



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN

**CARRERA ELÉCTRICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA**

Trabajo de Graduación para la obtención del título de:

**TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA**

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE LÁMPARAS LED PARA EL
LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”**

AUTOR: ZAVALA RODRÍGUEZ, CARLOS ANDRÉS

DIRECTOR: ING. ESPINOSA, JESSY

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

CERTIFICADO

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el Sr. **ZAVALA RODRÍGUEZ CARLOS ANDRÉS**, como requerimiento parcial para la obtención del título de **TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA**.

SRA. ING. JESSY ESPINOSA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Latacunga, Febrero 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Zavala Rodríguez Carlos Andrés

DECLARO QUE:

El trabajo de grado denominado “IMPLEMENTACIÓN DE LÁMPARAS LED PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”, ha sido desarrollado en base a una investigación científica exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de trabajo de grado en mención.

Latacunga, Febrero 2015

Zavala Rodríguez Carlos Andrés

C.I: 180519796-7

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS
AUTORIZACIÓN

Yo, Zavala Rodríguez Carlos Andrés

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución el trabajo “IMPLEMENTACIÓN DE LÁMPARAS LED PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Febrero 2015

Zavala Rodríguez Carlos Andrés

C.I: 180519796-7

DEDICATORIA

A Dios por darme salud y fuerza para seguir adelante.

A mis padres “César Zavala y Ligia Rodríguez” por los valores y principios inculcados. Por el sacrificio y apoyo incondicional durante todo el trayecto de mi carrera.

De igual manera a toda mi familia.

Carlos Zavala

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento infinito a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), y en especial a la Unidad de Gestión de Tecnologías, a la Ing. Jessy Espinosa por brindarme el apoyo en el desarrollo de este proyecto, a mis amigos por guiarme y darme pautas para la culminación de este trabajo y de manera especial a mis padres, familiares por ayudarme a centrarme en mis objetivos y por el apoyo brindado para que este trabajo de graduación se haya realizado.

Gracias a todos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE FOTOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. General.....	3
1.4.2. Específicos	3
1.5. ALCANCE	3
CAPÍTULO II.....	4
2.1. LÁMPARAS FLUORESCENTES.....	4
2.1.1. Introducción.....	4
2.1.2. Emisión de Luz Fluorescente.....	7
2.1.3. Ventajas.....	8
2.2. LÁMPARAS CON DIODOS LED	10
2.2.1. Consumo de Potencia	11
2.2.2. Funcionamiento de las Lámparas LED.....	12
2.2.3. Ventajas de los Diodo LED.....	13
2.2.4. Eficiencia Energética	14
2.3. LUMINARIAS	14
2.3.1. Clasificación de las Luminarias.....	15

2.3.1.1. Luminarias con Superficies Difusoras	16
2.3.1.2. Luminarias con Superficies Reflectoras	17
2.3.1.3. Luminarias con Superficie Refractoras	17
2.3.2. Curva de Distribución Luminosa	18
2.3.3. Reflectancias	18
2.4. LUMINOTECNIA.....	20
2.4.1. Flujo Luminoso	20
2.4.2. Intensidad Luminosa.....	21
2.4.1. Iluminancia.....	22
2.4.2. Iluminancia horizontal media	23
2.4.5. Iluminancia en un punto.....	23
2.5. NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS	24
2.6. CÁLCULO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO	26
2.6.1. Método de Lúmenes	26
2.6.2. Emplazamiento de las luminarias	31
2.7. CÁLCULO DE LUMINARIAS UTILIZANDO EL SOFTWARE DIALUX...33	
CAPÍTULO III	42
DESARROLLO DEL TEMA.....	42
3.1. PRELIMINARES	42
3.2. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN CON EL MÉTODO DE LÚMENES	43
3.2.1 Datos de entrada	43
3.2.2. Coeficiente de utilización	46
3.2.3. Número de luminarias.....	48
3.2.4. Emplazamiento de las luminarias	48
3.2.5. Comprobación de los resultados	49
3.3. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE DIALUX .50	
3.4. MEDICIÓN DE LUXES CON LÁMPARAS FLUORESCENTES.....	55
3.4.1. Distribución de luminarias.....	59
3.4.2. Lóbulo de Deslumbramiento según UGR	62
3.4.3. Cálculo del Cableado y Breaker	63
3.4.3. Instalación de Luminarias	65
3.4.4. Medición de potencia eléctrica y luxes con lámparas LED	68

3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
4.1. Conclusiones	73
4.2. Recomendaciones	74
GLOSARIO DE TÉRMINOS	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: diámetro de los tubos fluorescentes.....	9
Tabla 2: temperatura de color.....	10
Tabla 3: reflectancia.....	19
Tabla 4: niveles de iluminación recomendados	25
Tabla 5: coeficiente de reflexión	29
Tabla 6: factor de mantenimiento.....	30
Tabla 7: distancia entre pared y luminaria	33
Tabla 8: factor de utilización	47
Tabla 9: potencia eléctrica de las lámparas fluorescentes.....	55
Tabla 10: cantidad de luxes por lámpara fluorescente.....	56
Tabla 11: medición de luxes en distintos puntos.....	58
Tabla 12: niveles de deslumbramiento	63
Tabla 13: valores normalizados de cables a.w.g	64
Tabla 14: potencia eléctrica en lámparas led.....	68
Tabla 15: cantidad de luxes por luminaria.....	69
Tabla 16: medición de luxes en tres puntos del laboratorio	70
Tabla 17: análisis económico.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Casquillo del tubo fluorescente.....	5
Figura 2: Cebador.....	6
Figura 3: Componentes del cebador.....	6
Figura 4: Emisión de luz fluorescente.....	8
Figura 5: Lámpara con diodo led.....	11
Figura 6: Diodo led.....	12
Figura 7: Distribución luminosa de una lámpara sin y con luminaria.....	14
Figura 8: Clasificación del flujo por sobre y debajo de la horizontal.....	16
Figura 9: Curva de Distribución Luminosa.....	18
Figura 10: Flujo Luminoso.....	21
Figura 11: Intensidad Luminosa.....	22
Figura 12: Iluminancia.....	22
Figura 13: Iluminancia H y V en espacios interiores.....	23
Figura 14: Iluminancia Horizontal media.....	23
Figura 15: Iluminancia en un punto.....	24
Figura 16: Dimensiones del local.....	27
Figura 17: Área de suspensión.....	28
Figura 18: Índice del local.....	28
Figura 19: Factor de utilización.....	30
Figura 20: Emplazamiento de Luminarias.....	32
Figura 21: Angulo de apertura del haz de luz.....	32
Figura 22: Asistente de iluminación DIALux Light.....	34
Figura 23: Asistente de iluminación DIALux Light * inicio.....	34
Figura 24: Asistente de iluminación DIALux Light.....	35
Figura 25: Asistente de iluminación entrada de datos.....	36
Figura 26: Asistente de iluminación DIALux Light – lanzar plugin.....	37
FIGURA 27: DIALux Light- banco de datos del Usuario.....	37
Figura 28: Asistente de iluminación DIALux Light * cálculo.....	38
Figura 29: DIALux Light – resultado del cálculo.....	39
Figura 30: DIALux Light – entregar los resultados.....	39
Figura 31: Asistente de iluminación DIALux Light * output.....	40
Figura 32: Asistente de iluminación DIALux Light * fin.....	41
Figura 33: Lámpara led autobalastada.....	44
Figura 34: Luminaria TMS028.....	45
Figura 35: Icono del DIALux.....	50
Figura 36: Asistente DIALux.....	50
Figura 37: Información del proyecto.....	51
Figura 38: Entrada de datos.....	51
Figura 39: Cálculo del número de luminarias.....	52
Figura 40: Distribución de las luminarias.....	53

Figura 41: Cantidad de luxes en distintos puntos	53
Figura 42: Presentación de resultados	54
Figura 43: Cerrar Asistente DIALux	54
Figura 44: Distribución de luminarias.....	59
Figura 45: lóbulo de deslumbramiento.....	62
Figura 46: Emisión de luxes.....	62

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1 : Medición de Potencia eléctrica	55
Foto 2: Medición de luxes	56
Foto 3: Medición de luxes a la entrada del Laboratorio	57
Foto 4: Disposición Horizontal 1.16m	60
Foto 5: Disposición Horizontal 2.32m	60
Foto 6: Disposición Vertical 1.16m.....	61
Foto 7: Disposición Vertical 2.32m.....	61
Foto 8: Desmontaje de la luminaria	66
Foto 9: Retiro del balastro.....	66
Foto 10: Conexiones de la luminaria.....	67
Foto 11: Colocación de la lumimnaria en el techo	67
Foto 12: Colocación de las lámparas LED.....	67
Foto 13: Medición de potencia en lámpara LED	68
Foto 14: Cantidad de luxes en lámparas LED.....	69
Foto 15: Lámparas fluorescentes Vs lámparas LED.....	70

RESUMEN

La finalidad de este trabajo de graduación fue disminuir el consumo de energía eléctrica en el laboratorio de Instrumentación Virtual de la Unidad de Gestión de Tecnologías, debido a que es de uso múltiple y sus lámparas permanecen encendidas aproximadamente 10 horas diarias. El uso de lámparas LED permitió ahorrar significativamente el consumo de energía eléctrica con una mejor eficiencia energética, debido a que las mismas ya no utilizan balastos para su activación. Para el diseño del nuevo sistema de iluminación se utilizó dos métodos: el analítico que fue el método de Lúmenes y el simulado que se lo realizó a través del software DIALux, en los dos casos arrojando resultados similares. Como la cantidad mínima de flujo luminoso requerida para un centro de estudios es de 300 luxes, con las lámparas LED se obtuvo un valor promedio de 600 luxes obviamente consumiendo menor cantidad de potencia eléctrica. Se utilizó 9 luminarias con 2 lámparas LED cada una, como el Laboratorio es cuadrado se colocaron las luminarias en tres filas y tres columnas, en cuanto al ahorro de potencia reemplazando las lámparas fluorescentes por lámparas LED se tiene un ahorro aproximado del 69%.

PALABRAS CLAVE:

- **EFICIENCIA ENERGÉTICA.**
- **FLUJO LUMINOSO.**
- **LUMINARIA.**
- **LAMPARAS LED.**
- **ILUMINANCIA.**

ABSTRACT

The purpose of this graduate work was to reduce the consumption of electricity in the laboratory Virtual Instrumentation Technology Management Unit, because it is purpose and lights stay on approximately 10 hours. The use of LED lamps allowed significantly save energy consumption with better energy efficiency because they do not already use ballasts for activation. The analytical method was lumens and sham that was made through the DIALux software, in both cases yielding similar results: For the design of the new lighting system was used two methods. As the minimum amount of luminous flux required for a study center is 300 lux with LED lamps an average of 600 lux obviously consume less amount of electric power is obtained. 9 luminaires are used with 2 LED lamps each, as the Laboratory is square luminaires were placed in three rows and three columns, with regard to power saving by replacing fluorescent lamps LED lamps have an estimated savings of 69%.

KEY WORDS:

- ENERGY EFFICIENCY.
- LUMINOUS FLUX.
- LUMINARIA.
- LED LAMPS.
- ILLUMINANCE.

CAPÍTULO I

TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE LÁMPARAS LED PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS.

1.1. ANTECEDENTES

La preservación de los recursos no renovables a nivel mundial a través del diseño y utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética es de primordial importancia, para ello se están planteando planes y programas para el uso eficiente de la energía concentrándose fundamentalmente en los sectores industrial y residencial.

Para ello se ha desarrollado la necesidad de nuevas técnicas de iluminación con menor consumo en la factura eléctrica. A través de nuevas tecnologías cuya tendencia se enfoca cada vez más a una mayor duración y eficiencia de estos medios de iluminación como son los LED. En la actualidad se han implementado proyectos basados en esta tecnología, tal es el caso de:

El señor URBE – ZULIA, de la Facultad de Ingeniería Eléctrica-Electrónica, realizó un estudio llamado "TECNOLOGÍA LED PARA LA SUSTITUCIÓN DE LAS LÁMPARAS TRADICIONALES", cuya finalidad fue disminuir el costo de la factura eléctrica. (G, 2010)

La presencia de este tipo de proyecto de implementación ya se puede apreciar en nuestro país: La Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. Diseñó e implementó un sistema de alumbrado LED público inteligente controlado vía wireles e instalado en la casa de Don Bosco de Guayaquil, a fin de detectar las oportunidades de ahorro de energía en diferentes tipos de inmuebles.

Como se puede observar el avance en la implementación de este tipo de proyectos ha ido tomando auge, es por ello que la Unidad de Gestión de Tecnologías (UFA-ESPE), requiere utilizar este tipo de tecnología LED en uno de sus laboratorio y ver el impacto del consumo con relación a la actual

iluminación fluorescente, para posteriormente utilizarlo en las otras instalaciones. Cabe indicar que se tomó como muestra el laboratorio de Instrumentación Virtual porque está iluminado aproximadamente un promedio de 10 horas.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Unidad de Gestión de Tecnologías (UFA-ESPE) constituye en su conjunto un gran usuario de consumo de energía eléctrica por los laboratorios de prácticas de las diferentes especialidades, en gran parte consumen los laboratorios de la carrera de Electrónica por su especialidad. El laboratorio de Instrumentación Virtual demanda un consumo elevado de energía y presentan grandes oportunidades para mejorar la eficiencia energética con implementación de tecnologías de iluminación que existen muchas opciones, sin embargo las lámparas LED, es el tipo de proyecto que en la actualidad se plantea para la solución de los problemas más discutidos de la sociedad actual, el ahorro de energía eléctrica que está avanzando a pasos agigantados junto con el desarrollo de la tecnología por lo que encontrar fuentes que generen más y mejor luz con un menor consumo.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Gran parte de la energía eléctrica que demanda los laboratorios es destinada a fines de iluminación y en especial el laboratorio de Instrumentación Virtual que está iluminado aproximadamente 10 horas diarias, para que los alumnos realicen prácticas de asignaturas como: Micro Controladores, Automatización y Control de Procesos, Paquetes Electrónicos e Instrumentación, por lo tanto es importante que se busque alternativas para el ahorro de energía eléctrica y una de ellas es cambiar las lámparas fluorescentes tradicionales de mayor consumo por nuevas fuentes de tecnología que existe en el mercado permitiendo un ahorro mayor en la factura eléctrica.

Para lo cual se debe realizar el análisis de este tipo de iluminación considerando el área del laboratorio, el tipo de luminaria, tipo de lámpara y los valores recomendados en lúmenes para centro de educación.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. General

Implementar lámparas LED para el laboratorio de Instrumentación Virtual de la Unidad de Gestión de Tecnologías UFA-ESPE.

1.4.2. Específicos

- Investigar sobre los sistemas de iluminación con lámparas LED.
- Comparar el consumo de potencia eléctrica utilizando lámparas fluorescentes y lámparas LED.
- Instalar las lámparas LED y demás accesorios en el laboratorio de Instrumentación Virtual de acuerdo al cálculo de lúmenes.

1.5. ALCANCE

En el laboratorio de Instrumentación Virtual se realizará la implementación del sistema de iluminación en base a lámparas LED debido a que éstas consumen menor potencia eléctrica que las lámparas fluorescentes.

La Unidad de Gestión Tecnológica, es la beneficiaria directa debido a que con el reemplazo de las lámparas LED en vez de las lámparas fluorescentes se tendrá un menor consumo de energía además que se introducirá nueva tecnología en cuanto a iluminación.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. LÁMPARAS FLUORESCENTES.

2.1.1. Introducción.

En la actualidad las lámparas fluorescentes se han convertido en el medio de iluminación de uso más generalizado en comercios, oficinas, sitios públicos, viviendas, etc. Sin embargo, no todas las personas conocen cómo funcionan, cómo emiten luz sin generar apenas calor, ni cómo pueden desarrollar más lúmenes por watt (lm/W) con menor consumo de energía eléctrica, comparadas con las lámparas incandescentes en igualdad de condiciones de iluminación. (Álvarez, 2012)

Veamos a continuación cuáles son las partes principales que componen las lámparas fluorescentes más elementales:

- Tubo de descarga.
- Casquillos con los filamentos.
- Cebador, encendedor o arrancador (starter).
- Balasto (ballast).

a) Tubo de descarga:

El cuerpo o tubo de descarga de las lámparas fluorescentes se fabrica de vidrio, con diferentes longitudes y diámetros. La longitud depende, fundamentalmente, de la potencia en watt (W) que desarrolle la lámpara. El diámetro, por su parte, se ha estandarizado a 25,4 mm (equivalente a una pulgada) en la mayoría de los tubos. Los más comunes y de uso más generalizado tienen forma recta, aunque también se pueden encontrar con forma circular. (Álvarez, 2012)

La pared interior del tubo se encuentra recubierta con una capa de sustancia fosforescente o fluorescente, cuya misión es convertir los rayos de luz ultravioleta (que se generan dentro y que no son visibles para el ojo humano), en radiaciones de luz visible. Para que eso ocurra, su interior se encuentra relleno con un gas inerte, generalmente argón (Ar) y una pequeña

cantidad de mercurio (Hg) líquido. El gas argón se encarga de facilitar el surgimiento del arco eléctrico que posibilita el encendido de la lámpara, así como de controlar también la intensidad del flujo de electrones que atraviesa el tubo.

b) Casquillos:

La mayoría de los tubos fluorescentes rectos poseen en cada uno de sus extremos un casquillo con dos patillas o pines de contactos eléctricos externos, conectadas interiormente con los filamentos de caldeo o de precalentamiento. Estos filamentos están fabricados con metal de tungsteno, conocido también por el nombre químico de wolframio (W), recubiertos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) y su función principal en los tubos de las lámparas fluorescente es calentar previamente el gas argón que contienen en su interior para que se puedan encender. (Álvarez, 2012)

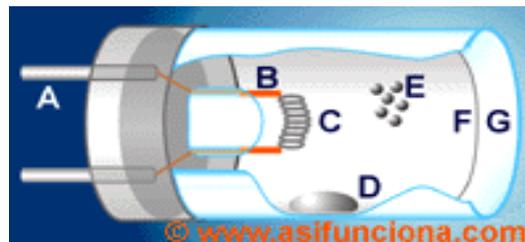


Figura 1: Casquillo del tubo fluorescente.

Fuente: (Álvarez, 2012)

- A. Patillas o pines de contacto.
- B. Electrodo.
- C. Filamento de tungsteno.
- D. Mercurio (Hg) líquido.
- E. Átomos de gas argón (Ar).
- F. Capa o recubrimiento fluorescente de fósforo (P).
- G. Tubo de descarga de cristal.

c) Cebador:

Las lámparas fluorescentes por precalentamiento utilizan un pequeño dispositivo durante el proceso inicial de encendido llamado cebador o encendedor térmico (starter).



Figura 2: Cebador.

Fuente: (Álvarez, 2012)

Este dispositivo se compone de una lámina bimetálica encerrada en una cápsula de cristal rellena de gas neón (Ne). Esta lámina tiene la propiedad de curvarse al recibir el calor del gas neón cuando se encuentra encendido con el objetivo de cerrar un contacto que permite el paso de la corriente eléctrica a través del circuito en derivación donde se encuentra conectado el cebador.

Conectado en paralelo con la lámina bimetálica, se encuentra un capacitor antiparasitario, encargado de evitar que durante el proceso de encendido se produzcan interferencias audibles a través del altavoz de un receptor de radio o ruidos visibles en la pantalla de algún televisor que se encuentre funcionando próximo a la lámpara. (Álvarez, 2012)

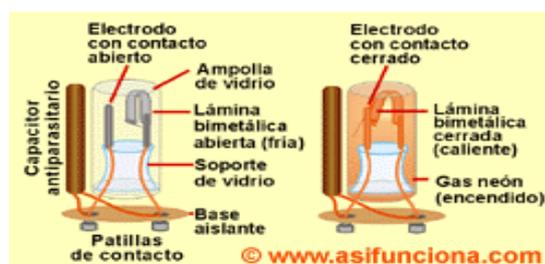


Figura 3: Componentes del cebador.

Fuente: (Álvarez, 2012)

d) Balasto electromagnético:

El balasto electromagnético fue el primer tipo de inductancia que se utilizó en las lámparas fluorescentes. Consta de un transformador de corriente o reactancia inductiva, compuesto por un enrollado único de alambre de cobre. Los balastos de este tipo constan de las siguientes partes:

- Núcleo. Parte fundamental del balasto. Lo compone un conjunto de chapas metálicas que forman el cuerpo o parte principal del transformador, donde va colocado el enrollado de alambre de cobre.
- Carcasa. Envoltura metálica protectora del balasto. Del enrollado de los balastos magnéticos comunes salen dos o tres cables (en dependencia de la potencia de la lámpara), que se conectan al circuito externo, mientras que de los balastos electrónicos salen cuatro.
- Sellador. Es un compuesto de poliéster que se deposita entre la carcasa y el núcleo del balasto. Su función es actuar como aislante entre el enrollado, las chapas metálicas del núcleo y la carcasa.
- Capacitor o filtro. Se utiliza para mejorar el factor de potencia de la lámpara, facilitando que pueda funcionar más eficientemente.

De acuerdo con la forma de encendido de cada lámpara, así será el tipo de balasto que utilice. Las formas de encendido más generalizadas en los tubos de lámparas fluorescentes más comunes son los siguientes:

- Por precalentamiento (El sistema más antiguo)
- Rápido
- Instantáneo
- Electrónico (El sistema más moderno)

2.1.2. Emisión de Luz Fluorescente

La luz en sí misma constituye una forma de energía que puede liberar como fotón el átomo de un determinado elemento químico. El fotón se caracteriza por ser una pequeñísima partícula poseedora de energía, pero carente de masa, a diferencia de los elementos químicos o de cualquier tipo

de materia. Para que un átomo libere fotones de luz es necesario excitar alguno de sus electrones, empleando medios físicos o químicos.

Dada la fuerte atracción que ejerce el núcleo de un átomo sobre los electrones que giran a su alrededor en sus correspondientes órbitas, no es normal que estos la abandonen por sí mismos si no son excitados por un agente externo. Sin embargo, cuando eso ocurre el electrón salta a otra órbita superior dentro del mismo átomo, que al encontrarse más alejada del núcleo posee mayor nivel de energía. (Álvarez, 2012)

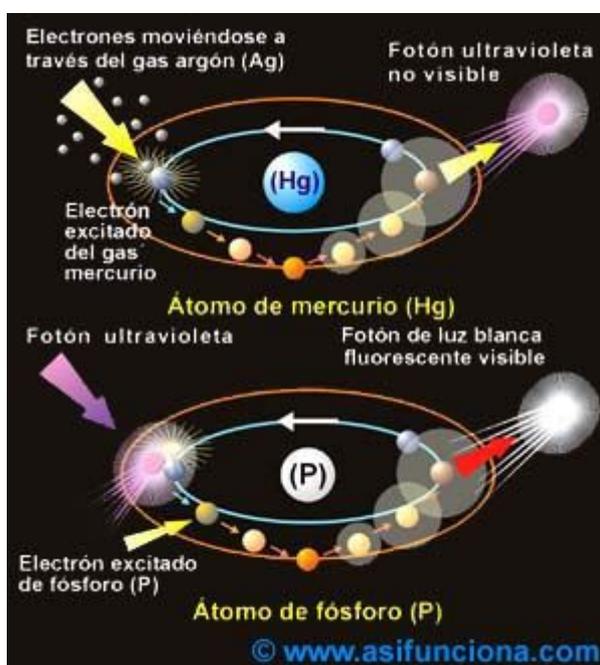


Figura 4: Emisión de luz fluorescente.

Fuente: (Álvarez, 2012)

2.1.3. Ventajas

Entre las ventajas de las lámparas fluorescentes se encuentran las siguientes:

- Aportan más luminosidad con menos watt de consumo.
- Tienen bajo consumo de corriente eléctrica.
- Poseen una vida útil prolongada (entre 5 mil y 7 mil horas).
- Tienen poca pérdida de energía en forma de calor.

La vida útil de una lámpara fluorescente se reduce o termina por los siguientes motivos:

- Desgaste de la sustancia emisora que recubre el filamento de tungsteno compuesta de calcio (Ca) y magnesio (Mg).
- Pérdida de la eficacia de los polvos fluorescentes que recubren el interior del tubo.
- Ennegrecimiento del tubo en sus extremos.
- Excesivo número de veces que se enciende y apaga de forma habitual la lámpara en períodos cortos de tiempo.

Código de identificación de los tubos fluorescentes de acuerdo con su diámetro.

Tabla 1:

Diámetro de los tubos fluorescentes.

T-12	1,5 pulgadas	38,1 mm
T-8	1 pulgada	25,4 mm
T-5	5/8 pulgada	15,87 mm
T-2	2/8 pulgada	6,3 mm

Fuente: (Álvarez, 2012)

(La cifra a continuación de la letra “T” representa el diámetro del tubo expresado en octavos de pulgada).

En la actualidad la mayoría de los tubos de lámparas fluorescentes que se fabrican corresponden al tipo T-8, de 1 pulgada de diámetro (25,4 mm).

A continuación se muestra una tabla donde aparecen reflejados los diferentes tipos de lámparas fluorescentes, de acuerdo con las tonalidades de luz blanca que emiten y su correspondiente temperatura de color en grados Kelvin (°K). (Álvarez, 2012)

Tabla 2:

Temperatura de color.

Tonalidades de color	Temperatura de color (°K)
Blanco cálido (WW) (<i>Warm White</i>)	3 000
Blanco (W) (<i>White</i>)	3 500
Natural (N) (<i>Natural</i>)	3 400
Blanco Frío (CW) (<i>Cool White</i>)	4 100
Blanco Frío Deluxe (CWX) (<i>Cool White Deluxe</i>)	4 200
Luz del Día (D) (<i>Daylight</i>)	6 500

Fuente: (Álvarez, 2012)

2.2. LÁMPARAS CON DIODOS LED

Las lámparas o Bombillas con diodos LED, que dan una agradable luz blanca, consumen poco y duran muchos años, están llamadas a hacer desaparecer la bombilla incandescente.

La sabiduría popular dice que las bombillas se funden porque a ningún fabricante le interesaría vender una bombilla eterna. La vendería una sola vez, claro. Sin embargo, están surgiendo lámparas que proporcionan una luz clara, no se calientan, consumen veinte veces menos que una bombilla incandescente y duran años. Muy pronto iluminarán su casa, sino la iluminan ya, son las lámparas creadas con diodos LED.

El diseño de interiores es esclavo de la tecnología. Cuando aparecieron los plásticos, las casas se llenaron de muebles brillantes de color naranja que, por cierto, hoy vuelven a estar de moda. (aerotecnología, 2015)



Figura 5: Lámpara con diodo LED.

Fuente: (aerotecnologia, 2015)

2.2.1. Consumo de Potencia

Antes de seguir, si quieres saber cuánta luz da una bombilla led mas o menos, una bombilla led de 10W da la misma luz que una bombilla normal de 60w y encima dura más. Las bombillas led de 12W serían equivalentes a las de 75W.

Más equivalencias:

- Una led de 5W equivale a una de 25W incandescente (las bombillas de filamento normales).
- Una Led de 15W equivale a una de 100W incandescente.
- Una Led de 30W equivale a una de 200W incandescente.

Un lumen es la unidad usada para expresar la cantidad de luz que es capaz de generar una bombilla. Hay una fórmula que aproximadamente nos dice los lúmenes de las bombillas led.

Lúmenes reales = al nº de vatios x 70.

Para que puedas comparar una bombilla normal (incandescente) de 60w produce entre 700 y 800 lúmenes y una de 100W unos 1.300 lúmenes.

La duración media de una bombilla normal es de unas 1.000 horas, funcionando 3 horas al día. Una led unas 30.000 horas. (aerotecnologia, 2015)

2.2.2. Funcionamiento de las Lámparas LED

Cuando Albert Einstein recibió el premio Nobel de física en 1921 no fue por su teoría de la relatividad, sino por un estudio aparentemente más modesto: el efecto fotoeléctrico. Einstein describió cómo algunos materiales, al ser sometidos a una corriente eléctrica, emiten luz.

La luz producida mediante el efecto fotoeléctrico tiene una frecuencia determinada (es decir, es de un sólo color), que depende del tipo de material. También existe el efecto contrario, que hace que los paneles fotovoltaicos produzcan electricidad al exponerlos a la luz.

Los diodos LED se conocen desde los años 60. Son esos pilotos rojos y verdes que hay en todos los aparatos electrónicos. Dentro de la caperuzita de plástico de un diodo LED hay un material semiconductor. Cuando se aplica una pequeña corriente eléctrica, al pasar por el semiconductor este emite luz, sin producir casi calor y con un color definido.

El color puede ser incluso invisible para el ojo humano, como los LED infrarrojos que hay en el mando a distancia del televisor. (aerotecnia, 2015)

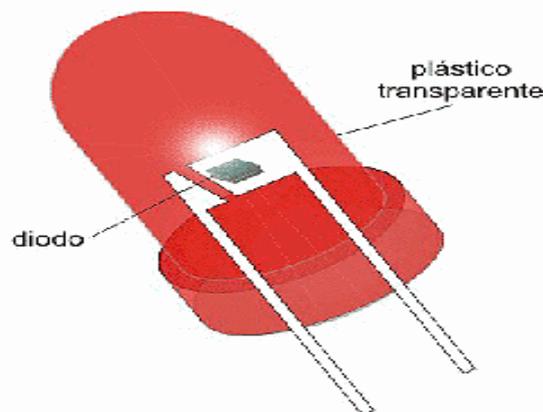


Figura 6: Diodo LED.

Fuente: (aerotecnia, 2015)

2.2.3. Ventajas de los Diodo LED

- **Tamaño:** a igual luminosidad, un diodo LED ocupa menos espacio que una bombilla incandescente.
- **Luminosidad:** los diodos LED son más brillantes que una bombilla, y además, la luz no se concentra en un punto (como el filamento de la bombilla) sino que el todo el diodo brilla por igual.
- **Duración:** un diodo LED puede durar 50.000 horas, o lo que es lo mismo, seis años encendidos constantemente. Eso es 50 veces más que una bombilla incandescente.
- **Consumo:** un semáforo que sustituya las bombillas por diodos LED consumirá 10 veces menos con la misma luminosidad.

Si están en vías de desarrollo entonces, ¿por qué se venden ya bombillas LED en las tiendas de iluminación incluso con todas sus ventajas si todavía no están listas para llegar al consumidor medio?. Los diodos LED de luz blanca, en realidad son diodos azules con un recubrimiento de fósforo que produce luz amarilla. La suma del amarillo y el azul produce una luz blanquecina llamada a veces "luz de luna" que es la que se emplea en las linternas LED.

Este tipo de diodos LED todavía son caros. Las bombillas leds de 10W, que pueden sustituir a una bombilla de 60W, cuestan alrededor de 10 euros. El ahorro en el consumo y la duración no son suficientes motivos para que los consumidores se lancen a por ellas.

No ocurre así en otras aplicaciones donde la duración y el consumo sí son factores importantes, como los semáforos, la iluminación de aviones o las linternas que se usan en deportes de riesgo (como la alta montaña, la espeleología y otros), donde esta tecnología de iluminación ha encontrado, por el momento, uno de sus principales mercados. (aerotecnología, 2015)

2.2.4. Eficiencia Energética

Es recomendable elegir productos de eficiencia A+. Para mejorar la eficiencia de nuestros sistemas domésticos de iluminación merece la pena plantearse reemplazar los focos halógenos por LED. Hay que recordar que las lámparas LED son especialmente adecuadas para la iluminación puntual, son mucho más eficientes que las lámparas halógenas y tienen una vida mucho más larga. (Hernández, 2015)

2.3. LUMINARIAS

La misión de las luminarias es modificar la distribución luminosa de las lámparas desnudas, según las características deseadas de iluminación; y, además, ocultar los manantiales luminosos de la visión directa del observador, con objeto de evitar el deslumbramiento.

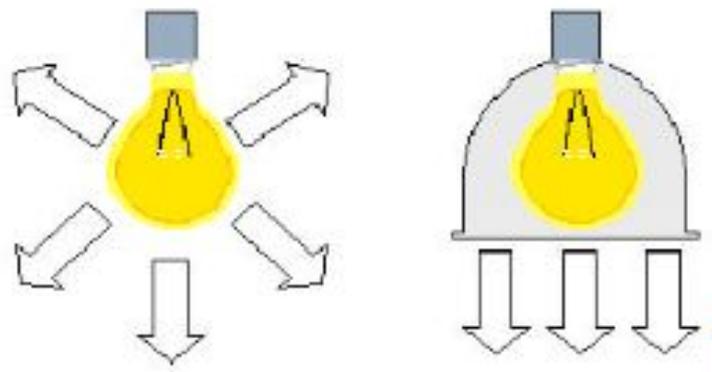


Figura 7: Distribución luminosa de una lámpara sin y con luminaria.

Fuente: (Cruz, 2004)

Los aparatos de alumbrado deben poseer una serie de cualidades que los haga idóneos para la misión que tienen que cumplir; podemos dividir estas cualidades en tres clases, bien diferenciadas y que se detallan a continuación. (Cruz, 2004)

(a) Propiedades ópticas

Distribución luminosa adaptada a la función.

- Buen rendimiento luminoso.
- Luminancia de un valor dado en ciertas direcciones de observación.

(b) Propiedades mecánicas y eléctricas

- Ejecución robusta.
- Construidos de un material adaptado a su función.
- Equipo eléctrico perfecto, con facilidades para el montaje y la inspección periódica del mismo.
- Fáciles de limpiar.
- Calentamiento admisible con su construcción y con su empleo.

(c) Propiedades estéticas

Los aparatos de alumbrado pueden estar encendidos o apagados; bajo ambas apariencias, deben ayudar a crear el ambiente y a integrarse en el conjunto arquitectónico y decorativo del interior a iluminar. (Cruz, 2004)

2.3.1. Clasificación de las Luminarias

Según sea el sistema de iluminación resultante, es decir, según el flujo emitido por sobre o por debajo de la horizontal se clasifican en:

Otra forma de clasificar a las luminarias es de acuerdo a la forma en como distribuyen la luz, es decir, como son aprovechadas las propiedades de sus superficies interiores; difusoras, reflectoras o refractoras.

directa	
difusa	
semi-directa	
mixta	
semi-indirecta	
indirecta	

Figura 8: Clasificación del flujo por sobre y debajo de la horizontal.

Fuente: (Cruz, 2004)

2.3.1.1. Luminarias con Superficies Difusoras

Son aquellas en donde se utilizan preferentemente sus propiedades de transmisión y difusión. Los difusores actúan relativamente poco sobre la distribución luminosa de la lámpara; su misión es, sobre todo, difundir la luz para disminuir los efectos de deslumbramiento.

El difusor sustituye el manantial luminoso primario, constituido por la lámpara que tiene poca superficie radiante, y por lo tanto, elevada luminancia, por un manantial luminoso secundario, constituido por el mismo difusor, de gran superficie radiante, y consiguientemente de mucha menor luminancia que la lámpara. Según esto, con el difusor se reducen considerablemente los efectos nocivos del deslumbramiento y esta reducción será tanto mayor cuanto mayor sea la superficie aparente del difusor.

Para que un difusor sea eficaz, es necesario, que la luminancia de su superficie sea lo más uniforme posible; por esta razón es preferible utilizar, por ejemplo, el vidrio opalino que tiene la propiedad citada, antes que el cristal mateado que, además de no difundir tan bien la luz como el anterior, presenta irregularidades de luminancia en su superficie. (ERCO, 2011)

2.3.1.2. Luminarias con Superficies Reflectoras

Son aquellas en donde se utiliza principalmente su poder de reflexión. La comparación entre las curvas de distribución luminosa correspondientes a una lámpara desnuda y a la misma lámpara provista de reflector, permite darse cuenta del funcionamiento de un reflector.

Lo que caracteriza sobre todo a los reflectores, es la situación del máximo de radiación luminosa, es decir, el ángulo " Φ " bajo el que se encuentra el valor máximo del flujo luminoso en la curva fotométrica del reflector. (ERCO, 2011)

2.3.1.3. Luminarias con Superficie Refractoras

Están basados en las leyes de la refracción regular, por lo tanto son aquellas en donde se utilizan sus propiedades refractoras. En este caso, la lámpara puede estar completamente encerrada en un globo de cristal prismático claro, ya que ahora no es necesario prever una abertura por la que salga el flujo luminoso, como sucedía en el caso de los reflectores. Por lo tanto, es posible trabajar sobre la totalidad del flujo luminoso.

Un refractor de revolución está constituido esencialmente por un aparato de cristal o vidrio compuesto de prismas anulares y destinados a orientar los rayos luminosos de acuerdo con las direcciones requeridas, pero sin modificar el plano meridiano en el que dichos rayos luminosos se propagan. (ERCO, 2011)

2.3.2. Curva de Distribución Luminosa

La curva de distribución luminosa es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa en diversos ángulos alrededor de una luminaria y transcribirlas en forma gráfica, generalmente en coordenadas polares. La distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de la fuente en esa dirección (a mayor distancia mayor intensidad).

Estas mediciones se efectúan en distintos planos verticales de la luminaria, ya que la emisión de luz podrá diferir de uno a otro plano según el tipo de lámpara y de difusor (louver). (ERCO, 2011)

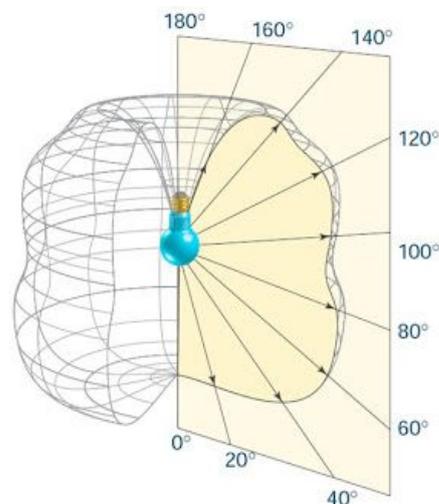


Figura 9: Curva de Distribución Luminosa.

Fuente: (ERCO, 2011)

2.3.3. Reflectancias

El poder reflectante de las superficies que rodean a un local, juega un papel muy importante en el resultado final del proyecto de iluminación. Las luminarias emiten la luz de diversas formas según su tipo de distribución luminosa. Cuando esta emisión luminosa es del tipo abierta, habrá una gran

parte de la luz que llegará en forma directa al plano de trabajo, es decir sin obstáculos; pero habrá también una porción importante de esa emisión que caerá sobre las paredes. Esa parte de la luz emitida por la luminaria, podrá ser reflejada y aprovechada en mayor ó menor grado según el poder reflectante de esas superficies. (ERCO, 2011)

Tabla 3:

Reflectancia.

Color	Refl. %	Material	Refl. %
Blanco	70-75	Revoque claro	35-55
Crema claro	70-80	Revoque oscuro	20-30
Amarillo claro	50-70	Hormigón claro	30-50
Verde claro	45-70	Hormigón oscuro	15-25
Gris claro	45-70	Ladrillo claro	30-40
Celeste claro	50-70	Ladrillo oscuro	15-25
Rosa claro	45-70	Marmol blanco	60-70
Marrón claro	30-50	Granito	15-25
Negro	4-6	Madera clara	30-50
Gris oscuro	10-20	Madera oscura	10-25
Amarillo oscuro	40-50	Vidrio Plateado	80-90
Verde Oscuro	10-20	Aluminio mate	55-60
Azul oscuro	10-20	Aluminio	80-90
Rojo oscuro	10-20	Acero pulido	55-65

Fuente: (ERCO, 2011)

2.4. LUMINOTECNIA

La luminotecnia es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación, es decir, es el arte de la iluminación con luz artificial para fines específicos.

La luz es una manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas capaces de afectar el órgano visual. Se denomina radiación a la transmisión de energía a través del espacio. La luz se compone de partículas energizadas denominadas fotones, cuyo grado de energía y frecuencia determina la longitud de onda y el color. Según estudios científicos, la luz sería una corriente de paquetes fotónicos que se mueven en el campo en forma ondulatoria por un lado y en forma corpuscular por otro. Gracias a la luz captamos las impresiones de claridad, relieve, forma, color y movimientos de los objetos que forman nuestro mundo exterior.

Hay dos tipos de objetos visibles: aquellos que por sí mismos emiten luz y los que la reflejan. El color de estos depende del espectro de la luz que incide y de la absorción del objeto, la cual determina qué ondas son reflejadas. La luz blanca se produce cuando todas las longitudes de onda del espectro visible están presentes en proporciones e intensidades iguales. Esto se verifica en un disco que gira velozmente y que contiene todos los colores distribuidos uniformemente. (ERCO, 2011)

2.4.1. Flujo Luminoso

El flujo luminoso describe la potencia luminosa total emitida por una fuente de luz. Básicamente se podría expresar esta potencia de radiación, por ser energía entregada, en la unidad llamada Vatio. No obstante, el efecto óptico de una fuente de luz no es descrito adecuadamente de esta manera, ya que la radiación entregada es captada sin diferenciación alguna en toda la banda de frecuencias, y porque no tiene en cuenta la sensibilidad espectral variable del ojo.

Mediante la consideración de la sensibilidad espectral del ojo se obtiene la magnitud llamada lumen. Un flujo de radiación de 1W, entregado en la

sensibilidad espectral máxima del ojo (fotoóptica, 555 nm), genera un flujo luminoso de 683 lm. Fuente: (ERCO, 2011)

El flujo luminoso Φ es un índice representativo de la potencia luminosa de una fuente de luz.

Φ =lumen (lm)

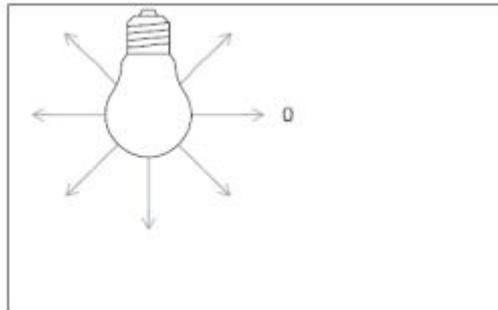


Figura 10: Flujo Luminoso.

Fuente: (ERCO, 2011)

2.4.2. Intensidad Luminosa

Una fuente de luz ideal, puntual, irradia su flujo luminoso uniformemente en todas las direcciones del espacio, su intensidad luminosa es igual en todas las direcciones.

Pero en la práctica se da siempre una distribución espacial irregular del flujo luminoso, que se debe en parte a la construcción de los manantiales de luz, y en parte a la dirección impartida a la luz de la luminaria. La candela, como unidad de la intensidad luminosa, es la unidad básica de la luminotecnia. De la misma se derivan todas las demás magnitudes propias de esta tecnología.

La intensidad luminosa I es un índice representativo del flujo luminoso Φ emitido por el ángulo sólido Ω . (ERCO, 2011)

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \text{ (Candela)(cd)}$$

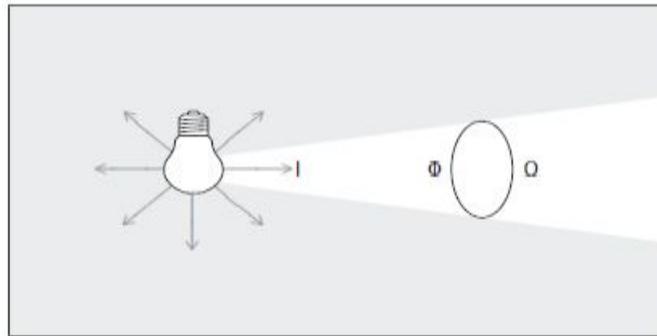


Figura 11: Intensidad Luminosa.

Fuente: (ERCO, 2011)

2.4.1. Iluminancia

La iluminancia es un índice representativo de la densidad del flujo luminoso sobre una superficie. Se define como la relación entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y el tamaño de esta superficie. A su vez la iluminancia no se encuentra vinculada a una superficie real, puede ser determinada en cualquier lugar del espacio. La iluminancia se puede deducir de la intensidad luminosa.

Al mismo tiempo disminuye la iluminancia con el cuadrado de la distancia de la fuente de luz (ley de la inversa del cuadrado de la distancia).

Iluminancia E como índice representativo del flujo luminoso que incide por cada unidad de superficie A . La unidad de medida es el Lux. (ERCO, 2011)

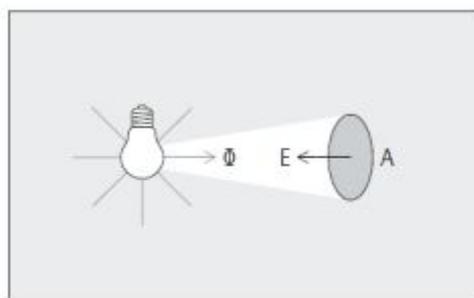


Figura 12: Iluminancia.

Fuente: (ERCO, 2011)

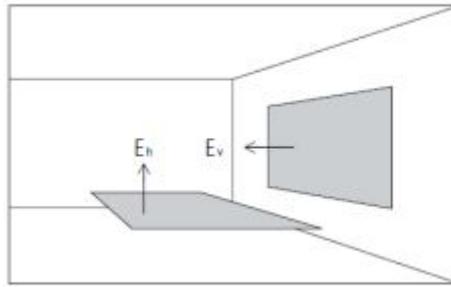


Figura 13: Iluminancia H y V en espacios interiores.

Fuente: (ERCO, 2011)

2.4.2. Iluminancia horizontal media

La iluminancia horizontal media E_m es calculada a base del flujo luminoso Φ que incide en la superficie observada A.

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

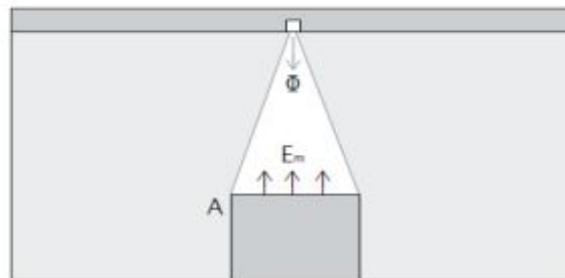


Figura 14: Iluminancia Horizontal media.

Fuente: (ERCO, 2011)

2.4.5. Iluminancia en un punto

La iluminancia en un punto E_p es calculada a base de la intensidad luminosa l y la distancia a entre la fuente de luz y el punto observado.

$$E_p = \frac{l}{a^2} (lx)$$

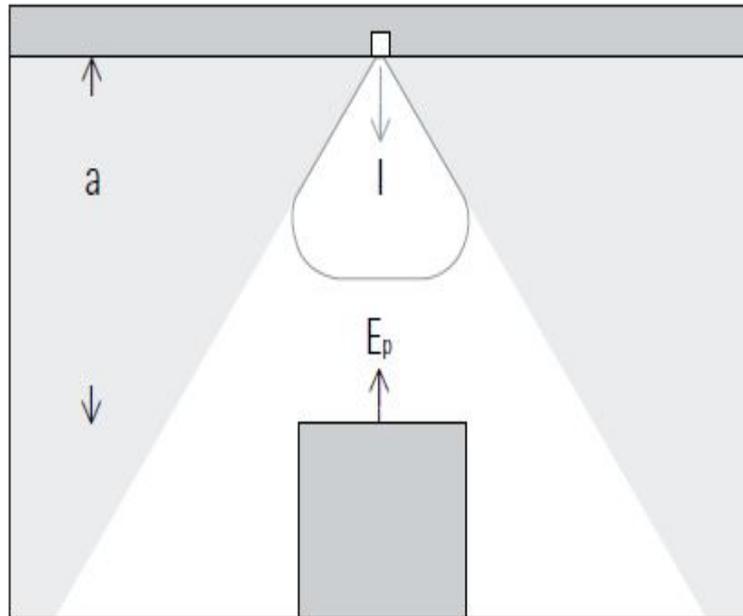


Figura 15: Iluminancia en un punto.

Fuente: (ERCO, 2011)

2.5. NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS

Los niveles de iluminación recomendados para un local dependen de las actividades que se vayan a realizar en él. En general podemos distinguir entre tareas con requerimientos luminosos mínimos, normales o exigentes.

En el primer caso extraían las zonas de paso (pasillos, vestíbulos, etc.) o los locales poco utilizados (almacenes, cuartos de maquinaria...) con iluminancias entre 50 y 200 lx. En el segundo caso tenemos las zonas de trabajo y otros locales de uso frecuente con iluminancias entre 200 y 1000 lx. Por último están los lugares donde son necesarios niveles de iluminación muy elevados (más de 1000 lx) porque se realizan tareas visuales con un grado elevado de detalle que se puede conseguir con iluminación local. (Harper, 1978)

Tabla 4:

Niveles de iluminación recomendados.

Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200
Centros docentes			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencias	450	500	750
Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
Industria (en general)			



Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000

Viviendas

Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750

Fuente: (Harper, 1978)

2.6. CÁLCULO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO

El cálculo de los niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores es bastante sencillo. A menudo nos bastará con obtener el valor medio del alumbrado general usando el método de los lúmenes. Para los casos en que requiramos una mayor precisión o necesitemos conocer los valores de las iluminancias en algunos puntos concretos como pasa en el alumbrado general localizado o el alumbrado localizado recurriremos al método del punto por punto. (Harper, 1978)

2.6.1. Método de Lúmenes

La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores

cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos. (Harper, 1978)

Datos de entrada

- Dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0.85 m

$$h = \frac{4}{5}(H - h') \text{ Ecuación (1)}$$

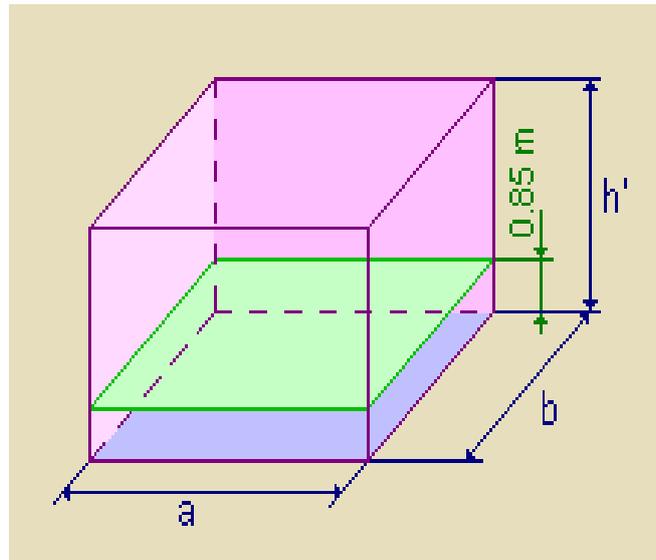


Figura 16: Dimensiones del local.

Fuente: (Harper, 1978)

- Determinar el nivel de iluminancia media (E_m). Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrarlos tabulados en las normas y recomendaciones que aparecen en la bibliografía.
- Escoger el tipo de lámpara (incandescente, fluorescente...) más adecuada de acuerdo con el tipo de actividad a realizar.
- Escoger el sistema de alumbrado que mejor se adapte a nuestras necesidades y las luminarias correspondientes.
- Determinar la altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido. (Harper, 1978)

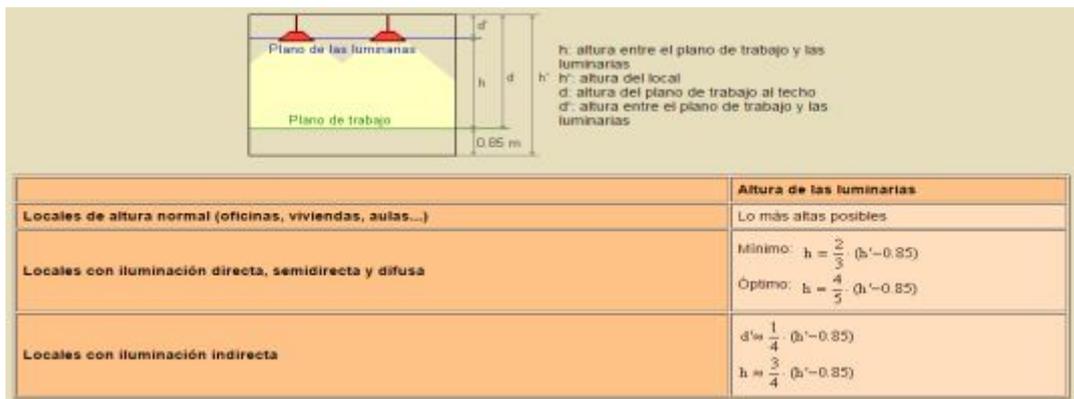


Figura 17: Área de suspensión.

Fuente: (Harper, 1978)

- Calcular el índice del local (k) a partir de la geometría de este. En el caso del método europeo se calcula con la fórmula como:

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \text{ Ecuación (2)}$$

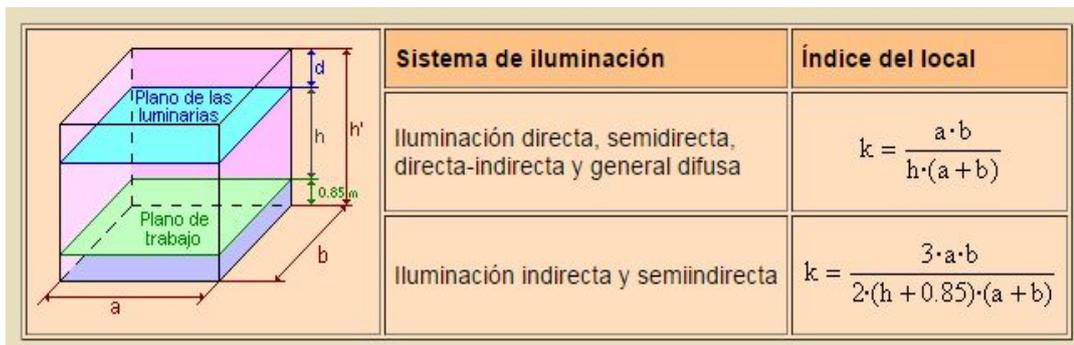


Figura 18: Índice del local.

Fuente: (Harper, 1978)

Donde k es un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula, no se consideran pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

- Determinar los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo. Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Si no disponemos de ellos, podemos tomarlos de la siguiente tabla. (Harper, 1978)

Tabla 5:

Coeficiente de reflexión.

	Color	Factor de reflexión (ρ)
	Blanco o muy claro	0.7
Techo	Claro	0.5
	Medio	0.3
	Claro	0.1
Paredes	Medio	0.3
	Oscuro	0.1
	Claro	0.3
Suelo	Oscuro	0.1

Fuente: (Harper, 1978)

En su defecto podemos tomar 0,5 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo.

- Determinar el factor de utilización (CU) a partir del índice del local y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En las tablas encontramos para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario interpolar. (Harper, 1978)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Ejemplo de tabla del factor de utilización

Figura 19: Factor de utilización.

Fuente: (Harper, 1978)

- Determinar el factor de mantenimiento (f_m) o conservación de la instalación. Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores:

Tabla 6:

Factor de mantenimiento.

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fuente: (Harper, 1978)

Cálculos

Cálculo del flujo luminoso total necesario. Para ello aplicaremos la fórmula:

$$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m}$$

Ecuación (3)

donde:

- \emptyset es el flujo luminoso total
- E es la iluminancia media deseada
- S es la superficie del plano de trabajo
- η es el factor de utilización
- fm es el factor de mantenimiento
- Cálculo del número de luminarias.
- NL es el número de luminarias
- \emptyset_T es el flujo luminoso total
- \emptyset_L es el flujo luminoso de una lámpara
- η es el número de lámparas por luminaria

$$NL = \frac{\emptyset_T}{\eta \emptyset_L} \quad \text{Ecuación (4)}$$

2.6.2. Emplazamiento de las luminarias

Una vez calculado el número mínimo de lámparas y luminarias se proceder a distribuir sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{Total}}}{\text{largo}} \times \text{ancho}} \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \times \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}}\right) \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde N es el número de luminarias

$$Em = \frac{NL * n * \emptyset_L * \eta * fm}{S} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde Em es la Iluminancia media

$$DPEA = \frac{K}{L} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde DPEA Densidad de potencia en el espacio

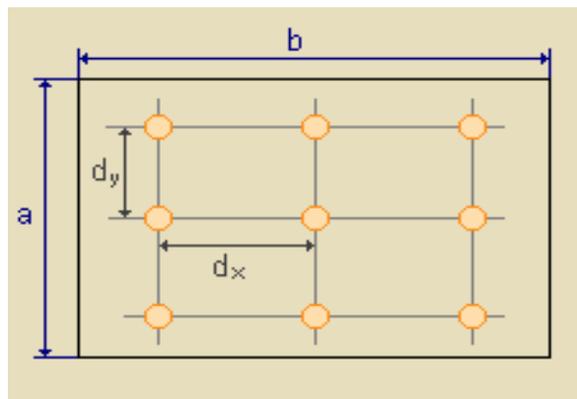


Figura 20: Emplazamiento de Luminarias.

Fuente: (Harper, 1978)

La distancia máxima de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo.

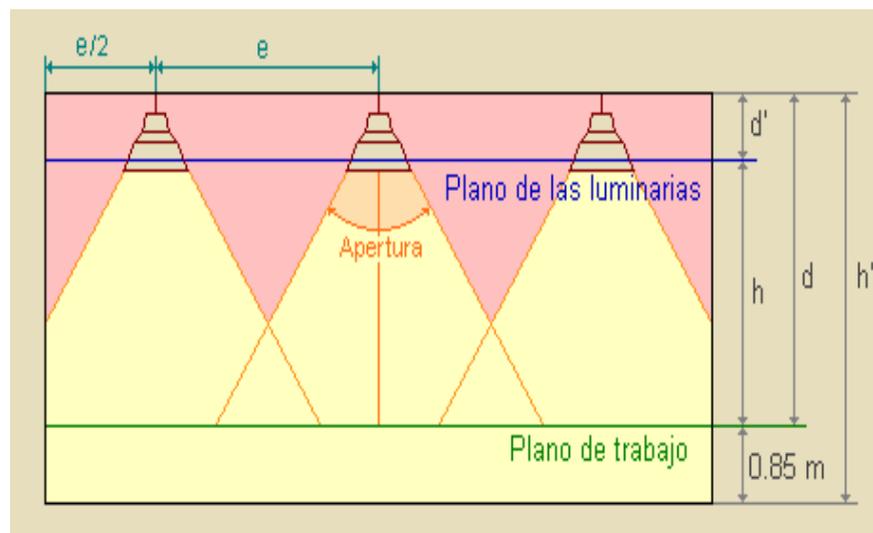


Figura 21: Ángulo de apertura del haz de luz.

Fuente: (Harper, 1978)

Como puede verse fácilmente, mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria más superficie iluminará aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo tal y como dice la ley inversa de los cuadrados. De la misma manera, se observa que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia). (Harper, 1978)

Tabla 7:

Distancia entre pared y luminaria.

Tipo de luminaria	de Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
Intensiva	> 10 m	$e \leq 1.2 h$
Extensiva	6 – 10 m	$e \leq 1.5 h$
Semiextensiva	4 – 6 m	$e \leq 1.5 h$
Extensiva	$\leq 4 m$	$e \leq 1.6 h$
	Distancia pared-luminaria: $e/2$	

Fuente: (Harper, 1978)

Si después de calcular la posición de las luminarias se encuentra que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida quiere decir que la distribución luminosa obtenida no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas escogida sea excesiva. En estos casos conviene rehacer los cálculos probando a usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas. (Harper, 1978; Lazla, 2010)

2.7. CÁLCULO DE LUMINARIAS UTILIZANDO EL SOFTWARE DIALUX

Con ayuda de este asistente es posible crear proyectos de iluminación de manera fácil y rápida. De esta forma los usuarios que raras veces trabajan con DIALux también pueden utilizarlo sin tener que aprender a utilizar el software completo.

Tras la instalación puede encontrar el Asistente de iluminación DIALux Light directamente en su escritorio, al lado del icono “normal” de DIALux. Puede iniciar el asistente haciendo doble clic. Si ya ha iniciado DIALux,

podrá encontrar el Asistente de iluminación DIALux en el menú Archivo Asistentes. (Gustav*Adolf*Straße, 2015)

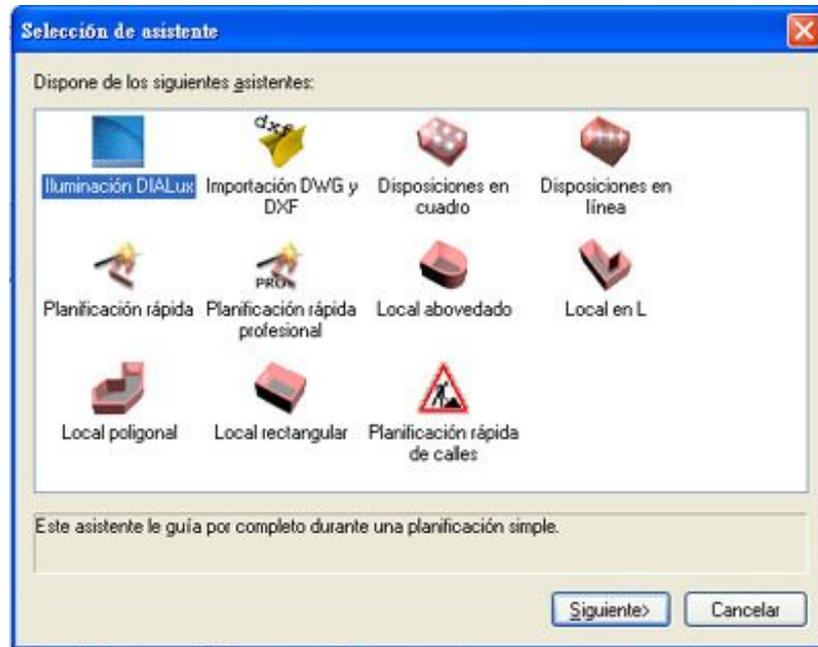


Figura 22: Asistente de iluminación DIALux Light.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 20)

Luego de iniciar el Asistente de iluminación DIALux Light se abre una pantalla de bienvenida. Aquí se le indican los pasos a seguir. Cuando haya introducido los datos en una ventana pinche, por favor, en Siguiente.

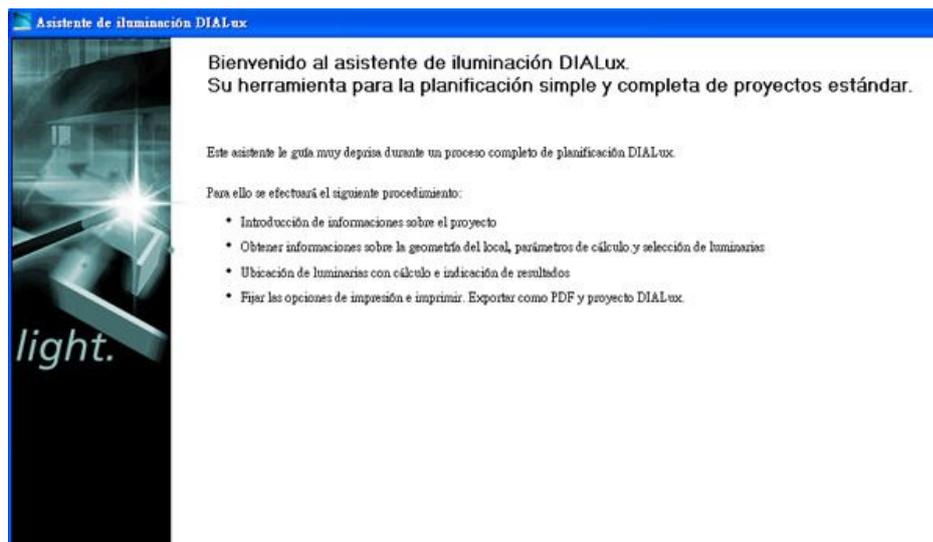


Figura 23: Asistente de iluminación DIALux Light * inicio.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 20)

Introduzca sus datos y los de su cliente en la ventana Información sobre el proyecto. Ambos aparecerán también posteriormente en los outputs.

Figura 24: Asistente de iluminación DIALux Light.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 21)

En la ventana Entrada de datos, especifique la geometría del local en la parte izquierda. El Asistente de iluminación DIALux Light genera por defecto un local rectangular. Si escoge la casilla utilizar local en L, el Asistente de iluminación DIALux Light le muestra un local en forma de L.

Tenga en cuenta los lados a, b, c, y d (Fig. 26) tal y como están dibujados en el boceto. En el lado izquierdo puede, asimismo cambiar los grados de reflexión de techo, paredes, y suelo. El grado de reflexión seleccionado para la pared se aplica a todas las paredes existentes. (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 21)

Asistente de iluminación DIALux

Entrada de datos
Escriba aquí todos los valores necesarios para el local y seleccione su luminaria y el tipo de montaje.

Geometría del local

Longitud (a): 5.400 m Boceto: Prueba:

Anchura (b): 3.600 m

Altura: 2.800 m

Iluminar local en L

c: 2.700 m

d: 1.800 m

Selección de luminarias

Luminaria: DIAL 3 ES 900-Leuchte Catálogos

Seleccione aquí el equipamiento: DIAL

Emisión de luz 1

Lámparas: T26 36W

Modifique aquí el flujo luminoso predeterminado para la luminaria:

Flujo luminoso de la lámpara: 3360 lm

Grado de reflexión

Techo: 70 % Techo estándar

Paredes: 50 % Pared estándar

Suelo: 20 % Suelo estándar

Parámetros del local

Valores de referencia: Ejemplo de empleo

Factor de degradación: 0.80

Plano útil

Altura: 0.850 m

Zona marginal: 0.000 m

Montaje de luminarias

Tipo de montaje: Adosado

Modifique la altura de montaje mediante uno de los parámetros siguientes:

Longitud de suspensión: 0.000 m

Altura del punto de luz: 1.876 m

Altura de montaje: 2.800 m

Dimensiones (L x B x H): 1.340 x 0.160 x 0.074 m

Plano útil

Figura 25: Asistente de iluminación entrada de datos.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 21)

Pinchando en Catálogos acceda al plugin de un fabricante. Seleccione en el plugin una luminaria que desee utilizar y haga clic en Aplicar. Para terminar cierre, por favor, el plugin. El Asistente de iluminación DIALux Light le muestra ahora la luminaria escogida en la parte superior derecha. (De forma estándar siempre se le muestra la última luminaria usada. (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 21)

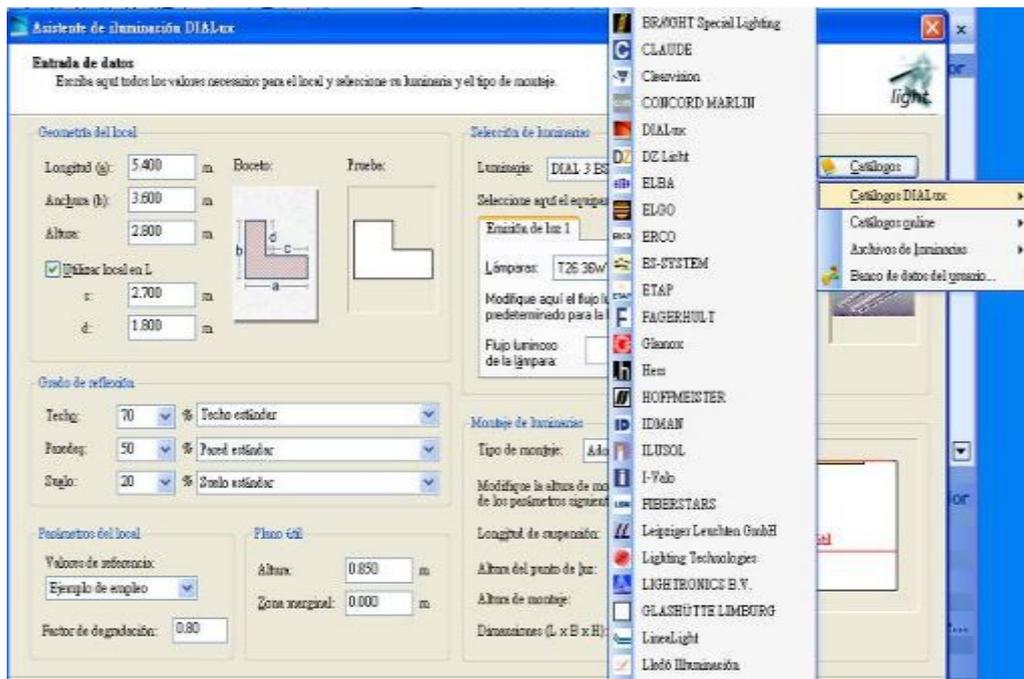


Figura 26: Asistente de iluminación DIALux Light – lanzar plugin.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 22)

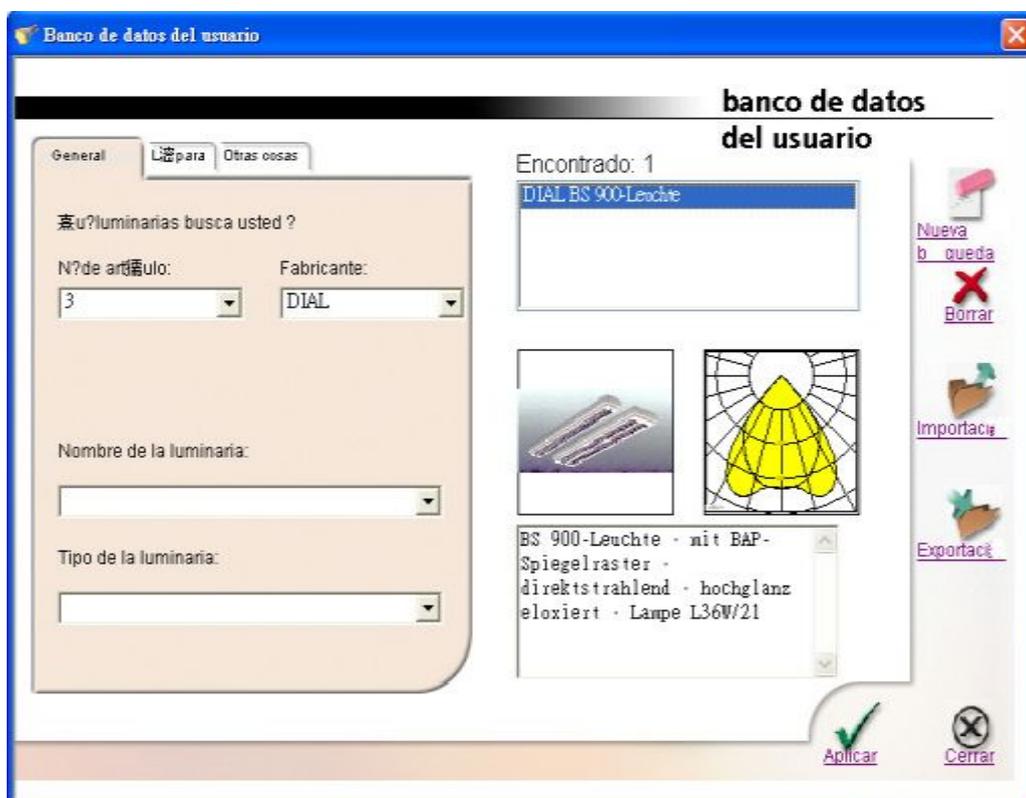


FIGURA 27: DIALux Light- banco de datos del Usuario.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 22)

En la ventana Cálculo y resultados el Asistente de iluminación DIALux Light trata de calcular, de acuerdo con el “principio del rendimiento”, el número necesario de luminarias que necesitará para alcanzar la iluminancia deseada. Introduzca la iluminancia en el campo Em planeada. Las luminarias situadas fuera del local no serán consideradas por el Asistente de iluminación DIALux Light durante el cálculo. Mediante los campos Disposición horizontal o Disposición vertical puede especificar las distancias de las luminarias entre sí y de las mismas a la pared. Si ha insertado todos los valores satisfactoriamente, pinche en Calcular y el Asistente de iluminación DIALux Light comenzará el cálculo. (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 22)

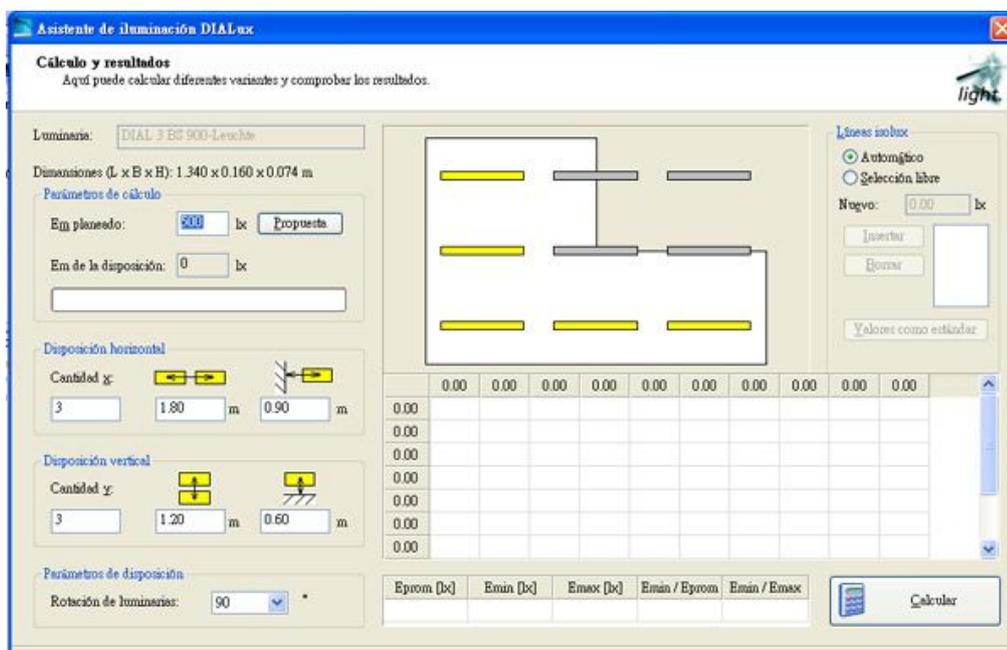


Figura 28: Asistente de iluminación DIALux Light * cálculo.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 23)

Finalmente el Asistente de iluminación DIALux Light le muestra los resultados en un diagrama de líneas isolux y una tabla para el plano de trabajo.

En la ventana Entregar resultados, puede imprimir los resultados o guardarlos en formato electrónico como archivo PDF. (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 23)

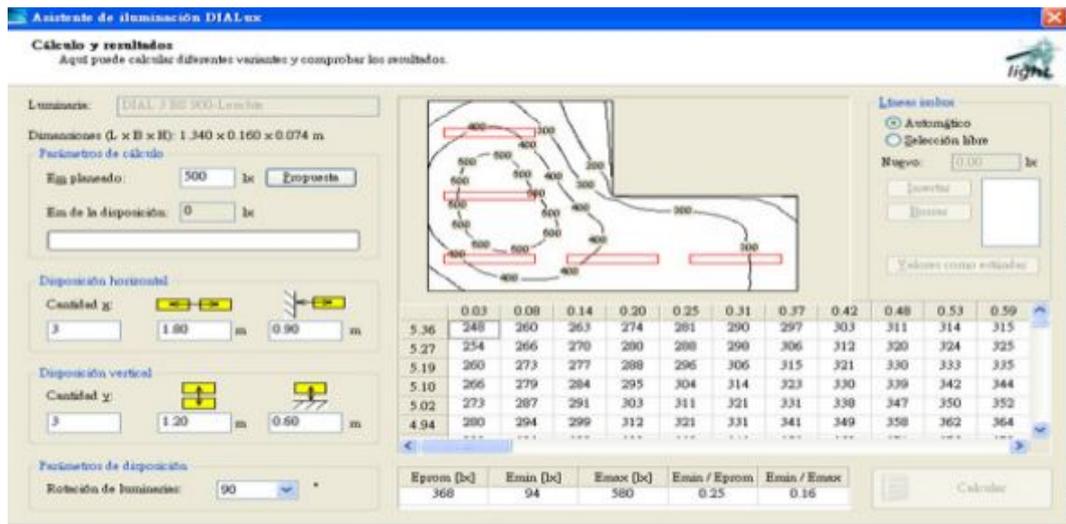


Figura 29: DIALux Light – resultado del cálculo.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 23)

Para ello pinche sólo en el botón correspondiente. Usando las casillas al lado de los símbolos de impresión puede concretar qué outputs deberían imprimirse. Todos los outputs están activados por defecto. Si le gustaría, por ejemplo, obtener solamente un panorama general, entonces sólo activa el resumen. En cambio, si desea presentar los resultados a su cliente, entonces es mejor que active todos los outputs. (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 23)

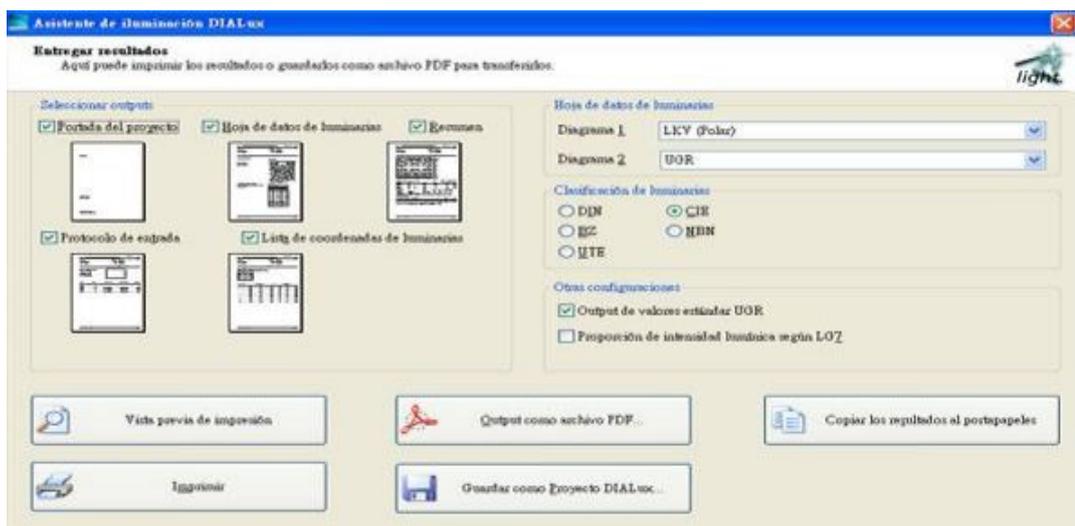


Figura 30: DIALux Light – entregar los resultados.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 24)

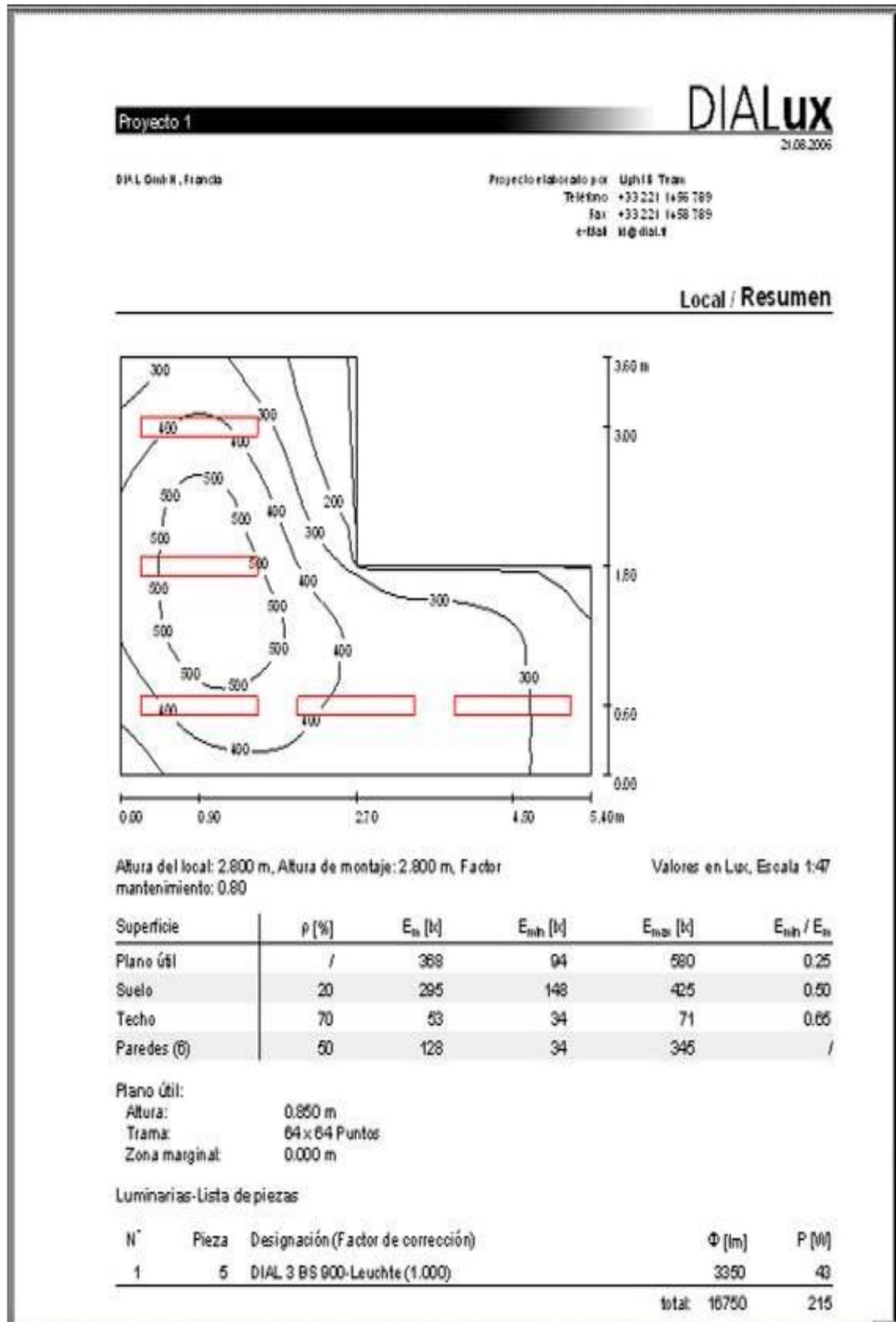


Figura 31: Asistente de iluminación DIALux Light * output.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 24)

Para terminar el Asistente de iluminación DIALux Light le muestra un diálogo de despedida. Tras haber cerrado el Asistente se le mostrará otra vez el resultado del cálculo como rendering 3D en DIALux. Aquí tiene la posibilidad de guardar el resultado de su cálculo por medio del menú Archivo Guardar. (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 24)



Figura 32: Asistente de iluminación DIALux Light * fin.

Fuente: (Gustav*Adolf*Straße, 2015, pág. 25)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. PRELIMINARES

En el presente capítulo se realizó el cálculo del sistema de iluminación en forma analítica mediante el método de lúmenes y la simulación con la ayuda del Software DIALux.

A través de los dos métodos se determinó la cantidad de luminarias y la distribución de las mismas para obtener una iluminación óptima.

Cabe indicar que en el DIALux, aún no existe el plugin para lámparas tipo LED, lo que se realizó simplemente fue cambiar los parámetros de la potencia y los lúmenes que proporciona el fabricante de las lámparas LED.

En el laboratorio de Instrumentación Virtual, existe un sistema de iluminación con 9 luminarias, cada una de ellas consta con dos lámparas fluorescentes T12, cada lámpara consume 40W dando un total de 720W. Como el laboratorio es de uso múltiple, las lámparas permanecen encendidas aproximadamente 10 horas diarias, obteniendo un total de 50 horas a la semana, al mes 200 horas y anualmente estarían encendidas 2400 horas lo cual representa un costo elevado en la factura eléctrica con este tipo de iluminarias tradicionales, entonces la energía que consume el laboratorio al mes $E = 144\text{kWh}$ y al año será $E = 1728\text{kWh}$.

Con la implementación del nuevo sistema de iluminación en base a lámparas LED, se pretende disminuir significativamente el consumo de energía eléctrica, lo cual se ve reflejado directamente en el ahorro económico.

3.2. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN CON EL MÉTODO DE LÚMENES

3.2.1 Datos de entrada

El laboratorio de Instrumentación Virtual cuenta con nueve luminarias de dos lámparas fluorescente cada luminaria, un total 18 lámparas fluorescentes con las siguientes características F 40W – T12 (6500K) que proporciona una cantidad de 300 a 350 luxes; si a este valor se le resta de 210 a 220 luxes de ambiente medidos con el luxómetro desde el plano de trabajo (altura de 0.75m) se obtiene una cantidad de luxes promedio entre 90 a 150 y con un consumo de 720 W lo cual es el 14.91 W/ m² por metro cuadrado.

Se desea obtener la cantidad de luminarias y densidad de potencia con una cantidad de 400 a 500 luxes de iluminancia media recomendada para laboratorios en centros docentes. Para el cálculo se considero las siguientes características: color del techo blanco, color de paredes blanco, piso color gris, dimensiones largo 6.95 m, ancho 6.95m con un área 48.30 m² y una altura 3.28 m sin particiones.

Para determinar el nivel de iluminancia media (E_m), primero se realizó las siguientes mediciones con el luxómetro.

- Lámparas prendidas y cortinas cerradas: 300-350 luxes
- Lámparas apagadas y cortinas abiertas: 210-220 luxes
- Lámparas encendidas y cortinas abiertas: 350-450 luxes

$E_m = (400 - 220)$ luxes

$E_m = 180$ luxes

Luego se elige el tipo de lámpara a utilizar, para este caso es una LÁMPARA LED T8 AUTOBALASTRADA.



Figura 33: Lámpara led autobalastada.

(a) Características

- Opciones de flujo luminosos:
1 650 lúmenes @ 16W
- Temperaturas de color: 3000K, 4100K, 5000K
- Ángulo de haz: 140 °
- Voltaje universal 120-277V; 50/60Hz (fuente de alimentación interna)
- THD <20%, factor de potencia > 0,90
- Base media G13 bi-pin
- Larga vida: 40,000 horas (L70)
- Reduce el consumo de energía hasta 41%
- No hay tiempo de calentamiento, tiene un encendido instantáneo con plena potencia luminosa y un color de la lámpara estable
- No produce flicker (sin parpadeos) en bajas temperaturas
- No contiene vidrio, resiste vibraciones e impactos
- Sin emisiones de rayos UV
- Adecuado para uso en interiores
- Libre de mercurio y plomo
- 3 años de garantía

(b) Datos de Iluminación

- Salida luminosa: Hasta 900 lm (60cm) y 1650 lm (120cm)
- Lúmenes por Watt: Hasta 95
- Temperatura de Color: 3000K, 4100K y 5000K
- Índice de Reproducción Cromático (IRC): Hasta 84
- La luminaria que se utiliza es la TMS028, porque debe ser empotrada directamente en el techo y tiene la capacidad para dos tubos fluorescentes.

**Figura 34:** Luminaria TMS028.

La altura de suspensión a la que se va a colocar la luminaria se la determina con la siguiente fórmula 1:

Datos:

Alto 3.28m = H

Plano de trabajo 0.75m = h'

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

$$h = \frac{4}{5}(3.28 - 0.75)$$

$$h = 2.02 \text{ m}$$

3.2.2. Coeficiente de utilización

El coeficiente de utilización, indica la relación entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara y los que llegan efectivamente al plano ideal de trabajo, los fabricantes de luminarias proporcionan para cada modelo unas tablas que son las denominadas tablas del factor de utilización.

Este coeficiente será tanto más grande cuanto mayores sean los coeficientes de reflexión, mayor altura, longitud y menor la altura del plano de trabajo. También, lógicamente, influirá si el alumbrado es directo o no, pues una distribución concentrada dirigirá la luz unitariamente hacia abajo, originando que una menor proporción de luz incida en las paredes y techos, obteniendo así una considerable mejora en el rendimiento de las instalaciones.

El índice del local se determina con los datos de la geometría del Laboratorio, utilizando la siguiente fórmula 2:

Datos:

Ancho 6.95m = a

Largo 6.95m = b

Altura 2.02 m = h

$$k = \frac{a * b}{h * (a + b)}$$

$$k = \frac{6.95 * 6.95}{2.02 * (6.95 + 6.95)}$$

$$k = 1.72$$

Los datos de los coeficientes de reflexión se los obtiene de la Tabla 5.

Techo = 0.5

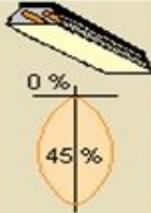
Paredes = 0.3

Suelo = 0.1

Con los datos anteriores se determina el factor de utilización a través de la siguiente Tabla.

Tabla 8:

Factor de utilización.

Luminaria 6 (Fluorescente directo con rejilla)													
Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes					
		0.8		0.7		0.5		0.3		0.1		0	
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.24	.21	.19	.24	.21	.19	.23	.21	.19	.20	.19	.18
	0.8	.29	.26	.24	.29	.26	.24	.28	.26	.24	.26	.24	.23
	1.0	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.29	.27	.26
	1.25	.36	.32	.31	.35	.32	.31	.34	.32	.30	.32	.30	.29
	1.5	.38	.35	.33	.38	.35	.33	.37	.34	.32	.34	.32	.32
	2.0	.41	.38	.37	.40	.38	.36	.39	.38	.36	.37	.36	.35
	2.5	.43	.40	.38	.42	.40	.38	.41	.39	.38	.39	.38	.37
	3.0	.44	.42	.40	.43	.42	.40	.42	.41	.39	.40	.39	.38
	4.0	.45	.44	.42	.45	.43	.42	.44	.43	.42	.42	.41	.40
	5.0	.47	.45	.44	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.43	.42	.41
$D_{max} = 0.6 H_m$ f_m .65 .70 .75													

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Como no existe el valor del índice del local en la tabla, se debe realizar la interpolación de datos cuyo valor es Factor de utilización: $CU = 0.36$

Para determinar el factor de mantenimiento se utiliza la Tabla 6 cuyo valor es: $f_m = 0.8$

El flujo luminoso total se lo determina utilizando la fórmula 3.

Datos:

Illuminancia media 180 luxes = E_m

Superficie del plano 48.30 m² = S

Coefficiente de utilización 0.36 = CU

Factor de mantenimiento 0.8 = f_m

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{CU \cdot f_m}$$

$$\Phi_T = \frac{180 \cdot 48.30 \cdot 0.95}{0.36 \cdot 0.8}$$

$$\Phi_T = 29980.8 \text{ lumenes}$$

3.2.3. Número de luminarias

Para determinar el número de luminarias se utiliza la fórmula 4:

Datos:

Flujo luminoso 29980.8 = Φ_T

Flujo luminoso de una lámpara = Φ_L

Num de lámparas por luminaria 2 = n

$$NL = \frac{\Phi_T}{\eta \cdot \Phi_L}$$

$$NL = \frac{29980.8}{2 * 1650}$$

$$NL = 9.1 \text{ luminarias}$$

3.2.4. Emplazamiento de las luminarias

Para este cálculo se utiliza las fórmulas 5 y 6 :

Datos:

Luminarias 9 = N

Ancho 6.95m =a

Largo 6.95m =b

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{Total}}}{b} \times a}$$

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{9}{6.95} \times 6.95}$$

$$N_{\text{ancho}} = 3$$

Datos:

Luminarias 9 = N

Ancho 6.95m =a

Largo 6.95m =b

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \times \left(\frac{b}{a}\right)$$

$$N_{\text{largo}} = 3 \times \left(\frac{6.95}{6.95}\right)$$

$$N_{\text{largo}} = 3$$

3.2.5. Comprobación de los resultados

Para la comprobación de los resultados se utiliza la siguiente fórmula7:

Datos :

Num de luminarias 9 =NL

Num de lámparas por luminaria 2 = n

Flujo luminoso de una lámpara = Φ_L

Factor de utilización 0.36 = η

Factor de mantenimiento 0.8 = fm

$$Em = \frac{NL * n * \Phi_L * \eta * fm}{S}$$

$$Em = \frac{9 * 2 * 1650 * 0.36 * 0.8}{48.3}$$

$$Em = 177.1 \text{ luxes}$$

Para calcular el DPEA en W/m2 se utiliza la siguiente fórmula 8:

Datos:

Càculo (lum)x(W/lum)= 16x16

Carga Conectada K = 256 W

Àrea (m2) L = 48.30 m²

$$DPEA = \frac{K}{L}$$

$$DPEA = \frac{256}{48.30}$$

$$DPEA = 5.30 \text{ W/m}^2$$

Como el dato inicial de Em fue 180 luxes, se considera que los cálculos son aceptable para la implementación de los tubos Leds y con una Densidad de potencia en el espacio considerado (DPEA) =5.30 W/ m².

3.3. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE DIALUX

El cálculo se lo realizó utilizando el asistente del DIALux, para lo cual se presiona doble click sobre el ícono correspondiente como se muestra en la Figura 35.

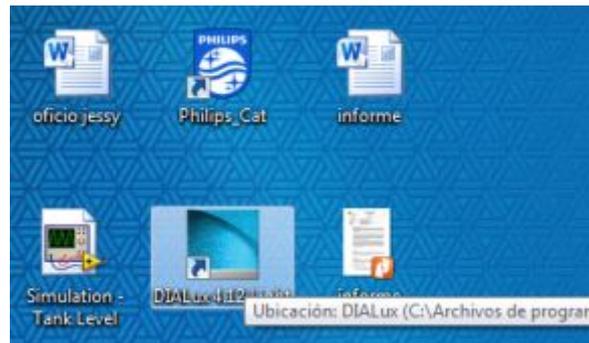


Figura 35: Icono del DIALux.

Luego aparece una ventana de bienvenida en la que se muestra todas las opciones que se puede realizar con ayuda del asistente DIALux.

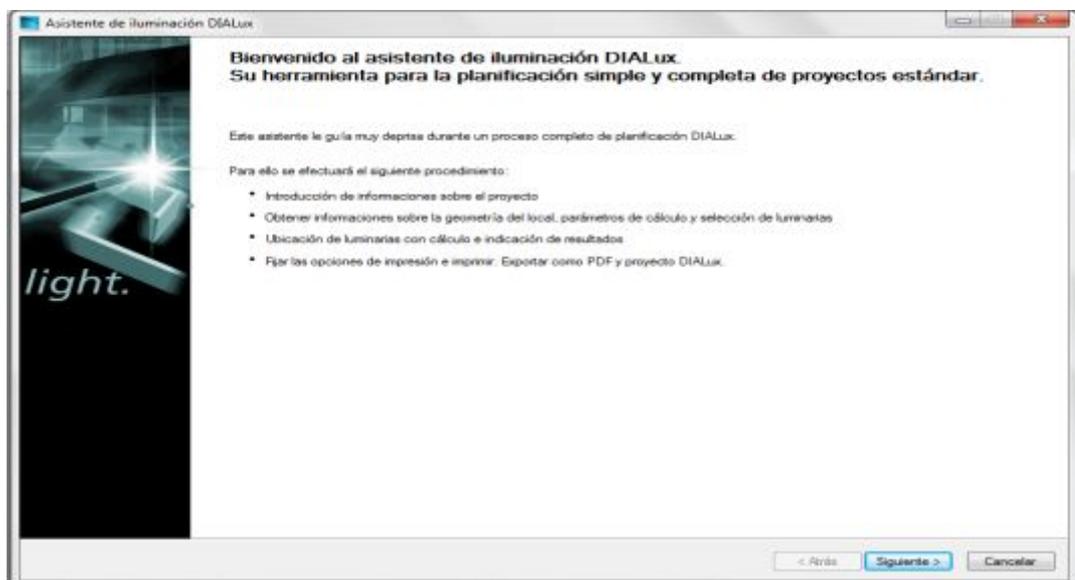


Figura 36: Asistente DIALux.

Se presiona el botón Siguiente y aparece una ventana en la que se ingresa la información del proyecto como: nombre del proyecto, datos de la persona que elabora, etc.

Figura 37: Información del proyecto.

A continuación se ingresa los datos del área del local, los grados de reflexión del techo, pared y piso, la altura de la zona de trabajo, el tipo de luminaria a utilizar y finalmente la lámpara, toda esta información se muestra en la Figura 38.

Figura 38: Entrada de datos.

Una vez ingresado los datos, el software DIALux procede a realizar los cálculos respectivos, para lo cual primero se ingresa el valor planeado de E_m , para este caso es de 180 luxes, luego se presiona el botón Propuesta y se visualiza la distribución de las luminarias en el área del local, además aparece las distancias existentes entre las dos luminaria y entre la luminaria y la pared, cabe indicar que se considera la parte central de la luminaria para las mediciones.

En la primera propuesta de diseño el software recomienda 8 luminarias distribuidas de la siguiente forma: 2 filas y cuatro columnas, como se muestra en la Figura 39.

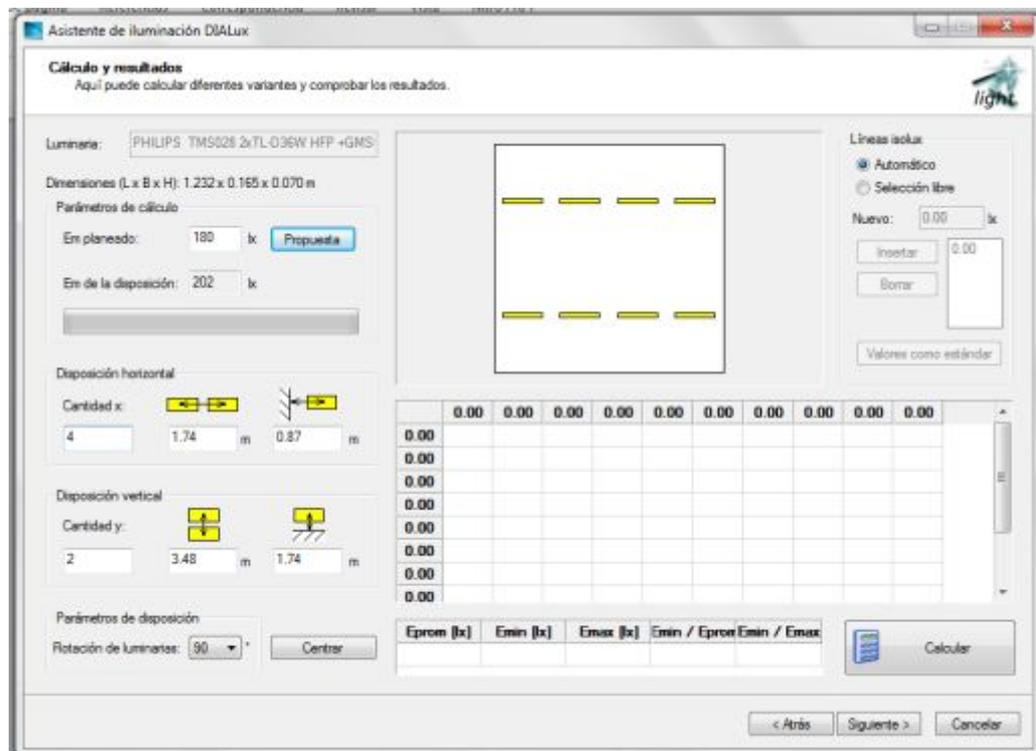


Figura 39: Cálculo del número de luminarias.

Como el Laboratorio de Instrumentación Virtual es cuadrado, se consideró 9 luminarias distribuidas en tres filas y tres columnas.

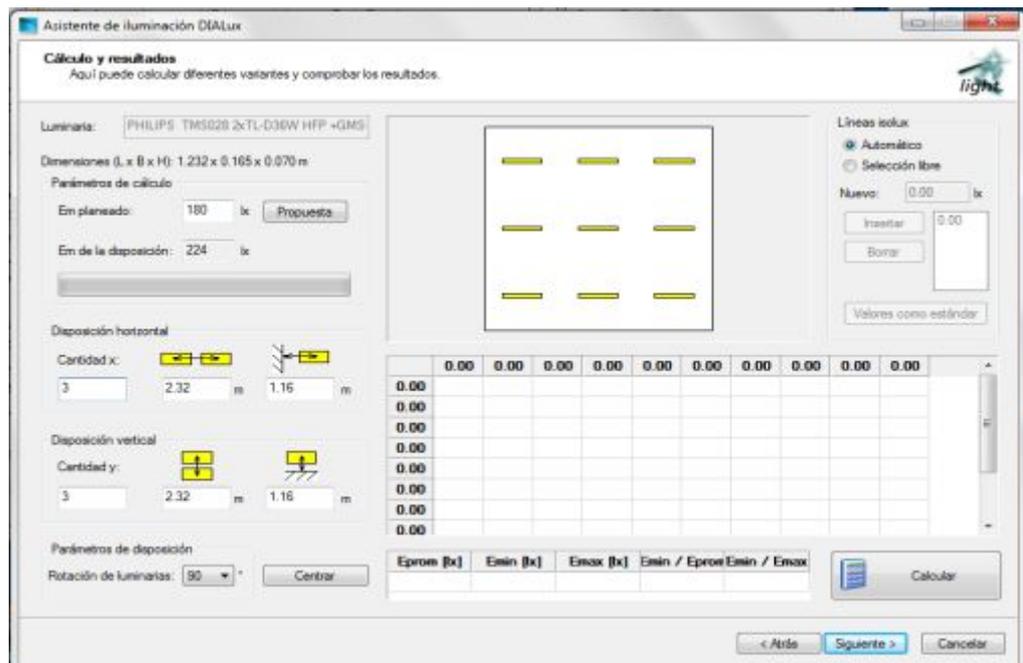


Figura 40: Distribución de las luminarias.

Al presionar el botón Calcular, se obtiene la cantidad de luxes en distintos puntos del área del Laboratorio.

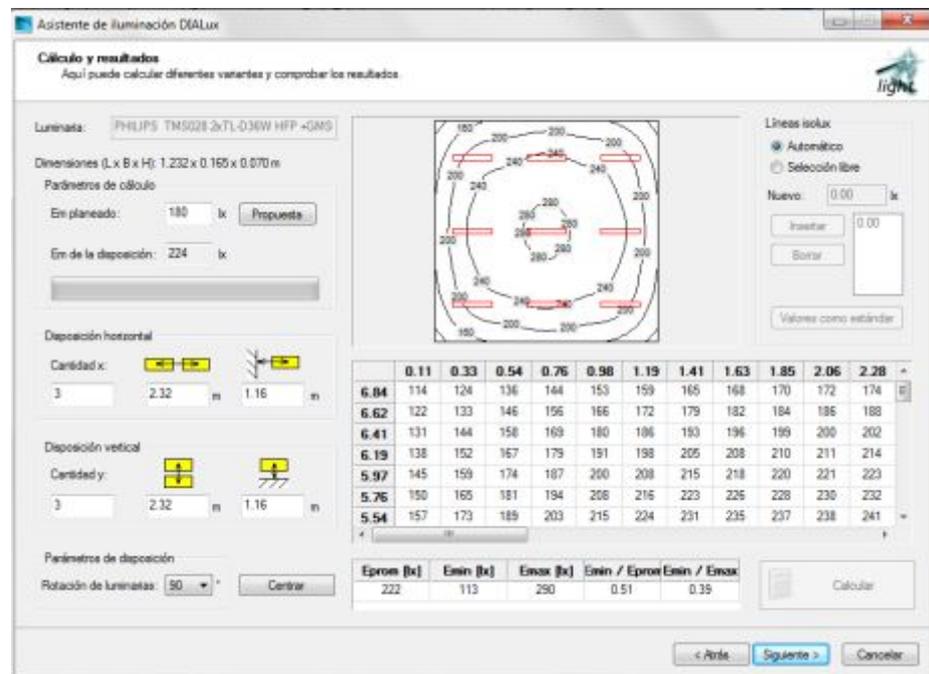


Figura 41: Cantidad de luxes en distintos puntos.

Los resultados pueden ser grabados y generar un archivo PDF, como muestra la Figura 42.

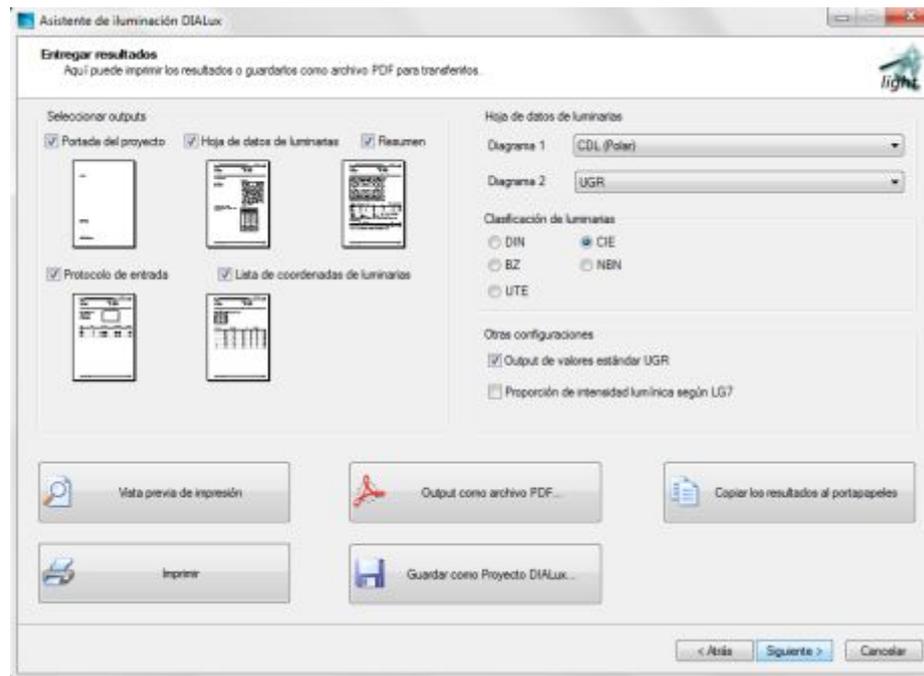


Figura 42: Presentación de resultados.

Finalmente se cierra el Asistente DIALUX.

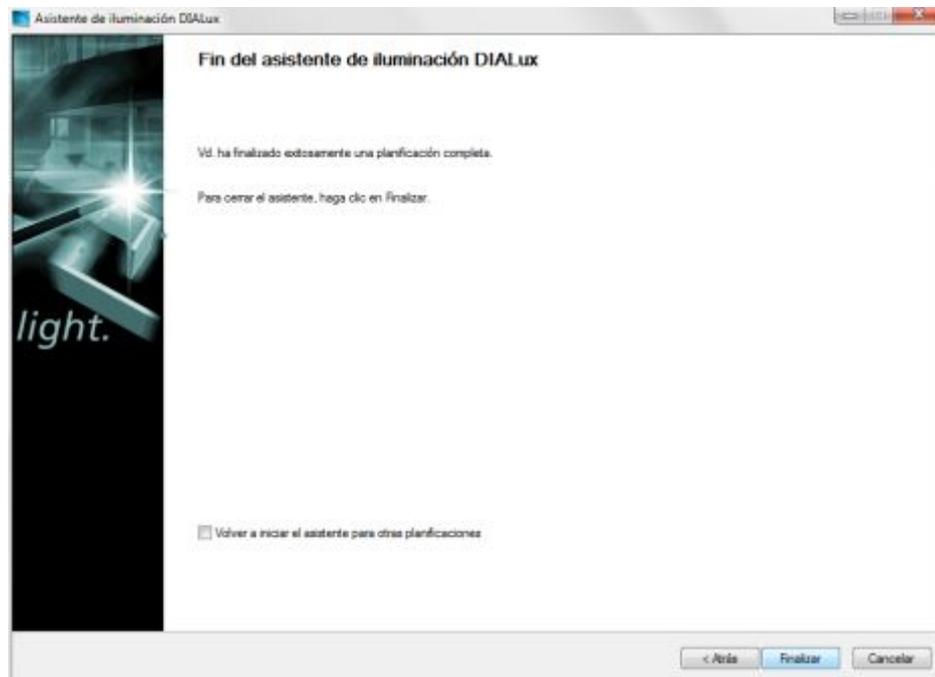


Figura 43: Cerrar Asistente DIALux.

3.4. MEDICIÓN DE LUXES CON LÁMPARAS FLUORESCENTES

Para la medición de potencia activa de los lámparas fluorescentes que tienen balastro, se utilizó un Analizador de Redes SENTRON PAC3100 de SIEMENS, la medición se la muestra en la Foto 1



Foto 1 : Medición de Potencia eléctrica.

Este procedimiento se realizó para las nueve luminarias con sus respectivos lámparas fluorescentes, el resumen de las mediciones se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9:

Potencia eléctrica de las lámparas fluorescentes.

Luminaria	Potencia (W)
1	95
2	85
3	89
4	95
5	75
6	96
7	94
8	75
9	73
TOTAL	777

A continuación se midió la cantidad de luxes que emite cada luminaria con sus respectivos lámparas fluorescentes, utilizando el instrumento denominado luxómetro, como se indica que la Foto 2.



Foto 2: Medición de luxes.

La Tabla 10 presenta la cantidad de luxes que emite cada una de las lámparas fluorescentes.

TABLA 10:

Cantidad de luxes por lámpara fluorescente.

Luminaria	Em (Luxes)
1	386
2	394
3	393
4	363
5	384
6	422

CONTINUA

7	378
8	384
9	392

Luego se procedió a la medición de luxes, considerando las cortinas abiertas y las lámparas fluorescentes encendidas, el luxómetro se colocó a la altura del plano de trabajo (0.75m) y al ingreso del laboratorio, como indica la Foto 3



Foto 3: Medición de luxes a la entrada del Laboratorio.

La Tabla 11 muestra todas las mediciones realizadas a la entrada, centro y extremo del laboratorio de Instrumentación Virtual con las luminarias de lámparas fluorescentes tradicionales con estas medidas se podrá verificar el porcentaje de incremento en luxes con el reemplazo de las luminarias de lámparas LED.

Tabla 11:

Medición de luxes en distintos puntos.

Ubicación luxómetro	Cortinas	Lámparas fluorescentes	Em (Luxes)
Entrada	Abiertas	Encendidas	335
	Abiertas	Apagadas	209
	Cerradas	Encendidas	306
	Cerradas	Apagadas	24,3
Centro	Abiertas	Encendidas	350
	Abiertas	Apagadas	284
	Cerradas	Encendidas	335
	Cerradas	Apagadas	35,1
Extremo	Abiertas	Encendidas	410
	Abiertas	Apagadas	295
	Cerradas	Encendidas	350
	Cerradas	Apagadas	98,5

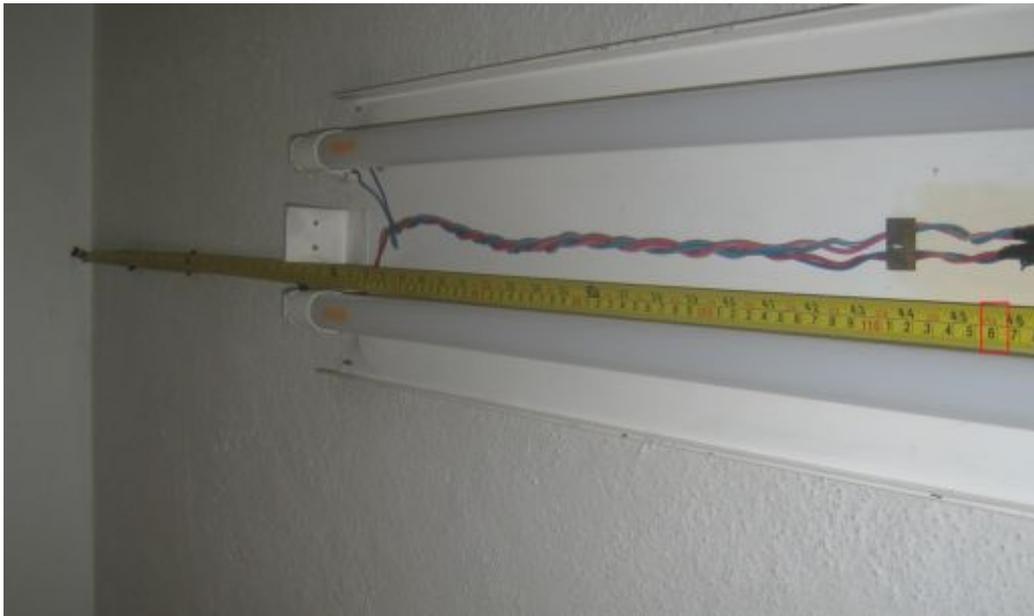


Foto 4: Disposición Horizontal 1.16m.



Foto 5: Disposición Horizontal 2.32m.



Foto 6: Disposición Vertical 1.16m.



Foto 7: Disposición Vertical 2.32m.

3.4.2. Lóbulo de Deslumbramiento según UGR

Con el Asistente de iluminación DIALux se obtiene el lóbulo de deslumbramiento que permite controlar los posibles deslumbramientos de visión dentro del laboratorio, para poder mantener la Emisión de luz en grados dentro de los límites aceptables.

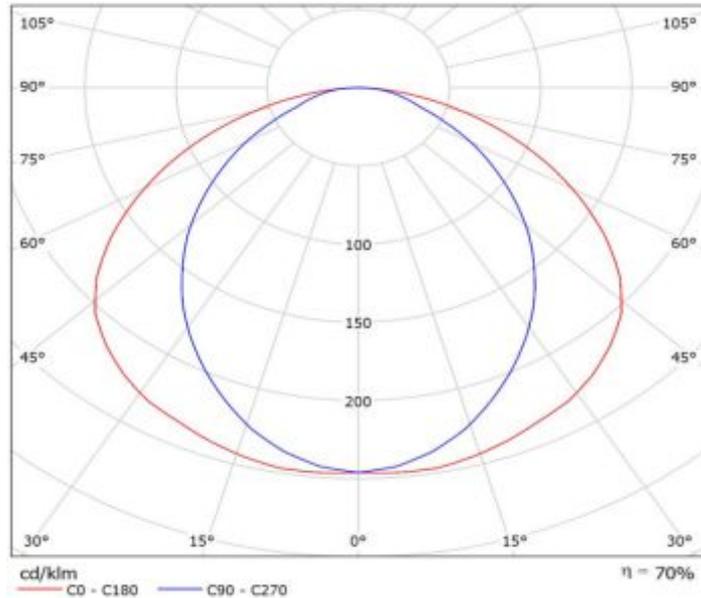


Figura 45: lóbulo de deslumbramiento.

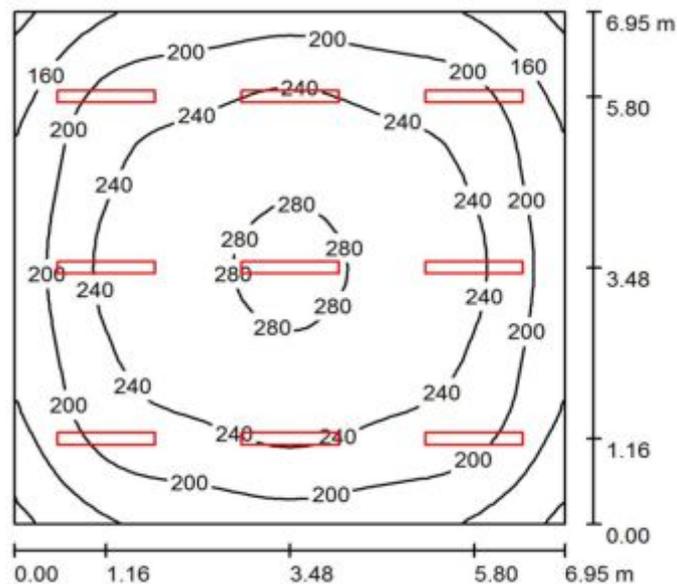


Figura 46: Emisión de luxes.

En la siguiente tabla se puede observar los niveles de deslumbramientos en diferentes puntos obtenidos con la cantidad de luxes máxima media y mínima.

Tabla 12:

Niveles de deslumbramiento.

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	222	113	290	0.509
Suelo	10	191	110	245	0.574
Techo	50	29	24	40	0.815
Paredes (4)	30	118	35	215	/

3.4.3. Cálculo del Cableado y Breaker

Para el cálculo del cableado y del Breaker debemos utilizar la ecuación 9 donde se obtiene el valor de Amperio (A) para luego ver en la tabla 13 de valores normalizados de cables A.W.G el número de cable a utilizar para la implementar en el laboratorio de Instrumentación Virtual además de ello los conductores en buen estado deben presentar una resistencia muy baja, con el mismo valor Amperios podemos escoger el tipo de Breaker que soporte la carga para su para su óptimo funcionamiento .

$$I = \frac{W}{V} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Cálculo:

Datos:

Intensidad = I

Watts 288 (16 watts de luminaria x 18 luminarias= 288) = W

Voltaje 120 = V

$$I = \frac{W}{V}$$

$$I = \frac{288}{120}$$

$$I = 2.40 \text{ Amp}$$

Tabla 13:

Valores normalizados de cables A.W.G.

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ohm/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6

CONTINUA

21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15
31	0,2268	0,040	39,8	0,36	425,0	0,11
32	0,2019	0,032	44,5	0,28	531,2	0,09
33	0,1798	0,0254	56,0	0,23	669,3	0,072
34	0,1601	0,0201	56,0	0,18	845,8	0,057
35	0,1426	0,0159	62,3	0,14	1069,0	0,045
36	0,1270	0,0127	69,0	0,10	1338,0	0,036
37	0,1131	0,0100	78,0	0,089	1700,0	0,028
38	0,1007	0,0079	82,3	0,070	2152,0	0,022
39	0,0897	0,0063	97,5	0,056	2696,0	0,017
40	0,0799	0,0050	111,0	0,044	3400,0	0,014
41	0,0711	0,0040	126,8	0,035	4250,0	0,011
42	0,0633	0,0032	138,9	0,028	5312,0	0,009
43	0,0564	0,0025	156,4	0,022	6800,0	0,007
44	0,0503	0,0020	169,7	0,018	8500,0	0,005

Según la tabla 13 podemos utilizar un cable #18 que soporta la cantidad de amperios.

3.4.3. Instalación de Luminarias

En este punto lo primero que se realizó fue bajar la luminaria del techo, para retirar el balastro y realizar las nuevas conexiones, que servirán para encender las lámparas LED.



Foto 8: Desmontaje de la luminaria.



Foto 9: Retiro del balastro.

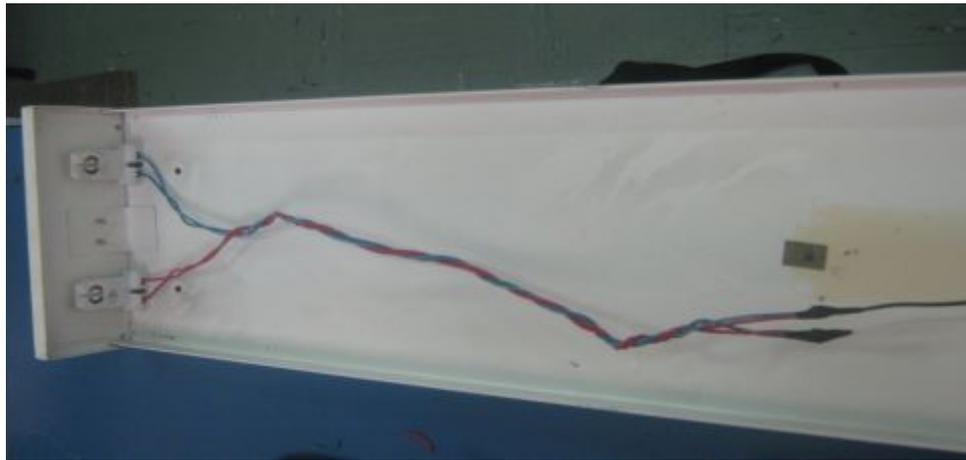


Foto 10: Conexiones de la luminaria.

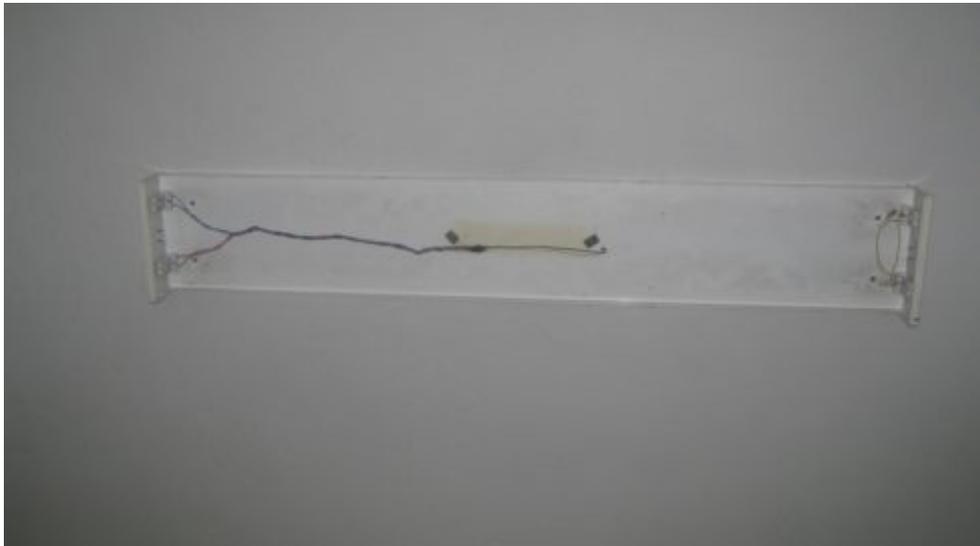


Foto 11: Colocación de la lumimnaria en el techo.



Foto 12: Colocación de las lámparas LED.

3.4.4. Medición de potencia eléctrica y luxes con lámparas LED

Con la ayuda de Analizador de Redes se midió la potencia en cada una de las luminarias con lámparas LED.



Foto 13: Medición de potencia en lámpara LED.

Las mediciones de potencia en cada una de las lámparas LED, se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14:

Potencia eléctrica en lámparas LED.

Luminaria	Potencia (W)
1	28
2	27
3	27
4	28
5	27
6	28
7	27
8	25
9	28
TOTAL	245

Con la ayuda del luxómetro se realiza la medición de luxes en cada lámpara LED, como se muestra en la Foto 14.



Foto 14: Cantidad de luxes en lámparas LED.

El resumen de las mediciones se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15:

Cantidad de luxes por luminaria.

Luminaria	E (Luxes)
1	495
2	490
3	480
4	488
5	485
6	480
7	490
8	492
9	480
PROMEDIO	486,7

Tabla 16:

Medición de luxes en tres puntos del laboratorio.

Ubicación luxómetro	Cortinas	Lámparas LED	Em (Luxes)
Entrada	Abiertas	Encendidas	623
	Cerradas	Encendidas	428
Centro	Abiertas	Encendidas	946
	Cerradas	Encendidas	445
Extremo	Abiertas	Encendidas	1741
	Cerradas	Encendidas	446

En la Foto 15 se puede notar claramente la intensidad luminosa que emite las lámparas fluorescente y las lámparas LED.

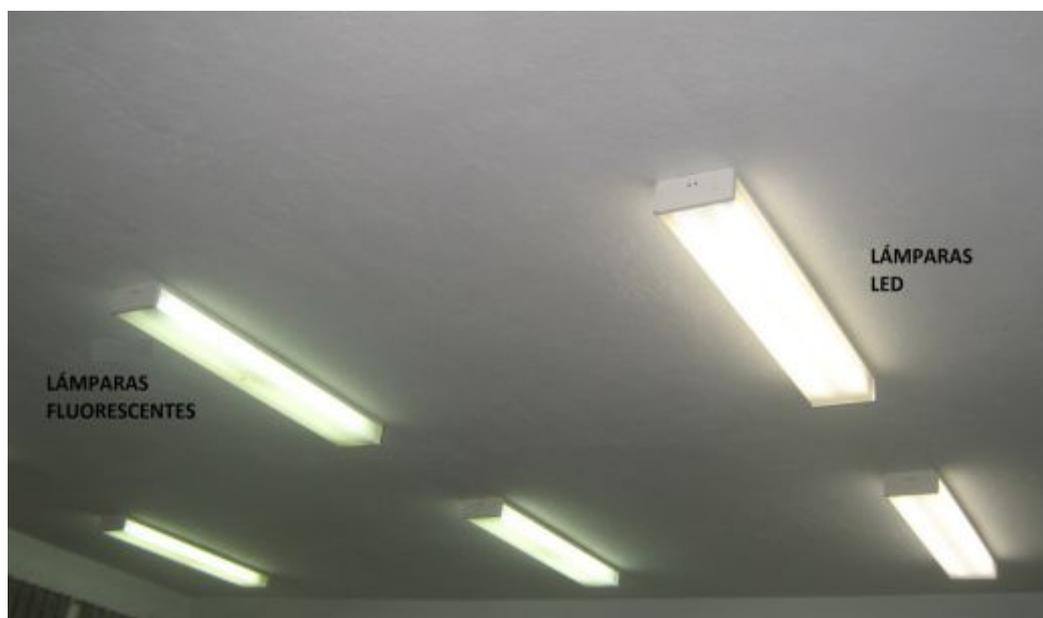


Foto 15: Lámparas fluorescentes Vs lámparas LED.

Con la implementación de las lámparas LED el consumo de potencia promedio es de 240W, en cambio con las lámparas fluorescentes se consume una potencia promedio de 777W, obteniendo un ahorro de potencia de 537W que representa el 69%.

3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para este punto se considera que las lámparas estarán encendidas 10 horas diarias, dando 50 horas a la semana y al año 2400 horas.

Las lámparas fluorescentes consumen 777 W, multiplicado por las horas del año da como resultado 1864kWh. Según la tarifa del CONELEC el costo del kWh es de 9.33 centavos, por consiguiente el costo de la energía sería 173,9 dólares al año.

Las lámparas LED consumen 240W, multiplicando por las horas del año da como resultado 576 kWh, considerando el valor del kWh, el costo de la energía es 53.7 dólares.

El ahorro económico será:

$$173.9 - 53.7 = 120.2 \text{ dólares anuales.}$$

Este tipo de proyecto se obtiene una eficiencia energética de un 69% de ahorro lo cual es un ahorro en la factura eléctrica de 120.2 dólares anuales con este ahorro la inversión del proyecto será recuperada de 3 a 4 años ya que la vida útil de las lámparas LED es de 40.000 horas, si anualmente estará encendido 2400 horas eso quiere decir que en unos 12 a 15 años se acabaría la vida útil de dichas lámparas.

TABLA 17

Análisis Económico.

MES	ENERGIA (kWh)		COSTO ENERGIA (\$)		AHORRO EN (\$)
	LAMPARA		LAMPARA		
	Fluorescente	LED	Fluorescente	LED	
Enero	155,4	48	14,49	4,47	10,02
Febrero	310,8	96	28,99	8,95	20,04
Marzo	466,2	144	43,49	13,43	30,06
Abril	621,6	192	57,99	17,91	40,08
Mayo	777	240	72,49	22,39	50,1
Junio	932,4	288	86,99	26,87	60,12
Julio	1087,8	336	101,49	31,35	70,14
Agosto	1243,2	384	115,99	35,83	80,16
Septiembre	1398,6	432	130,49	40,31	90,18
Octubre	1554	480	144,99	44,79	100,2
Noviembre	1709,4	528	159,49	49,27	110,22
Diciembre	1864,8	576	173,99	53,75	120,24

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El sistema de iluminación utilizando lámparas LED no utilizan balastro, su arranque es instantáneo, presenta menos consumo de energía lo cual representa un ahorro en 69 % en la factura eléctrica y tiene larga vida útil para lo cual la inversión se la recuperaría en tres a cuatro años.
- El sistema de iluminación utilizando lámparas fluorescentes consume 777W cuando las cortinas se encuentran cerradas y con las lámparas fluorescentes encendidas se tiene $E_m = 300-350$ luxes, mientras al utilizar lámparas LED sólo consume 240W en cambio con las mismas características se obtiene $E_m = 400-450$ luxes, presentando un ahorro de potencia de 537W y 100 luxes de diferencia.
- Para realizar el diseño del sistema de iluminación se utilizó el método de lúmenes, en el cual se obtuvo como resultado 9 luminarias con dos lámparas LED cada una, para emitir una Iluminancia media (E_m) de 177 luxes con la ayuda del Software DIALux se diseñó el sistema de iluminación y se obtuvo una Iluminancia media (E_m) de 224 luxes con 9 luminarias.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar varias mediciones con el luxómetro para determinar la Iluminancia Media (Em).
- Utilizar el software DIALux, para diseño de sistemas de iluminación ya que permite obtener de forma rápida la cantidad de luminarias a utilizar y en función de las lámparas que se utilizan se obtiene la Iluminancia media en distintos puntos.
- Realizar el reemplazo de las lámparas fluorescentes por lámparas LED en todos los laboratorios y aulas de clase, para obtener un mayor ahorro de consumo eléctrico.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

B

Balastro: Inductancia utilizado en lámparas fluorescentes.

C

Casquillos: Son filamentos fabricados con metal de tungsteno.

Cebador: Encendedor térmico.

Curva de Distribución Luminosa: Es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa en diversos ángulos alrededor de una luminaria.

D

Diodo LED: Dispositivo que emite luz.

E

Eficiencia energética: Es una práctica que tiene como objeto reducir el consumo de energía.

F

Flujo Luminoso: El flujo luminoso describe la potencia luminosa total emitida por una fuente de luz.

I

Iluminancia: La iluminancia es un índice representativo de la densidad del flujo luminoso sobre una superficie.

Intensidad Luminosa: La intensidad luminosa I es un índice representativo del flujo luminoso Φ emitido por el ángulo sólido Ω .

L

Lumen: Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso.

Luminaria: Es la armadura donde se coloca los tubos fluorescentes.

Luminotecnia: Es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación.

R

Reflectancia: Poder reflectante de las superficies que rodean a un local.

S

Sellador: Es un compuesto de poliéster que se deposita entre la carcasa y el núcleo del balasto.

T

Tubo de descarga: Se utilizan en lámparas fluorescentes, se fabrica de vidrio con diferentes longitudes y diámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerotecnología. (03 de 01 de 2015). *TECNOLOGIA*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/lamparas-led.html> [Citado el 9/12/2014]
- Álvarez, J. A. (10 de 03 de 2012). *Así funciona*. Recuperado el 06 de 01 de 2015, de http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_fluorescentes/af_fluorescentes_1.htm [Citado el 19/12/2014]
- Cruz, C. G. (2004). [Citado el 5/01/2015]
- ERCO. (2011). Obtenido de <http://www.iluminet.com/guia-iluminacion-erco/> [Citado el 16/01/2015]
- G, M. (2010). Obtenido de <http://es.slideshare.net/tecnologialed/tecnologialed-como-alternativa-de-solucion-para-el-ahorro-energetico> [Citado el 19/01/2015]
- Gustav*Adolf*Straße, G. (03 de 01 de 2015). *DIALux*. Obtenido de <http://www.dial.de/DIAL/es/dialux/download.html> [Citado el 22/01/2015]
- Harper, E. (1978). *El ABC del Alumbrado y las Instalaciones Electricas de baja Tension*. [Citado el 26/01/2015]
- Hernández, P. H. (03 de 01 de 2015). *Hogares Verdes*. [Citado el 30/01/2015]
- Lazla, C. (2010). *Manual de Luminotancia para Interiores* . [Citado el 03/02/2015]

ANEXOS

