forma, se pudo obtener el costo de la energía que se usa para alimentar los equipos auxiliares de las luminarias. Las luminarias anualmente consumen 3148,93 Kwh/año, esto representa \$ 204,68. Se conoció que el porcentaje de potencia de los equipos auxiliares fue de 16,41 % y, usando una regla de tres, se obtuvo el valor \$33,59 que representa 516,73 Kwh/año. Este monto, representó la cantidad que pagada anualmente por el consumo de energía de los equipos auxiliares de las luminarias.

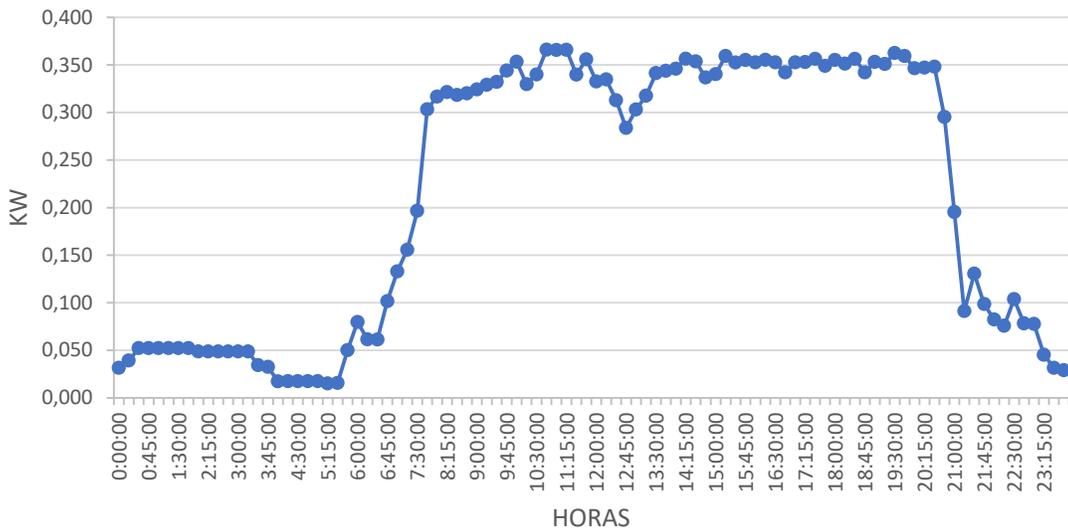
Aulas	Potencia Instalada (W)	Energía consumida/año (Kwh/año)	Energía consumida/año (Kwh/año)	Energía consumida/año (Kwh/año)	Precio USD/KWh (dolares)	Costo anual (\$)	Pérdidas Equipos Aux. Anual (\$)				
A 312	160,00	109,90	394,56	3148,93	0,065	204,68	33,59				
A 313	175,95	128,35									
A 314	162,80	110,97									
A 315	124,20	45,34									
A 322	408,40	445,83	1245,24								
A 323	447,00	374,66									
A 324	491,20	424,76									
A 332	369,80	398,54	1509,13								
A 333	524,20	456,41									
A 334	607,00	654,17									
<b>Total</b>	<b>3470,55</b>										

Tabla 2. Costo anual por equipos auxiliares

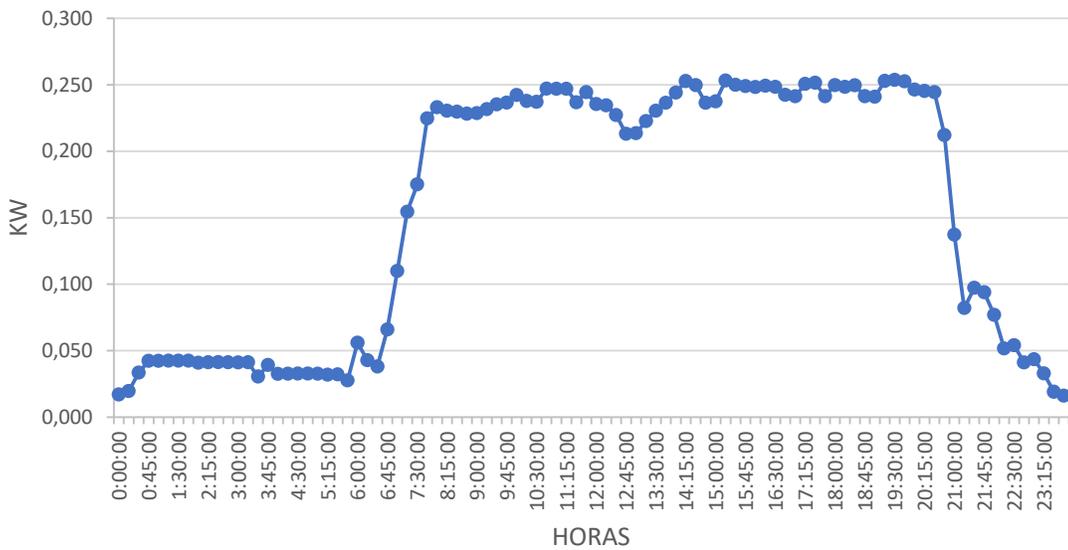
### Anexo 7. Potencia promedio de las aulas del bloque A3



### CONSUMO DE POTENCIA PROMEDIO ANUAL SEGUNDA PLANTA ALTA



### CONSUMO DE POTENCIA PROMEDIO ANUAL BLOQUE A3



## Anexo 8. Cálculo de iluminación proyectada

Cálculo del VEEI (valor de eficiencia energética de la instalación)

Aulas	Potencia (w)	100	Superficie (m2)	Em (lx)	VEEI	VEEI limite
<b>Planta Baja</b>						
A 312	168	100	27,625	585	1,04	3,5
A 313	252	100	58,63	512	0,84	3,5
A 314	168	100	29,318	566	1,01	3,5
A 315	168	100	25,038	583	1,15	3,5
<b>Primera planta alta</b>						
A 322	224	100	45,75	500	0,98	3,5
A 323	224	100	42,75	521	1,01	3,5
A 324	336	100	60	505	1,11	3,5
<b>Segunda planta alta</b>						
A 332	224	100	45,75	502	0,98	3,5
A 333	224	100	42,75	524	1,00	3,5
A 334	336	100	60	501	1,12	3,5

Cálculo de la potencia máxima instalada

<b>Potencia Maxima Instalada (PMI)</b>				
Aulas	Potencia (w)	Superficie (m2)	PMI	PMI limite
<b>Planta Baja</b>				
A 312	176,4	27,625	6,39	15
A 313	264,6	45,5625	5,81	15
A 314	176,4	29,318	6,02	15
A 315	176,4	25,038	7,05	15
<b>Primera planta alta</b>				
A 322	235,2	45,75	5,14	15
A 323	235,2	42,75	5,50	15
A 324	352,8	60	5,88	15
<b>Segunda planta alta</b>				
A 332	235,2	45,75	5,14	15
A 333	235,2	42,75	5,50	15
A 334	352,8	60	5,88	15

**Anexo 9. Costos de energía proyectados** Energía proyectada y costos

<b>Aulas</b>	<b>Potencia instalada</b>	<b>Horas encendido/día</b>	<b>Factor de diversidad</b>	<b>Energía/mes</b>	<b>Energía consumida/mes</b>	<b>Energía/mes</b>	<b>Precio KWh (\$)</b>	<b>Costo mensual (\$)</b>	<b>Costo anual (\$)</b>				
A 312	176,40	12	0,35	14,82	66,68	297,18	0,065	19,32	193,16				
A 313	264,60	12	0,35	22,23									
A 314	176,40	12	0,35	14,82									
A 315	176,40	12	0,35	14,82									
A 322	235,20	14	0,50	32,93	115,25								
A 323	235,20	14	0,50	32,93									
A 324	352,80	14	0,50	49,39									
A 332	235,20	14	0,50	32,93	115,25								
A 333	235,20	14	0,50	32,93									
A 334	352,80	14	0,50	49,39									

**Anexo 10. Detalle costos proyectados** Detalle de costos de energía proyectados

Aulas	Potencia instalada	Horas encendido/día	Factor de diversidad	Energía/mes	Energía consumida/mes	Energía/mes	Precio KWh (\$)	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)	Costo equipos Aux.	Ahorro equipos aux. (\$)	Ahorro luminarias sin apagar (\$)	Ahorro sensores (\$)	Ahorro total	Costo energía anual
A 312	176,40	12	0,35	14,82	66,68	297,18	0,065	19,32	193,16	9,20	24,39	14,54	14,04	101,51	91,65
A 313	264,60	12	0,35	22,23											
A 314	176,40	12	0,35	14,82											
A 315	176,40	12	0,35	14,82											
A 322	235,20	14	0,50	32,93	115,25										
A 323	235,20	14	0,50	32,93											
A 324	352,80	14	0,50	49,39											
A 332	235,20	14	0,50	32,93	115,25										
A 333	235,20	14	0,50	32,93											
A 334	352,80	14	0,50	49,39											
Total	2440,2														

Si sumamos el ahorro de los sensores más el ahorro de luminarias no apagadas, se obtiene:  $\$14,04 + \$24,27 + \$24,27 + \$14,54 = \$ 77,12$ . También se podría sumar el ahorro por el cambio de equipos auxiliares el cual representa  $\$24,39$ . Si sumamos este último valor al ahorro que obtuvimos con los sensores se obtiene:  $\$24,39 + \$77,12 = \$101,51$ .

## Anexo 11. Detalle Análisis financiero

PERIODO	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0
FLUJO DE FONDO	-1917,3	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03	113,03
SALDO ACTUALIZADO	-1917,3	104,4	96,5	89,1	82,3	76,0	70,2	64,9	59,9	55,4	51,2	47,3	43,7	40,3	37,3	34,4
SALDO ACUMULADO	-1917,3	-1812,9	-1716,4	-1627,3	-1545,0	-1469,0	-1398,7	-1333,8	-1273,9	-1218,5	-1167,3	-1120,1	-1076,4	-1036,1	-998,8	-964,4
TASA		8,25%														
VNA		952,88														
VAN		-964,42														
TIR		-1,50%														
PR		43,02														

Detalle del material mínimo necesario para el cambio de luminarias y sensores en el bloque A3 de la UNL.

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Luminarias Panel Led 60 x 60, 28W	83,00	17,30	1435,90
Sensores de Presencia	12,00	22,00	264,00
Conductor # 14, thhn.	240,00	0,31	74,40
Interruptores dobles	10,00	2,40	24,00
Tuberia Emt 3 metros, 1/2 pulgada	30,00	2,80	84,00
Varios	1,00	35,00	35,00
Total			1917,30

Análisis costo beneficio

Implementación de sensores y cambio de luminarias

Costos: \$1917,30

Beneficios: \$ 952,88

Índice Costo Beneficio ICB:  $952,88 / 1917,30 = 0,48$ .

### Anexo 12. Detalle análisis financiero complementario

En la Tabla 1 se tiene el valor de la potencia instalada, sin realizar cambio de luminarias. Solamente se agrega sensores de presencia a cada una de las aulas. Se tiene el valor referencial de consumo y costo de energía anual.

Aulas	Potencia instalada	Energía consumida/año	Energía consumida/año	Precio KWh (\$)	Costo anual (\$)		
<b>Planta baja</b>							
A 312	160,00	109,90	394,56	0,065	106,6		
A 313	175,95	128,35					
A 314	162,80	110,97					
A 315	124,20	45,34					
<b>Primera Planta alta</b>							
A 322	408,40	445,85	1245,38				
A 323	447,00	374,77					
A 324	491,20	424,77					

Tabla 1

La tabla 2 se muestra la potencia instalada proyectada en la segunda planta luego del cambio de luminarias y la integración de sensores al diseño. Además, se realiza una proyección del consumo de energía y el costo anual.

Aulas	Potencia instalada	Horas encendido/día	Factor de diversidad	Energía/mes	Energía consumida/mes	Precio USD/KWh (\$)	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
<b>Segunda Planta alta</b>								
A 332	235,20	14,00	0,50	32,93	115,25	0.065	7,49	74,91
A 333	235,20	14,00	0,50	32,93				
A 334	352,80	14,00	0,50	49,39				

Tabla 2

Luego de definir el consumo de energía y costo anual tanto de la planta baja, primera planta y segunda planta. Procedemos a calcular los valores de ahorro de energía generados por el cambio de luminarias e implementación de sensores.

	Costo anual (\$)	Costo anual total (\$)	Costo equipos Aux. proy.	Ahorro equipos aux. (\$)	Ahorro luminarias sin apagar (\$)	Ahorro sensores (\$)	Ahorro total (\$)	Costo energía anual
Planta baja y Primera planta alta	106,60	181,51	22,86	10,73	14,54	34,54	84,08	97,43
Segunda planta alta	74,91					24,27		

Tabla 3

También se podría sumas el ahorro por el cambio de equipos auxiliares el cual representa \$10,73. Si sumamos este último valor al ahorro que obtuvimos con los sensores se obtiene:  $\$10,73 + \$73,35 = \$84,08$ .

**Costo anual total (\$):** El valor que se pagaría por el consumo de energía de la planta baja, primera y segunda planta, el costo anual total sería de \$ 181,51.

**Costo equipos Aux.:** Se refiere al costo de la energía que consume los equipos auxiliares de las luminarias

**Ahorro equipos aux. (\$):** Se refiere a la diferencia entre el costo de equipos auxiliares antiguos y los costos de equipos auxiliares nuevos.

**Ahorro luminarias sin apagar (\$):** Al implementar sensores de presencia se reducirá el 7.1% de consumo existente por luminarias no apagadas, esto económicamente representaría \$14.54 anualmente.

**Ahorro sensores (\$):** Al implementar sensores de presencia, se proyecta obtener una reducción del 32.4 % de consumo de energía.

**Ahorro total:** Es la suma de: Ahorro equipos aux. (\$) + Ahorro luminarias sin apagar (\$) + Ahorro sensores (\$)

**Costo energía anual:** es la diferencia entre el costo anual total (\$) – Ahorro total (\$).

El consumo de energía es de \$ 204,68 anualmente. Al implementar estos cambios, el costo de energía anual sería de \$ 97,43. El valor de ahorro anual con referencia al costo actual de energía es de \$ 107,25.

### Análisis financiero complementario

PERIODO	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00
FLUJO DE FONDO	-829,60	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25	107,25
SALDO ACTUALIZADO	-829,60	99,08	91,53	84,55	78,11	72,15	66,65	61,57	56,88	52,55	48,54	44,84	41,42	38,27	35,35	32,66
SALDO ACUMULADO	-829,60	-730,52	-639,00	-554,45	-476,34	-404,19	-337,53	-275,96	-219,08	-166,53	-117,99	-73,15	-31,72	6,55	41,90	74,56
TASA	8,25%															
VNA	904,16															
VAN	74,56															
TIR	9,71%															
PR	12,72															

Detalle del material mínimo necesario para el cambio de luminarias en la segunda planta y sensores todo el bloque A3 de la UNL.

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Luminarias Panel Led 60 x 60, 28W	28,00	17,30	484,40
Sensores de Presencia	12,00	22,00	264,00
Conductor # 14, thhn.	60,00	0,31	18,60
Interruptores dobles	4,00	2,40	9,60
Tubería Emt 3 metros, 1/2 pulgada	10,00	2,80	28,00
Varios	1,00	25,00	25,00
<b>Total</b>			<b>829,60</b>

### Análisis costo beneficio

Implementación de sensores y cambio de luminarias

Costos: \$829,60

Beneficios: \$ 904,16

Índice Costo Beneficio ICB:  $904,16 / 829,60 = 1,09$

### Anexo 13. Detalle perdidas de energía anual

Como se observó en la Figura 32, existen valores de potencia que no están dentro de horario laboral, por lo cual se luego procedió a filtrar los datos existentes. Se pudo determinar que existían consumos de energía que no correspondían a horarios normales de trabajo como fines de semana y horario nocturno. Por lo cual se analizó puntualmente los datos por horario laboral y se filtró fines de semana, obtenido lo siguiente:

Planta baja	Kwh/año	Primera planta alta	Kwh/año	Segunda planta alta	Kwh/año
A312	8,75	A322	28,81	A333	33,89
A313	14,86	A323	32,91	A334	39,88
A314	9,48	A324	23,73	A335	29,14
A315	2,21				
TOTAL	<b>35,30</b>		<b>85,45</b>		<b>102,91</b>
<b>Consumo bloque A3</b>				<b>223,66</b>	<b>Kwh/año</b>

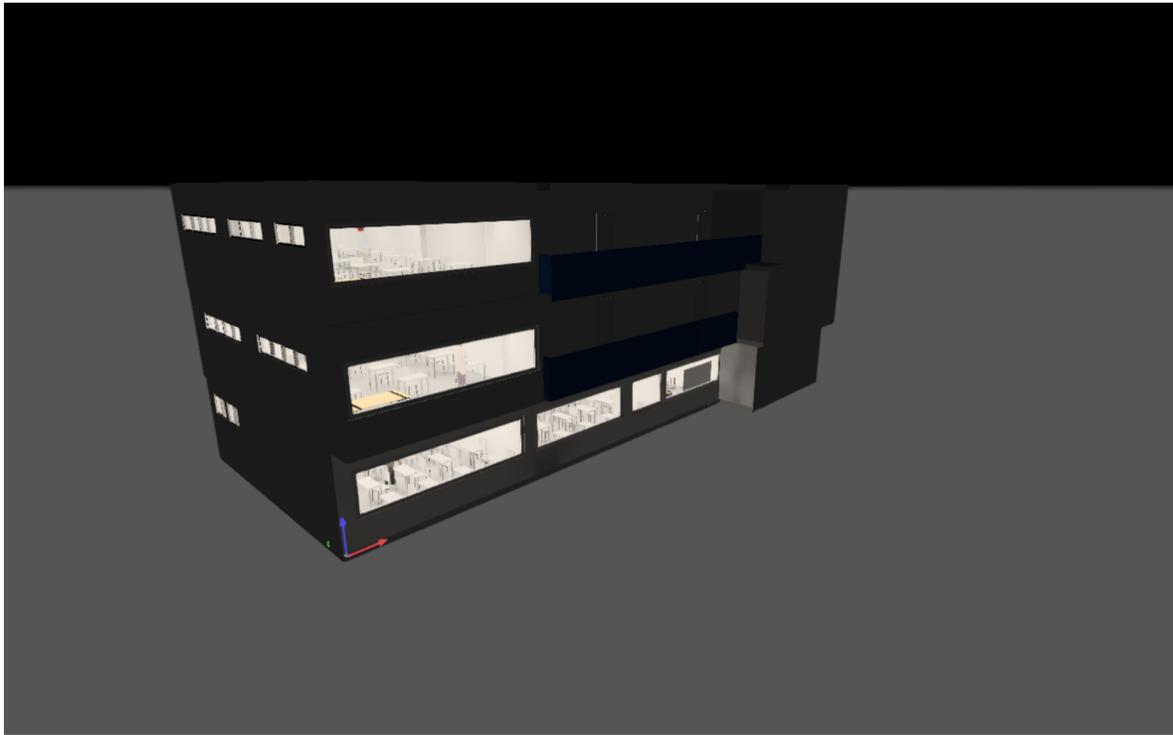
Tabla 1. Perdidas de energía anual

Se complementó el consumo de energía no deseado al filtrar la información por días laborables. Se obtuvo un consumo de energía de 223,66 Kwh/año, claramente esto representa perdidas. A continuación, tenemos la tabla 2, aquí se muestra el consumo anual de energía en el bloque 3A.

Planta baja	Kwh/año	Primera planta alta	Kwh/año	Segunda planta alta	Kwh/año
A312	109,90	A322	445,83	A333	398,54
A313	128,35	A323	374,66	A334	456,41
A314	110,97	A324	424,76	A335	654,17
A315	45,34				
TOTAL	<b>394,56</b>		<b>1245,24</b>		<b>1509,13</b>
<b>Consumo bloque A3</b>				<b>3148,93</b>	<b>Kwh/año</b>

Tabla 2 Consumo de energía anual del edificio.

El consumo anual de energía del bloque 3A es de 3148,64 Kwh/año, las perdidas por luminarias no apagadas anualmente es de 223,66 Kwh/año, lo cual representa un porcentaje de pérdidas de energía del 7,1 %.



## SIMULACIÓN DE ALUMBRADO INTERIOR PROYECTADO DEL EDIFICIO A3 DE LA UNL

## Imágenes

FRONTAL



LATERAL



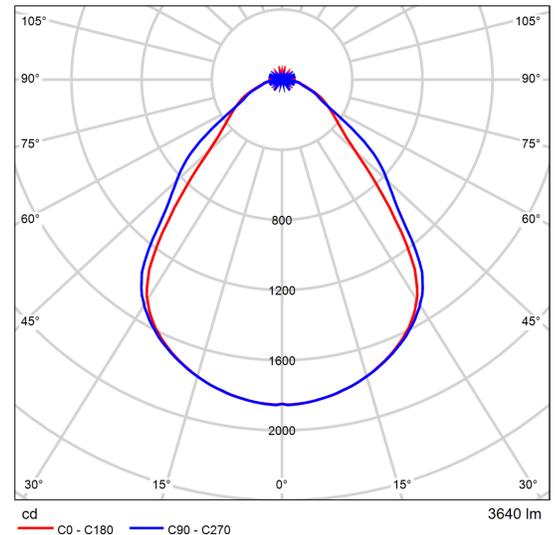
## Ficha de producto

LEDVANCE - PANEL COMFORT 625 UGR<19 PS 28W 840 U19 PS



N° de artículo	4099854014413
P	28.0 W
Φ Lámpara	-
Φ Luminaria	3640 lm
η	-
Rendimiento lumínico	130.0 lm/W
CCT	4000 K
CRI	80

Luminarias cuadradas empotrables en panel con función de selección de potencia (PS) y bajo deslumbramiento, para sistemas de techo de 625 x 625 mm. Características del producto: Marco de aluminio extruido. Difusor de poliestireno. Bloque de terminales de 5 polos, sección de cable de hasta 5 x 2,5 mm<sup>2</sup>. Versiones de luminaria con driver DALI-2 listo para IoT disponibles. Versiones disponibles con CRI 90. Vida útil (L80/B10): 70.000 h (a 25 °C). Beneficios del producto: Altamente versátil debido a los pasos de potencia seleccionables (Power Select - PS) en el driver. Conexión eléctrica sin herramientas debido al conector pulsador. Cableado posible con caja de conectores incluida. Ahorro de energía gracias a la alta eficacia del sistema: hasta 130 lm/W. Buena reducción del reflejo (UGR < 19). Alta consistencia de color con SDCM 3. Posibilidad de servicios extendidos como monitorización de energía y mantenimiento remoto con las versiones DALI. Driver externo para mayor flexibilidad y fácil instalación. Bajo flickering gracias a un mecanismo de control electrónico especial. Iluminación de emergencia posible con LEDVANCE Emergency Conversion Box. 5 años de garantía. Áreas de aplicación: Sustitución directa para luminarias empotradas con lámparas fluorescentes. Oficinas, salas de conferencias.. Áreas de recepción,



CDL polar

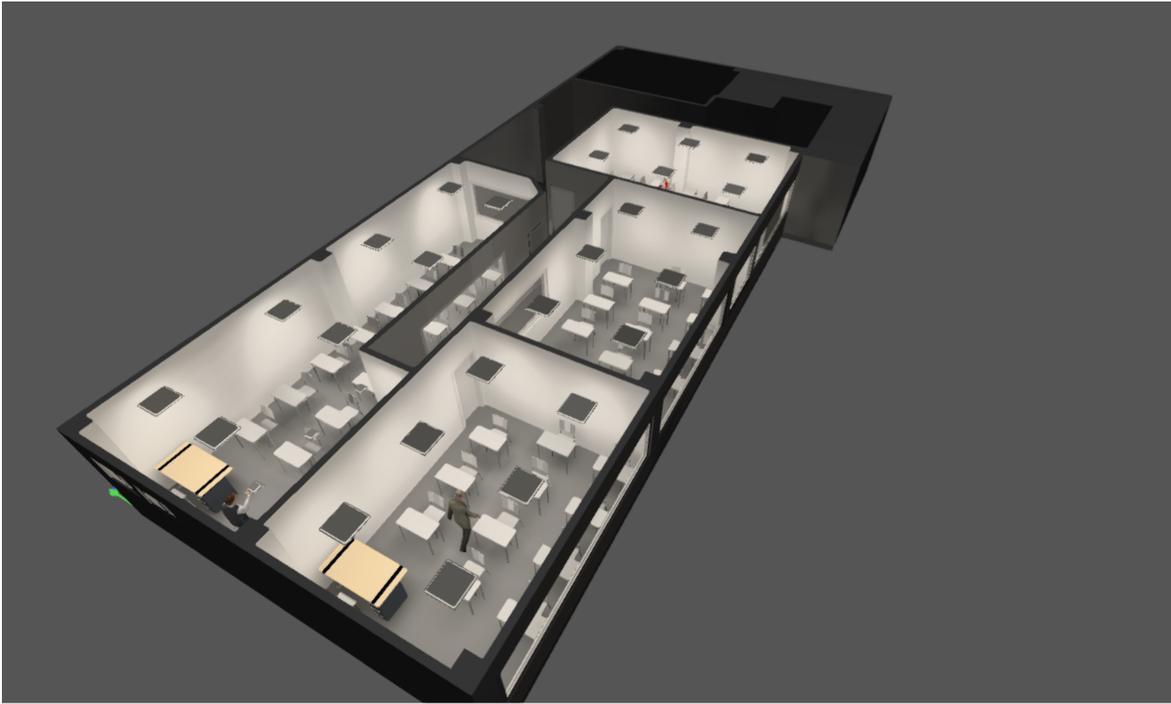
Valoración de deslumbramiento según UGR											
		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ Techo		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ Paredes		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ Suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local X Y		Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	14.3	15.5	14.6	15.7	15.9	14.7	15.9	15.0	16.1	16.3
	3H	15.3	16.3	15.6	16.6	16.8	15.6	16.7	16.0	16.9	17.2
	4H	15.7	16.7	16.1	17.0	17.3	16.1	17.1	16.4	17.3	17.6
	6H	16.1	17.0	16.5	17.3	17.6	16.5	17.5	16.9	17.7	18.1
	8H	16.3	17.1	16.6	17.4	17.8	16.7	17.6	17.1	17.9	18.3
12H	16.4	17.2	16.7	17.5	17.9	16.9	17.7	17.3	18.1	18.4	
4H	2H	14.7	15.7	15.0	15.9	16.2	15.1	16.0	15.4	16.3	16.6
	3H	15.8	16.7	16.2	17.0	17.3	16.3	17.1	16.7	17.4	17.8
	4H	16.4	17.2	16.8	17.5	17.9	16.9	17.7	17.3	18.0	18.4
	6H	17.0	17.6	17.4	18.0	18.4	17.5	18.2	17.9	18.5	18.9
	8H	17.2	17.8	17.6	18.2	18.6	17.8	18.4	18.2	18.8	19.2
12H	17.4	17.9	17.8	18.4	18.8	18.0	18.6	18.5	19.0	19.4	
8H	4H	16.7	17.3	17.1	17.7	18.1	17.1	17.7	17.5	18.1	18.5
	6H	17.4	17.9	17.9	18.4	18.8	17.8	18.3	18.3	18.8	19.2
	8H	17.8	18.2	18.3	18.7	19.2	18.2	18.6	18.7	19.1	19.6
	12H	18.1	18.5	18.6	18.9	19.4	18.5	18.9	19.0	19.3	19.8
	12H	16.7	17.3	17.1	17.7	18.1	17.1	17.7	17.6	18.1	18.5
6H	17.5	17.9	18.0	18.4	18.9	17.9	18.3	18.4	18.8	19.3	
8H	17.9	18.3	18.4	18.8	19.3	18.3	18.6	18.8	19.1	19.6	
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H		+0.4 / -0.5					+0.3 / -0.3				
S = 1.5H		+0.6 / -0.7					+0.5 / -0.8				
S = 2.0H		+1.1 / -1.0					+1.1 / -1.2				
Tabla estándar		BK05					BK05				
Sumando de corrección		0.3					0.7				
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 3640lm Flujo luminoso total											

Diagrama UGR (SHR: 0.25)

## Ficha de producto

LEDVANCE - PANEL COMFORT 625 UGR<19 PS 28W 840 U19 PS

vestíbulos, pasillos, ascensores. Adecuado para sistemas de techo empotrado con una rejilla de 625 x 625 mm. Equipamiento / Accesorios: Disponibles accesorios para diferentes opciones de montaje. Caja de conector con terminal de 5 polos incluido. Soportes de seguridad preinstalados. Equipo de control externo incluido. Adecuado para usar con una caja de conversión de emergencia separada.



Edificación 1 · PLANTA BAJA

## Descripción

Edificación 1 · PLANTA BAJA

## Imágenes

Aula 312



Aula 314

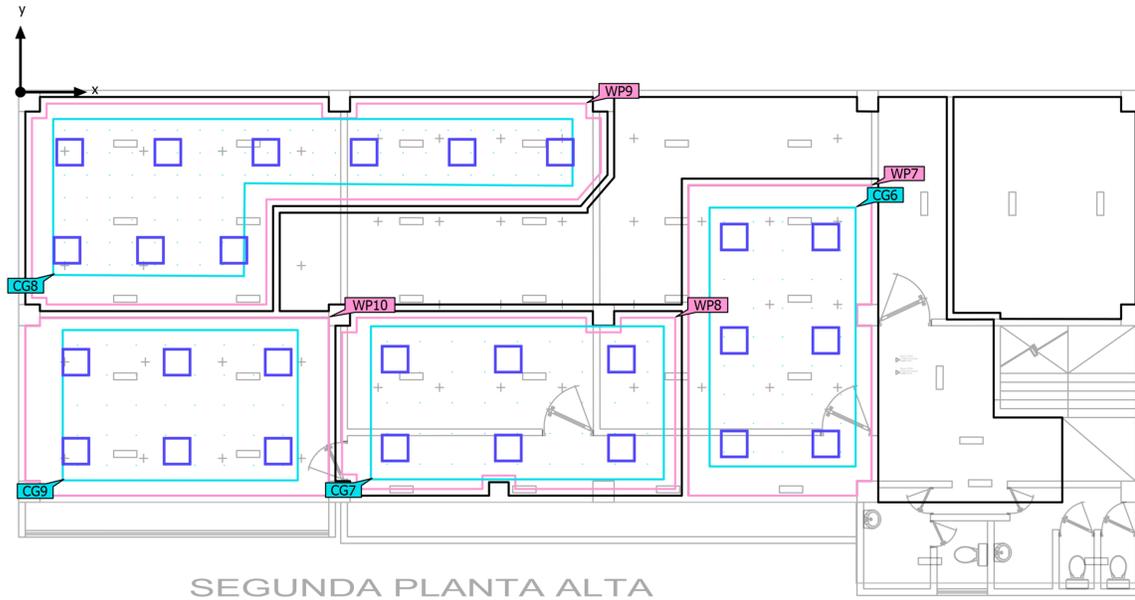


Aula 315



Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

### Objetos de cálculo



Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$U_o (g_1)$ (Nominal)	$g_2$	Índice
Plano útil (Aula 312) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	588 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	418 lx	774 lx	0.71 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.54	WP7
Plano útil (Aula 314) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.150 m	511 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	353 lx	700 lx	0.69 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.50	WP8
Plano útil (Aula 313) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.150 m	568 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	352 lx	773 lx	0.62 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.46	WP9
Plano útil (Aula 315) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	586 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	427 lx	773 lx	0.73 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.55	WP10

UGR 312 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	225°
máx	16.6
Nominal	$\leq 19.0$
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG6

Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

URG 314 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	210°
máx	18.2
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG7

Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

UGR 313 (UGR)

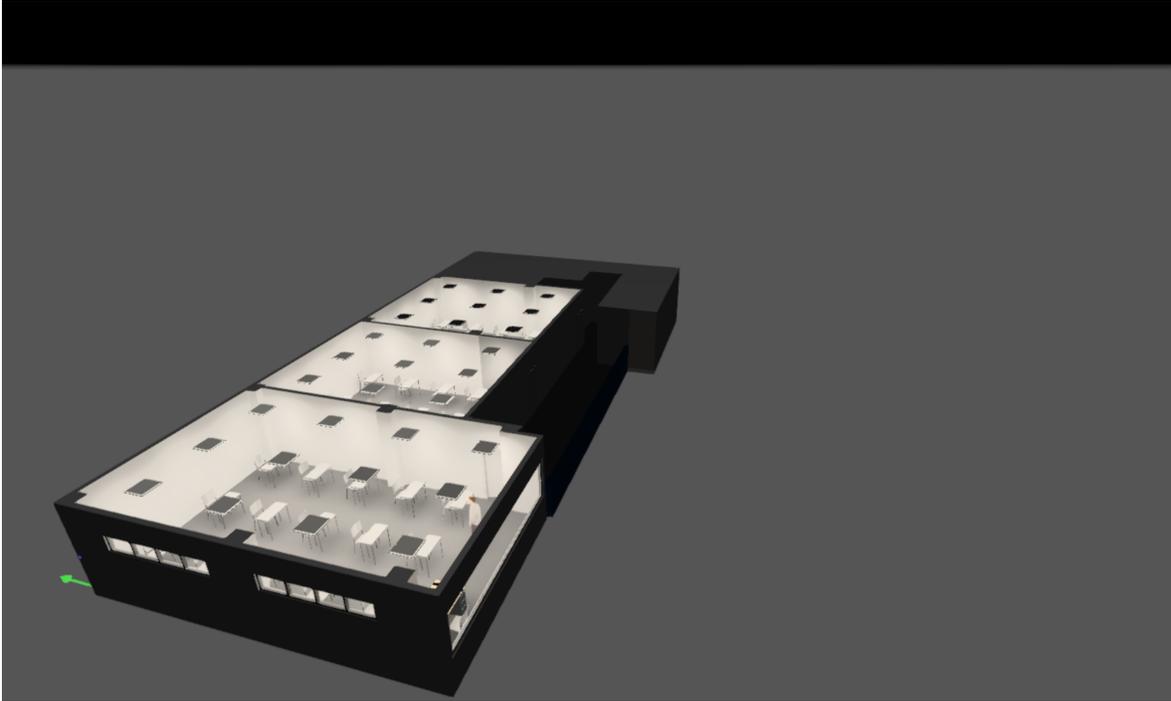
Máx. deslumbramiento a	210°
máx	18.0
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.400 m
Índice	CG8

Edificación 1 · PLANTA BAJA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

URG 315 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	0°
máx	17.3
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG9



Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA

## Descripción

Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA

**Imágenes**

Aula 322



Aula 323

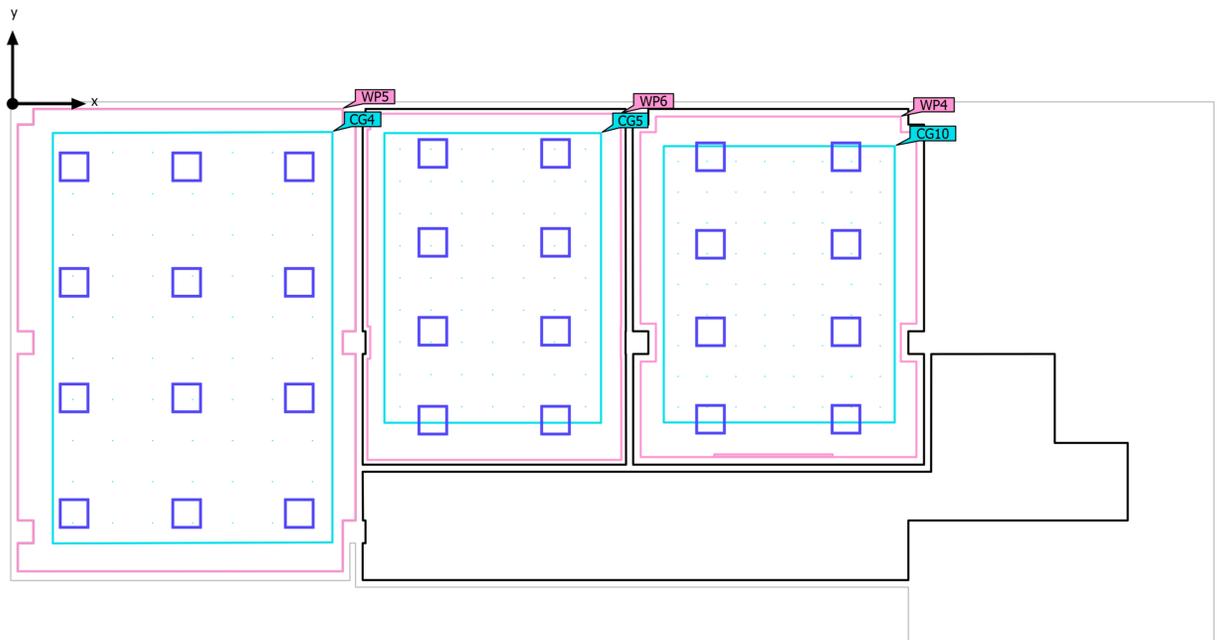


Aula 324



Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

### Objetos de cálculo



Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

**Objetos de cálculo**

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$U_0$ ( $g_1$ ) (Nominal)	$g_2$	Índice
Plano útil (Aula 322) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.160 m	506 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	310 lx	692 lx	0.61 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.45	WP4
Plano útil (Aula 324) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	521 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	356 lx	727 lx	0.68 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.49	WP5
Plano útil (Aula 323) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.100 m	505 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	314 lx	667 lx	0.62 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.47	WP6

UGR 324 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	120°
máx	18.1
Nominal	$\leq 19.0$
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG4

Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

UGR 322 (UGR)

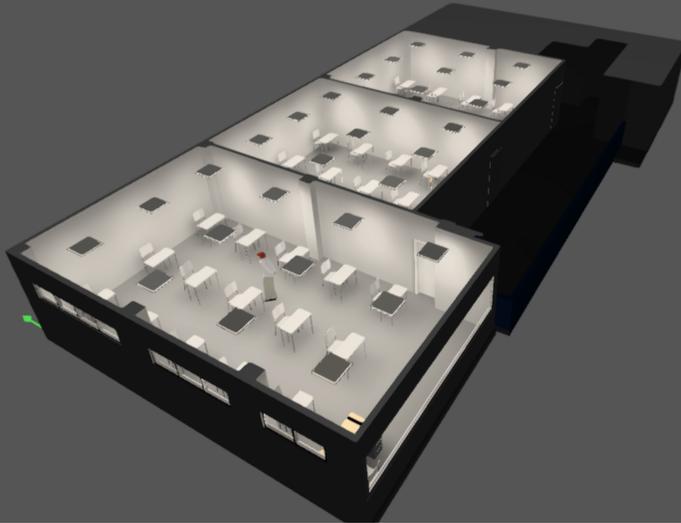
Máx. deslumbramiento a	285°
máx	18.9
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG5

Edificación 1 · PRIMERA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

UGR 322 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	75°
máx	18.3
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG10



Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA

## Descripción

Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA

## Imágenes

Aula 332



Aula 333

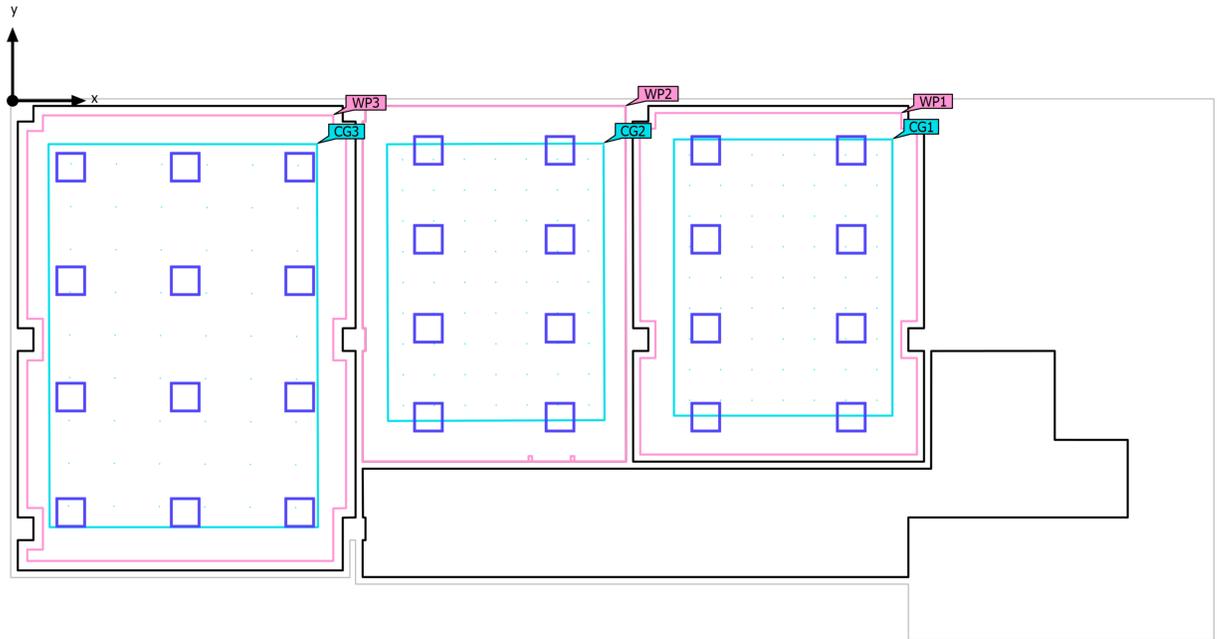


Aula 334



Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

### Objetos de cálculo



Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

**Objetos de cálculo**

Planos útiles

Propiedades	$\bar{E}$ (Nominal)	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$U_o$ ( $g_1$ ) (Nominal)	$g_2$	Índice
Plano útil (Aula 322) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.150 m	502 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	302 lx	684 lx	0.60 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.44	WP1
Plano útil (Aula 333) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	524 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	327 lx	688 lx	0.62 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.48	WP2
Plano útil (Aula 334) Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.200 m	501 lx ( $\geq 500$ lx) ✓	375 lx	706 lx	0.75 ( $\geq 0.60$ ) ✓	0.53	WP3

URG 322 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	120°
máx	18.0
Nominal	$\leq 19.0$
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG1

Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

UGR 323 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	135°
máx	17.9
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG2

Edificación 1 · SEGUNDA PLANTA ALTA (Escena de luz 1)

## Objetos de cálculo

UGR 324 (UGR)

Máx. deslumbramiento a	300°
máx	18.8
Nominal	≤19.0
Área del ángulo visual	0° - 360°
Amplitud de paso	15°
Altura	1.200 m
Índice	CG3

**Anexo 15. Detalle pliego tarifario.**

	<b>PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO 2024</b>	Código: GGPGE.GPSCCC.02.FO.01
		Versión: 03

# **ANEXO 1: NIVEL TARIFARIO (CARGOS TARIFARIOS)**



PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE

EMPRESAS ELÉCTRICAS:



AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

AMBATO - AZOGUES - CNEL BOLÍVAR - CENTROSUR - COTOPAXI - NORTE - RIOBAMBA - SUR

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>CATEGORÍA RESIDENCIAL</b>				
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>				
1-50		0,091	1,414	
51-100		0,093		
101-150		0,095		
151-200		0,097		
201-250		0,099		
251-300		0,101		
301-350		0,103		
351-500		0,105		
501-700		0,1285		
701-1000		0,1450		
1001-1500		0,1709		
1501-2500		0,2752		
2501-3500		0,4360		
Superior		0,6812		
<b>RESIDENCIAL TEMPORAL</b>				
		0,1285		
<b>CATEGORÍA GENERAL</b>				
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA</b>				
<b>COMERCIAL</b>				
1-300		0,092	1,414	
Superior		0,103		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
1-300		0,082		
Superior		0,093		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
1-300		0,072		
Superior		0,083		
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
1-300		0,058		
Superior		0,066		
<b>INDUSTRIAL ARTESANAL</b>				
1-300		0,073		
Superior		0,089		
<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO</b>				
1 - 100		0,034		
101-200		0,036		
201-300		0,038		
Superior		0,063		
<b>NIVEL VOLTAJE BAJO VOLTAJE CON DEMANDA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
	4,790	0,090	1,414	
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,790	0,080		
<b>ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
	4,790	0,080		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
	4,790	0,070		



PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

AMBATO - AZOGUES - CNEL BOLÍVAR - CENTROSUR - COTOPAXI - NORTE - RIOBAMBA - SUR

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		1,414
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,090	
22:00 hasta 08:00 horas		0,072	
	<b>INDUSTRIALES</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,065	
22:00 hasta 08:00 horas		0,069	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,080	
22:00 hasta 08:00 horas		0,066	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,790	0,070	
22:00 hasta 08:00 horas		0,056	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>		
	<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>		1,414
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	2,620	0,056	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,095	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,045	
S,D 18:00 hasta 22:00 horas		0,056	
	<b>VEHICULOS ELÉCTRICOS</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,080	
L-D: 18:00 hasta 22:00		0,100	
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,050	
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas		0,050	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>BAJO Y MEDIO VOLTAJE</b>		
1-300 Superior	<b>BOMBEO AGUA - COMUNIDADES CAMPESINAS DE ESCASOS RECURSOS ECONÓMICOS SIN FINES DE LUCRO</b>		0,700
		0,040	
	<b>ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO CON DEMANDA</b>		1,414
	3,000	0,065	
	<b>ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	3,000	0,065	
22:00 hasta 08:00 horas		0,054	



PERIODO: ENERO - DICIEMBRE

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

**AMBATO - AZOGUES - CNEL BOLÍVAR - CENTROSUR - COTOPAXI - NORTE - RIOBAMBA - SUR**

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
	4,790	0,095	1,414	
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,790	0,093		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
	4,790	0,071		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
	4,790	0,061		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>				
<b>COMERCIALES</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,576	0,095	1,414	
22:00 hasta 08:00 horas		0,077		
<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>				
08h00 hasta 22h00	4,576	0,071		
22h00 hasta 08h00		0,059		
<b>BOMBEO AGUA</b>				
08:00 hasta 22:00 horas	4,576	0,061		
22:00 hasta 08:00 horas		0,049		
<b>NIVEL VOLTAJE</b>				
<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>				
<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>				
	2,620	0,043	1,414	
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0,073		
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,034		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,043		
S,D 18:00 hasta 22:00 horas				
<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA y TRANSPORTE ELÉCTRICO PÚBLICO MASIVO</b>				
	4,050	0,069	1,414	
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0,086		
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,043		
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas				
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas				
<b>INDUSTRIALES</b>				
	4,576	0,0927	1,414	
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0,1067		
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,0750		
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0927		
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas				

## **Anexo 16. Certificado traducción del Resumen.**

Loja, 22 de noviembre de 2024

### **CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN**

Doctora.

Erika Lucía González Carrión, Ph.D.

#### **CERTIFICO:**

Yo, Doctora Erika Lucía González Carrión, Ph.D., con cédula de ciudadanía 1105820953, en mi calidad de traductora del idioma Inglés, con capacidades que pueden ser probadas a través de los siguientes documentos acreditativos:

- 1. TÍTULO DE LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACION MENCION IDIOMA INGLES**, Registro SENESCYT Nro. 1008-16-1457913 (Anexo 1 documento SENESCYT):  
<https://drive.google.com/file/d/1TrRikB37XkDSSXRhIsZDh4FhWbylYkFz/view?usp=sharing>
- 2. CERTIFICADO DE PROFICIENCIA DEL IDIOMA INGLES** (Anexo 2 documento):  
<https://drive.google.com/file/d/1cNGWVEFjYH1E4eoHVDHGDkmLFEIUYAT/view?usp=sharing>
- 3. CERTIFICADO INGLÉS NIVEL B2** (Anexo 3):  
<https://drive.google.com/file/d/1i9QP22MCNrRMkfrKPO54003zE92tfMu/view?usp=sharing>
- 4. ACCESO A REVISTA COMUNICAR- BLOG ESCUELA DE AUTORES:**  
<https://www.grupocomunicar.com/wp/school-of-authors/>  
(Al acceder en el enlace al blog, se podrá evidenciar la traducción realizada por quien certifica de cada entrada. Para mayor referencia observar la captura de pantalla adjunta ANEXO 4 :  
[https://drive.google.com/file/d/1UjPj\\_R1ciRBxeW8UwNUHuNxICOXClr2f/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1UjPj_R1ciRBxeW8UwNUHuNxICOXClr2f/view?usp=sharing)

Con fundamento en la citada experiencia, numerales 1 al 4, **C E R T I F I C O** que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado: “**Diseño lumínico eficiente para el bloque A3 de la UNL**”, de autoría del estudiante: **Pablo David Auquilla Tenezaca** con CI: 0104685474, es correcta y completa, según las normas internacionales de traducción de textos.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado Pablo David Auquilla Tenezaca, hacer uso legal del presente, según estime conveniente.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
**ERIKA LUCIA  
GONZALEZ  
CARRION**

**Dra. Erika González Carrión. PhD.**

**C.I. 1105820953**

- Registro SENESCYT Nro. 1008-16-1457913 - LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACION MENCION IDIOMA INGLES
- Registro SENESCYT Nro. 1031-15-1414538 - LICENCIADO EN COMUNICACION SOCIAL
- Registro SENESCYT Nro. 7242132304 - MASTER UNIVERSITARIO EN COMUNICACION Y EDUCACION AUDIOVISUAL
- Registro SENESCYT Nro. 7241182671 - DOCTORA DENTRO DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN COMUNICACION
- Registro Investigador SENESCYT acreditado: REG-INV-22-05714- Investigador Agregado 1.