Universidad Acción Pro Educación y Cultura

Decanato de Ingeniería e Informática
Escuela de Ingeniería

Trabajo de Grado para Optar por el Título de:
Ingeniero Eléctrico Mención Potencia

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA ILUMINACIÓN DE EDIFICIOS Y EXTERIORES CON LUMINARIAS TIPO LED Y/O DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA EN EL CAMPUS II DE LA UNIVERSIDAD APEC, SANTO DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA.

Sustentantes:

Br. José M. Iglesias Ortiz	2012-0075
Br. Raynel J. Leonor Pérez	2012-0130
Br. Carlos A. Santana Peralta	2014-0645

Asesor:

Prof. Carlos Javier Vázquez Rodríguez

Los conceptos expuestos en la siguiente investigación son responsabilidad de los sustentantes de la misma.

Distrito Nacional
República Dominicana
Mayo – agosto 2017

RESUMEN

El campus II de la Universidad APEC está destinado para estudiantes de ingeniería e informática. Este campus cuenta con más de 60 aulas incluyendo laboratorios en los que se trabajan con diseño y ensamblaje de dispositivos electrónicos, conexiones eléctricas y simulaciones en programas. Por dichas razones, una buena iluminación es sumamente necesaria.

Para lograr dicho fin se necesita investigar cada tipo de luminaria en búsqueda de la más eficiente, es decir, la que dé mejor relación calidad-precio de todas y que cumpla con los requerimientos establecidos.

Por otra parte, también es necesario estudiar factores ambientales dado que la tecnología de hoy en día apunta a que cada vez haya menos contaminación. Asimismo, estudiar los aspectos legales relacionados a las luminarias.

Además, analizar el impacto económico de estas luminarias para tener una noción de la inversión necesaria y el tiempo de retorno de la misma tomando en cuenta el tiempo de vida de las luminarias y el mantenimiento que deben de llevar éstas.

Finalmente validar los resultados obtenidos de esta investigación con la ayuda de softwares que faciliten el entendimiento de la investigación con el objetivo de representar las áreas físicas a mejorar.

AGRADECIMIENTOS

Durante el desarrollo de mis estudios en la Universidad APEC tuve la oportunidad de pertenecer a una gran institución la cual se encargó de brindarme y facilitarme las herramientas necesarias para formarme como profesional.

Quiero agradecer a Dios por darme la vida, el conocimiento y la capacidad de realizar esta carrera y por permitirme culminar una de las metas propuesta como es la de graduarme como Ingeniero Eléctrico.

Agradezco a mi familia, principalmente a mis padres. Sin ellos no fuera posible llegar aquí, gracias por todo el sacrificio realizado y por facilitarme todo lo necesario para que nunca me faltara nada, siempre estando disponible en cualquier momento y presentes para mí y mis peticiones. Gracias a ustedes por el apoyo entregado y la confianza depositada y por darme ánimos en los momentos malos en el cual los necesitaba. Me siento muy feliz de poder lograr esto junto a ustedes. Me siento orgulloso de los padres que tengo. Ustedes Son el mejor ejemplo de superación que pudiera desear y como siempre vendrán cosas mejores en el futuro.

Quiero agradecer a mi asesor Carlos Javier Vázquez Rodríguez por el esfuerzo entregado y la paciencia que tuvo conmigo y mis compañeros, y por la claridad en la que nos expresaba sus ideas para que en conjunto sacar lo mejor de nosotros.

Además, agradezco a todos los profesores con los que tuve la suerte de aprender tanto en lo educativo como en lo personal, gracias a la escuela de ingeniería que siempre nos recibían con los brazos abiertos para darnos la ayuda que se necesitara y a todas las personas que forma parte de la Universidad APEC por tratarnos como a una familia. Gracias.

José M. Iglesias Ortiz

AGRADECIMIENTOS

Tengo que agradecer en primer lugar al gran arquitecto de este mundo, el creador, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente rodeado de grandes y concederme unos padres y hermanos que valen más que el oro, los cuales fueron las grandes influencias para estudiar esta carrera, Nelson Leonor, Maritza Pérez, Janel Leonor, Saynel Leonor y Joanel Leonor. Ellos me brindaron todo el apoyo que necesitaba en esta travesía tan importante y difícil de mi vida, fueron muchos los momentos en que me sentía sin ánimo de avanzar, y ellos estuvieron ahí siempre que los necesité.

Un millón de gracias a esos profesores que llevo en el corazón estando algunos no presente entre los vivos, fueron los que pusieron cada peldaño para llegar a la cima; Carlos Vázquez, José Ml. Carlo Raymund, Pedro Betancourt, Edward Báez, Emin Rivera, Porfirio Sánchez, siendo cada único entre sus cualidades y mis ejemplos a seguir, excelentes profesores, siendo casi obligatorio volver a mencionar a mi padre Nelson quien fue mi primer maestro y a quien le debo mucho de lo que se.

Tengo que agradecer a mis grandes compañeros y amigos que me soportaron y estuvieron ahí cada segundo en mi formación, en especial mis

compañeros de tesis, esperando que este recorrido que hicimos juntos nos una para siempre, Carlos Santana y José Iglesias, ustedes son mis hermanos.

Este trabajo de grado se agradezco a ustedes compañeros y amigos:
Francisco Cotorrear Griffin, Erick Valdez, Kelvin Martínez, Carlos Perello, Oscar Peña, Ed Rayniery, Mario Peguero, Lyanne Lora, Stephanie Peña, Eliezer Nicolás, Karla Pérez, Tracey Pérez, Mariel Vallejo, Juan Cáceres, Sherman Rosario, Efer De Oleo, José Francisco, Jaime Álvarez, Miguel Damirón, Natividad Ortiz , Disania Holguín, Katherine Lantigua , Osias Leon , Roberto Antigua, Alex León , Kelvin Medrano, Enghert Diaz, Miguel Salazar, Michel Fernández, Genesis De León, Gustavo Sánchez, Elidy Herrera, Eduardo Gómez, Albarelis Tolentino, Agustín Degollado, Animal Print, Arisleida Taveras, Naomi Cabral, Pablo Herrera, Gustavo Diaz… Son muchos los nombres que van en esta lista y me faltan las palabras para agradecerles lo feliz que me hicieron, este trabajo de grado se los dedico.

Quiero agradecer al Judo dominicano y de la institución por brindarme la oportunidad de competir y pertenecer al equipo de judo de la Universidad APEC, Diovenny y Roque muchísimas gracias.

Solo quiero decir que sin todos los mencionados y otros nombres que reservo en mi corazón, no hubiera sido posible todo esto, por eso Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Durante el desarrollo de mis estudios en la Universidad APEC quisiera agradecer a los siguientes:

Doy gracias a Dios porque desde siempre me ha sido mi fortaleza y tu bendición nunca ha faltado. Gracias Dios porque en ti siempre encuentro sustento y sé que todo te lo debo porque sin ti nada soy. Gracias Padre porque tú me diste esta victoria. Eres mi todo.

Agradezco mi familia la cual me ha apoyado enormemente desde el principio y siempre ha estado ahí para mi sin importar las circunstancias y sé que para futuros proyectos también contaré con todos ustedes. Gracias por todo su amor, consejos, paciencia y comprensión. Gracias por su ejemplo de vida. Con ustedes he logrado esto.

Además, quiero agradecer a mis amigos que nunca se apartaron a pesar de que no podía dedicarles mucho tiempo y que además siempre estuvieron ahí

para ayudarme, soportarme y apoyarme. Me hacen ser mejor persona y sin ustedes este camino habría sido mucho más difícil. Gracias a todos.

Le agradezco a mi asesor, que mucho antes de nuestra investigación fue siempre diligente, un excelente guía y una enorme ayuda para nosotros durante nuestra carrera como ingenieros eléctricos.

Por otra parte, quiero agradecer a los profesores que impartieron excelentemente sus asignaturas y se preocuparon por el aprendizaje de cada uno de los estudiantes del aula. Gracias.

Carlos A. Santana Peralta

Tabla de Contenido

Resumen I
Agradecimientos II
Lista de Tablas XI
Lista de Figuras XII
INTRODUCCIÓN XIV
CAPITULO I MARCO TEÓRICO 15
1.1 La luz 15
1.1.1 Cronología de la luz según la historia y sus avances 3
1.1.2 El espectro electromagnético 7
1.1.3 Visión de los colores 8
1.1.4 Rendimiento de color 9
1.1.5 Gráficos de distribución espectral 11
1.1.6 Temperatura de color 13
1.1.7 Contraste de colores 14
1.1.8 Reflectancias 14
1.2 Magnitudes y unidades 16
1.2.1 Flujo luminoso 16
1.2.2 Iluminancia o iluminación 17
1.2.3 Intensidad luminosa 18
1.2.4 Luminancia 18
1.3 Tipos de sistemas ópticos 19
1.3.1 Reflectores 20
1.3.2 Especulares 20
1.3.3 Dispersores 20
1.3.4 Difusores 20
1.3.5 Refractores 21

1.3.6 Dispositivos de apantallamiento 21
1.3.7 Filtros 22
1.4 Clasificación según la distribución de la luz 23
1.4.1 Simétricas y asimétricas 23
1.4.2 Directas e indirectas 23
1.4.3 Directa 24
1.4.4 Semi-Directa 25
1.4.5 Difusa General 25
1.4.6 Directa-Indirecta 25
1.4.7 Semi-indirecta 25
1.4.8 Indirecta 25
1.5 Las lámparas 26
1.6 Lámparas incandescentes 26
1.6.1 Ventajas 27
1.6.2 Desventajas 27
1.7 Las lámparas a descarga 28
1.7.1 Lámparas Fluorescentes 28
1.7.2 Lámpara de descarga Sodio 29
1.7.3 Ventajas 33
1.7.4 Desventajas 34
1.8 Las lámparas a LED 34
1.8.1 Ventajas 36
1.8.2 Desventajas 37
1.8.3 Flicker 37
1.9 Alumbrado en áreas de estudios 38
1.10 La iluminación recomendada en las áreas de estudio 40
1.11 Mediciones de la iluminación 41
1.11.1 El color de la iluminación 41
1.11.2 La calidad de la luz 43
1.11.3 La eficacia luminosa 43
1.12 Iluminación de seguridad 44
1.13 Herramientas utilizadas 45
1.13.1 Herramientas de dibujo 45
1.13.2 Herramientas de cálculo 46
1.13.3 Equipos de medición 48
1.14 Estudio legal 49

1.15 Normas mundiales 49
CAPITULO II CUERPO DEL TRABAJO 50
2.1 Estudio Técnico 51
2.1.1 Iluminación adecuada 57
2.1.2 Resultados de las mediciones 58
2.1.3 Cálculos de iluminación 60
2.2 Estudio Económico 62
2.3 Selección de luminaria 63
2.3.1 Distribución de la luz y su forma 63
2.3.2 Rendimiento luminaria-lámpara 64
2.3.3 Limitación del deslumbramiento que pueda provocar en las personas 64
2.3.4 Instalación y mantenimiento 64
2.3.5 Estética 64
2.3.6 Luminaria escogida 64
2.4 DIALUX output 67
2.4.1 Aula 1 67
2.4.2 Aula 2 74
2.4.3 Aula 3 84
CAPITULO III VALIDACION DE RESULTADOS 92
3.1 Análisis de potencia, energía y costo de la energía 95
3.1.1 Análisis de reducción de potencia 95
3.1.2 Análisis de reducción de energía 96
3.1.3 Análisis de costo de energía 99
3.2 Inversión de luminarias propuestas 100
3.3 Tiempo de recuperación de la inversión 100
CONCLUSIONES XV
RECOMENDIACIONES XVII
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS XVIII
ANEXOS O APÉNDICES XXII
Glosario de términos XXII
Anteproyecto XXV

LISTA DE TABLAS

Tablas **Página**

TABLA 1. LÚMENES SEGÚN FUENTE DE LUZ 13
TABLA 2. PODER REFLECTANTE DE ALGUNAS MATERIALES Y COLORES 16
TABLA 3. EJEMPLOS DE LÚMENES CORRESPONDIENTE DE ALGUNAS LUMINARIAS 17
TABLA 4. EJEMPLOS DE INTENSIDAD LUMINOSA PRODUCIDA POR ALGUNAS LUMINARIAS 18
TABLA 5. EJEMPLOS DE LUMINANCIA 19
TABLA 6. LEVANTAMIENTO DE LUMINARIAS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA 53
TABLA 7. LEVANTAMIENTO DE LUMINARIAS EN LA BIBLIOTECA 53
TABLA 8. LEVANTAMIENTO DE LUMINARIAS EN EL EDIFICIO II 54
TABLA 9.LEVANTAMIENTO DE LUMINARIAS EN EL EDIFICIO III 55
TABLA 10. LEVANTAMIENTO DE LUMINARIAS EN EL EDIFICIO IV 55
TABLA 11. LEVANTAMIENTO DE LUMINARIAS EN EL ÁREA VERDE 56
TABLA 12. LEVANTAMIENTO DE LUMINARIAS EN PARQUEOS 56
TABLA 13. LEVANTAMIENTO DE LUMINARIAS EN LA PASILLO/ÁREA DE CAFETERÍA 56
TABLA 14. RESUMEN DEL LEVANTAMIENTO DE LUMINARIAS 56
TABLA 15. LUM/M² RECOMENDADOS POR ÁREAS 57
TABLA 16. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES EN LAS DIFERENTES ÁREAS 59
TABLA 17. VALOR DE DESLUMBRAMIENTO PARA LUMINARIA EN "AULA 1" 69
TABLA 18. RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS PARA "AULA 2" 77
TABLA 19. RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS PARA "AULA 3" 80
TABLA 20. POTENCIA DE LA BIBLIOTECA CON LUMINARIA PROPUESTA 92
TABLA 21. POTENCIA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CON LUMINARIA PROPUESTA 92
TABLA 22. POTENCIA DEL EDIFICIO II CON LUMINARIA PROPUESTA 93
TABLA 23. POTENCIA DEL EDIFICIO III CON LUMINARIA PROPUESTA 93
TABLA 24. POTENCIA DEL EDIFICIO IV CON LUMINARIA PROPUESTA 93
TABLA 25. POTENCIA DEL ÁREA VERDE CON LUMINARIA PROPUESTA 94
TABLA 26. POTENCIA DE PARQUEOS CON LUMINARIA PROPUESTA 94
TABLA 27. POTENCIA DEL PASILLO/ÁREA CON LUMINARIA PROPUESTA 94
TABLA 28. RESUMEN DE LA POTENCIA TOTAL CON LUMINARIA PROPUESTA 95
TABLA 29. POTENCIA ACTUAL DE LUMINARIAS VS LUMINARIA PROPUESTA 95
TABLA 30. ENERGÍA CONSUMIDA CON LUMINARIAS PROPUESTAS EN UN DÍA POR LA BIBLIOTECA 96
TABLA 31. ENERGÍA CONSUMIDA CON LUMINARIAS PROPUESTAS EN UN DÍA POR LA ESCUELA DE INGENIERÍA 96
TABLA 32. ENERGÍA CONSUMIDA CON LUMINARIAS PROPUESTAS EN UN DÍA POR LA EDIFICIO II 97
TABLA 33. ENERGÍA CONSUMIDA CON LUMINARIAS PROPUESTAS EN UN DÍA POR LA EDIFICIO III 97

TABLA 34. ENERGÍA CONSUMIDA CON LUMINARIAS PROPUESTAS EN UN DÍA POR LA EDIFICIO IV 97
TABLA 35. ENERGÍA CONSUMIDA CON LUMINARIAS PROPUESTAS EN UN DÍA POR LAS ZONAS EXTERIORES 98
TABLA 36. ENERGÍA CONSUMIDA CON LUMINARIAS PROPUESTAS EN UN DÍA POR PASILLO/CAFETERÍA 98
TABLA 37.RESUMEN DE ENERGÍA CONSUMIDA CON LUMINARIAS PROPUESTAS EN UN DÍA 98
TABLA 38. ANÁLISIS DE COSTO DE ENERGÍA EN UN DÍA 99
TABLA 39. INVERSIÓN NECESARIA EN EUROS PARA LA COMPRA DE LAS LUMINARIAS PROPUESTAS 100
TABLA 40. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INVERSIÓN EN LUMINARIAS PROPUESTAS 101

LISTA DE FIGURAS

Figuras **Página**

FIGURA 1. ESPECTRO DE LUZ 15
FIGURA 2. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO 7
FIGURA 3. ESPECTRO VISIBLE 8
FIGURA 4. VISIÓN ESCOTÓPICA VS FOTÓPICA 8
FIGURA 5. REFLEXIÓN Y ABSORCIÓN DE LA LUZ BLANCA. 10
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE UNA LÁMPARA INCANDESCENTE Y DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA LUZ DEL DÍA 11
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA LUZ SOLAR Y ALGUNAS LUMINARIAS ARTIFICIALES 12
FIGURA 8. TEMPERATURA DE COLOR DE ALGUNAS LUMINARIAS 13
FIGURA 9. CONTRASTE DE ALGUNOS COLORES 14
FIGURA 10. FLUJO LUMINOSO EN UNA BOMBILLA COMÚN 16
FIGURA 11. NIVEL DE ILUMINACIÓN EN UNA SUPERFICIE PLANA 17
FIGURA 12. INTENSIDAD LUMINOSA 18
FIGURA 13. EFECTO DE LA LUMINANCIA EN UNA SUPERFICIE DADA 19
FIGURA 14. SIMETRÍA EN LAS LUMINARIAS 24
FIGURA 15. CLASIFICACIÓN CIE DE LUMINARIAS DE USO GENERAL 24
FIGURA 16. EFECTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LUMINARIAS INCANDESCENTE POR LAS VARIACIONES DE VOLTAJE (%) 27
FIGURA 17. LÁMPARAS Y TUBOS FLUORESCENTES 29
FIGURA 18. PARTES DE LA LÁMPARA DE DESCARGA SODIO (BAJA PRESIÓN) 30
FIGURA 19. PARTES DE LA LÁMPARA DE DESCARGA SODIO (ALTA PRESIÓN) 32
FIGURA 20. COMBINACIÓN DE COLORES RGB 35
FIGURA 21. ESCALA DE TEMPERATURAS DE COLOR EN GRADOS KELVIN 42
FIGURA 22. LUXÓMETRO UTILIZADO EN LAS MEDICIONES 49
FIGURA 23. LEVANTAMIENTO REALIZADO EN DIFERENTES ÁREAS. 52
FIGURA 24. NIVEL DE ILUMINACIÓN PROMEDIO DE AULAS (LUM/M²) 58
FIGURA 25. LOGO DE LA COMPAÑÍA PHILIPS 65
FIGURA 26. “AULA 1” CON PRESENCIA DEFICIENCIAS EN ILUMINACIÓN 67
FIGURA 27. LUMINARIA PARA UTILIZARSE EN EL "AULA 1" 68
FIGURA 28. PRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LUXES EN "AULA 1" 70
FIGURA 29. RESUMEN DE RESULTADOS PARA "AULA 1" 71
FIGURA 30. RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS PARA "AULA 1" 71
FIGURA 31. RENDERIZADO "AULA 1" 72
FIGURA 32. RANGO DE LUX "AULA 1" 72

FIGURA 33. ESPECTRO DE INCIDENCIA DE LA LUZ REPRESENTADO EN FALSOS COLORES EN "AULA 1" 72
FIGURA 34. REPRESENTACIÓN 3D DISTRIBUCIÓN LUMINOSA EN "AULA 1" 73
FIGURA 35. RANGO EN LUX DE ISOLINEAS EN "AULA 1" 73
FIGURA 36. ISOLINEAS EN LUX DE ACUERDO CON EL RANGO EN "AULA 1" 73
FIGURA 37. “AULA 2” CON PRESENCIA DEFICIENCIAS EN ILUMINACIÓN. 74
FIGURA 38. “AULA 2” CON PRESENCIA DEFICIENCIAS EN ILUMINACIÓN DESDE OTRO ÁNGULO 74
FIGURA 39. LUMINARIA A UTILIZARSE EN EL "AULA 2" 75
FIGURA 40. PRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LUXES EN "AULA 2" 78
FIGURA 41. RESUMEN DE RESULTADOS PARA "AULA 2" 79
FIGURA 42. RENDERIZADO "AULA 2" 81
FIGURA 43. RANGO EN LUX DE ISOLINEAS EN "AULA 2" 81
FIGURA 44. ESPECTRO DE INCIDENCIA DE LA LUZ REPRESENTADO EN FALSOS COLORES EN "AULA 2" 82
FIGURA 45. REPRESENTACIÓN 3D DISTRIBUCIÓN LUMINOSA EN "AULA 2" 82
FIGURA 46. RANGO EN LUX DE ISOLINEAS EN "AULA 2" 83
FIGURA 47. ISOLINEAS EN LUX DE ACUERDO AL RANGO EN "AULA 2" 83
FIGURA 48. “AULA 3” CON PRESENCIA DEFICIENCIAS EN ILUMINACIÓN 84
FIGURA 49. “AULA 3” CON PRESENCIA DEFICIENCIAS EN ILUMINACIÓN DESDE OTRO ÁNGULO 84
FIGURA 50. LUMINARIA A UTILIZARSE EN EL "AULA 3" 85
FIGURA 51. RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS PARA "AULA 3" 87
FIGURA 52. PRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LUXES EN "AULA 3" 88
FIGURA 53. RESUMEN DE RESULTADOS PARA "AULA 3" 89
FIGURA 54. RENDERIZADO "AULA 3" 89
FIGURA 55. RANGO EN LUX DE ISOLINEAS EN "AULA 3" 90
FIGURA 56. ESPECTRO DE INCIDENCIA DE LA LUZ REPRESENTADO EN FALSOS COLORES EN "AULA 3" 90
FIGURA 57. REPRESENTACIÓN 3D DISTRIBUCIÓN LUMINOSA EN "AULA 3" 90
FIGURA 58. RANGO EN LUX DE ISOLINEAS EN "AULA 3" 91
FIGURA 59. ISOLINEAS EN LUX DE ACUERDO AL RANGO EN "AULA 3" 91

INTRODUCCIÓN

La educación es uno de los factores determinantes para el desarrollo de una sociedad de modo que, una iluminación adecuada es sumamente importante para un centro de estudio como lo es el caso del campus II de la Universidad APEC.

La buena iluminación es tan importante que la falta de esta puede provocar problemas de salud, ya sean provisionales o permanentes.

En este documento se presenta información básica sobre la luz natural y artificial, la cual es determinante antes de proceder con la investigación de las luminarias del campus II de la Universidad APEC.

Este documento tiene el propósito de mejorar las condiciones de trabajo de estudiantes, profesores y demás empleados del campus II de la Universidad APEC. Para ello en esta investigación se evaluarán diferentes tipos de luminarias en base a un estudio técnico-económico. Además, esta

investigación se apoyará con diferentes softwares que faciliten los cálculos y den mayor precisión a esta investigación.

Finalmente se seleccionará la luminaria que cumpla con los requisitos de iluminación y se realizará una evaluación económica que determinará que tan factible son las luminarias seleccionadas.

CAPITULO I
MARCO TEÓRICO

1.1 La luz

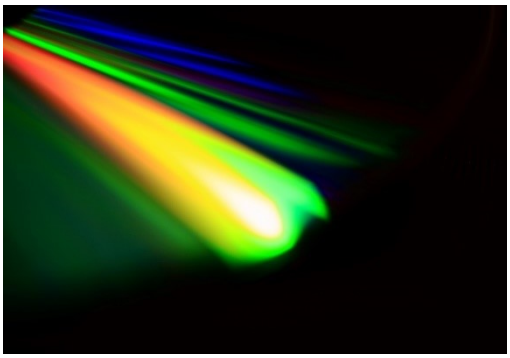


Figura 1. *Espectro de luz*
Fuente: *Freestockcenter Freepik.com*

La luz es una radiación electromagnética que se propaga en forma de ondas. Estas ondas se propagan en el vacío a una velocidad de 300,000km/s. Sin embargo, a pesar de que la gran mayoría de los seres humanos no la conocen en profundidad, la luz viene siendo evaluada, cuestionada, investigada desde tiempos muy remotos. Actualmente se reconoce que la velocidad de la luz es de 299 792 458 m/s.

Desde siglo XI ya se comenzaban a plantear teorías sobre la como la luz era parte fundamental en la visión con el físico matemático Alhazen. Su idea consistía en que la luz que provenían de los objetos produce las imágenes

que perciben los ojos. Más adelante, Christiaan Huygens es quien aporta la teoría de que la luz la cual dice que ésta se manifiesta de forma ondulatoria marcando los cimientos de múltiples teorías acerca de cómo viaja la luz, pero el aporte más significativo lo hizo Sir Isaac Newton con un experimento que consistía en la luz del Sol atravesando un prisma de cristal de forma triangular haciendo que dicha luz blanca sea descompuesta por múltiples colores, pudiéndose realizar el experimento a la inversa pasando de los colores del arcoíris a luz blanca de nuevo con el simple ademan de colocar otro prisma en la trayectoria de dicho espectro. La importancia de este experimento radica en donde se posiciona el rango de visión una paleta de colores creadas basadas en las diferentes frecuencias a las que viaja la luz. Newton, (introduce el término espectro) en su publicación denominada “Opticks” en la que sostenía que la luz viaja en partículas de diferentes colores cada una con una frecuencia diferente. Los colores dictados por la hipótesis de Newton eran los siguientes: rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. Hoy en día se acepta que la luz está compuesta por pequeños paquetes de energía denominados fotones la cual posee propiedades ondulatorias y de partículas, en el vacío la misma viaja a la misma velocidad.

Si puede distinguir todo los que se tiene alrededor es por la presencia de la luz en el entorno siendo esta la causante y la variable que permite darle un color característico a todo imprimiéndose en la visión del ojo humano. Se puede decir los ojos son sensores de ondas capaces de captar tipos de ondas específicas. Hay muchos tipos de luces de acuerdo con su longitud de ondas, pero no todas pueden ser captadas por el ojo humano. Analizando

las que si pueden ser captadas está el espectro de luz blanca como tal y como se conoce. Si se pone una tabla con los espectros electromagnéticos correspondiente a los diferentes tipos de luces, la luz blanca estaría entre la luz ultravioleta y la luz infrarroja siendo estas totalmente imperceptible para el ojo humano. Los espectros electromagnéticos que estén antes o después de la luz visible en los rangos solo pueden ser visibles por dispositivos especiales.

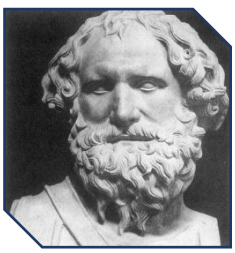
Al igual que hay aparatos que captan diferentes tipos de ondas partiendo que la idea de que cada luz posee su propia longitud de onda, hay objetos que las emiten. Entre estos entran las fuentes de luz visibles, toda la luz que se percibe proviene de algún cuerpo capaz de emitir dicha luz por sí mismo partiendo de la explicación de la ley de conservación de la energía, diciéndose que toda energía en cualquier cantidad y sistema físico permanecerá, aunque puede transformarse. Eso mismo pasa con la luz, es simplemente la transformación de una energía en luz.

La mayor fuente de energía y de luz se conoce desde hace años, se llama Sol, su energía luminosa parte de la fusión que sucede en su cuerpo teniendo un papel importante los átomos de hidrogeno que lo componen. Visto de esta forma, la luz no es “magia” más bien es una forma de energía pasando a otra. Si se examinan las bombillas incandescentes, las más longeva en el mercado, la luz que emiten es gracias a que la energía eléctrica pasa atreves de un filamento en vacío produciendo calor y luz al mismo tiempo. Los metales, materiales ya comunes en la actualidad, al ser

sometidos al efecto Joule se tornan rojizos y fosforescentes emitiendo así luz. Las lámparas de aceite producen luz mediante energía química liberada por el combustible a nivel atómico proporcionando pequeñas dosis de partículas de fotones. La luz como tal es energía.

Un punto importante para entender es que la mayor parte de la materia no produce luz de forma natural, más bien refleja la que recibe de otros cuerpos que sí la producen. El color de dichos cuerpos es consecuencia de la luz que estos reciben. Por ejemplo, cuando un cuerpo es golpeado por luz blanca suponiendo una superficie roja, dicha superficie actúa como esponja absorbiendo todos los colores del espectro, menos la componente roja siendo está reflejada por la superficie. Cuando una superficie es de color negra, poniendo el mismo ejemplo de una luz blanca yendo directo a este cuerpo, el cuerpo negro no reflejara ninguna de las componentes del espectro absorbiendo todas las componentes pasando lo contrario si la superficie es blanca, reflejando todo el espectro recibido.

1.1.1 Cronología de la luz según la historia y sus avances



Herón de Alejandría

10 -70 d. C

Con su obra *Catóptrico* expuso que la luz viaja de un punto a otro en términos geométricos yendo por el camino menos largo.

Estudió la refracción y reflexión de la luz a ley de experimentos de cómo esta decreta ángulos al presentar estos fenómenos en objetos que por la incidencia de los rayos de luz de veían refractados.

Euclides

300 d. C

Entre los muchos aportes que Euclides dio a la óptica el Afirmó sobre el comportamiento rectilíneo de la luz, también describió desde la perspectiva matemático la ley de reflexión.

El establece que la luz proviene de solo algunos cuerpos que poseen luz propia, los demás solo la reflejan, también dio pie a experimentos prácticos con lentes y espejos. **Se conoce a Alhazen como el padre de la Óptica.**

Alhazen

Galileo Galilei

1638

Él llegó a la conclusión que la velocidad de la luz era tan alta que a sus medios era imposible medir de forma exacta, dando base a los próximos experimentos a realizar de la misma.

Con las Lunas de Júpiter dio con la primera medida de la velocidad de la luz la cual especulo que era de 220,000 km/s.

Pierre de Fermat

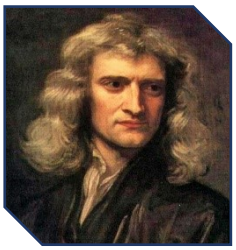
1654

Feramat establece que la luz al moverse de un punto a otro en un tiempo mínimo es su trayectoria real. Siendo esto incompleto de lo dicho y habiendo una versión moderna de este principio.

Plantea de forma muy precisa el comportamiento ondulatorio de la luz y expone en base a su propuesta el efecto de reflexión y refracción.

1675

Christian Huygens



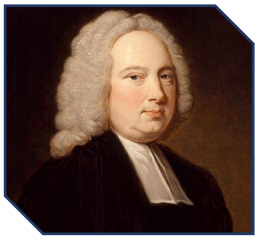
Isaac Newton

1704

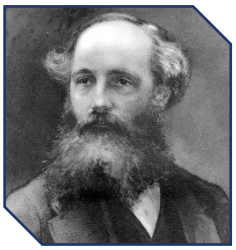
Trabajó de forma experimental sobre como la luz está compuesta por un espectro multicolor teniendo cada color una frecuencia propia, también hablo de que la luz viaja en paquetes de energía en forma de partícula.

Expuso la llamada “aberración de la luz”, planteando que las estrellas dependiendo de donde la posición hay una diferencia en donde el ser humano a donde está. También planteó que la luz viaja a una velocidad de 301.000 km/s.

1729



James Bradley



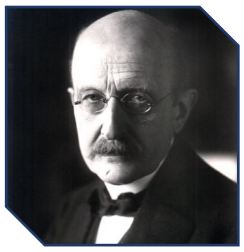
James Maxwell

1873

Escribió Teoría electromagnética. Gracias a esta teoría se conoce que la velocidad de la luz es una relación entre la permeabilidad eléctrica y la magnética.

Expuso la Teoría cuántica de la luz. La luz no llega de una manera continua, sino que está compuesta por pequeños paquetes de energía que se llaman cuantos.

1880



Max Planck

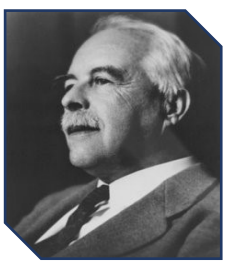
Albert A. Michelson

1926

Demostró que los rayos de luz enviados en direcciones de la tierra se reflejaban a la misma velocidad. También planteó que la luz viaja a una velocidad de 299 796 ±4 km/s

Se adoptó por el conglomerado científico el nombre fotón a la partícula que antes era conocida como cuanto, Gilbert Newton Lewis fue quien dio pie a este nombramiento.

1926



Gilbert N. Lewis

Fuente: fisica.cubaeduca.cu

1.1.2 El espectro electromagnético

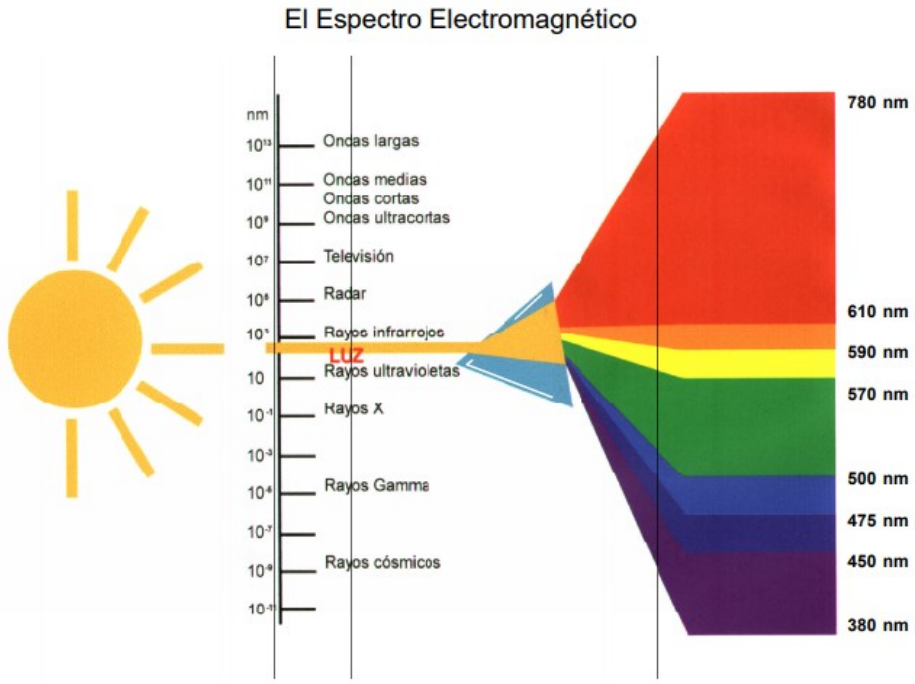


Figura 2. *El espectro electromagnético*
Fuente: *aulaclic.es*

La figura 2 corresponde al espectro electromagnético de las diferentes ondas electromagnéticas que rodean todo el universo, si ya bien es explicado en este capítulo como la luz se desenvuelve y como es su comportamiento, además de donde nace, aquí se ve ejemplificado teniendo como el rango de luz visible partiendo desde el experimento de Newton del prisma desglosándose en las diferentes longitudes de ondas que esta se descompone en la interacción de la luz blanca con el prisma. El rojo posee una longitud de onda más larga mientras que el violeta vendría es su contraparte siendo la más corta. Cabe destacar que gracias a este fenómeno se puede dar una explicación en base a la óptica de donde salen los colores que el ser humano percibe.

1.1.3 Visión de los colores

La luz visible y su gama de colores se caracterizan de forma más concreta por su longitud de onda, el ser humano distingue radiaciones que van desde los 380 nanómetros hasta los 760 nanómetros.

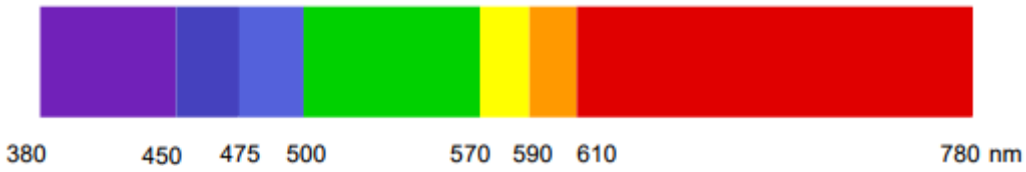


Figura 3. *Espectro visible*
Fuente: *educ.ar*

El ojo humano se comporta como el sensor capaz de captar los diferentes tipos de longitudes de ondas de la luz presentando una sensibilidad relacionada de acuerdo los niveles de luz si se habla de la cúspide de forma natural siendo el medio día ésta se representa a forma de curva llamada **"curva de sensibilidad del ojo"**

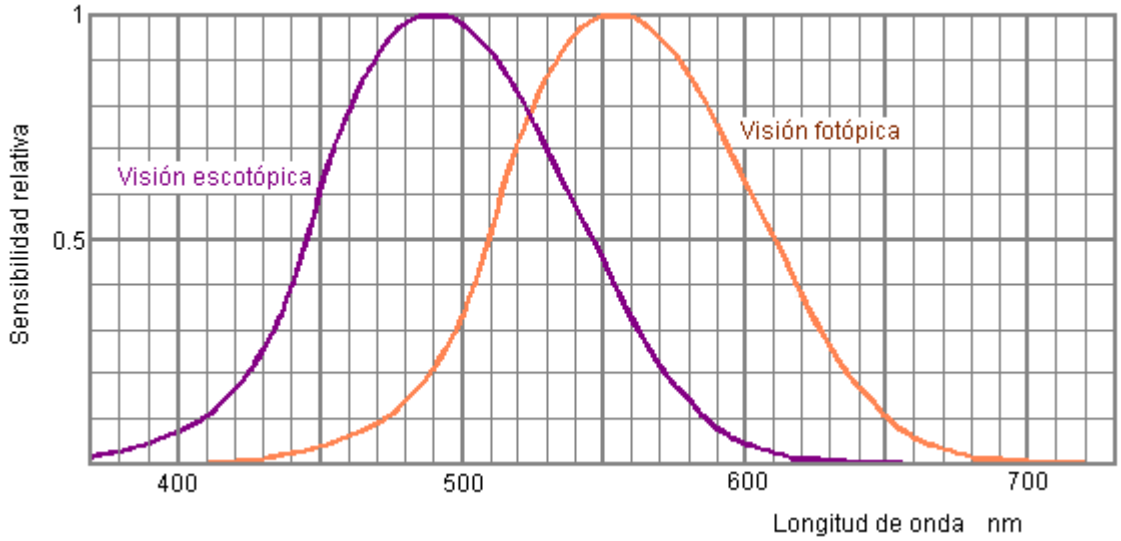


Figura 4. *Visión escotópica Vs fotópica*
Fuente: *recursos.citcea.upc.edu*

El termino **visión escotópica** se refiera a cuando los niveles de luz son muy bajos y se ve lo que posible o la persona imagina de acuerdo con lo que se dibuje en el sensor ocular. Mientras que **la visión fotópica** es la luz a pleno día teniendo una precepción clara de lo que se ve.

El ojo humano a estas diferentes exposiciones de luz se desenvuelve de diferentes formas por ejemplo a plena luz del día con una longitud de onda a los 555 nm predominan los colores amarillentos y verdosos y a una menor cantidad los rojizos y los violetas poniéndose a trabajar los conos de la retina sensibles a los colores y los bastoncillos que son sensibles a la luz. Mientas que a poca luz se crea un efecto de desplazamiento a nivel de la curva de sensibilidad del ojo provocando que el ser humano sea capaz de ver a pesar de la poca luz haciendo su sensibilidad máxima a 507 nm. En estas condiciones los conos no son eficientes por lo tanto los colores no son claros, siendo el azul el predominante una casi ceguedad a los rojos, este efecto se conoce como **Efecto Purkinje.**

1.1.4 Rendimiento de color

Muchos expertos hablan de la inexistencia de los colores como una realidad palpable, lo que es difícil de asimilar siendo algo tan real para el ojo humano, pero estos más que unas inexistencias pueden ser visibles gracias a son el reflejo de una longitud de onda especifica emitida por un cuerpo.

La reflexión de la luz es el cambio de dirección que esta experimenta al rebotar con una determinada superficie. Las propiedades de reflexión de un material son las que matizan los colores que se conocen, siendo capaz de reflejar la componente de longitud de onda que la superficie tenga como "coloro intrínseco".

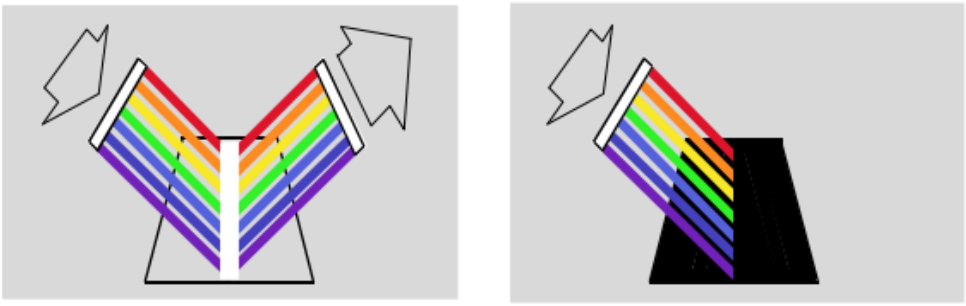
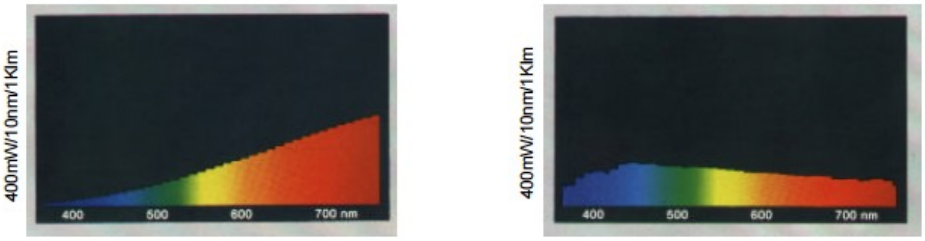


Figura 5. *Reflexión y absorción de la luz blanca.*
Fuente: *laszlo.com.ar*

Tomando en cuenta a la fuente de donde procede la luz es su espectro, esta se conoce como **el Índice de Reproducción Cromático en una luminaria (IRC)** siendo la referencia principal la luz del día. La forma de determinar esta variable es con la comparación cromática de los cuerpos al ser incididos por la luz.

Este aspecto es muy importante pues cada tecnología tiene forma específica de cómo su espectro se manifiesta. Por ejemplo, una lámpara incandescente tipo luz día de forma ideal se dice que dicho espectro contiene todas las componentes respetivas en función óptima, pero en la realidad esto no es así, le falta la componente azul, en el caso de la fluorescente la componente roja es la ausencia. Cuando una luminaria posee todas las componentes

cromáticas en rangos óptimos se dice que tiene un IRC= 100, denominado espectro continuo sin mostrar interrupciones en el gráfico. Si el espectro se le notan interrupciones en el gráfico como en el caso de las lámparas de descarga se habla de lo que se conoce como un espectro discontinuo.



Distribución espectral de una lámpara incandescente Iluminante Standard CIE tipo A

Distribución espectral de la luz del día normal Iluminante Standard CIE D65

Figura 6. *Distribución espectral de una lámpara incandescente y distribución espectral de la luz del día*

Fuente: *laszlo.com.ar*

1.1.5 Gráficos de distribución espectral

La luz artificial tiene como ya fue mencionado anteriormente un espectro característico que difiere uno al otro según el tipo de tecnología empleada, esto gráficamente se presenta con la **"gráfica de distribución espectral"** permitiendo tener una proyección de las características del espectro de dichas luminarias.

Una luminaria tendrá un rendimiento de tipo optimo si va desde los 100 a los 85 IRC, bueno de 85 a 75 a los y regular o discreto partiendo de los 70 hasta los 50.

Dos tipos de luminarias pueden ser contempladas para que una ayude a la otra en tanto a la temperatura y a los niveles de IRC.

A continuación, se muestran diferentes distribuciones espectrales:

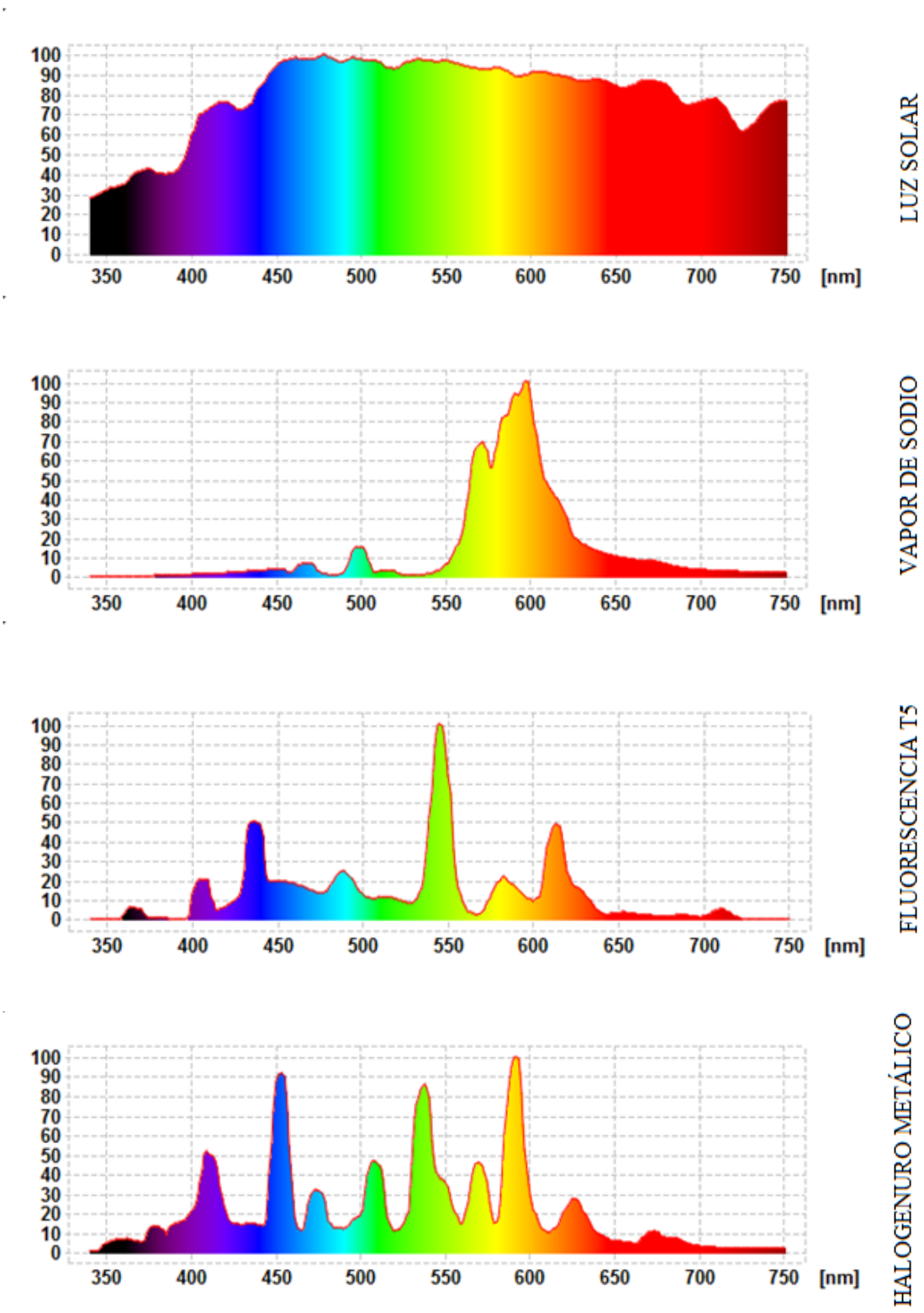


Figura 7. *Distribución espectral de la luz solar y algunas luminarias artificiales*

Fuente: *laszlo.com.ar*

1.1.6 Temperatura de color

Debajo, se presenta un cuadro comparativo del IRC en diferentes luminarias:

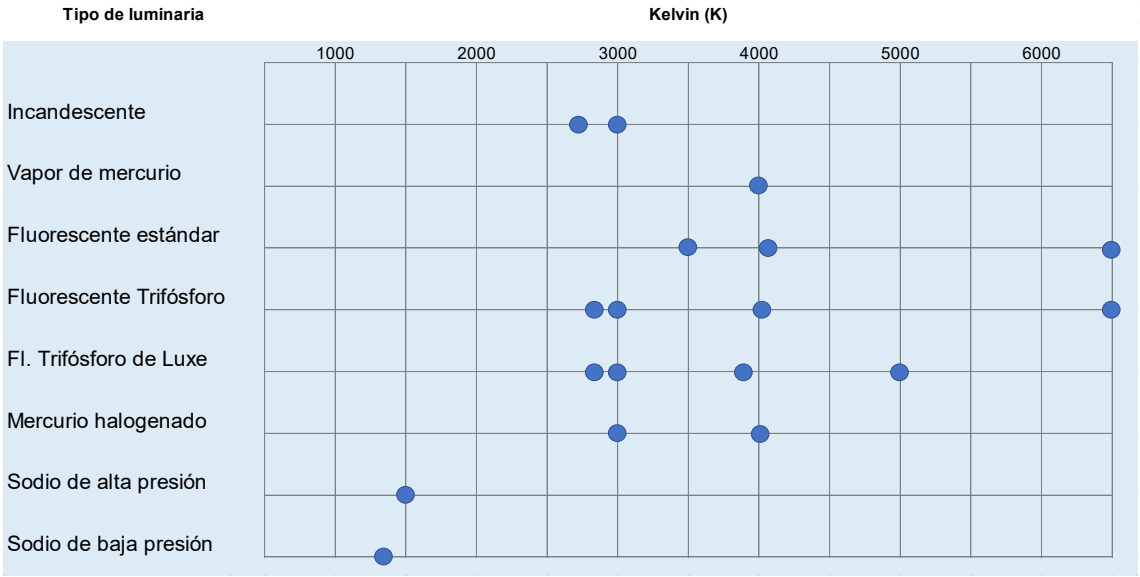


Figura 8. *Temperatura de color de algunas luminarias*
Fuente: *laszlo.com.ar*

A continuación, se muestra una tabla con ejemplos de iluminación de diferentes fuentes de luz:

Tabla 1. *Lúmenes según fuente de luz*

Cielo azul (despejado)	10,000 a 30,000
Cielo nublado	7,000
Luz solar al medio día	5,200
Luna	4,100
Luz de vela	1,800
Lámpara Fluorescentes	
Luz día	6,500
Blanco neutro	4,000
Blanco cálido	3,000

Lámparas incandescentes	
Luz día (500 W)	4,000
Estándar	2,700 a 3,200

Fuente: *laszlo.com.ar*

1.1.7 Contraste de colores

La combinación de los colores es algo que algunos asocian solo con el arte y la decoración de interiores, pero a la hora de señalizar algo también es bueno tener en cuenta los contrastes que hay entre ciertos colores. A continuación, algunos de los contrastes de colores:

Figura 9. *Contraste de algunos colores*
Fuente: *laszlo.com.ar*

1.1.8 Reflectancias

En los proyectos de luminotecnia la luz que refleja los objetos juega un papel tan importante como la misma luminaria a escoger. Según sea su tipo, las luminarias emiten una luz de fuga de diferentes rangos y amplitud de proyección tomando en cuenta su óptimo desempeño según el lugar que se desea adecuar de forma correcta. Cuando este rango es de una proyección

abierta se tendrá un resultado de iluminación emitida directamente en el entorno deseado tomando como provisto ninguna obstrucción en dicha proyección.

Es importante la medida de ver que la luz llegue a cumplir con dicho objetivo, pues de esto depende el trabajo efectivo de la luminaria escogida ya que de no ser así esta estaría realizando un trabajo totalmente diferente para la cual la misma fue elegida.

En casos estéticos o de seguridad, la luz emitida descansará en la pared creando entornos casi mágicos visualmente o desempeñando un papel de iluminación imparcial contrastando o complementando el color del objeto colocados en su rango de proyección. En otros casos el haz de luz descansa forma tal que resalta de manera muy concreta todas las características del objeto. Estos casos son donde se busca por ejemplo la iluminación directa de algún letrero.

La refracción es igual de importante pues todo depende de cómo los colores actúen con respecto a la luz si los reflejaran o si la misma absorberá el espectro luminoso.

Tabla 2. *Poder reflectante de algunas materiales y colores*

Color	Refl. %	Material		Refl. %
Crema claro	**70-80**	Aluminio	Pulido	**80-90**
Blanco	**70-75**		Mate	**55-60**
Amarillo claro	**50-70**	Vidrio plateado		**80-90**
Celeste claro	**50-70**	Mármol blanco		**60-70**
Verde claro	**45-70**	Acero pulido		**55-65**
Gris claro	**45-70**	Revoque	Claro	**35-55**
Rosa claro	**45-70**		Oscuro	**20-30**
Amarillo oscuro	**40-50**	Hormigón	Claro	**30-50**
Marrón claro	**30-50**		Oscuro	**15-25**
Gris oscuro	**10-20**	Madera	Clara	**30-50**
Verde oscuro	**10-20**		Oscura	**10-25**
Azul oscuro	**10-20**	Ladrillo	Claro	**30-40**
Rojo oscuro	**10-20**		Oscuro	**15-25**
Negro	**4-6**	Granito		**15-25**

Fuente: *laszlo.com.ar*

1.2 Magnitudes y unidades

1.2.1 Flujo luminoso

El flujo luminoso expresa la cantidad emitida de luz hacia todas las direcciones a través de una fuente de luz. Se representa por el símbolo phi (Φ) y su unidad de medida es el lumen (Lm).

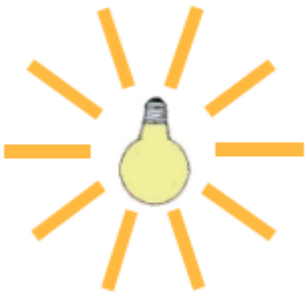


Figura 10. *Flujo luminoso en una bombilla común*
Fuente: *laszlo.com.ar*

Debajo se presenta un cuadro con ejemplo de lúmenes en algunas lámparas:

Tabla 3. *Ejemplos de lúmenes correspondiente de algunas luminarias*

Tipo de Lámpara	Lúmenes
Incandescente para señalización	1 Lm
Para bicicleta	18 Lm
Incandescente clara de 40Q	430 Lm
Tubo fluorescente de 36W	3,000 Lm
A vapor de mercurio de 400W	2,200 Lm
A vapor de sodio de alta presión de 400W	47,000 Lm
A vapor de mercurio halogenado de 2000W	170,000 Lm

Fuente: *laszlo.com.ar*

1.2.2 Iluminancia o iluminación

También conocido como **Nivel de Iluminación**, es el flujo luminoso por unidad de superficie Su símbolo es E y su unidad de medida es Lux = Lumen/m²) aunque también se utiliza el foot/candle o ft/cd (pies/candela). Esta razón geométrica entre el flujo luminoso y el área donde incide es la que hace que a la Iluminancia también se le llame **Densidad de Flujo Luminoso**.

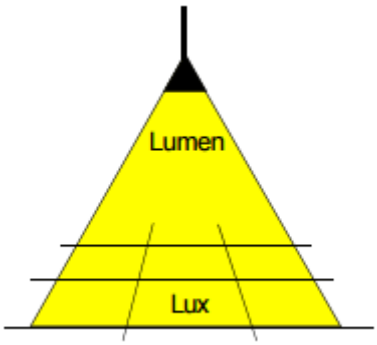


Figura 11. *Nivel de iluminación en una superficie plana*
Fuente: *laszlo.com.ar*

1.2.3 Intensidad luminosa

Es el flujo luminoso emitido en una dirección especifica. Representado por el símbolo I y su unidad de medida des la candela (cd).

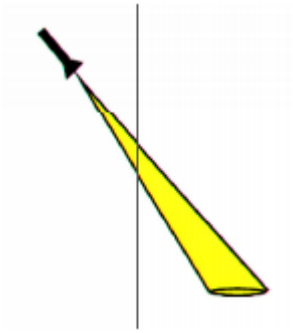


Figura 12. *Intensidad luminosa*
Fuente: *laszlo.com.ar*

A continuación, se muestra una tabla con algunos ejemplos de intensidad luminosa producida por algunas luminarias en particular:

Tabla 4. *Ejemplos de intensidad luminosa producida por algunas luminarias*

Tipo de luminaria	
Reflectora de 40W	450 cd
Reflectora de 150 W	2,500 cd
PAR 38 spor 120W	9,500 cd
Dicroica 12V/50W	16,000 cd
Par 56 spor 300W	40,000 cd
Halogena Super Spot 12V/50W	50,000 cd
Proyector spor Nema 1 mercurio hal.	170,000 cd

Fuente: *laszlo.com.ar*

1.2.4 Luminancia

La luminancia es básicamente el brillo que la luz produce los ojos. Es decir, es la intensidad luminosa emitida dada por una superficie iluminada (o

luminosa) en una dirección especifica. La unidad de medida de la luminancia es la candela por metro cuadrado y su símbolo es la letra L.

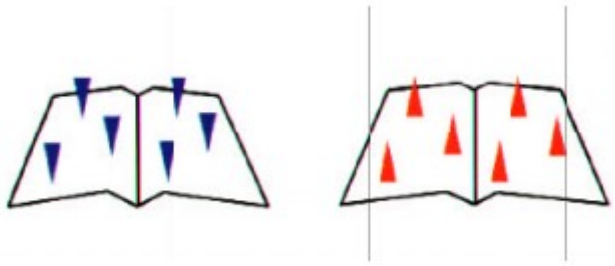


Figura 13. *Efecto de la luminancia en una superficie dada*
Fuente: *laszlo.com.ar*

Debajo se muestra un cuadro de ejemplos de luminancia:

Tabla 5. *Ejemplos de luminancia*

Tipo de Lámpara	Luminancia
Calle bien iluminada	2 cd/m²
Papel negro iluminado con 400 lux	15 cd/m²
Papel blanco iluminado con 400 lux	100 cd/m²
Papel blanco iluminado con 1000 lux	250 cd/m²
Luminancia para las paredes de oficina	50 a 100 cd/m²
Luminancia ideal para el cielorraso de oficina	100 a 300 cd/m²

Fuente: *laszlo.com.ar*

1.3 Tipos de sistemas ópticos

1.3.1 Reflectores

Los reflectores son un tipo de iluminación que provee una gran cantidad de luz artificial a una superficie. Uno de sus usos esenciales es para el control de haz de luz el cual garantiza el rendimiento y la duración de la lámpara.

Son utilizados en viviendas residenciales, así como para edificios comerciales.

Los reflectores vienen en una variedad de tipos y proporcionan una forma ideal para iluminar diferentes tipos de áreas.

1.3.2 Especulares

Estos tienen su uso cuando es necesaria una iluminación de forma directa y concentrada. Su uso más común es en la iluminación de carreteras.

1.3.3 Dispersores

Estos son utilizados cuando no se necesita un elevado grado de control en la distribución de la luz y así obtener una luz dispersa, con el fin de conseguir que esta luz dispersa tenga un impacto en el entorno bien definido con un haz uniforme.

1.3.4 Difusores

Estos son ideales para entregar una luz no enfocada o cuando se requiere un haz de luz mayor a 90°. Donde el recorrido del espectro no tenga una dirección especifica este efecto creado por la interacción de la luz con una superficie difusa la cual solo deja pasar cierta cantidad de luz desviando y

difuminando su incidencia en el lugar de trabajo, para hacer una correcta iluminación.

1.3.5 Refractores

Son aquellos elementos que tienen un buen control direccional de la luz.

“Se trata de sistemas ópticos complejos que utilizan las propiedades refractivas de lentes y prismas, o combinaciones de pequeñas porciones de estos y elementos que solamente actúan como difusores (*Luminarias para Iluminación de Interiores. Assaf L., Colombo E., O´Donell B.)”.*

Se utiliza con más frecuencia en alumbrados de interiores el cual se encuentra en las luminarias para lámparas fluorescentes tubulares.

Consiste en un panel horizontal que se monta por debajo de las lámparas. El panel dispone de prismas cónicos piramidales en su parte inferior.

1.3.6 Dispositivos de apantallamiento

El apantallamiento se usa para evitar el deslumbramiento, ocultando las lámparas, de la visión directa.

El ángulo de apantallamiento es el grado con el que una luminaria se esconde de la visión se expresa por el ángulo de apantallamiento, que es el formado entre la dirección en la que la lámpara justamente deja de ser visible y la horizontal.

A veces se utiliza el ángulo de corte (cutoff), que es el complementario del ángulo de apantallamiento.

Para que el apantallamiento sea efectivo es necesario que estos sean profundos. Por dichas razones, no todo reflector se consideraría adecuado.

1.3.7 Filtros

Su uso es necesario cuando se desea lograr efectos de color o reducir la radiación Ultra Violeta o Infra Rojo. Para la iluminación de uso normal de exhibición se puede acudir a distintos tipos de filtros dependiendo de la necesidad.

Entre los tipos de filtros están los de absorción y los de interferencia. La mayoría de los filtros de absorción están hechos de plástico o vidrio teñido de tinte transparente y, con esto se logra que la cantidad de radiación absorbida no deseada, que emite la luz transmitida se reduzca en gran cantidad.

En el alumbrado decorativo y de exhibición, se emplea a veces el color para lograr efectos estéticos deseados. En algunos casos el color procede de las propias lámparas, aunque también es posible utilizar filtros de colores acoplados a las luminarias.

1.4 Clasificación según la distribución de la luz

1.4.1 Simétricas y asimétricas

Las luminarias simétricas reparten simétricamente el flujo luminoso respectó al eje de simetría que atraviesa el punto de luz.

En cambio, si la luminaria es del tipo semiesférica, la distribución de la luz trazada sobre el plano que pase justo en el centro de la luminaria será exactamente igual a la trazada sobre otro plano que con las mismas condiciones. A una distribución de este tipo se le llama simetría rotacional.

Una luminaria para lámpara fluorescente tiene una distribución simétrica. Sin embargo, la simetría es solo a dos planos verticales, uno perpendicular al eje de la lámpara y el otro paralelo al mismo. Esta simetría se conoce como plana.

1.4.2 Directas e indirectas

Las luminarias para alumbrado general de interiores pueden clasificarse de acuerdo con el porcentaje del flujo luminoso total emitido tanto por encima como por debajo del plano horizontal que atraviesa dicha luminaria. La clasificación CIE contempla 6 grados de distribución.

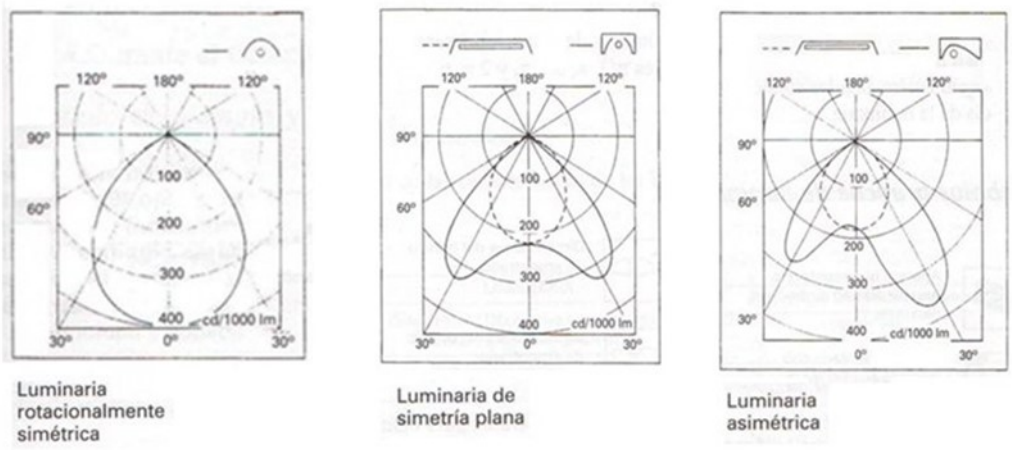


Figura 14. *Simetría en las luminarias*
Fuente: *Escuela Politécnica del Ejercito (Ecuador)*

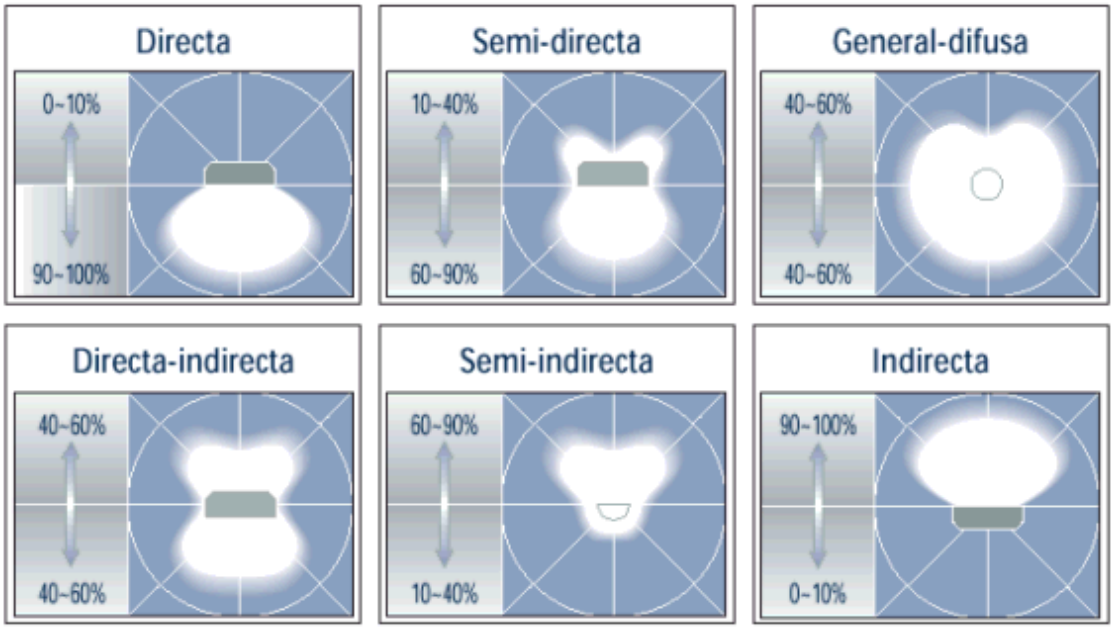


Figura 15. *Clasificación CIE[1] de luminarias de uso general*
Fuente: *tuveras.com*

1.4.3 Directa

La mayor parte de la luz, entre un 90 a un 100% se dirige hacia abajo en varios ángulos por debajo de la línea horizontal como se ve en la figura 15. Este tipo de luminaria se usan para áreas de trabajo determinadas por lo que

[1] Commission Internationale de l'éclairage (Comisión Internacional de la Iluminación)

tienen el inconveniente de presentar problemas de penumbras y deslumbramientos.

1.4.4 Semi-Directa

Las luminarias del tipo semi-directa se distinguen porque la luz reflejado por debajo de la horizontal es de un 60 a un 90%. En cambio, la luz reflejada hacia arriba es de un 10 a un 40%.

1.4.5 Difusa General

Este tipo de iluminación consiste en tener básicamente la misma iluminación hacia arriba como hacia abajo y en casi todos los ángulos.

1.4.6 Directa-Indirecta

Este tipo de iluminación consiste en tener básicamente la misma iluminación hacia arriba como hacia abajo, pero en ángulos más distantes de la horizontal.

1.4.7 Semi-indirecta

Este tipo de iluminación consiste en tener entre el 60 y 90% de la intensidad luminosa hacia arriba y un porcentaje de de10 a 40 por debajo de la horizontal.

1.4.8 Indirecta

La indirecta es todo lo contrario a la directa. Este tipo de luminaria refleja casi toda su intensidad luminosa hacia el techo (entre 90 y 100%) y el restante queda por debajo de la horizontal.

1.5 Las lámparas

La lámpara es un dispositivo capaz de producir energía luminosa mediante la energía eléctrica o química. Su fin es el de iluminar un área deseada.

Para dichos fines se conocen una amplia variedad de lámparas, estas son:

1.6 Lámparas incandescentes

Este tipo de lámparas son las que tienen mayor historia, pues estas son las primeras que el ser humano utilizo para generar luz mediante la energía eléctrica. Estas luminarias han tenido gran aceptación debido a que son las más similares a la luz del día.

Existe dos tipos de estas lámparas~~,~~ ***las tradicionales y las halógenas***. Las luminarias tradicionales suelen tener un tiempo de vida útil de no más de 1000 horas, en cambio las halógenas pueden llegar hasta las 2000 horas.

Una desventaja notable es que estas luminarias son sumamente sensibles a la tensión aplicada ya que si se les aplica un mayor voltaje de recomendado pueden reducir su vida útil significativamente. En cambio, si se le aplica

menos voltaje el flujo luminoso se verá afectado notablemente, pero su vida útil será mucho mayor. Otra desventaja es que estas luminarias producen mucho calor y un elevado consumo, por lo que el uso de esas lámparas se ha reducido notablemente con el pasar de los años.

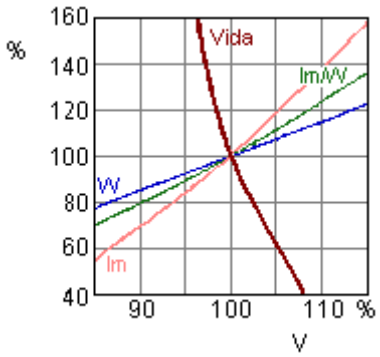


Figura 16. *Efecto del funcionamiento de luminarias incandescente por las variaciones de voltaje (%)*

Fuente: *recursos.citcea.upc.edu*

1.6.1 Ventajas

- Bajo costo inicial.
- Construcción sencilla.
- No requiere balastro.
- Disponible en muchas formas y tamaños.
- No requiere calentamiento ni tiempo de encendido.

1.6.2 Desventajas

- Bajo rendimiento eléctrico (alto consumo).
- Alta temperatura de operación.
- Corta vida.
- Fuente brillante de operación en un espacio pequeño.
- No permite una gran distribución de la luz.

1.7 Las lámparas a descarga

Para el alumbrado existe una gran variedad de luminarias de este tipo. Este tipo de luminaria consiste en tubo de vidrio con dos electrodos en sus extremos y un gas que luego de producir una corriente entre los dos electrodos el gas se ioniza y así se consigue la luz eléctrica.

Entre las más utilizadas está la de vapor de mercurio el cual presenta tamaños menores a las demás de este tipo.

Estas luminarias existen con potencias de 35 hasta incluso los 150W. Por otra parte, su temperatura de color puede varias entre 3000 a los 4000 K y con un flujo luminoso de más de 14.000 lúmenes.

1.7.1 Lámparas Fluorescentes

Estas luminarias están compuestas por un tubo de vidrio en el cual se encuentra una combinación de varios elementos capaces de producir luz con energía eléctrico. Las lámparas fluorescentes poseen una gran eficiencia de hasta 104 Lm/W, además de tener una amplia gama de temperaturas de color y puede llegar a superar las 8000 horas de vida útil.

Esta luminaria versátil se presenta en diferentes potencia y tamaños desde un T5 de 16 mm hasta incluso unos tubos de 38mm de diámetro (T12) toda esta variedad con potencia mucho menores a las de las lámparas incandescentes.

En este país es muy común el uso de este tipo de lámparas ya que presenta buena relación de calidad precio.

Sin embargo, estas luminarias también presentan diferentes desventajas. Una de ellas es la temperatura de trabajo, pues a temperaturas inferiores a las 25°C las lámparas fluorescentes pueden ver afectado su flujo luminoso.

Por otra parte, las mismas contienen alrededor de 5mg de mercurio en su interior el cual es un alto contaminante.

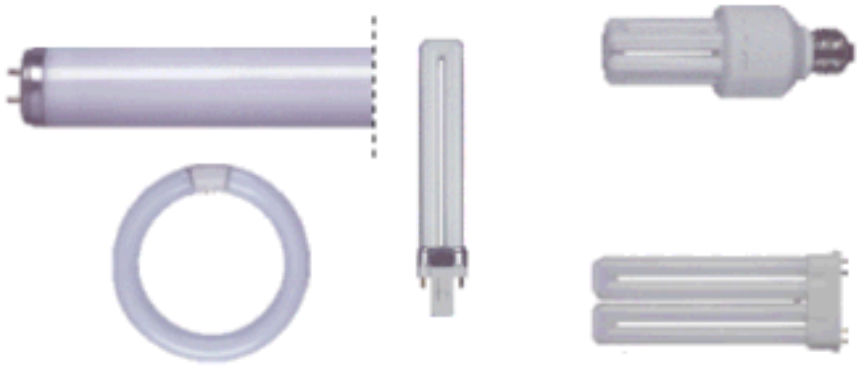


Figura 17. *Lámparas y tubos fluorescentes*
Fuente: *recursos.citcea.upc.edu*

1.7.2 Lámpara de descarga Sodio

Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Las lámparas de vapor de sodio pueden ser reconocidas por su funcionamiento y forma a las lámparas de vapor de mercurio. Esta tiene una eficiencia entre 160 y 180 lm/w y ofrece gran comodidad y agudeza visual.

Este tipo de lámparas genera un rendimiento lumínico bastante elevado esto se debe a que las radiaciones producidas se reúnen en la zona del espectro visible donde la sensación visual es máxima.

Las lámparas de vapor de sodio tienen un color característico que es el color amarillo, por lo que son lámparas que se utilizan para aprovechar su agudeza visual, ya que su difusión cromática es muy baja.

A continuación, se presenta las partes de una lámpara de descarga de sodio de baja presión:

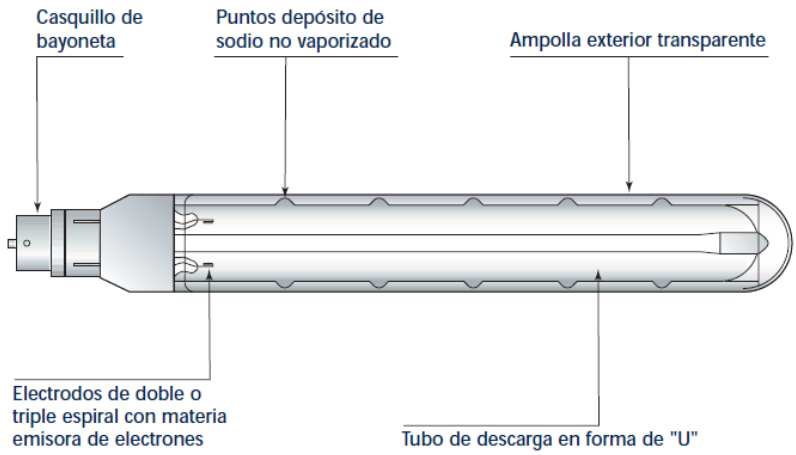


Figura 18. *Partes de la lámpara de descarga sodio (Baja Presión)*
Fuente: *grlum.dpe.upc.edu*

Tubo de descarga: tiene forma de U, es de vidrio duro y está protegida por una capa de bórax, están diseñadas para reducir las altas temperaturas y disminuir el tamaño de la luminaria.

Está relleno de sodio y un gas noble, normalmente neón. Tiene dos electrodos de tungsteno situados en los extremos del tubo entre los que se producirá la descarga.

Ampolla exterior: es de vidrio y está cubierto por una capa de óxido de indio en su interior. Su función es mantener el tubo de descarga aislado térmicamente para mantener la temperatura de trabajo (280ºC) y reducir las pérdidas de calor.

Casquillos: es la parte de la bombilla que va ajustada dentro del portalámparas donde se aloja. Normalmente es de metal, entre otros materiales, para permitir el paso de electricidad a la bombilla y poder encenderla una vez está colocado.

Funcionamiento

Cuando el interruptor cierra inicia una descarga entre los electrodos del tubo, a través del gas de neón. Mientras la temperatura va en aumento, el sodio dentro del tubo empieza a vaporizarse hasta que empieza la descarga a través del vapor de sodio.

La lámpara comienza a ponerse de color amarillo, color que caracteriza al sodio, hasta que alcanza su punto de mayor intensidad cuando la descarga se estabiliza. En este momento la lámpara proporciona el máximo flujo luminoso.

Lámpara de vapor de sodio de alta presión

La distribución espectral de este tipo de luminarias cubre casi en su totalidad el espectro visible. Además, suministra una luz blanca de mejor calidad que la proporcionada por las lámparas de baja presión.

Esta lámpara tiene una eficacia luminosa que ronda los 130 lm/w. Que al ser comparado con los otros tipos de lámparas se puede decir que es alto.

A continuación, se presenta las partes de una lámpara de descarga de sodio de alta presión:

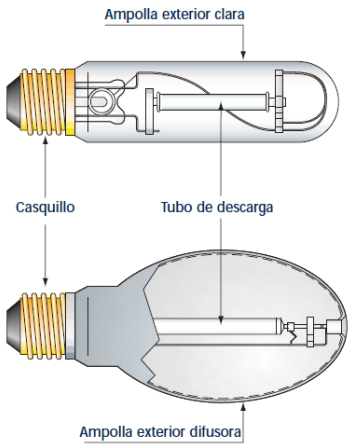


Figura 19. *Partes de la lámpara de descarga sodio (Alta Presión)*
Fuente: *grlum.dpe.upc.edu*

Tubo de descarga: es de menor tamaño y de forma cilíndrica. El material del cual está compuesto es cerámico, a base de óxido de aluminio sintetizado y traslucido. En los dos extremos tiene dos discos de aluminio o niobio que cierran el tubo. Igual que las lámparas de baja presión tiene dos electrodos de una aleación de tungsteno y titanio cubiertos por una sustancia que ayuda a la emisión de electrones.

La mezcla de todos estos gases reduce la longitud necesaria del arco, por lo que disminuye el tamaño de la lámpara.

Ampolla exterior: es de vidrio y en su interior está construido al vacío ya que contiene un gas inerte para reducir las pérdidas de calor del tubo y evitar los ataques químicos. Su forma es ovoide o tubular.

Casquillo: normalmente es de rosca Edison, aunque también puede ser de tipo Bayoneta.

Funcionamiento

Un choque de los átomos de gas que están en el tubo con electrones libres crea una emisión de luz.

Estos choques provocan una excitación en los electrones que pasan a órbitas de más energía. Luego, cuando regresan a su órbita correspondiente se produje una radiación de luz mediante la emisión de fotones.

1.7.3 Ventajas

- Una buena eficiencia luminosa.
- Rendimiento cromático bueno.
- Luminancia de tipo medio.
- Tiempo de vida útil de unas 25.000 horas.

- Extensa escala de potencias.

1.7.4 Desventajas

- Un equipo auxiliar para su encendido y alimentación.
- El encendido no es de forma inmediata.
- Tiempo de espera antes de obtener la máxima emisión luminosa de 4 a 10 minutos para reencendido.
- Factor de potencia bajo cercano 0.5, por lo tanto, es necesario corregir la fase.

1.8 Las lámparas a LED

Un LED (**Lighting Emitting Diode/Diodo Emisor de Luz**) es un diodo con la capacidad de producir luz.

En el 1927, el inventor y científico ruso Oleg Vladimírovich Lósev, desarrolló las primeras investigaciones del LED. Luego de ello, pasaron más de 30 años para que el uso de este llegara a las industrias. Para ese entonces sólo se utilizaba como luz indicadora y se construían en amarillo, rojo y verde. Desde ese momento se han visto grandes avances en los LED's ya que hoy en día existen una gran variedad de colores y tamaños, siendo capaces de iluminar incluso espacios muy grandes, como es el caso del estadio del equipo de futbol el Atlético de Madrid.

Esta tecnología consiste en un diodo que al ser polarizado directamente permite que circule la corriente a través de él y de esta forma emite luz.

La luz emitida por un LED es del tipo monocromática y ésta depende del semiconductor utilizado. De esta manera se puede hacer que la luz emitida sea del color deseado. Dicho de esta forma, para conseguir una tonalidad especifica se hacen combinaciones de colores y de las corrientes aplicadas.

Por ejemplo, para conseguir que el color sea blanco Es necesario utilizar un LED rojo, uno verde y otro azul. Esta combinación es conocida como RGB (Red-Green-Blue).

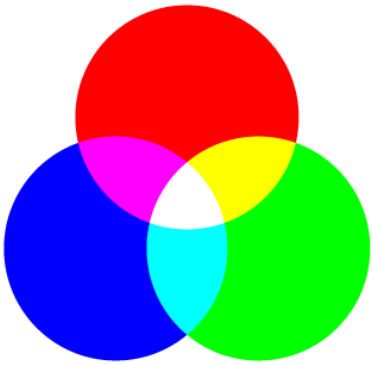


Figura 20. *Combinación de colores RGB*
Fuente: *pengadprinting.com*

Ahora bien, cuando se habla de la eficiencia de estas luminarias hay que destacar que su consumo se reduce hasta en un 85%. Otro aspecto importante es que su vida útil puede rondar las 50.000 horas.

Este tipo de luminaria es la más aceptada ecológicamente hablando. No contiene contaminantes como el mercurio de las lámparas fluorescentes o el tungsteno de las lámparas incandescentes.

Además, debido a su alta eficiencia, la emisión del calor es baja comparada con las demás luminarias y el mantenimiento que esta requiere es reducido.

1.8.1 Ventajas

- **Menos consumo energético**: una lámpara led puede consumir hasta un 50% menos que una lámpara de bajo consumo, haciendo que el gasto de energía sea casi nulo.
- **Larga durabilidad**: este tipo de luminarias pueden dar más de 40.000 horas.
- **Menor contaminación lumínica**: Las luces led al ser colocadas, difunden su luz de forma direccionada, por lo que su exposición al cielo es mucho menor.
- **Menos contaminantes:** No cuenta con mercurio ni otros materiales pesados. Además, No cuentan con radiación infrarroja ni ultravioleta. También al ser más eficientes producen menos CO_2.
- **Mayor resistencia:** Resisten fácilmente los cambios térmicos, las vibraciones, golpes accidentales e incluso las variaciones en el flujo de electricidad de un hogar.

- **Gran variedad de diseños y colores:** En el mercado se puede encontrar una gran variedad de luces a la hora de escoger un modelo deseado.

1.8.2 Desventajas

- **Alto costo:** las luces led se encuentran en el mercado a un precio mayor que las luces convencionales.
- **Poca efectividad en zonas amplias:** como son luces de direccionamiento no siempre es la mejor opción para iluminar áreas de gran tamaño, ya que las lámparas tradicionales con su haz de luz disperso en toda la dirección cubren mayor área.
- **Mal rendimiento en altas temperaturas:** su principal problema son las altas temperaturas ya que a partir del 65ºC las luces LED comienzan a ser poco efectivas y fácilmente dejaran de funcionar.

1.8.3 Flicker

Hoy en día cuando se habla de luminarias hay que mencionar el fenómeno del flicker o parpadeo. Aunque no aparente ser nada grave, el flicker puede resultar no solo molesto a la vista, sino también que puede perjudicar la salud en diferentes sentidos. Un gran número de personas son sensibles a este efecto que poseen muchas luminarias. En ocasión incluso desconocen esto. Las personas más susceptibles a este efecto son los pacientes de epilepsia fotosensible, pacientes de migraña y deterioro de la visa. Los síntomas pueden llegar desde mareos hasta fuertes dolores de cabeza.

Por dichas razones la IEEE publicó algunas recomendaciones[2] sobre el flicker. Esta norma presenta una ecuación para el cálculo del porcentaje máximo permitido. La ecuación consiste en multiplicar la frecuencia de la luminaria por 0.08 y este resultado se redondea para así conocer el porcentaje máximo de flicker que tiene la luminaria. La IEEE ha establecido un 10% de flicker máximo como tope a una frecuencia no mayor de 120Hz.

1.9 Alumbrado en áreas de estudios

Las instalaciones de un centro de estudio tienen unos requerimientos necesarios a cumplir de iluminación, según el tipo de actividades que se realicen en cada área.

Para el mejoramiento de la iluminación se emplean criterios de calidad de acuerdo con el diseño de la instalación y cuidado del mantenimiento en todo lo que interviene para adquirir una iluminación adecuada, se obtienen los resultados manteniendo la máxima eficiencia energética y los costos mínimos de utilización.

Una iluminación adecuada provee al estudiante y profesores, un ambiente atractivo y alentador, con esto se quiere decir que podrán realizar sus actividades sin la necesidad de un esfuerzo visual, disminuyendo el cansancio y molestias ocasionada por la mala iluminación.

[2] IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers

En instalaciones destinada a un centro de estudio, se puede encontrar una problemática definidas como:

- Luminarias que producen deslumbramientos directos o indirectos.
- Luminarias de temperatura de color impropia del lugar en la que es utilizada.
- Luminarias de potencia impropia del lugar en la que es utilizada.
- Luminarias que cumplieron su ciclo de uso.

Una mala iluminación en el centro de estudio principalmente en los espacios utilizados para impartir clases, educar y estudiar, puede provocar agotamiento visual, daño en la vista e incluso afectar en el rendimiento de los estudiantes.

El color de la luz emitida influye mucho en el comportamiento de los estudiantes y su desempeño en clase, la luz fría aporta un ambiente similar al aire libre, que ayuda a evitar una mala sensación por el tiempo que se tarda en el aula, mientras que las lámparas de colores cálidos se utilizan para ambientes más sociables y tranquilos.

Es muy importante la utilización de una eficaz iluminación, mediante luminarias de gran rendimiento, bajo consumo y alta eficacia luminosa lo que permite tener buenos niveles de comodidad.

Para una iluminación adecuada es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- **Iluminancia mantenida (Em).** Es el valor el cual debe mantenerse y el cual no debe descender la iluminancia media en el área descrita.

- **Límite de Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR).** Es un valor, comprendido entre 10 y 30, que expresa el deslumbramiento que provoca una fuente de luz, siendo nulo cuando es 10 y mayor cuanto mayor es el valor.

- **Índice de Rendimiento de Colores (CRI).** Escala que mide la apariencia del color de la luz con respecto a la luz día. Cuanto mayor sea el índice de rendimiento color mejor será la reproducción cromática.

1.10 La iluminación recomendada en las áreas de estudio

Lo ideal en las áreas de estudio es la luz natural. En caso de no tener acceso a esta, ya que se debe estudiar en horario nocturno. Lo debido es utilizar una iluminación que mantenga al estudiante o maestro atento para así sacar provecho al máximo cuando realicen sus deberes.

1.11 Mediciones de la iluminación

Se recomienda una iluminación entre 300 y 500 Lux, que es el nivel más adecuado de flujo luminoso que se debe utilizar sobre la mesa de trabajo.

Las luces deben ir dirigidas a la mesa de estudio y no por detrás de la persona para así evitar las sombras creadas.

Es necesario tener uniformidad del flujo de luz. Es decir, con esto es lo siguiente, no tener sombras ni zonas muy oscuras, ni muy claras.

La iluminación de un centro docente debe proporcionar un alto confort visual garantizando un nivel adecuado de iluminación y controlando cuidadosamente el riesgo de deslumbramiento.

Cuando se ilumina las áreas de un centro de estudio se debe tomar en cuenta 3 aspectos fundamentales a la hora de seleccionar lámparas y accesorios de iluminación:

1.11.1 El color de la iluminación

El color de la luz en un salón de clase depende de dos parámetros: tono y nivel de iluminación.

El color de la iluminación se mide en grados de temperatura. La medición de esta temperatura permite conocer qué tipo de luz que será emitido por la lámpara.

Los colores cálidos derriban al rojo, amarillo, anaranjado y los colores fríos son el blanco y azuleado.

Para aulas, se recomienda una temperatura de color comprendida entre 3000 y 4000 K.

El color de la luz se mide en Kelvin, donde el color blanco o neutro se encuentra en los 5.500 K, que sería similar a la luz del medio día.

La luz con temperatura menor de 5.500 K, se ira poniendo más amarillenta gradualmente, hasta llegar a tonos anaranjados y terminando en rojizos. Y las mayores a los 5.500 K se pondrán más azulados gradualmente.

Figura 21. *Escala de temperaturas de color en grados Kelvin*

Fuente: *dzoom.org.es*

1.11.2 La calidad de la luz

Con el índice de rendimiento del color, también conocido como Ra, se mide la calidad de la luz. El Ra valorado entre 0 y 100 este valor compara con una muestra regulada de colores de iluminación previamente con una lámpara y luego con una fuente de luz de referencia.

Mientras más alto el valor del índice de calidad de luz mejor será producción del color. Se recomienda que los valores de Ra en aulas de estudios, este sobre 85 para un nivel de conformidad.

1.11.3 La eficacia luminosa

La eficacia luminosa es la relación entre la potencia que consume una luminaria y el flujo luminoso que esta proporciona. Se expresa en lm/W (lúmenes/vatio).

La eficacia de las lámparas interviene de manera directa en los costos de iluminación. La elección de una lámpara eficiente permite reducir el número de luminarias utilizadas en un centro estudiantil.

Para medir adecuadamente el impacto económico de la iluminación en los centros de estudios hay que tener en cuenta el precio a pagar por las lámparas y luminarias adquiridas, así como su costo de mantenimiento.

1.12 Iluminación de seguridad

La iluminación de seguridad son una necesidad en el día de hoy. Este tipo de luminaria tiene el fin de mejorar la seguridad de las personas en situaciones de emergencia un espacio abierto o cerrado.

Algo a destacar de esta iluminación es que disminuye la vulnerabilidad de robos y atracos además de proveer tranquilidad a las personas. Por otra parte, se debe tomar en cuenta es que con mayor luminosidad no siempre se logra mayor seguridad ya que cuando ésta es excesiva puede cegar a las personas, por lo tanto. El fin debe ser el de proporcionar una luminosidad necesaria.

Desde otro punto de vista, existen luminarias de seguridad de este tipo que son destinadas para reconocer rutas de salida en caso de una necesaria evacuación durante una emergencia en la noche.

En el campus II de la Universidad APEC se ha considerado este tipo de luminarias ya que el uso de proyectores durante clases es frecuente y durante el uso de este se apagan las luminarias para mejor visualización. Sin embargo, se corre el riesgo de que en caso de emergencia las personas no

puedan de reconocer la ruta de escape ya que las señales de seguridad no son visibles.

Los efectos biológicos negativos en los seres humanos producidos por luminarias son debido al flicker, el exceso de brillo, el mal manejo de las luminarias, la profundidad de modulación, entre otros.

1.13 Herramientas utilizadas

Para el desarrollo de este tema es necesario el uso de diferentes herramientas que permitan modelar y calcular la distribución de luminarias en el campus II de la Universidad APEC.

1.13.1 Herramientas de dibujo

Las herramientas de dibujo ayudan a visualizar de manera fácil la estructura sobre la cual se hace el análisis de luminotecnia.

AutoCAD

AutoCAD es un programa de diseño asistido por computadora, con el que se puede recrear dibujos y planos genéricos, demostrar proyectos de ingeniería, arquitectura, mapas de áreas, cartografías y sistemas de información geográfica.

AutoCAD es una herramienta básica para dibujar en dos dimensiones), también utiliza creaciones de bosquejos paramétricos, está conformado por una librería la cual consta de símbolos con diferentes temas de tipo arquitectónicos, mecánicos e industriales donde se pueden agregar figuras e insertarlas en el dibujo.

AutoCAD se pueden crear planos en 3D de los dibujos realizados, utilizando las diferentes vistas que se pueden ejecutar en el programa como isométrica, en planta, simétricas etc. Le permite dibujar, representar, y guardar los trabajos terminados de una forma fácil la cual le permite al usuario exportar e importar documentos de otros programas CAD.

DIALux

DIALux es un programa de diseño que permite elaborar dibujos tridimensionales con el que se puede recrear efectos luminosos reales en cualquier área útil, ya sea una casa, un dormitorio, o un lugar al aire libre.

Este es un software que ha sido diseñado para el estudio lumínico de superficies tanto internas como externas.
Este crea una base de datos en el CAD de otros archivos buscados y exporta fructuosamente los resultados de nuevos programas al original.

1.13.2 Herramientas de cálculo

Para el caculo de la iluminación se ha tomado en cuenta varios métodos que son:

- **DIALUX**

DIALux es un programa en el cual se puede calcular los niveles de iluminación y tener como resultados los parámetros necesarios luminotécnicos.

- ***Método de los lúmenes***

Este método se utiliza para el cálculo de los valores medios en la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general y uniforme del espacio. Es muy práctico y factible de usar, y por ese motivo se utiliza bastante en la iluminación de interiores.

- ***Cálculo de la iluminancia punto a punto.***

Este método permite conocer la luminancia en puntos concretos y es de suma importancia ya que permite conocer la distribución de la iluminación en las instalaciones.

El método es bastante factible, pero a su vez requiere una cantidad de cálculos los cuales se realiza de forma manual. Este método se utiliza mucho en la iluminación de exterior.

- ***Cálculo de iluminancia por el método de los lúmenes o coeficiente de utilización.***

Este método consiste en calcular la distancia óptima entre dos postes que soportan las luminarias con el fin de que el nivel de luminancia media esté garantizado.

1.13.3 Equipos de medición

- **Luxómetro**

El Luxómetro es una herramienta utilizada para medir la luminosidad de las áreas tales como una industria, aulas de clase, talleres, vías, entre otros.

Un luxómetro funciona utilizando una célula fotoeléctrica las cuales reciben una cantidad de luz. El medidor transforma esta luz en una corriente eléctrica. Medir esta corriente obtenida permite al dispositivo calcular el valor del lux en la luz que ha capturado. Estos luxes se muestran en una pantalla y, dependiendo del resultado obtenido, se adecuará el nivel de luminosidad del área de trabajo.

Debajo se muestra el luxómetro utilizado para las medicines:

Figura 22. *Luxómetro utilizado en las mediciones*
Fuente: *Amazon.com*

1.14 Estudio legal

Es de tener en cuenta que en cada país existan legislaciones que regulen el alumbrado tanto de interior como de exterior.

La Republica Dominicana está bajo decreto de las resoluciones de la SIE[3].

Las Resoluciones señaladas son las SIE N.º 055-2002, la SIE N.º 070-2003 y la SIE N.º 063-2004.

1.15 Normas mundiales

[3] Las Resoluciones señaladas son las Resoluciones SIE Nº 055-2002, la SIE Nº 070-2003 y la SIE Nº 063-2004

En el mundo existe un gran número de normas que rigen la iluminación pública estas son algunas de ellas:

- *UNE 12464. "Norma Europea sobre Iluminación para Interiores".*
- *C.I.E. No. 83.49.*
- *NEC: "National Electrical Code".*
- *RETIE: "Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas".*
- *RETILAP: "Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público"*

CAPITULO II
CUERPO DEL TRABAJO

2.1 Estudio Técnico

Actualmente las luminarias utilizadas en el campus II de la Universidad APEC presentan diversos inconvenientes. Entre los problemas están el hecho de que existen zonas donde hay sombras bruscas, así como índices de iluminación sumamente ineficientes y penumbras en todas las áreas estudiadas. Otra contrariedad vista es que el tipo de luminaria que se están usando tiene un alto consumo de energía eléctrica.

Esta investigación es de carácter experimental el cual busca implementar un concepto ya conocido. En el campus II de la universidad APEC, este tópico de ahorro de energía no es tema nuevo, ya que la utilización de luminarias tipo fluorescentes fue, en un momento, una alternativa al bajo consumo.

A continuación, se presentan fotografías donde se muestra algunos de los problemas más notorios:

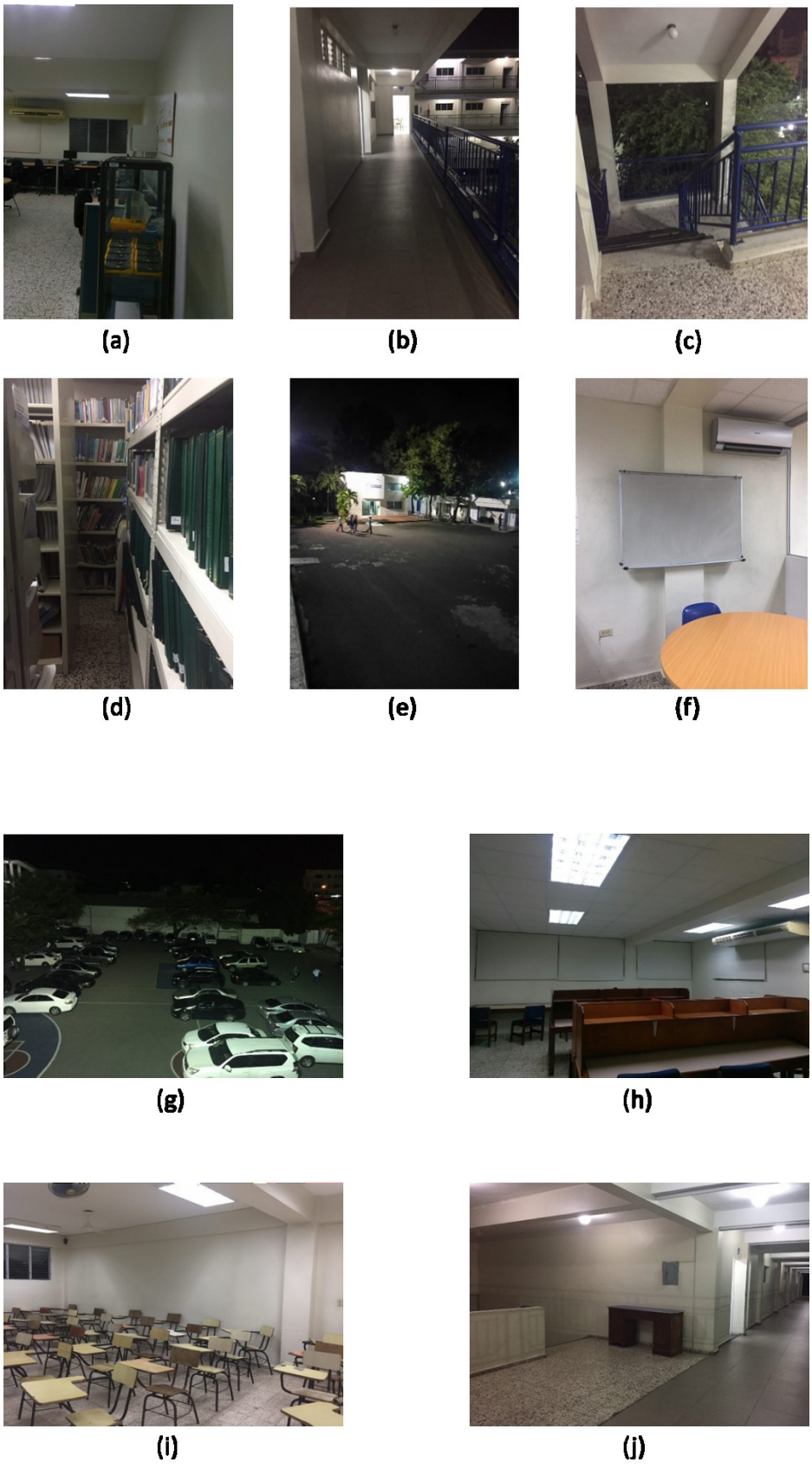


Figura 23. *Levantamiento realizado en diferentes áreas.*
(a) Laboratorio, (b) pasillo, (c) escalera, (d) libreros, (e) área exterior delantera, (f) cubículo, (g) parqueo, (h) biblioteca, (i) aula común, (j) pasillo-escaleras.
Fuente: *elaborado por los autores*

Por otra parte, se realizó un levantamiento de las diferentes luminarias que tiene el campus II de la Universidad APEC. A continuación, se presenta el cuadro con los resultados:

Tabla 6. *Levantamiento de luminarias en la Escuela de Ingeniería*

No.	Escuela de Ingeniería	Cantidad	Potencia (Watts)
1	Oficina	1	64 W
2	Oficina	2	128 W
3	Oficina	2	128 W
4	Entrada	1	64 W
5	Salón de maestros	6	384 W
6	Salón	2	128 W
7	Baño	1	100 W
8	Escalera	1	64 W
9	Baño	1	100 W
10	Entrada	1	100 W
	Total		**1,260 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 7. *Levantamiento de luminarias en la biblioteca*

No.	Biblioteca	Cantidad	Potencia (Watts)
1	Cubículos	4	256 W
2	mesas	4	256 W
3	Mesas entrada	4	256 W
4	librero	4	256 W
5	Librero	4	256 W
6	Pasillo	1	64 W
7	Pasillo biblioteca	4	400 W
	Total		**1,744 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 8. *Levantamiento de luminarias en el Edificio II*

No.	Edificio II	Cantidad	Potencia (Watts)
1	Lab. Química	4	256 W
2	Lab. Física	4	256 W
3	Lab. Física Avanzada	4	256 W
4	Lab. Controles - PLC	4	256 W
5	Lab. Máquinas eléctricas	4	256 W
6	Lab. Robótica	4	256 W
7	Pasillo	10	1,000 W
8	Baños	6	102 W
9	Lab. Circuitos eléctricos	4	256 W
10	Lab. Microprocesadores/Lógica	4	256 W
11	Lab. Electrónica avanzada	4	256 W
12	Lab. Control de proceso Real	4	256 W
13	Lab. Calidad	4	256 W
14	Lab. Procesos de manufactura	6	384 W
15	Cubículos	4	256 W
16	Pasillos	11	1,100 W
17	Baños	2	128 W
18	Pasillos	9	900 W
19	Lab. Maestría	10	640 W
20	Lab de informática	8	512 W
21	Recursos Tecnológicos	1	64 W
22	Lab. Antenas	8	512 W
23	Lab. Informática	8	512 W
24	Lab informática	8	512 W
25	Lab informática	8	512 W
	Total		**9,950 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 9.*Levantamiento de luminarias en el Edificio III*

No.	Edificio III	Cantidad de aulas/oficinas	Cantidad Lámp.	Potencia (Watts)
1	11 aulas	11	4	2,816.00 W
2	Pasillos	1	18	1,800.00 W
3	11 aulas	11	4	2,816.00 W
4	Pasillos	1	17	1,700.00 W
5	Escalera	1	2	200.00 W
6	11 aulas	11	4	2,816.00 W
7	Pasillos	1	17	1,700.00 W
8	Escalera	1	3	300.00 W
9	8 aulas	8	4	2,048.00 W
10	Pasillos	1	15	1,500.00 W
11	4 baños	4	8	136.00 W
12	Multiuso	1	31	356.50 W
		Total		**18,188.50 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 10. *Levantamiento de luminarias en el Edificio IV*

No.	Edificio IV	Cantidad de aulas/oficinas	Cantidad Lámp.	Potencia (Watts)
1	Objetos Perdidos	1	1	100 W
2	Pasillos	1	8	800 W
3	Aula Maestría	1	6	384 W
4	Aula "Play"	1	6	384 W
5	5 aulas	5	4	1,280 W
6	Pasillos	1	8	800 W
7	Escalera	1	2	200 W
8	CIDTEC	1	8	512 W
9	6 aulas	6	4	1,536 W
10	Enfermería	1	2	128 W
11	5 aulas	5	4	1,280 W
12	Lab. Modalidad T.	1	6	384 W
13	Pasillos	1	8	800 W
14	Escalera	1	3	592 W
		Total		**9,180 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 11. *Levantamiento de luminarias en el área verde*

Área Verde

No.	Cantidad Lámp.	Potencia (Watts)
1	3	1,200 W
2	1	400 W
3	1	100 W
Total		**1,700 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 12. *Levantamiento de luminarias en parqueos*

Parqueos

No.	Cantidad Lámp.	Potencia (Watts)
1	3	1,200 W
2	20	2,000 W
3	5	2,000 W
Total		**5,200 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 13. *Levantamiento de luminarias en la Pasillo/área de cafetería*

Pasillo/ Área Cafetería

No.	Cantidad Lámp.	Potencia (Watts)
1	15	1,500 W
2	2	800 W
Total		**2,300 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

En resumen, las potencias totales por áreas son las siguientes:

Tabla 14. *Resumen del levantamiento de luminarias*

No.	Edificio/Zona	Potencia (Watts)
1	Biblioteca	1,744 W
2	Escuela de Ingeniería	1,260 W
3	Edificio II	9,950 W
4	Edificio III	20,932 W
5	Edificio IV	9,180 W
6	Área Verde	1,700 W
7	Parqueos	5,200 W
8	Pasillo/ Área Cafetería	2,300 W
Total		**52,266 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

2.1.1 Iluminación adecuada

Cuando se habla de iluminación adecuada se refiere a no solo ver claramente, ya que cuando se trató el tema de iluminación de seguridad se vio que tiene que haber un equilibro con la iluminación, pues una iluminación excesiva puede segar y una iluminación baja puede dificultar el aprendizaje dentro del campus.

La iluminación para las diferentes áreas recomendado para un centro de enseñanza son las siguientes:

Tabla 15. *Lum/m² recomendados por áreas*

Área	Lux recomendados		
	Mínimo	Medio	Máximo
Aulas y laboratorios	300	500	750
Pizarras	500	750	1000
Pasillos	50	100	150
Biblioteca	300	500	750
Oficinas	300	500	750
Salas de conferencia	300	500	750
Zona exterior	100	150	200
Escaleras	100	150	200
Baños	100	150	200
Parqueos	50	100	150

Fuente: *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público de Colombia, páginas 78 y 79, año 2010.*

2.1.2 Resultados de las mediciones

Para las mediciones del nivel de iluminación se utilizó un luxómetro Dr. Meter modelo LX1330B (Figura 22) el cual es capaz de medir en un rango de 0 a 200,000 lum/m². En las mediciones se vieron resultados desfavorables sobre todo en las aulas.

El mayor problema que se ve es que en los laboratorios existen muchas zonas donde hay penumbras. Las mismas dificultan la visión y por lo tanto el aprendizaje.

A continuación, se presenta una imagen que muestra el resultado promedio obtenido en las aulas:

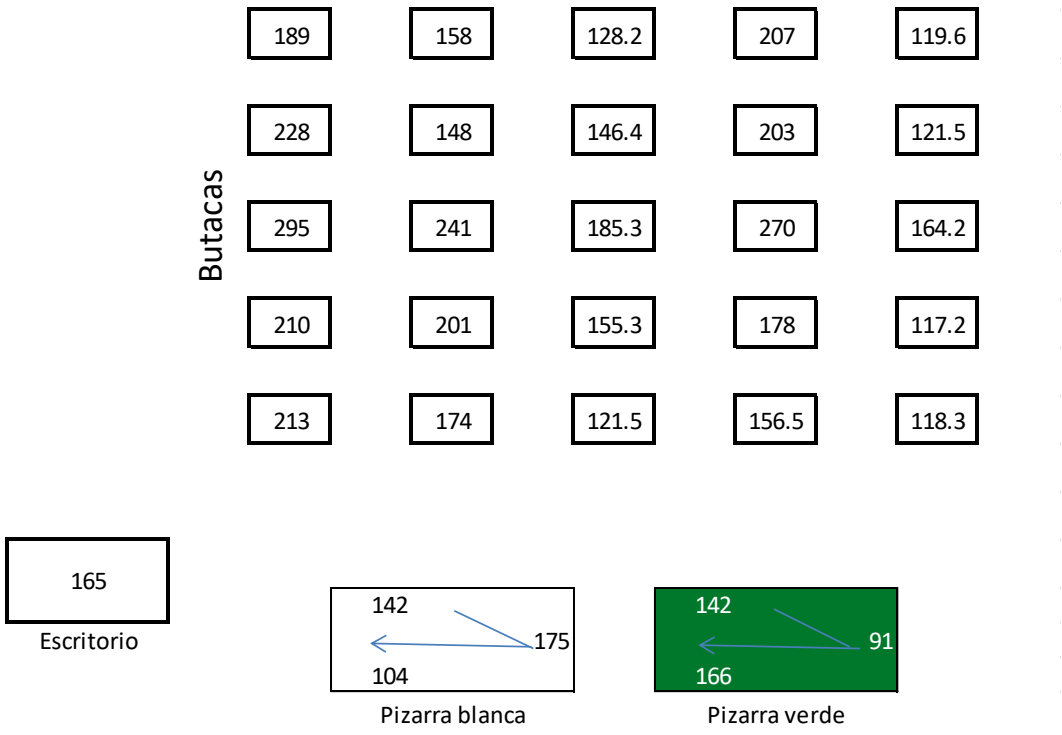


Figura 24. *Nivel de iluminación promedio de aulas (lum/m²)*
Fuente: *Elaborado por los autores*

Según la tabla 15 el nivel mínimo de iluminación para un aula es de 300 lum/m² esto incluye las butacas y el escritorio, en cambio para las pizarras el nivel mínimo de iluminación es de lum/m².

A continuación, se presenta una tabla de los demás resultados obtenidos en la medición de los niveles de iluminación:

Tabla 16. *Resultados obtenidos de las mediciones en las diferentes áreas*

Áreas		Nivel mínimo	Nivel máximo
Pasillos de aulas		23	61
Pasillos exteriores		18	25
Baños		121	218
Escaleras		23	60
Bedel		33	65
Multiuso		100	135
Centro de informática		49	82
Enfermería		138	243
Parqueos		11	50
Bancos exteriores		11	21
Mesas exteriores		8	37
Laboratorios 1ra planta	Área de trabajo	197	301
	Pizarra	81	109
Laboratorios 2da planta	Área de trabajo	120	330
	Pizarra	108	200
Laboratorios 3ra planta	Área de trabajo	235	345
	Pizarra	124	191
Biblioteca	Mesas	54	180
	Libreros	45	310
	Computadoras	97	132
	Cubículos	60	240

Fuente: *Elaborado por los autores*

Por otra parte, en esta universidad no existe ningún tipo de iluminación de emergencia, por lo que no hay registro de mediciones de las mismas.

2.1.3 Cálculos de iluminación

Con las luminarias existentes hoy en día se puede proporcionar ambientes con la iluminación correcta y, a su vez, a bajo consumo. Sin embargo, la iluminación correcta no se determina de manera subjetiva, pues existen parámetros que las definen según su fin. Todos estos propósitos deben cumplir con los siguientes:

1. Nivel de iluminación. Nivel de flujo luminoso necesario.
2. Estética. Tipo de luminaria.
3. Distribución de luminancias.
4. Color de la luminaria.
5. Limitación de las penumbras.
6. Limitación del deslumbramiento. No exceder la cantidad de lúmenes necesaria.
7. Limitación del contraste de luces.

Cálculo según el método de los lúmenes

Este método se utiliza para alcanzar una iluminación general y uniforme del espacio requerido. Además, determinar la cantidad de luminarias necesarias y cómo distribuirlas.

Para cumplir con lo anterior dicho se realizan los siguientes:

1. Cálculo del flujo luminoso total necesario.
2. Cálculo del número de luminarias.
3. Distribución de luminarias.

Cálculo del flujo luminoso total necesario.

El flujo luminoso se determina de la siguiente manera:

$$\Phi_{Total} = \frac{S \cdot E_m}{C_u \cdot C_m}$$

Donde:

a) Φ_{Total}: Flujo luminoso necesario en LUX.

b) S: Superficie que se va a iluminar en m^2

c) E_m: nivel medio de iluminación dado en LUX.

d) C_u: Coeficiente de utilización. Relación entre el flujo luminoso emitido por la fuente y el recibido por el cuerpo. Este es proporcionado por el fabricante de la luminaria.

e) C_m: Coeficiente de mantenimiento. Se refiere al grado de conservación de la luminaria.

Cálculo del número de luminarias.

Tomando en cuenta que siempre se redondea por exceso, el número de luminaria se determina de la siguiente manera:

$$Número\ de\ Luminarias = \frac{\Phi_{Total}}{n \cdot \Phi_L}$$

a) Φ_{Total}: Flujo luminoso necesario en LUX.
b) Φ_L: Flujo luminoso de la luminaria (dada por el fabricante).
c) n: Número de lámparas de la luminaria.

2.2 Estudio Económico

Uno de los puntos clave cuando se trata el tema de instalaciones eléctricas es el consumo de los dispositivos que se utilizan. Es conocido que a mayor consumo mayor será lo que se debe pagar. Sin embargo, cuando se refiere a las luminarias es necesario hablar de calidad-precio ya que lo que interesa no sólo es una iluminación de bajo consumo, sino también que sea de calidad.

Ahora bien, cuando se habla de calidad no se relaciona únicamente con los lúmenes que una luminaria puede aportar a un área determinada ya que, por

otra parte, hay que tomar en cuenta otros factores como el mantenimiento de la luminaria y su vida útil.

Un aula del campus II de la Universidad APEC, en promedio tiene 4 lámparas fluorescentes de 64 watts para un total de 256 watts por aula. Tomando en cuenta que las luminarias sólo se utilizan en horas de la noche (6 pm a 10 pm) durante 6 días se estima que en una semana un aula consume 6.144 kWh en luminarias.

2.3 Selección de luminaria

Para garantizar una buena selección de la luminaria y fuente de luz se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

2.3.1 Distribución de la luz y su forma

La lámpara debe tener una buena distribución del flujo luminoso, ser eficiente y controlar el deslumbramiento. Utilizar la curva de distribución luminosa de la luz. En ella se pude observar como la luminaria reparte la luz que emite la lámpara y la dirección a la que va.

Tener en cuenta la intensidad máxima de (I_{max}) este es un valor que tendrá importancia cuando se elaboren los cálculos.

2.3.2 Rendimiento luminaria-lámpara

Saber cuál es el flujo que emiten las lámparas que utilizan luminaria y el flujo de la luminaria en su conjunto. Algunas luminarias aprovechan todo el flujo que emiten la lámpara, pero otras no lo hacen. Mientras mayor se aprovecha la eficacia luminosa mejor será el rendimiento de la luminaria.

2.3.3 Limitación del deslumbramiento que pueda provocar en las personas

Elegir y colocar las luminarias de forma que se evite en su mayoría el deslumbramiento que se pueda crear.

2.3.4 Instalación y mantenimiento

Las lámparas deben de ser de fácil instalación y mantenimiento, deben de mantener en temperatura adecuada todos los elementos eléctricos internos, tener un terminal que facilite la conexión a tierra, deben de ser segura y las condiciones del lugar favorables.

2.3.5 Estética

Según como se muestre la lámpara si encendida o apagada este debe de cumplir con el entorno que la rodea para así crear un mejor ambiente.

2.3.6 Luminaria escogida

Por los factores expuestos anteriormente se consideró la marca **Philips** ya que es de conocerse mundialmente que tienen buena relación calidad precio.

Desde el punto de vista de la necesidad del campus II de la Universidad APEC se tomaron las siguientes luminarias:

Modelo ***PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC*** como luminarias en las aulas, laboratorios y baños con una potencia de **10.2 W** y **1500** lúmenes.

En la biblioteca el modelo ***PHILIPS DN570B PSE-E 1xLED24S/840 C*** de **21.5 W** y **2600 Lm** fue el más conveniente de todos.

Para las áreas exteriores y pasillos se consideraron los modelos ***Bombilla LED Estándar 8718696739228*** de **11.5 W y 1521 Lm**, la luminaria tipo poste ***PHILIPS BRS439 FG T15 ECO113-2S/740 A*** de **105.7 W** y **9485 LM** y el reflector ***PHILIPS BVP120 1xLED120/NW S*** de **120 W** y **12012 LM**. Estas luminarias suponen una vida útil de hasta 70,000 horas.

Figura 25. *Logo de la compañía Philips*
Fuente: *Philips*

Finalmente, durante el levantamiento se vio que el salón multiuso de campus II de la Universidad APEC ya utiliza luminarias tipo LED.

2.4 DIALUX output

Para demostrar la deficiencia que se presenta en el campus II de la Universidad APEC se tomó en cuenta un conjunto de aulas con distribución diferente en su inmobiliario cada una. Estas presentan características que engloban los casos más comunes de deficiencia en la iluminación, teniendo en cuenta que las mismas tienen las importancias de estar en condiciones óptimas pues se prestan para impartir asignaturas que tengan que ver con asuntos de índole practico, llámese laboratorios o aulas interactivas.

Aquí se presentan las aulas con deficiencia, ejemplificadas con los resultados obtenidos mediante el output de DIALUX luego de realizar los cálculos, este documento proporciona informaciones tales como la cantidad de luminarias a utilizar en las áreas. Además, se presentan los datos técnicos de la misma y los valores en lux en puntos específicos del área.

2.4.1 Aula 1

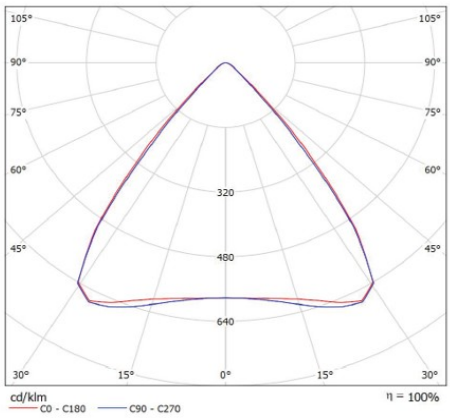
Figura 26. *"Aula 1" con presencia deficiencias en iluminación*
Fuente: *Elaborado por los autores*

A continuación, se presenta los datos de la luminaria del fabricante a utilizar en el aula 1:

DIALux

PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC / Hoja de datos de Luminarias

luminaria



Emisión de luz

Figura 27. *Luminaria para utilizarse en el "aula 1"*
Fuente: *Philips*

“Clasificación luminarias según CIE: 100 Código CIE Flux: 88 98 100 100 100

TrueLine, línea de luz auténtica: elegante, eficiencia energética garantizada y de conformidad con las normas de iluminación para oficinas.

Los arquitectos necesitan una solución de iluminación adecuada para la arquitectura interior de las instalaciones en las que trabajan.

Optan por una línea de luz con un diseño elegante y altos niveles de iluminación.

Los especificadores necesitan luminarias que les permitan ahorrar energía y ofrecer, al mismo tiempo, el nivel de luz adecuado de conformidad con las normas de iluminación para oficinas.

El sistema *TrueLine* empotrado permite cumplir ambos requisitos. *TrueLine* también está disponible en una versión suspendida y adosable"[4].

Tabla 17. *Valor de deslumbramiento para luminaria en "aula 1"*

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 X	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	15.2	16.0	15.4	16.2	16.4	14.9	15.7	15.2	15.9	16.1
	3H	15.1	15.8	15.4	16.0	16.3	14.9	15.6	15.2	15.8	16.1
	4H	15.1	15.7	15.4	16.0	16.2	14.9	15.5	15.2	15.8	16.1
	6H	15.0	15.6	15.3	15.9	16.2	14.8	15.5	15.2	15.7	16.0
	8H	15.0	15.6	15.3	15.8	16.1	14.8	15.4	15.2	15.7	16.0
	12H	14.9	15.5	15.3	15.8	16.1	14.8	15.3	15.1	15.6	16.0
4H	2H	15.0	15.7	15.3	15.9	16.2	14.8	15.4	15.1	15.7	15.9
	3H	15.0	15.5	15.3	15.8	16.1	14.8	15.3	15.1	15.6	15.9
	4H	14.9	15.4	15.3	15.7	16.1	14.8	15.2	15.1	15.6	15.9
	6H	14.9	15.3	15.3	15.6	16.0	14.7	15.1	15.1	15.5	15.9
	8H	14.9	15.2	15.3	15.6	16.0	14.7	15.1	15.1	15.5	15.9
	12H	14.8	15.1	15.3	15.5	16.0	14.7	15.0	15.1	15.4	15.8
8H	4H	14.8	15.2	15.2	15.6	16.0	14.7	15.0	15.1	15.4	15.8
	6H	14.8	15.1	15.2	15.5	15.9	14.7	14.9	15.1	15.4	15.8
	8H	14.8	15.0	15.2	15.4	15.9	14.6	14.9	15.1	15.3	15.8
	12H	14.7	14.9	15.2	15.4	15.9	14.6	14.8	15.1	15.3	15.8
12H	4H	14.8	15.1	15.2	15.5	15.9	14.6	14.9	15.1	15.3	15.8
	6H	14.8	15.0	15.2	15.4	15.9	14.6	14.9	15.1	15.3	15.8
	8H	14.7	14.9	15.2	15.4	15.9	14.6	14.8	15.1	15.3	15.8
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H		+3.6 / -7.0					+3.8 / -5.9				
S = 1.5H		+6.3 / -8.2					+6.5 / -6.6				
S = 2.0H		+8.3 / -9.0					+8.4 / -7.4				
Tabla estándar		BK00					BK00				
Sumando de corrección		-3.4					-3.5				
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 1500lm Flujo luminoso total											

Fuente: *Elaborado por los autores*

Lista de Luminaria

[4] Descripción de la luminaria de Philips en su hoja de datos

16 Pieza PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC

N° de artículo:

Flujo luminoso (Luminaria): 1500 lm

Flujo luminoso (Lámparas): 1500 lm

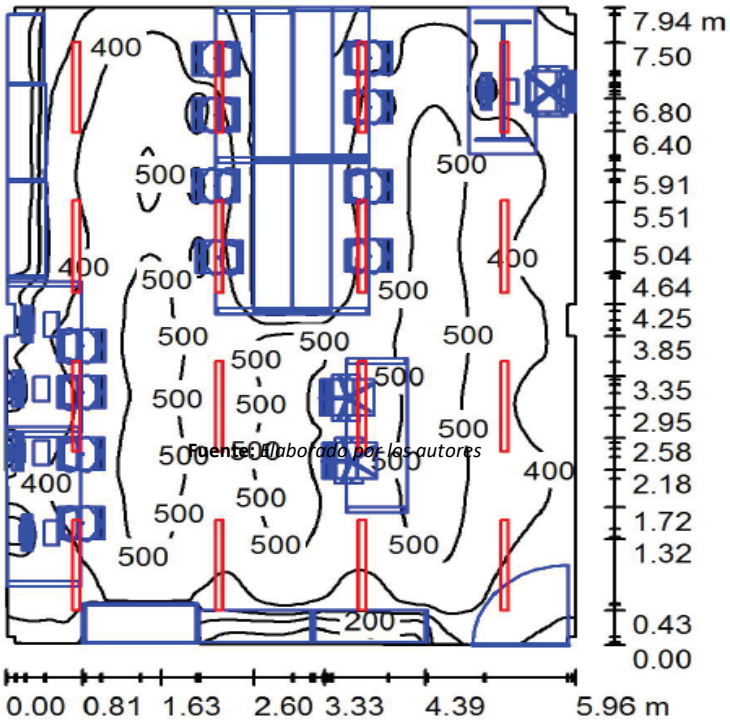
Potencia de las luminarias: 10.2 W

Clasificación luminarias según CIE: 100

Código CIE Flux: 88 98 100 100 100

Lámpara: 1 x LED15S/840/- (Factor de corrección 1.000)

Resumen



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 28. *Presentación de la distribución de luxes en "aula 1"*

Altura del local: 2.600 m, Altura de montaje: 2.679 m, Factor mantenimiento: 0.80 — Valores en Lux, Escala 1:102

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	412	51	537	0.125
Suelo	67	268	22	493	0.083
Techo	70	130	62	185	0.478
Paredes (21)	77	131	7.76	318	/

Plano útil:

Altura:	0.850 m
Trama:	128 x 128 Puntos
Zona marginal:	0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	16	PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC (1.000)	1500	1500	10.2
			Total: 24000	Total: 24000	163.2

Valor de eficiencia energética: 3.47 W/m² = 0.84 W/m²/100 lx (Base: 47.04 m²)

Figura 29. *Resumen de resultados para "aula 1"*
Fuente: *Elaborado por los autores*

Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total:	24000 lm
Potencia total:	163.2 W
Factor mantenimiento:	0.80
Zona marginal:	0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx] directo	indirecto	total	Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
Plano útil	320	92	412	/	/
Suelo	194	74	268	67	57
Techo	0.00	130	130	70	29
Pared 1	51	101	152	77	37
Pared 2	10	69	79	77	19
Pared 3	33	117	150	77	37
Pared 4	35	128	164	77	40
Pared 5	69	127	195	77	48
Pared 6	35	138	173	77	42
Pared 7	63	126	189	77	46
Pared 8	36	135	171	77	42
Pared 9	64	108	172	77	42
Pared 10	34	101	135	77	33
Pared 11	31	98	129	77	32
Pared 12	51	88	139	77	34
Pared 13	0.51	65	66	77	16
Pared 14	0.34	8.33	8.67	77	2.13
Pared 15	3.71	53	57	77	14
Pared 16	14	45	59	77	14
Pared 17	27	102	129	77	32
Pared 18	21	110	130	77	32
Pared 19	45	111	156	77	38
Pared 20	35	108	143	77	35
Pared 21	31	102	134	77	33

Simetrías en el plano útil
E_{min} / E_m: 0.125 (1:8)
E_{min} / E_{max}: 0.095 (1:10)

Valor de eficiencia energética: 3.47 W/m² = 0.84 W/m²/100 lx (Base: 47.04 m²)

Figura 30. *Resultados luminotécnicos para "aula 1"*
Fuente: *Elaborado por los autores*

Resultado final

***Figura 31**. Renderizado "aula 1"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

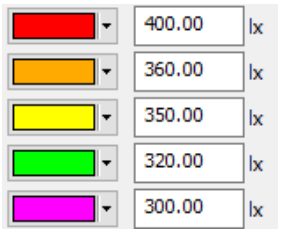


***Figura 32**. Rango de lux "aula 1"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

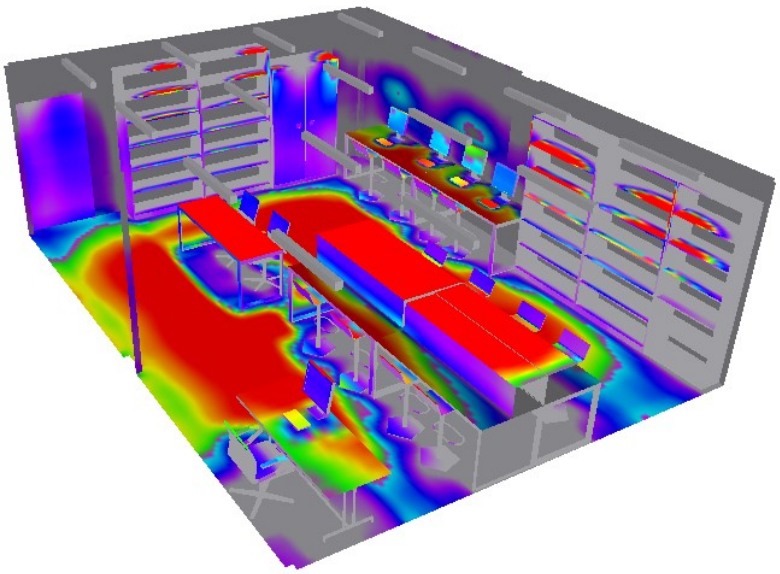


***Figura 33.** Espectro de incidencia de la luz representado en falsos colores en "aula 1"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

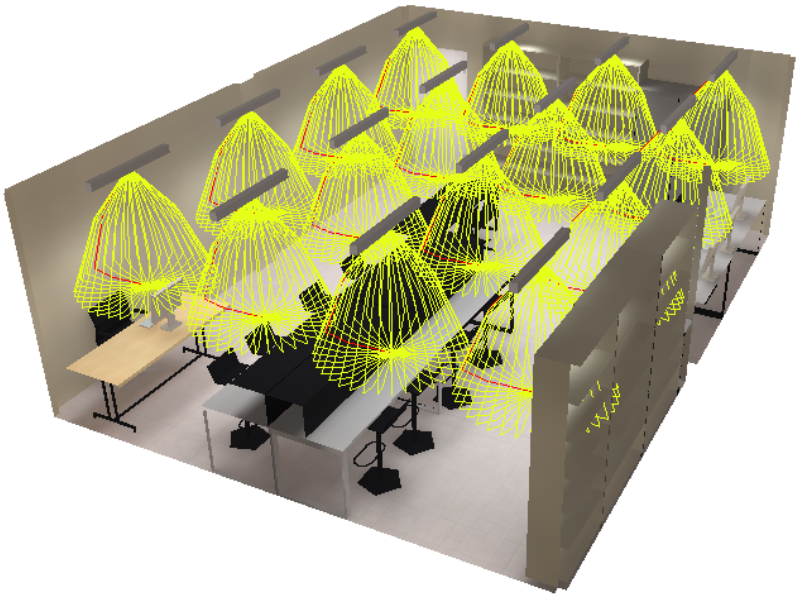


Figura 34. *Representación 3D distribución luminosa en "aula 1"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

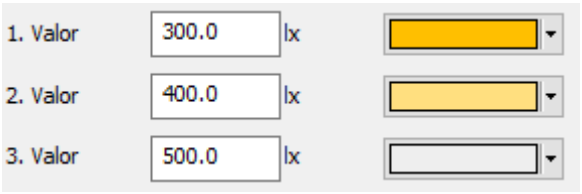


Figura 35. *Rango en lux de isolineas en "aula 1"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

Figura 36. *Isolineas en lux de acuerdo con el rango en "aula 1"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

2.4.2 Aula 2

Figura 37. *"Aula 2" con presencia deficiencias en iluminación.*

Fuente: *Elaborado por los autores*

Figura 38*. "Aula 2" con presencia deficiencias en iluminación desde otro ángulo*

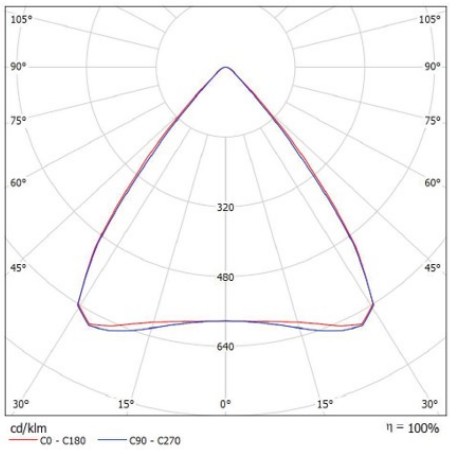
Fuente: *Elaborado por los autores*

A continuación, se presenta los datos de la luminaria del fabricante a utilizar en el aula 2:

DIALux

PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC / Hoja de datos de Luminarias

luminaria



Emisión de luz

Figura 39*. Luminaria a utilizarse en el "aula 2"*
Fuente: *Elaborado por los autores*

"Clasificación luminarias según CIE: 100 Código CIE Flux: 88 98 100 100 100

TrueLine, línea de luz auténtica: elegante, eficiencia energética garantizada y de conformidad con las normas de iluminación para oficinas.

Los arquitectos necesitan una solución de iluminación adecuada para la arquitectura interior de las instalaciones en las que trabajan.

Optan por una línea de luz con un diseño elegante y altos niveles de iluminación.

Los especificadores necesitan luminarias que les permitan ahorrar energía y ofrecer, al mismo tiempo, el nivel de luz adecuado de conformidad con las normas de iluminación para oficinas.

El sistema TrueLine empotrado permite cumplir ambos requisitos. TrueLine también está disponible en una versión suspendida y adosable"[5].

[5] Descripción de la luminaria de Philips en su hoja de datos

Tabla 18. *Resultados luminotécnicos para "aula 2"*

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 X	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	15.2	16.0	15.4	16.2	16.4	14.9	15.7	15.2	15.9	16.1
	3H	15.1	15.8	15.4	16.0	16.3	14.9	15.6	15.2	15.8	16.1
	4H	15.1	15.7	15.4	16.0	16.2	14.9	15.5	15.2	15.8	16.1
	6H	15.0	15.6	15.3	15.9	16.2	14.8	15.5	15.2	15.7	16.0
	8H	15.0	15.6	15.3	15.8	16.1	14.8	15.4	15.2	15.7	16.0
	12H	14.9	15.5	15.3	15.8	16.1	14.8	15.3	15.1	15.6	16.0
4H	2H	15.0	15.7	15.3	15.9	16.2	14.8	15.4	15.1	15.7	15.9
	3H	15.0	15.5	15.3	15.8	16.1	14.8	15.3	15.1	15.6	15.9
	4H	14.9	15.4	15.3	15.7	16.1	14.8	15.2	15.1	15.6	15.9
	6H	14.9	15.3	15.3	15.6	16.0	14.7	15.1	15.1	15.5	15.9
	8H	14.9	15.2	15.3	15.6	16.0	14.7	15.1	15.1	15.5	15.9
	12H	14.8	15.1	15.3	15.5	16.0	14.7	15.0	15.1	15.4	15.8
8H	4H	14.8	15.2	15.2	15.6	16.0	14.7	15.0	15.1	15.4	15.8
	6H	14.8	15.1	15.2	15.5	15.9	14.7	14.9	15.1	15.4	15.8
	8H	14.8	15.0	15.2	15.4	15.9	14.6	14.9	15.1	15.3	15.8
	12H	14.7	14.9	15.2	15.4	15.9	14.6	14.8	15.1	15.3	15.8
12H	4H	14.8	15.1	15.2	15.5	15.9	14.6	14.9	15.1	15.3	15.8
	6H	14.8	15.0	15.2	15.4	15.9	14.6	14.9	15.1	15.3	15.8
	8H	14.7	14.9	15.2	15.4	15.9	14.6	14.8	15.1	15.3	15.8
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H		+3.6 / -7.0					+3.8 / -5.9				
S = 1.5H		+6.3 / -8.2					+6.5 / -6.6				
S = 2.0H		+8.3 / -9.0					+8.4 / -7.4				
Tabla estándar		BK00					BK00				
Sumando de corrección		-3.4					-3.5				
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 1500lm Flujo luminoso total											

Fuente: *Elaborado por los autores*

Lista de Luminaria

16 Pieza PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC

N° de artículo:

Flujo luminoso (Luminaria): 1500 lm

Flujo luminoso (Lámparas): 1500 lm

Potencia de las luminarias: 10.2 W

Clasificación luminarias según CIE: 100

Código CIE Flux: 88 98 100 100 100

Lámpara: 1 x LED15S/840/- (Factor de corrección 1.000)

Resumen

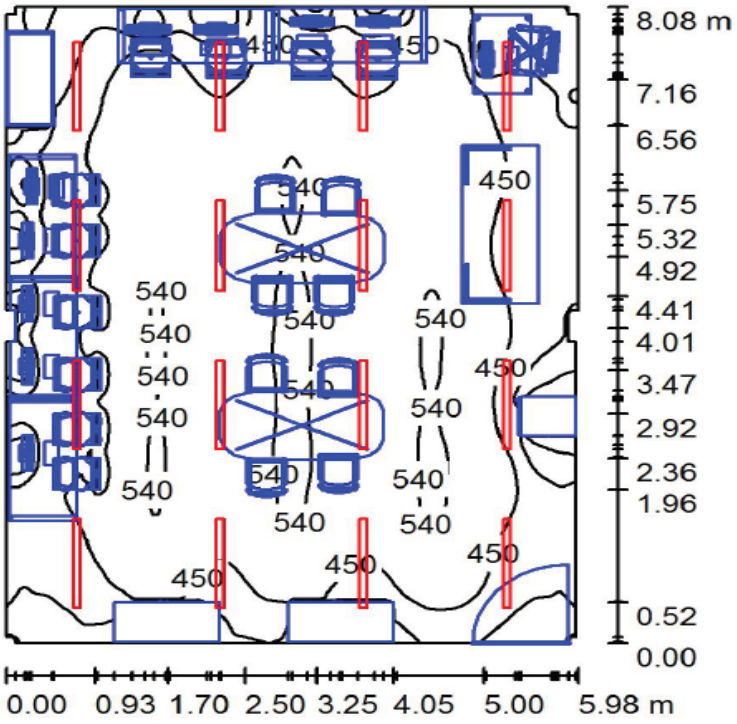


Figura 40. *Presentación de la distribución de luxes en "aula 2"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

Altura del local: 2.600 m, Altura de montaje: 2.679 m, Factor mantenimiento: 0.80 — Valores en Lux, Escala 1:104

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	454	116	553	0.255
Suelo	67	306	47	518	0.154
Techo	70	166	103	252	0.618
Paredes (20)	77	176	48	338	/

Plano útil:

Altura:	0.850 m
Trama:	128 x 128 Puntos
Zona marginal:	0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	16	PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC (1.000)	1500	1500	10.2
			Total: 24000	Total: 24000	163.2

Valor de eficiencia energética: 3.39 W/m² = 0.75 W/m²/100 lx (Base: 48.13 m²)

Figura 41. *Resumen de resultados para "aula 2"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

Resultados Luminotecnicos

Tabla 19. *Resultados luminotécnicos para "aula 3"*

Flujo luminoso total:	24000 lm
Potencia total:	163.2 W
Factor mantenimiento:	0.80
Zona marginal:	0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx] directo	indirecto	total	Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
Plano útil	331	123	454	/	/
Suelo	208	98	306	67	65
Techo	0.00	166	166	70	37
Pared 1	52	140	192	77	47
Pared 2	31	138	168	77	41
Pared 3	35	154	189	77	46
Pared 4	50	140	190	77	47
Pared 5	27	146	173	77	42
Pared 6	57	134	191	77	47
Pared 7	35	113	149	77	36
Pared 8	65	110	175	77	43
Pared 9	31	105	136	77	33
Pared 10	30	112	142	77	35
Pared 11	45	120	165	77	40
Pared 12	22	108	130	77	32
Pared 13	19	85	104	77	26
Pared 14	41	107	148	77	36
Pared 15	17	113	129	77	32
Pared 16	31	134	165	77	40
Pared 17	18	124	141	77	35
Pared 18	53	139	193	77	47
Pared 19	35	146	180	77	44
Pared 20	32	148	180	77	44

Simetrías en el plano útil
E_{min} / E_m: 0.255 (1:4)
E_{min} / E_{max}: 0.209 (1:5)

Valor de eficiencia energética: 3.39 W/m² = 0.75 W/m²/100 lx (Base: 48.13 m²)

Fuente: *Elaborado por los autores*

Resultado final

Figura 42. *Renderizado "aula 2"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

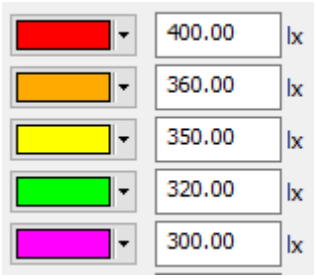


Figura 43*. Rango en lux de isolineas en "aula 2"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

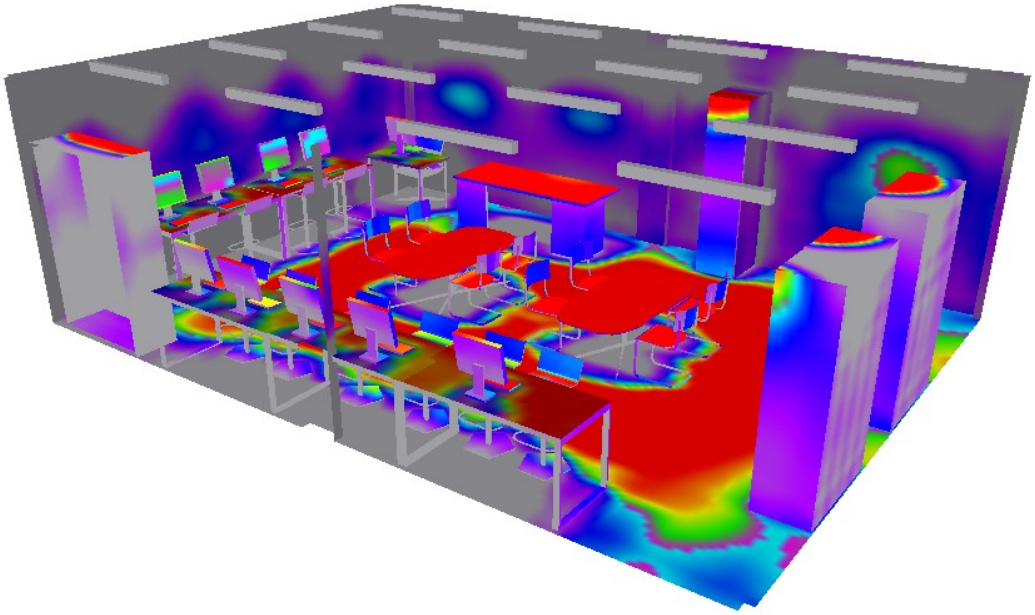


Figura 44. *Espectro de incidencia de la luz representado en falsos colores en "aula 2"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

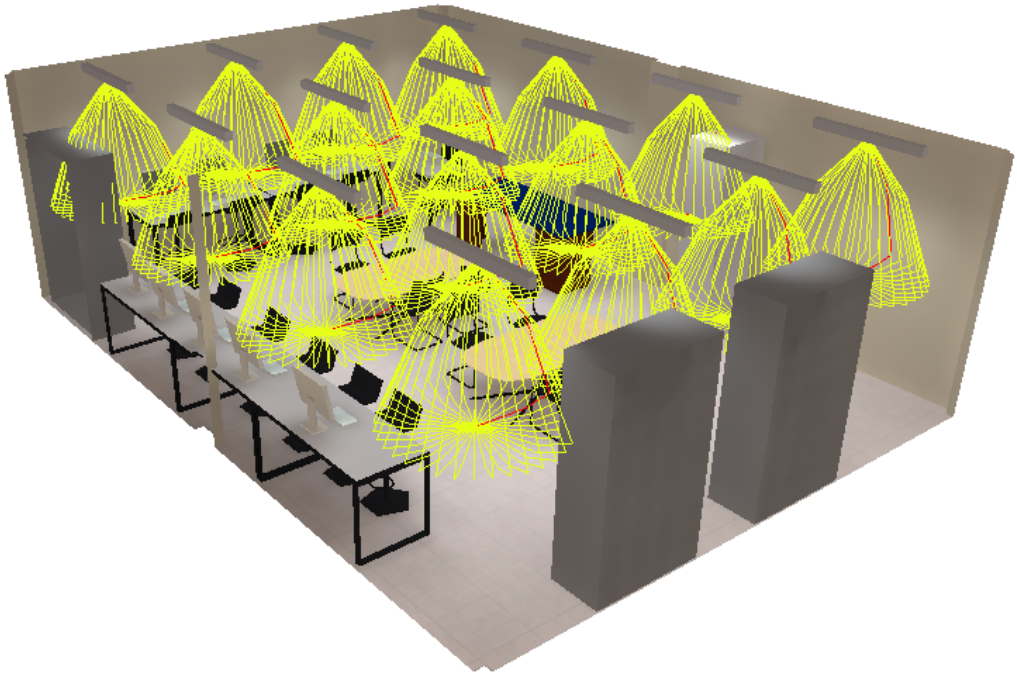


Figura 45. *Representación 3D distribución luminosa en "aula 2"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

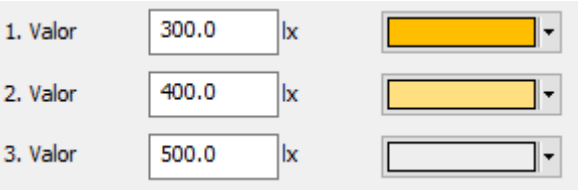


***Figura 46**. Rango en lux de isolineas en "aula 2"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

***Figura 47.** Isolineas en lux de acuerdo al rango en "aula 2"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

2.4.3 Aula 3

Figura 48. *"Aula 3" con presencia deficiencias en iluminación*

Fuente: *Elaborado por los autores*

Figura 49. *"Aula 3" con presencia deficiencias en iluminación desde otro ángulo*

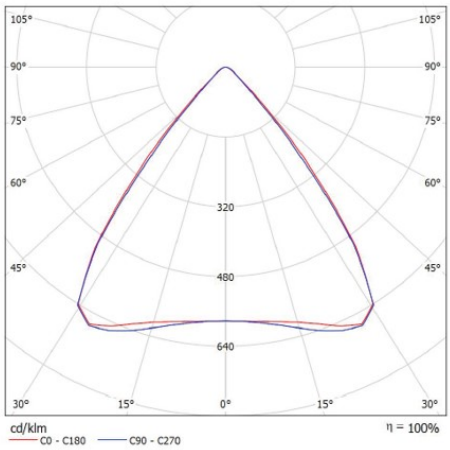
Fuente: *Elaborado por los autores*

A continuación, se presenta los datos de la luminaria del fabricante a utilizar en el aula 3:

DIALux

PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC / Hoja de datos de Luminarias

luminaria



Emisión de luz

Figura 50. Luminaria a utilizarse en el "aula 3"

Fuente: *Philips*

“Clasificación luminarias según CIE: 100 Código CIE Flux: 88 98 100 100 100

TrueLine, línea de luz auténtica: elegante, eficiencia energética garantizada y de conformidad con las normas de iluminación para oficinas.

Los arquitectos necesitan una solución de iluminación adecuada para la arquitectura interior de las instalaciones en las que trabajan.

Optan por una línea de luz con un diseño elegante y altos niveles de iluminación.

Los especificadores necesitan luminarias que les permitan ahorrar energía y ofrecer, al mismo tiempo, el nivel de luz adecuado de conformidad con las normas de iluminación para oficinas.

El sistema TrueLine empotrado permite cumplir ambos requisitos. TrueLine también está disponible en una versión suspendida y adosable"[6].

[6] Descripción de la luminaria de Philips en su hoja de datos

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 X	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	15.2	16.0	15.4	16.2	16.4	14.9	15.7	15.2	15.9	16.1
	3H	15.1	15.8	15.4	16.0	16.3	14.9	15.6	15.2	15.8	16.1
	4H	15.1	15.7	15.4	16.0	16.2	14.9	15.5	15.2	15.8	16.1
	6H	15.0	15.6	15.3	15.9	16.2	14.8	15.5	15.2	15.7	16.0
	8H	15.0	15.6	15.3	15.8	16.1	14.8	15.4	15.2	15.7	16.0
	12H	14.9	15.5	15.3	15.8	16.1	14.8	15.3	15.1	15.6	16.0
4H	2H	15.0	15.7	15.3	15.9	16.2	14.8	15.4	15.1	15.7	15.9
	3H	15.0	15.5	15.3	15.8	16.1	14.8	15.3	15.1	15.6	15.9
	4H	14.9	15.4	15.3	15.7	16.1	14.8	15.2	15.1	15.6	15.9
	6H	14.9	15.3	15.3	15.6	16.0	14.7	15.1	15.1	15.5	15.9
	8H	14.9	15.2	15.3	15.6	16.0	14.7	15.1	15.1	15.5	15.9
	12H	14.8	15.1	15.3	15.5	16.0	14.7	15.0	15.1	15.4	15.8
8H	4H	14.8	15.2	15.2	15.6	16.0	14.7	15.0	15.1	15.4	15.8
	6H	14.8	15.1	15.2	15.5	15.9	14.7	14.9	15.1	15.4	15.8
	8H	14.8	15.0	15.2	15.4	15.9	14.6	14.9	15.1	15.3	15.8
	12H	14.7	14.9	15.2	15.4	15.9	14.6	14.8	15.1	15.3	15.8
12H	4H	14.8	15.1	15.2	15.5	15.9	14.6	14.9	15.1	15.3	15.8
	6H	14.8	15.0	15.2	15.4	15.9	14.6	14.9	15.1	15.3	15.8
	8H	14.7	14.9	15.2	15.4	15.9	14.6	14.8	15.1	15.3	15.8
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H		+3.6 / -7.0					+3.8 / -5.9				
S = 1.5H		+6.3 / -8.2					+6.5 / -6.6				
S = 2.0H		+8.3 / -9.0					+8.4 / -7.4				
Tabla estándar		BK00					BK00				
Sumando de corrección		-3.4					-3.5				
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 1500lm Flujo luminoso total											

***Figura 51**. Resultados luminotécnicos para "aula 3"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

Lista de Luminaria

16 Pieza PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC

N° de artículo:

Flujo luminoso (Luminaria): 1500 lm

Flujo luminoso (Lámparas): 1500 lm

Potencia de las luminarias: 10.2 W

Clasificación luminarias según CIE: 100

Código CIE Flux: 88 98 100 100 100

Lámpara: 1 x LED15S/840/- (Factor de corrección 1.000)

Resumen

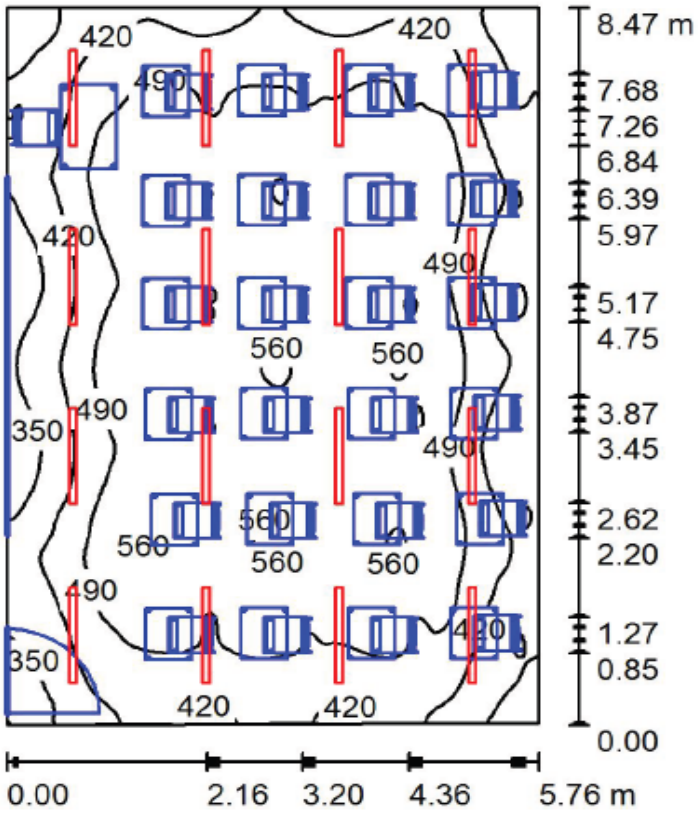


Figura 52. *Presentación de la distribución de luxes en "aula 3"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

Altura del local: 2.800 m, Altura de montaje: 2.879 m, Factor mantenimiento: 0.80 — Valores en Lux, Escala 1:109

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	471	254	570	0.539
Suelo	67	350	132	501	0.377
Techo	70	192	148	237	0.769
Paredes (4)	77	235	139	386	/

Plano útil:

Altura:	0.850 m
Trama:	128 x 128 Puntos
Zona marginal:	0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	16	PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC (1.000)	1500	1500	10.2
			Total: 24000	Total: 24000	163.2

Valor de eficiencia energética: 3.35 W/m² = 0.71 W/m²/100 lx (Base: 48.69 m²)

Figura 53. *Resumen de resultados para "aula 3"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

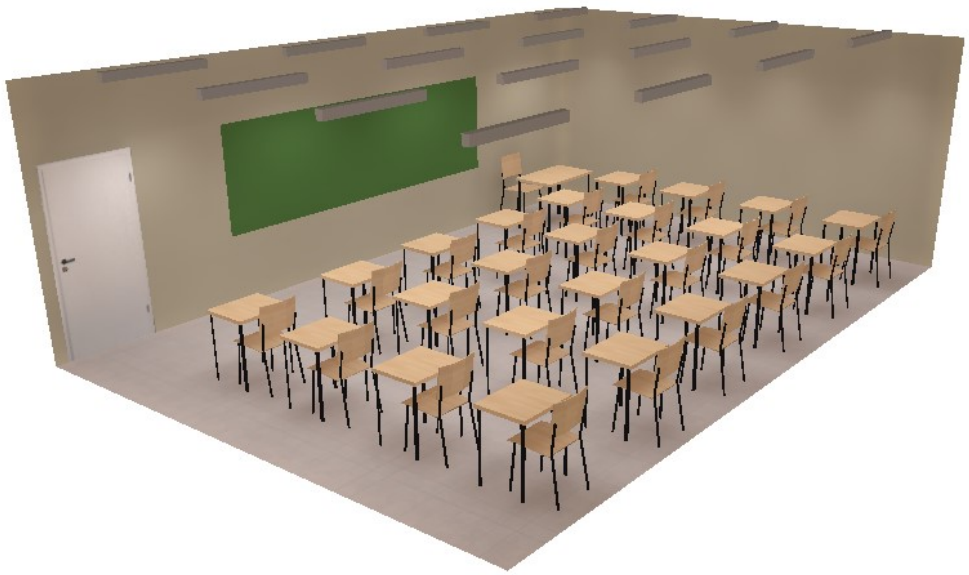


Figura 54. *Renderizado "aula 3"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

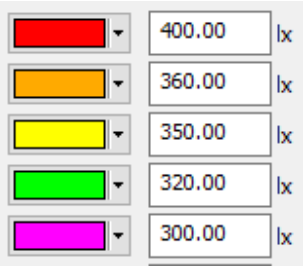


Figura 55. *Rango en lux de isolineas en "aula 3"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

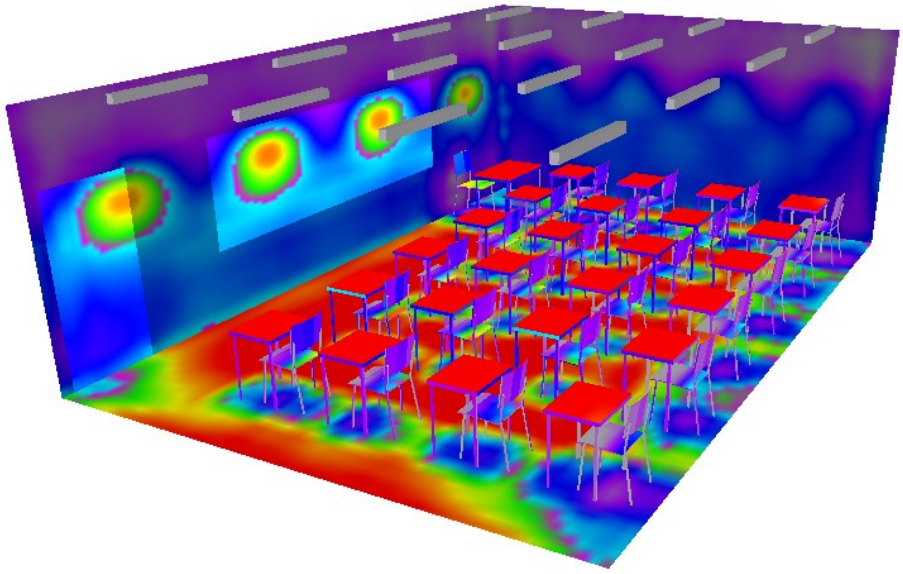


Figura 56*. Espectro de incidencia de la luz representado en falsos colores en "aula 3"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

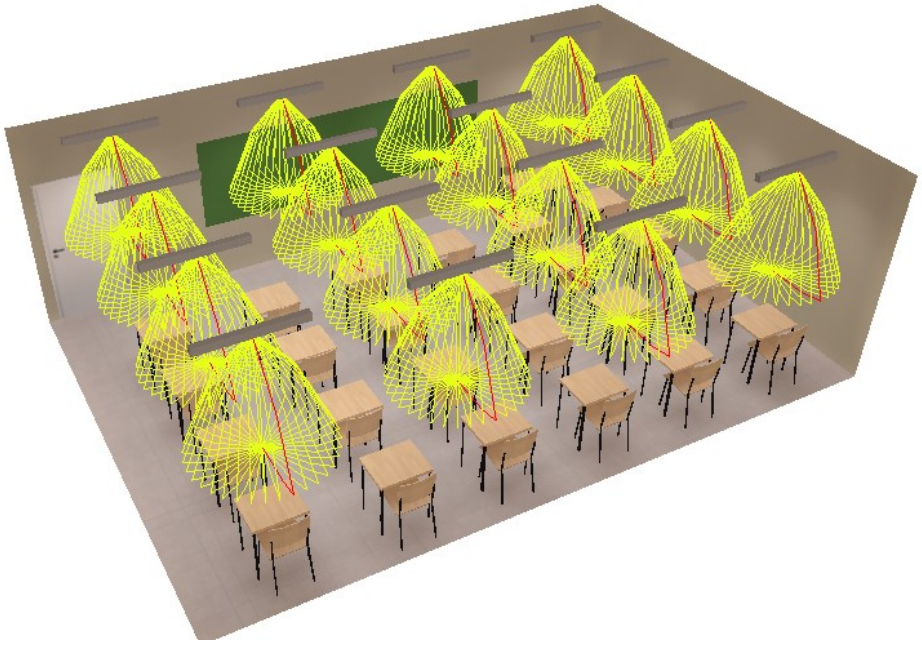


Figura 57. *Representación 3D distribución luminosa en "aula 3"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

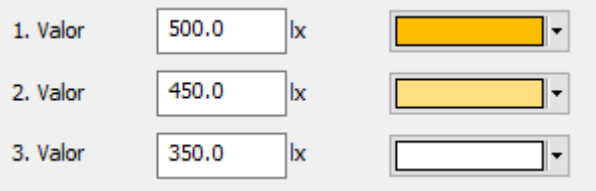


***Figura 58**. Rango en lux de isolineas en "aula 3"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

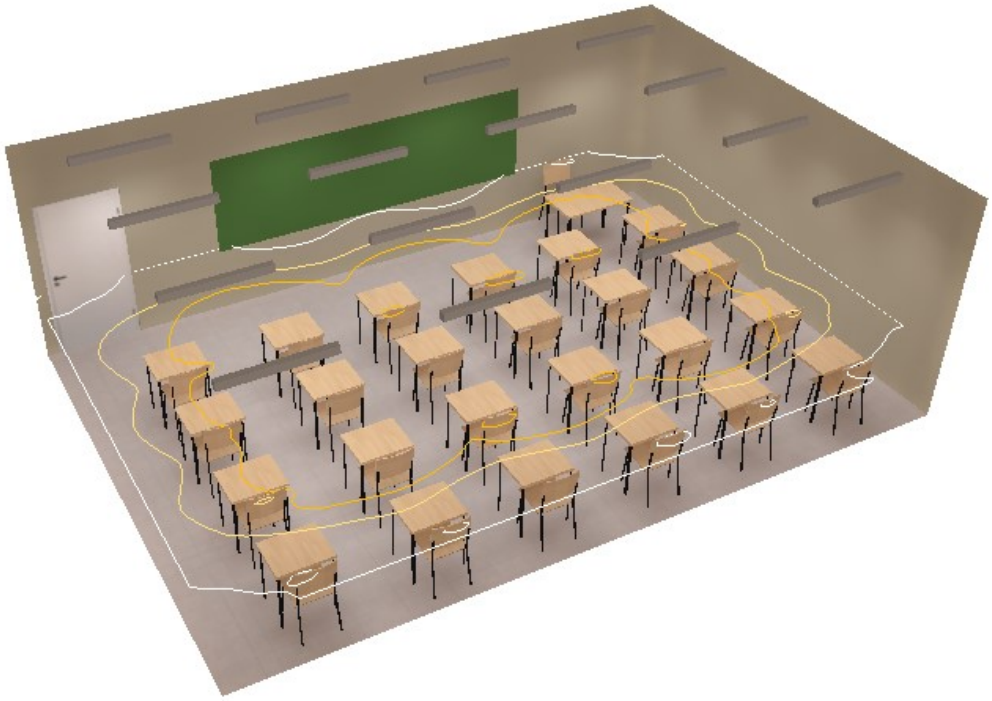


***Figura 59**. Isolineas en lux de acuerdo al rango en "aula 3"*

Fuente: *Elaborado por los autores*

CAPITULO III
VALIDACION DE RESULTADOS

Luego de la selección de luminarias se hizo un cálculo de la potencia total que se consumiría en el campus II de la Universidad APEC y los resultados son los siguientes:

Tabla 20. *Potencia de la biblioteca con luminaria propuesta*

No.	Biblioteca	Cantidad	Potencia (Watts)	Potencia total (Watts)
1	Biblioteca	45	21.50 W	967.50 W
2	Pasillo	5	11.50 W	57.50 W
	Total			**1,025.00 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 21. *Potencia de la Escuela de Ingeniería con luminaria propuesta*

No.	Escuela de Ingeniería	Cantidad	Potencia (Watts)	Potencia total (Watts)
1	Oficina	4	10.20 W	40.80 W
2	Oficina	8	10.20 W	81.60 W
3	Oficina	8	10.20 W	81.60 W
4	Entrada	1	11.50 W	11.50 W
5	Salón de maestro	24	10.20 W	244.80 W
6	Salón	8	10.20 W	81.60 W
7	Baño	1	10.20 W	10.20 W
8	Escalera	1	10.20 W	10.20 W
9	Baño	1	10.20 W	10.20 W
10	Entrada	1	11.50 W	11.50 W
	Total			**584.00 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 22. *Potencia del Edificio II con luminaria propuesta*

No.	Edificio II	Cantidad Áreas	Cantidad luminarias por área	Potencia (Watts)	Potencia total (Watts)
1	Laboratorio 1er piso	6	16	10.20 W	979.20 W
2	Laboratorio 2er piso	6	16	10.20 W	979.20 W
3	Laboratorio 3er piso	5	32	10.20 W	1,632.00 W
4	Cubículos (todos)	1	16	10.20 W	163.20 W
5	Aula de Maestría	1	40	10.20 W	408.00 W
6	Recursos Tecnológicos	1	4	10.20 W	40.80 W
7	Baño 1ra	2	3	10.20 W	61.20 W
8	Baños 3ra	2	1	10.20 W	20.40 W
9	Pasillos	3	10	11.50 W	345.00 W
Total					**4,629.00 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 23. *Potencia del Edificio III con luminaria propuesta*

No.	Edificio III	Cantidad Áreas	Cantidad luminarias por área	Potencia (Watts)	Potencia total (Watts)
1	Aulas	41	16	10.20 W	6,691.20 W
2	Pasillos	4	16	11.50 W	736.00 W
3	Escaleras (todas)	1	5	10.20 W	51.00 W
4	4 baños	4	2	11.50 W	92.00 W
5	Multiuso		Usa Luminarias LED		356.50 W
Total					**7,926.70 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 24. *Potencia del Edificio IV con luminaria propuesta*

No.	Edificio IV	Cantidad de aulas/oficinas	Cantidad	Potencia (Watts)	Potencia total (Watts)
1	Objetos Perdidos	1	1	11.50 W	11.50 W
2	Aula Maestría	1	24	10.20 W	244.80 W
3	Aula Grande	1	24	10.20 W	244.80 W
4	Aulas	16	16	10.20 W	2,611.20 W
5	Pasillos	3	8	11.50 W	276.00 W
6	Escalera	2	2	11.50 W	46.00 W
7	CIDTEC	1	32	10.20 W	326.40 W
8	Enfermería	1	8	10.20 W	81.60 W
9	Lab. Modalidad T.	1	24	10.20 W	244.80 W
Total					**4,087.10 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 25. *Potencia del Área verde con luminaria propuesta*

Área Verde

No.	Cantidad Lámp.	Tipo	Potencia (Watts)	Potencia total (Watts)
1	3	Tipo poste	105.70 W	317.10 W
2	1	Reflector	120.00 W	120.00 W
3	1	Bombillo	11.50 W	11.50 W
Total			**237.20 W**	**448.60 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 26*. Potencia de parqueos con luminaria propuesta*

Parqueos

No.	Cantidad Lámp.	Tipo	Potencia (Watts)	Potencia total (Watts)
1	3	Reflector	120.00 W	360.00 W
2	20	Bombillo	11.50 W	230.00 W
3	5	Tipo poste	105.70 W	528.50 W
Total			**237.20 W**	**1,118.50 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 27. *Potencia del Pasillo/Área con luminaria propuesta*

Pasillo/ Área Cafetería

No.	Cantidad Lámp.	Tipo	Potencia (Watts)	Potencia total (Watts)
1	15	Bombillo	11.50 W	172.50 W
2	2	Tipo poste	105.70 W	211.40 W
Total			**117.20 W**	**383.90 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

A continuación, se muestra un cuadro resumido de la potencia total del campus II de la Universidad APEC con las luminarias propuestas:

Tabla 28. *Resumen de la potencia total con luminaria propuesta*

No.	Edificio/Zona	Potencia total (Watts)
1	Biblioteca	1,025.00 W
2	Escuela de Ingeniería	584.00 W
3	Edificio II	4,629.00 W
4	Edificio III	7,926.70 W
5	Edificio IV	4,087.10 W
6	Área Verde	448.60 W
7	Parqueos	1,118.50 W
8	Pasillo/ Área Cafetería	383.90 W
Total		**20,202.80 W**

Fuente: *elaborado por los autores*

3.1 Análisis de potencia, energía y costo de la energía

3.1.1 Análisis de reducción de potencia

A continuación, se presenta un cuadro con la comparación de la potencia en luminarias actual frente a la potencia con las luminarias propuestas:

Tabla 29. *Potencia actual de luminarias Vs luminaria propuesta*

No.	Edificio/Zona	Potencia con luminarias actuales (W)	Potencia con luminarias propuestas (W)	Diferencia (Watts)	Diferencia (%)
1	Biblioteca	1,744 W	1,025.00 W	719.00 W	41.23%
2	Escuela de Ing.	1,260 W	584.00 W	676.00 W	53.65%
3	Edificio II	9,950 W	4,629.00 W	5,321.00 W	53.48%
4	Edificio III	20,932 W	7,926.70 W	13,005.30 W	62.13%
5	Edificio IV	9,180 W	4,087.10 W	5,092.90 W	55.48%
7	Área Verde	1,700 W	448.60 W	1,251.40 W	73.61%
8	Parqueos	5,200 W	1,118.50 W	4,081.50 W	78.49%
9	Pasillo/ Área Cafetería	2,300 W	383.90 W	1,916.10 W	83.31%
Total		**52,266 W**	**20,202.80 W**	**32,063.20 W**	**61.35%**

Fuente: *elaborado por los autores*

Una diferencia de un 61.35% nos dice que las luminarias propuestas sólo consumirían el 38.65% de lo que consumen las actuales. En otras palabras, las actuales consumen 2.59 veces lo que consumirían las luminarias seleccionadas.

3.1.2 Análisis de reducción de energía

Al realizar un análisis crítico de 15 horas de uso diario (7 a.m. a 10 p.m.) durante para los interiores, 8 horas para la y 4 horas de uso diario, además de otras consideraciones. Los resultados obtenidos son los siguientes:

***Tabla 30**. Energía consumida con luminarias propuestas en un día por la biblioteca*

No.	Biblioteca	Horas	Potencia (kW)	Consumo diario (kWh)
1	Biblioteca	15	0.97 kW	14.51 kWh
2	Pasillo	4	0.06 kW	0.23 kWh
	Total		**1.03 kW**	**14.74 kWh**

Fuente: *elaborado por los autores*

***Tabla 31**. Energía consumida con luminarias propuestas en un día por la Escuela de Ingeniería*

No.	Escuela de Ingenieria	Horas	Potencia (kW)	Consumo diario (kWh)
1	Oficina	8	0.04 kW	0.33 kWh
2	Oficina	8	0.08 kW	0.65 kWh
3	Oficina	8	0.08 kW	0.65 kWh
4	Entrada 1er piso	4	0.01 kW	0.05 kWh
5	Salon de maestro	8	0.24 kW	1.96 kWh
6	Salon	8	0.08 kW	0.65 kWh
7	Baño	8	0.01 kW	0.08 kWh
8	Escalera	8	0.01 kW	0.08 kWh
9	Baño	8	0.01 kW	0.08 kWh
10	Entrada 2do piso	4	0.01 kW	0.05 kWh
	Total		**0.58 kW**	**4.58 kWh**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 32. *Energía consumida con luminarias propuestas en un día por la Edificio II*

No.	Edificio II	Horas	Potencia (kW)	Consumo diario (kWh)
1	Laboratorio 1er piso	8	0.98 kW	7.83 kWh
2	Laboratorio 2er piso	8	0.98 kW	7.83 kWh
3	Laboratorio 3er piso	8	1.63 kW	13.06 kWh
4	Cubículos (todos)	8	0.16 kW	1.31 kWh
5	Aula de Maestría	8	0.41 kW	3.26 kWh
6	Recursos Tecnológicos	8	0.04 kW	0.33 kWh
7	Baño 1ra	15	0.06 kW	0.92 kWh
8	Baños 3ra	15	0.02 kW	0.31 kWh
9	Pasillos	4	0.35 kW	1.38 kWh
Total			**4.63 kW**	**36.22 kWh**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 33. *Energía consumida con luminarias propuestas en un día por la Edificio III*

No.	Edificio III	Horas	Potencia (kW)	Consumo diario (kWh)
1	Aulas	15	6.69 kW	100.37 kWh
2	Pasillos	4	0.74 kW	2.94 kWh
3	Escaleras (todas)	4	0.05 kW	0.20 kWh
4	4 baños	15	0.09 kW	1.38 kWh
5	Multiuso	15	0.36 kW	5.35 kWh
Total			**7.93 kW**	**110.24 kWh**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 34. *Energía consumida con luminarias propuestas en un día por la Edificio IV*

No.	Edificio IV	Horas	Potencia (kW)	Consumo diario (kWh)
1	Objetos Perdidos	8	0.01 kW	0.09 kWh
2	Aula Maestría	8	0.24 kW	1.96 kWh
3	Aula Grande	15	0.24 kW	3.67 kWh
4	Aulas	15	2.61 kW	39.17 kWh
5	Pasillos	4	0.28 kW	1.10 kWh
6	Escalera	4	0.05 kW	0.18 kWh
7	CIDTEC	8	0.33 kW	2.61 kWh
8	Enfermería	15	0.08 kW	1.22 kWh
9	Lab. Modalidad T.	8	0.24 kW	1.96 kWh
Total			**4.09 kW**	**51.97 kWh**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 35. *Energía consumida con luminarias propuestas en un día por las Zonas Exteriores*

Zonas Exteriores

No.	Zona	Horas	Potencia (kW)	Consumo diario (kWh)
1	Área Verde	4	0.45 kW	1.79 kWh
2	Paqueos	4	1.12 kW	4.47 kWh
	Total		**1.57 kW**	**6.27 kWh**

Fuente: *elaborado por los autores*

Tabla 36. *Energía consumida con luminarias propuestas en un día por Pasillo/Cafetería*

Pasillo/ Área Cafetería

No.	Cantidad Lámp.	Horas	Potencia (kW)	Consumo diario (kWh)
1	Interior	15	0.17 kW	2.59 kWh
2	Exterior	4	0.21 kW	0.85 kWh
	Total		**0.38 kW**	**3.43 kWh**

Fuente: *elaborado por los autores*

A continuación, se muestra un resumen de las tablas presentadas anteriormente:

Tabla 37*.Resumen de energía consumida con luminarias propuestas en un día*

No.	Edificio/Zona	Consumo diario luminaria actual (kWh)	Consumo diario luminaria propuesta (kWh)	Diferencia (kWh)
1	Biblioteca	38.14 kWh	14.74 kWh	23.397 kWh
2	Escuela de Ingeniería	11.85 kWh	4.58 kWh	7.269 kWh
3	Edificio II	93.71 kWh	36.22 kWh	57.489 kWh
4	Edificio III	285.21 kWh	110.24 kWh	174.964 kWh
5	Edificio IV	134.46 kWh	51.97 kWh	82.483 kWh
6	Zonas Exteriores	16.22 kWh	6.27 kWh	9.948 kWh
7	Parqueos	8.88 kWh	3.43 kWh	5.449 kWh
Total		**588.46 kWh**	**227.46 kWh**	**361.00 kWh**

Fuente: *elaborado por los autores*

Este análisis demuestra que el consumo diario sería de 277.46 kWh, que si se comparan con las actuales el consumo se reduce en 361 kWh por día.

3.1.3 Análisis de costo de energía

Tomando en cuenta que el costo de KWh es de 7.81 se puede deducir el siguiente análisis crítico:

Tabla 38. *Análisis de costo de energía en un día*

No.	Edificio/Zona	Luminarias Actuales		Luminarias propuestas	
		Potencia (kW)	Costo (RD$)	Potencia (kW)	Costo (RD$)
1	Biblioteca	38.14 kWh	RD$297.87	14.74 kWh	RD$115.14
2	Escuela de Ingeniería	11.85 kWh	RD$92.54	4.58 kWh	RD$35.77
3	Edificio II	93.71 kWh	RD$731.89	36.22 kWh	RD$282.90
4	Edificio III	285.21 kWh	RD$2,227.47	110.24 kWh	RD$861.00
5	Edificio IV	134.46 kWh	RD$1,050.09	51.97 kWh	RD$405.90
6	Zonas Exteriores	16.22 kWh	RD$126.65	6.27 kWh	RD$48.96
7	Parqueos	8.88 kWh	RD$69.37	3.43 kWh	RD$26.81
Total		**588.46 kWh**	**RD$4,595.88**	**227.46 kWh**	**RD$1,776.48**

Fuente: *elaborado por los autores*

Estos resultados demuestran que, en el caso crítico, la universidad debe de pagar un promedio diario de RD$1,776.48 con las luminarias propuestas. En cambio, en base a los mimos análisis críticos, el pago diario debe ser de RD$4,595.88 en el caso de las luminarias actuales. Esto supone un ahorro diario de RD$2,819.40. Por lo que, si se toma que en la universidad se trabaja 6 de los 7 días a la semana se tiene un ahorro anual de RD$882,069.08 y un ahorro mensual de RD$73,505.76.

3.2 Inversión de luminarias propuestas

A continuación, se muestra un cuadro con la cantidad de luminarias con cada tipo de las luminarias propuestas, la cantidad necesaria, su precio unitario y la inversión total de estas:

Tabla 39. *Inversión necesaria en Euros para la compra de las luminarias propuestas*

Tipo	Cantidad	Precio Unitario	Total
PHILIPS RC530B PSD W8L113 1 xLED15S/840 OC	1,502	245 €	367,990 €
PHILIPS BRS439 FG T15 ECO113-2S/740 A	10	300 €	3,000 €
PHILIPS BVP120 1xLED120/NW S	4	295 €	1,180 €
PHILIPS DN570B PSE-E 1xLED24S/840 C	45	170 €	7,650 €
LED ESTÁNDAR	122	14 €	1,708 €
		1,024 €	**381,528 €**

Fuente: *elaborado por los autores*

El cuadro anterior demuestra que la inversión necesaria para la compra de las luminarias es 381,528 €, que si se lleva a la equivalencia actual de un euro por RD$54.60[7] da un total de $20,831,428.80. Aunque esta cantidad parezca abrumadora se debe considerar que las luminarias seleccionas tienen una vida útil 8.75 veces mayor a las luminarias actuales.

3.3 Tiempo de recuperación de la inversión

[7] es.coinmill.com al 19 de jul. de 17

Para los cálculos del tiempo de recuperación tomamos en cuenta que estas luminarias suponen un 35% del ahorro en energía equivalente a las compras de nuevas luminarias y el mantenimiento. Los resultados son los siguientes:

Tabla 40. *Evaluación económica de la inversión en luminarias propuestas*

Inversión inicial	**RD$20,831,428.80**
Ahorro de energía anual	RD$882,069.08
Otros ahorros anuales	RD$308,724.18
Ahorros anuales	**RD$1,190,793.26**
Tiempo de recuperación	**17.49 Años**

Fuente: *elaborado por los autores*

A pesar de tener un tiempo de recuperación largo, este resultado es factible, pues se tiene la ventaja que estas luminarias con el uso adecuado pueden pasar de los 20 años. Además de que esta inversión significaría una iluminación adecuada, de la cual el campus II de la Universidad APEC carece hoy en día.

CONCLUSIONES

La luminotecnia brinda técnicas muy sofisticadas y precisas para evaluar la óptima iluminación en áreas determinados, pero estos estudios no contemplan aspectos económicos, solo buscan la aplicación correcta de las luminarias sin importar el costo, un precio a pagar poniendo delante la salud a largo plazo de lo que es la vista y el correcto desempeño de la misma.

Las luminarias LED, entre todas sus variantes dependiendo del fabricante, presentan un largo período de vida siendo inevitable compararlas con las luminarias que actualmente el campus II de la Universidad APEC tiene en sus instalaciones, sin mencionar la deficiencia que presentan estas actuales.

La tecnología de la línea *TrueLine de Philips* se eligió como estandarte en lo que tiene que ver con las luminarias escogida para el proyecto, la cual es una alternativa que brinda una estética única y distintiva mostrándose como una de las fortalezas visualmente hablando en la propuesta. Con su eficiencia energética y bajo consumo, estas luminarias se posicionan entre las electas como una de las alternativas mejor acertadas del proyecto garantizado un funcionamiento óptimo y adaptable en las áreas del recinto.

DIALUX fue la piedra angular en la ejecución de este estudio, pues gracias a su entorno visual nos pudo dar un preámbulo de "a dónde iban los tiros", desde representaciones en 3D de las áreas, como también un desglose de

todo lo pertinente de cómo las luminarias incidirían de acuerdo a su área a utilizar.

Los cambios propuestos a realizar en las instalaciones del campus II de la Universidad APEC presentaran un aumento significativo en tanto al desempeño óptimo que puede realizar una luminaria en su entorno viendo un crecimiento notorio en los rangos de iluminación. Desde un punto de vista social, con el tema “Green” estando en boca de todos en el sentido de ahorro de energía. Las instituciones que poseen todas sus luminarias de tipo LED son pocas, siendo el campus II de la Universidad APEC una entre pocas (si es implementado dicha propuesta), mostrándose destacada en el país por promover el ahorro energético y el verde en el mundo.

RECOMENDIACIONES

Primeramente, se recomienda la sustitución de las luminarias actuales por luminarias tipo LED ya que estas, a pesar de su costo, consumen menos energía eléctrica y las luminarias LED sugeridas cumplen con los requerimientos necesarios para las distintas áreas del Campus II de la Universidad APEC. Por dichas razones, se aconseja a la Universidad APEC sustituir las luminarias en los demás Campus.

Del mismo modo, se sugiere evitar el uso de luminarias fluorescentes las cuales son actualmente las más utilizadas en la Universidad APEC. Esto se debe a que, a pesar de las ventajas que presentan, producen efectos adversos en la salud del ser humano.

Desde otro punto de vista, se les exhorta a las autoridades de la Universidad APEC, en conjunto con personas calificadas en el tema del consumo de energía y de luminotecnia, impartir charlas a los estudiantes y empleados sobre el buen uso de la energía eléctrica y sobre el impacto de las luminarias de bajo consumo.

Por otra parte, se recomienda mantener todas las áreas libres de alguna suciedad con el fin de que la luminosidad en dichas áreas no se vea afectada. Asimismo, mantener las paredes con una pintura de una tonalidad clara y que pueda reflejar cuando menos un poco de luminosidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *¿Qué es un luxómetro?* (2016, Abril 18). Recuperado Junio 26, 2017, de http://www.electronica-basica.com/luxometro.html
- Aguilar, J. (2011, Febrero 4). *Electrotecnia. Manual de luminotecnia. Capítulo 9: Lámparas de incandescencia.* Tipos. Recuperado Mayo, 2017, de http://www.mailxmail.com/curso-electrotecnia-manual-luminotecnia/lamparas-incandescencia-tipos
- Castilla Cabanes, N., & Martínez Antón, A. *Criterios de elección de luminarias.* España: E.T.S. Arquitectura.
- Castilla Cabanes, N., Blanca Giménez, V., Martínez Antón, A., & Pastor Villa, R. *L U M I N O T E C N I A:* Cálculo según el método de los lúmenes. España: E.T.S. Arquitectura.
- Comisión Nacional de Energía. (2007). *PARA EL DISEÑO DEL REGLAMENTO DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA REPUBLICA DOMINICANA.* Santo Domingo, República Dominicana: Ministerio de Industria Comercio y MIPYMES.
- *Diseño y Proyecto.* (2014, Julio 10). Recuperado Junio 14, 2017, de http://grlum.dpe.upc.edu/manual/disenoProyecto-eleccionSistemasAlumbrado.php
- EcuRed. (2016, Mayo 25). *Lámpara fluorescente.* Recuperado Mayo, 2017, de https://www.ecured.cu/L%C3%A1mpara_fluorescente
- *Flicker en iluminación LED.* Recuperado Mayo 21, 2017, de http://www.iluminet.com/ieee-flicker-led/

- García Fernández, J. (2016, Noviembre 26). *Lámparas incandescentes.* Recuperado Junio, 2017, de http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/lincan.html
- Garreta, J., Leandro, J., & Boyano, L. (2015). *Iluminación LED. EFICIENCIA, EFICACIA, RENDIMIENTO.* Badajoz: Comité Español de Iluminación.
- Hf-leds. (2016, Agosto 31). *Iluminación en colegios.* Recuperado Junio 16, 2017, de http://www.hf-leds.com/iluminacion-en-colegios/
- *Iluminación de interiores.* (2014, Mayo 23). Recuperado Mayo 17, 2017, de http://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html
- *Iluminación de interiores.* (2014, Mayo 25). Recuperado Mayo 21, 2017, de http://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint1.html
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2015). *PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LA LUMINANCIA E ILUMINANCIA EN LOS LUGARES DE TRABAJO.* Chile.
- *La luz.* (2010, Abril 26). Recuperado Mayo, 2017, de http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_ccnn_2/tema5/
- *Lámparas de descarga.* Conceptos. (2014, Julio 14). Recuperado Mayo, 2017, de http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/ldesc1.html
- Laszlo, C. *Manual de Luminotecnia para interiores*.
- León, N. (2013, Julio 18). *Temperatura de Color: Qué Es y Cómo Sacarle Jugo en tus Fotos.* Recuperado Mayo 28, 2016, de https://www.dzoom.org.es/la-temperatura-del-color/

- *Luminaria.* (2008, Abril 9). Recuperado Junio, 2017, de http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm
- *Luminarias.* (2014, Junio 29). Recuperado Mayo, 2017, de http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-luminarias-reflectores.php
- Malagón, H. L. (2006). *Análisis de los niveles de iluminación del estacionamiento del centro Sambil.* Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- MINISTRO DE MINAS Y ENERGÍA. *REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO.* RETILAP (RESOLUCIÓN No. 180540 ed.). Colombia: SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO.
- Peidro, J. (2012, Julio 8*). AHORRO DE ENERGIA EN ILUMINACION ARTIFICIAL.* Recuperado Junio, 2017, de http://personales.upv.es/ ~jlpeidro/ilum/ ilum.htm
- QuimiNet. (2011, Septiembre 12). *El luxómetro – La mejor opción para controlar los niveles de iluminación en la industria.* Recuperado Junio 26, 2017, de https://www.quiminet.com/articulos/el-luxometro-la-mejor-opcion-para-controlar-los-niveles-de-iluminacion-en-la-industria-2575351.htm
- Rifaldi, A. (2016, Junio 10). ILUMINACION - *METODO PUNTO POR PUNTO*. Recuperado Junio 14, 2017, de http://catedra.ing.unlp.edu.ar/ electrotecnia/sispot/Libros%202007/libros/pr/ilumin/illumi.htm

- *Soluciones de iluminación para centros docentes, escuelas, universidades, institutos, academia.* (2013, Noviembre 27). Recuperado Junio 4, 2017, de http://www.airfal.com/luminarias-tecnicas-noticias/universidades-academias-aulas-2496/
- *VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LUCES LED.* (2017, Junio 6). Recuperado Julio, 2017, de http://www.electrontools.com/Home/WP/2017/05/01/ventajas-y-desventajas-de-las-luces-led/
- *Lámpara de vapor de sodio de baja presión.* (2014, noviembre 1). Recuperado Junio, 2017, de http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaVaporSodioBajaPresion.php
- *Lámpara de vapor de sodio de alta presión.* (2014, Noviembre 1). Recuperado Junio, 2017, de http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaVaporSodioAltaPresion.php
- CubaEduca. (2015, Diciembre 30). *DESCUBRIMIENTOS E INVENCIONES RELEVANTES RELACIONADOS CON LA LUZ.* Recuperado Mayo, 2017, de http://fisica.cubaeduca.cu/index.php?option=com_content&view=article&id=11209%3Alistadispuesto-a-ayudarfisica&catid=470&Itemid=105
- *Quantum (Quantos).* (2004, September 12). Retrieved July, 2017, from http://www.astromia.com/glosario/quantum.htm

ANEXOS O APÉNDICES

Glosario de términos

- **Ahorro de Energía**

  Consiste en evitar el exceso de consumo energético.

- **Ahorro**

  Es la parte del ingreso que no se destina al gasto y que se reserva para necesidades futuras. La clave del ahorro es la capacidad de juntar dinero de manera regular durante un período de tiempo.

- **Bombilla**

  La bombilla es un dispositivo eléctrico que produce luz mediante un filamento metálico, que se calienta a una alta temperatura gracias a una corriente eléctrica que pasa a través de él hasta el punto de generar luz.

- **Consumo Eléctrico**

  Número de kilovatios hora utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.

- **Cuanto de energía**

  También conocido como o quantum es la menor cantidad posible de energía capaz de transmitirse en una longitud de onda.

- **Energía Eléctrica**

  Es la Energía causada por el flujo de electrones dentro de un material

conductor.

- **Iluminación**

  Esta magnitud física, denominada más propiamente intensidad de iluminación, puede definirse como la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie y el área de la misma.

- **Inducción Magnética**

  Es la generación de una corriente eléctrica mediante campos magnéticos variables con el tiempo.

- **Lámpara convencional**

  Es el tipo de luminaria más común. Consiste en un dispositivo que, mediante el calentamiento por Efecto Joule de un filamento metálico produce luz.

- **LED**

  Viene del inglés “Light Emitting Diode” (diodo emisor de luz). Es un semiconductor capaz de emitir una luz cuando pasa una corriente eléctrica a través de él.

- **Lumen**

  Unidad de flujo luminoso del sistema internacional.

- **Luminancia**

  Densidad superficial de intensidad luminosa en una dirección dada.

- **Luminaria**

  Soporte y conexión de las lámparas que son conectadas a la red eléctrica.

- **Luminotecnia**

  Técnica que cosiste en el estudio de producir luz artificial de diferentes maneras.

- **Lux**

  Unidad de la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen/m².

- **Luz**

  Es una radiación electromagnética que se propaga en forma de ondas.

- **Penumbra**

  Sombra débil entre la luz y la oscuridad.

- **Radiación**

  Es la propagación de la energía por medio de un material o del vacío.

- **Sustitución**

  Acción de cambio o reemplazo de una cosa o de una persona por otras que cumplen la misma función que los que se cambian.