

**DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN TIPO LED EN SISTEMA DE ALUMBRADO
PÚBLICO APLICADO AL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LA
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

JESÚS ALBEIRO MAZO
RAMIRO PULGARÍN DUQUE
JOHN JAIRO HENAO

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2013**

**DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN TIPO LED EN SISTEMA DE ALUMBRADO
PÚBLICO APLICADO AL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LA
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

Jesús Albeiro Mazo
Ramiro Pulgarín Duque
John Jairo Henao

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista

ASESOR

Bayron Álvarez Arboleda
Magíster en Ingeniería

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2013**

Nota de aceptación

Firma

Nombre

Presidente del jurado

Firma

Nombre

Jurado

Firma

Nombre

Jurado

Medellín, Mayo de 2013

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Con especial afecto a todos quienes de una manera u otra ayudaron e hicieron posible el cumplimiento de nuestras metas tanto la culminación satisfactoria de la parte académica como la materialización de este proyecto.

A nuestras familias porque en nuestro afán de querer progresar con miras a un mejor futuro se vieron fuertemente afectadas pero que a la vez con el pasar del tiempo y nuestra llegada a la meta se sentirán doblemente compensadas.

A la institución y a todos y cada uno de los profesores por transmitirnos sus conocimientos y darnos la oportunidad de conquistar el sueño de ser Ingenieros

CONTENIDO

GLOSARIO	60
INTRODUCCIÓN	15
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	16
2. JUSTIFICACIÓN	18
2.1 JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL.....	18
2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	19
2.3 JUSTIFICACIÓN JURÍDICA	19
3. OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GENERAL	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4. REFERENTE TEÓRICO	23
4.1 RESEÑA HISTÓRICA.....	23
4.2 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	26
4.2.1 El espectro visible.	27
4.2.2 Curva sensibilidad del ojo y el efecto purkinje.	28
4.2.3 Efecto Fotópico y escotópico.	29
4.3 TECNOLOGÍAS TRADICIONALES DE ILUMINACIÓN.....	30
4.4 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS	42

4.5	CARACTERÍSTICAS DE LA ILUMINACIÓN TIPO LED	43
4.5.1	¿Qué es iluminación tipo LED?	43
4.5.2	Características y beneficios de la iluminación tipo LED en instalaciones de alumbrado exterior	47
4.5.3	Aplicaciones	49
4.6	LÚMENES A LA PUPILA	49
5.	METODOLOGIA.....	53
6.	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO.....	54
6.2	MODELO A SER INSTALADO EN JARDÍN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO.....	56
6.3	CÁLCULOS ILUMINACIÓN JARDÍN BLOQUE 3 CON SOFTWARE DIALUX.....	60
6.4	COMPARACIÓN CALIDAD ILUMINACIÓN JARDÍN.....	72
6.5	COMPARATIVO DE COSTOS SISTEMA LED VS SODIO A 10 AÑOS...73	
6.6	RESUMEN GENERAL DE LA INVERSIÓN.....	74
6.6.1	Sistema sodio en IUPB proyectado a 10 años	74
6.6.2	Sistema LED IUPB proyectado a 10 años.....	74
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFIA.....	79

ANEXOS85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Red de alumbrado instalada y estado de la red.....	17
Tabla 2. Evaluación comparativa de luminarias.....	42
Tabla 3. Factores de Corrección de Lúmenes a Lúmenes a la Pupila.....	51
Tabla 4 Comparativo de costos del sistema Led vs Sodio a 10 años....	74
Tabla 5. Consumo de energía antes y después de la realización del proyecto	75
Tabla 6. Análisis de costos e inversión	75
Tabla 7. Evaluación financiera del proyecto	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. El espectro electromagnético.....	27
Figura 2. Espectro invisible.....	28
Figura 3. Curva de sensibilidad del ojo.....	28
Figura 4. Tecnología incandescente.....	31
Figura 5. Tecnología incandescente estándar.....	32
Figura 6. Tecnología fluorescente tubular.....	33
Figura 7. Tecnología fluorescente compacta o ahorradores.....	34
Figura 8. Lámpara de vapor de mercurios a alta presión.....	35
Figura 9. Lámparas de luz mixta.....	36
Figura 10. Metal halide.....	37
Figura 11. Lámparas de vapor de sodio a baja presión.....	38
Figura 12. Lámparas de sodio de alta presión.....	39
Figura 13. Principios de funcionamiento iluminación de inducción.....	40
Figura 14. Lámpara <i>LED (Lighting Emitting Diode)</i>	41
Figura 15. Tipos de luminarias tipo LED.....	45
Figura 16. Alumbrado Público Led.....	45
Figura 17. Autopista 1 con luminarias tipo led.....	46
Figura 18. Autopista 2 con luminarias tipo LED.....	46
Figura 19. Lámpara de dos pines led.....	47
Figura 20. Detalle luminaria plazoleta.....	54
Figura 21. Área de influencia del proyecto con luminaria tipo LED Bloque 3A.....	54

Figura 22. Detalle de luminaria de corredor peatonal Bloque 3A.....	55
Figura 23. Iluminación sector salida lateral del bloque 3A del fotografía tomada a las 8:30 pm.	55
Figura 24. Tipo de luminaria a instalar en el Jardín Bloque 3 (Luminaria 4 3 W).	56
Figura 25. Luminarias para poste tipo led.....	57
Figura 26. Photometrics.....	58
Figura 27. Imágenes tomadas del software Dialux.	60
Figura 28. Calidad de la iluminación en el sector a intervenir.	72
Figura 29. Calidad de la iluminación después de la intervención realizada	72
Figura 30. Iluminación sector salida lateral del bloque 3A del fotografía tomada a las 8:30 pm.	72
Figura 31. Panorámica utilización lámparas LED alumbrado exterior nocturno....	73

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Datos del luxómetro	85
Anexo 2. Catálogo Luxómetro.....	86
Anexo 3. Comparativo iluminación de sodio vs iluminación led	88

GLOSARIO

ABSORCIÓN: Es un proceso muy ligado al color. El ojo humano sólo es sensible a las radiaciones pertenecientes a un pequeño intervalo del espectro electromagnético. Son los colores que mezclados forman la luz blanca. Cuando la luz blanca choca con un objeto una parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie y el resto son reflejados. Las componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos. Si la refleja toda es blanca y si las absorbe todas es negro. Un objeto es rojo porque refleja la luz roja y absorbe las demás componentes de la luz blanca. Si iluminamos el mismo objeto con luz azul lo veremos negro porque el cuerpo absorbe esta componente y no refleja ninguna. Queda claro, entonces, que el color con que percibimos un objeto depende del tipo de luz que le enviamos y de los colores que este sea capaz de reflejar.

MANTENIMIENTO: Es un arte que con la evolución de las tecnologías administrativas involucra en sus conceptos teóricos las mejores prácticas en pro de la eficiencia y la interrelación con los diversos procesos de las compañías independientemente de su función productiva, las personas encargadas de esta actividad no solo se limitan ya a reparar, desarrollan planes que les permitan innovar, apropiarse de nuevas tecnologías e implementarlas obteniendo beneficios económicos, sociales y medioambientales.

REFLEXIÓN: Es un fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes (ya sean gases como la atmósfera, líquidos como el agua o sólidos) y está regida por la ley de la reflexión. La dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie. Si es una superficie brillante o pulida se produce la reflexión regular en que toda la luz sale en una única dirección. Si la superficie es mate y la luz sale desperdigada en todas direcciones se llama reflexión difusa. Y, por último, está el caso intermedio, reflexión mixta, en que predomina una dirección sobre las demás.

Esto se da en superficies metálicas sin pulir, barnices, papel brillante, etc.

REFRACCIÓN: Se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes según la ley de la refracción. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente.

TEROTECNOLOGÍA: Palabra compuesta de raíces griegas para referirse al estudio de los costos asociados con un activo a lo largo de su ciclo de vida - desde la adquisición hasta su eliminación, es una combinación de gestión, finanzas, ingeniería y otras disciplinas, se aplica a bienes físicos para llevar a cabo una vida económica del coste del ciclo en relación a ellos. Este objetivo se alcanza con el proyecto y la disponibilidad de las aplicaciones y los servicios de mantenimiento, maquinaria, equipo, edificios y estructuras en general, teniendo en cuenta su diseño, instalación, mantenimiento, mejora, sustitución con todos los consiguientes regreso información sobre el diseño, ejecución y costos, es la rama práctica de la logística industrial.

TRANSMISIÓN: Se puede considerar una doble refracción. Si pensamos en un cristal; la luz sufre una primera refracción al pasar del aire al vidrio, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar de nuevo al aire. Si después de este proceso el rayo de luz no es desviado de su trayectoria se dice que la transmisión es regular como pasa en los vidrios transparentes. Si se difunde en todas direcciones tenemos la transmisión difusa que es lo que pasa en los vidrios translúcidos. Y si predomina una dirección sobre las demás tenemos la mixta como ocurre en los vidrios orgánicos o en los cristales de superficie labrada.

VISIÓN ESCOTÓPICA: Es aquella percepción visual que se produce con niveles muy bajos de iluminación, el efecto se da en los bastones de la retina que son

células fotosensibles de una muy alta sensibilidad y tenemos Aprox. 120 millones de ellos.

VISIÓN FOTÓPICA: Percepción visual que se produce con niveles de iluminación diurnos o altos, el efecto se da en los conos y tenemos Aprox. 7 millones de ellos.

INTRODUCCIÓN

Viendo el gran avance tecnológico en la iluminación artificial y analizando las falencias en el alumbrado público de la Institución Universitaria Pascual Bravo, nos dimos a la tarea de dejar muestra de una nueva tecnología en este campo, como es la iluminación tipo LED.

Este proyecto realiza un estudio del ahorro económico que puede tener la institución en un periodo de 10 años, cambiando todas las luminarias tradicionales de sodio por las de esta nueva tecnología. Se realiza el análisis con un prototipo de luminaria para realizar los cálculos generales y así proyectar una inversión que se recuperará a corto plazo, además de aportar al Uso Racional de la Energía URE, tan utilizado en estos tiempos para disminuir impactos biológicos por el mal uso de las fuentes de energía.

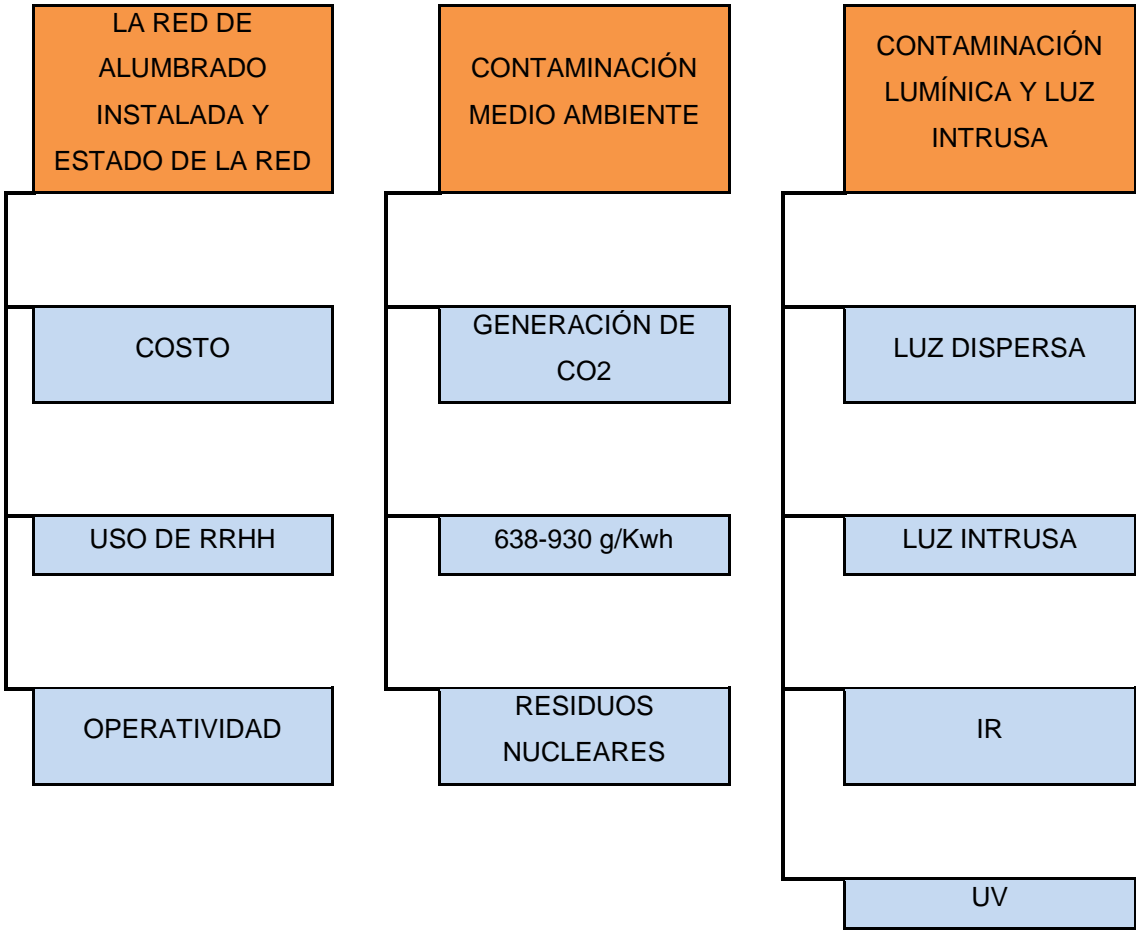
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad del hombre de sentirse cómodo en los diferentes espacios y momentos de su vida implica la presencia de luz ya sea natural o artificial.

Las diferentes iniciativas a través de la evolución humana para suplir su necesidad de confort visual le han llevado desde iluminación con antorchas hasta tecnologías amigables con el medio ambiente, de larga vida útil y de alta eficiencia energética como la iluminación TIPO LED.

Actualmente en la Institución Universitaria Pascual Bravo – IUPB se evidencian vacíos lumínicos a gran escala en la iluminación exterior que trae como consecuencia el incumplimiento del Reglamento Técnico de Iluminación y alumbrado Público (RETILAP) y la prestación de un servicio y operación del sistema en condiciones anormales, teniendo en cuenta que la institución funciona en horario nocturno. Por otro lado la cantidad de luminarias (131) producen un gran consumo de energía debido a que el tipo de luminaria que se utiliza para alumbrado exterior es del tipo convencional de alta presión de sodio, (más conocida como *HPS*, por sus siglas del inglés *High Pressure Sodium*), las cuales tienen las siguientes potencias de consumo: 70W (75), 150 W (19), 250 W (37).

Tabla 1. Red de alumbrado instalada y estado de la red.



2. JUSTIFICACIÓN

2.1 JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL

IncurSIONAR como pioneros dentro de la Institución Universitaria Pascual Bravo IUPB en el estudio, desarrollo y aplicación de las tecnologías de punta aplicadas a la eficiencia y desempeño lumínico a nivel del alumbrado público.

Teniendo en cuenta el problema de iluminación y el gran consumo energético, se propone un estudio del sistema de iluminación exterior y del alumbrado público de la Institución Universitaria Pascual Bravo, para demostrar, mediante un modelo y unos cálculos de consumo, la viabilidad de realizar un cambio general, trabajando así con un Uso Racional de la Energía URE.

Ahorra más del 80% del consumo de energía de las lámparas tradicionales.

Una lámpara Tipo LED reemplaza una lámpara de sodio de 70 W, ahorrando con ello \$1'051.200 en 10 años en consumo eléctrico, además del ahorro visible en mantenimiento de las mismas

131 luminarias, ahorrarían \$131'400.000 en 10 años en consumo de energía.

Una lámpara Tipo LED no produce reflejo y muy baja contaminación lumínica.

Una lámpara Tipo LED trabaja con un rango de voltaje más amplio, lo que implica, que su brillo y vida útil, se mantienen en el tiempo.

2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Actualmente, la infraestructura de iluminación eléctrica del país, sólo cuenta, en su mayoría, con sistemas convencionales, debido a la limitada oferta y desconocimiento a causa de intereses comerciales de las grandes compañías líderes del mercado de la iluminación.

La iluminación con LED de alta intensidad al remplazar la tradicional, es amigable con el ambiente y consume poca energía, tiene larga vida útil y fácil mantenimiento, no produce reflejo y muy baja contaminación lumínica y a su vez trabaja con un rango de voltaje más amplio, lo que implica que su brillo y vida útil se mantienen.

2.3 JUSTIFICACIÓN JURÍDICA

“EL MINISTRO DE MINAS Y ENERGÍA”

En ejercicio de sus facultades legales, en especial las que le confiere, La Ley 697 de 2001, CONSIDERANDO

Que la Ley 697 de 2001 “Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones”, declaró el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE)

como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana y la protección al consumidor.

Que el Artículo 4o. de la Ley 143 de 1994, establece que el Estado en relación con el servicio de electricidad tiene entre otros objetivos, el de abastecer la demanda de electricidad de la comunidad bajo criterios económicos y de viabilidad financiera, asegurando su cubrimiento en un marco de uso racional y eficiente de los diferentes recursos energéticos del país, así como mantener y operar sus instalaciones preservando la integridad de las personas, de los bienes y del medio ambiente.

Que la iluminación y el alumbrado público provienen de fuentes que utilizan la energía eléctrica.

Que el abastecimiento energético pleno y oportuno es un tema de Seguridad Nacional.

Que el uso racional y eficiente de energía además de contribuir al abastecimiento energético pleno, ayuda a la protección del medio ambiente.

Que el artículo 4º del Decreto 2501 de 2007 establece “El Ministerio de Minas y Energía expedirá el reglamento técnico correspondiente al uso racional y eficiente de energía eléctrica en iluminación y alumbrado público”.

Que según el artículo 13º del Decreto 2424 de 2006 le corresponde al Ministerio de Minas y Energía expedir los reglamentos técnicos que fijen los requisitos mínimos que deben cumplir los diseños, los soportes, las luminarias y demás

equipos que se utilicen en la prestación del servicio de alumbrado público. Así como, expedir la reglamentación correspondiente al ejercicio de la interventoría en los contratos de prestación del servicio de alumbrado público.

El Decreto 070 de 2001, El Decreto 2424 de 2006 y el Decreto 2501 del 2007. El Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP en su Resolución 18 1331 del 6 de agosto de 2009 y ratificada mediante Resolución No. 180540 DE Marzo 30 de 2010 dada por M.M.E en Colombia tiene como objeto fundamental establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados, por la instalación y uso de sistemas de iluminación.”¹

¹ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Decreto número 2331 de junio 22 de 2007 (Sustitución de Bombillas Incandescentes por LFC de alta eficiencia en Entidades Oficiales). Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2007.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Diseñar, justificar e implementar en diferentes ambientes del ITPB soluciones de iluminación de bajo consumo energético y larga duración.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los requerimientos visuales y técnicos en los ambientes que se van intervenir.
- Evaluar y valorar la iluminación existente para determinar si los parámetros escogidos inicialmente son los adecuados o son susceptibles a mejorar la tecnología de iluminación en estudio.
- Implementar soluciones de acuerdo con los estudios realizados en los ambientes intervenidos en la institución.
- Apoyados en el éxito obtenido, divulgar e implementar a nivel de otras entidades públicas y privadas, para ayudar al URE a nivel regional y nacional.
- Tener la capacidad de desarrollar proyectos de iluminación complejos, para ser unos mejores profesionales y así obtener una utilidad económica en el futuro.

4. REFERENTE TEÓRICO

Cuando un rayo de luz se propaga por un medio y alcanza el límite que lo separa de un segundo medio, puede suceder, que retorne al primero (reflexión), o que lo atraviese y que ingrese al segundo medio donde parte se convertirá en otra forma de energía (absorción) y parte no cambiará (transmisión).

Dos, o los tres de dichos fenómenos ocurren simultáneamente, y como la energía no se puede destruir, la suma de la energía transmitida, absorbida y reflejada debe ser igual a la energía incidente.

Por lo tanto, la aplicación de la luz en la forma más conveniente exige un control y una distribución que se consigue modificando sus características a merced a los fenómenos físicos de reflexión, absorción y transmisión de la luz, sin olvidarnos de otro cuarto factor conocido como refracción.

4.1 RESEÑA HISTÓRICA

La luz ha intrigando a la humanidad durante siglos. Las teorías más antiguas consideraban a la luz como algo que era emitido por el ojo. Posteriormente se comprendió que la luz debía proceder de los objetos que se veían y que entraba en el ojo produciendo la sensación de la visión. La cuestión de si la luz está compuesta por un haz de partículas o si es un cierto tipo de movimiento ondulatorio ha sido una de las más interesantes en la historia de la ciencia. Entre los proponentes y defensores de la teoría corpuscular de la luz el más influyente fue sin duda Newton. Utilizando esta teoría pudo explicar las leyes de la reflexión y de la refracción. Sin embargo, su deducción de la ley de la refracción dependía de la hipótesis de que la luz se mueve con más rapidez en el agua o en el vidrio que en el aire, hipótesis que posteriormente se demostró que era falsa.

Los principales proponentes de la teoría ondulatoria de la luz fueron Christian Huygens y Robert Hooke. Utilizando su propia teoría de la propagación de las ondas, Huygens fue capaz de explicar la reflexión y la refracción suponiendo que la luz viaja más lentamente en el vidrio o el agua que en el aire. Newton se dio cuenta de las ventajas de la teoría ondulatoria de la luz, particularmente porque explicaba los colores formados por películas delgadas, que había estudiado a fondo.

No obstante, rechazó la teoría ondulatoria debido a la aparente propagación rectilínea de la luz. En su época no se había observado aún la difracción, desviación del haz luminoso que permite rodear obstáculos.

La teoría corpuscular de la luz de Newton fue aceptada durante más de un siglo. Luego, en 1801, Thomas Young revitalizó la teoría ondulatoria de la luz. Fue uno de los primeros en introducir la idea de interferencia como un fenómeno ondulatorio que se presentaba tanto en la luz como en el sonido. Sus observaciones de las interferencias obtenidas con la luz fueron una clara demostración de su naturaleza ondulatoria. Sin embargo, el trabajo de Young no fue conocido por la comunidad científica durante más de diez años. Quizás el mayor avance en lo que se refiere a la aceptación general de la teoría ondulatoria de la luz, se debió al físico francés Agustín Fresnel (1782-1827), que realizó extensos experimentos sobre interferencia y difracción y desarrolló la teoría ondulatoria sobre una sana base matemática. En 1850, Jean Foucault midió la velocidad de la luz en el agua y comprobó que es menor que en el aire, acabando así con la teoría corpuscular de la luz de Newton. En 1860, James Clerk Maxwell publicó su teoría matemática del electromagnetismo, que predecía la existencia de ondas electromagnéticas que se propagaban con una velocidad calculada mediante las leyes de la electricidad y el magnetismo y que resultaba valer 3×10^8 m/s, el mismo valor que la velocidad de la luz. La teoría de Maxwell

fue confirmada en 1887 por Hertz, quien utilizó un circuito eléctrico sintonizado para generar ondas y otro circuito semejante para detectarlas. En la segunda mitad del siglo XIX, Kirchoff y otros científicos aplicaron las leyes de Maxwell para explicar la interferencia y difracción de la luz y de otras ondas electromagnéticas y apoyar los métodos empíricos de Huygens de construcción de ondas sobre una base matemática firme.

Aunque la teoría ondulatoria es generalmente correcta cuando describe la propagación de la luz (y de otras ondas electromagnéticas), falla a la hora de explicar otras propiedades de la luz, especialmente la interacción de la luz con la materia. Hertz, en un famoso experimento de 1887 que confirmó la teoría ondulatoria de Maxwell, también descubrió el efecto fotoeléctrico. Este efecto sólo puede explicarse mediante un modelo de partículas para la luz, como Einstein demostró sólo unos pocos años después. Así se volvió a introducir un modelo corpuscular de la luz. Las partículas de la luz se denominan fotones y la energía E de un fotón está relacionada con la frecuencia f de la onda luminosa asociada por la famosa relación de Einstein $E = h \cdot f$ (h = constante de Planck). No se logró una comprensión completa de la naturaleza dual de la luz hasta la década de los 20 en el siglo XX, cuando los experimentos realizados por los científicos del momento (Davisson, Germer, Thompson y otros) demostraron que los electrones (y otras “partículas”) también tenían una naturaleza dual y que presentan las propiedades de interferencia y difracción además de sus bien conocidas propiedades de partículas.

En definitiva, la teoría moderna de la mecánica cuántica de la radiación luminosa acepta el hecho de que la luz parece tener una doble naturaleza; por un lado, los fenómenos de propagación de la luz encuentran mejor explicación dentro de la teoría electromagnética de Maxwell (naturaleza fundamental ondulatoria electromagnética), y por otro, la acción mutua entre la luz y la materia, en los

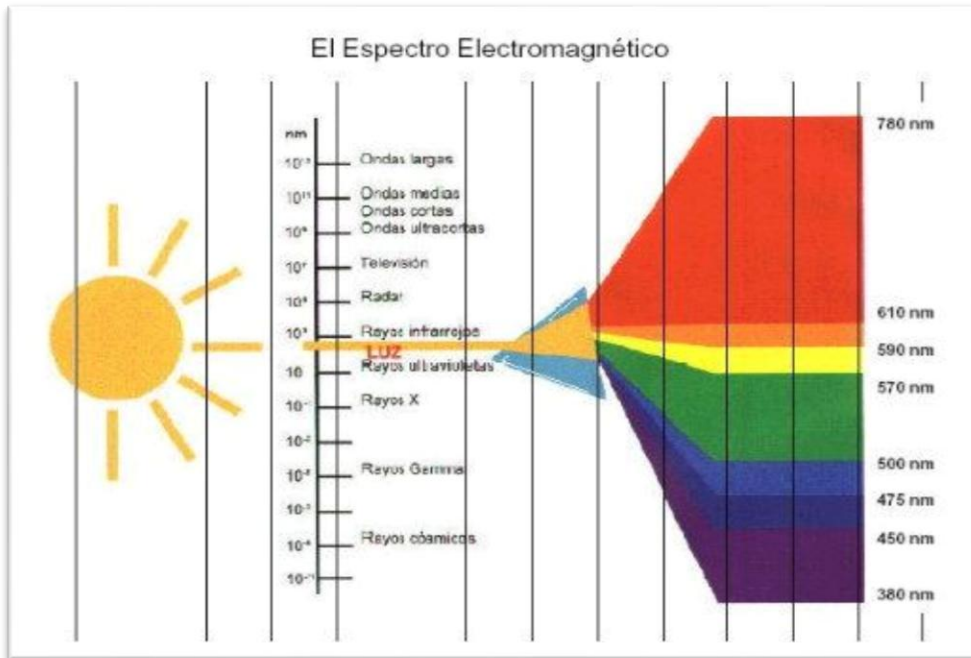
procesos de absorción y emisión, es un fenómeno fotoeléctrico (naturaleza corpuscular).

4.2 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El universo por doquier se encuentra rodeado por Ondas Electromagnéticas de diversas longitudes. La luz es la porción de este espectro que estimula la retina del ojo humano permitiendo la percepción de los colores. Esta región de las ondas electromagnéticas se llama Espectro Visible y ocupa una banda muy estrecha de este espectro.

Cuando la luz es separada en sus diversas longitudes de onda componentes es llamada Espectro. Si se hace pasar la luz por un prisma de vidrio transparente, produce un espectro formado por los colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta. Este fenómeno es causado por las diferencias de sus longitudes de onda. El rojo es la longitud del onda más larga y el violeta la más corta. El ojo humano percibe estas diferentes longitudes de onda como Colores.

Figura 1. El espectro electromagnético.



Fuente: BLOG, ondas mecánicas y electromagnéticas. El espectro electromagnético. Recuperado el 14 de Octubre de 2011, Desde: cgracia61.blogspot.com

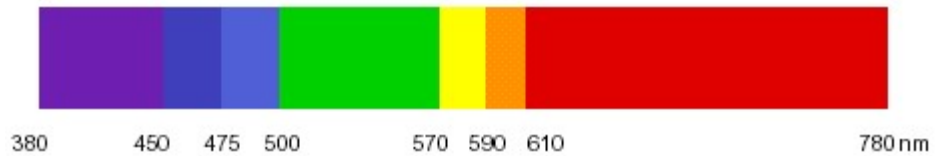
Es importante saber que en realidad esa luz blanca que nos ilumina está compuesta por varios colores, los colores del espectro visible, los colores que el ojo humano puede ver.

Para el luminotécnico será un desafío cotidiano el manejo y conocimiento del espectro de cada una de la fuente de luz, ya que sin ese conocimiento, el mejor de los proyectos resultará un fracaso si el color de los objetos involucrados no es reproducido con la fidelidad necesaria.

4.2.1 El espectro visible.

El espectro visible para el ojo humano es aquel que va desde los 380nm de longitud de onda para el color violeta hasta los 780 nm para el color rojo. Fuera de estos límites, el ojo no percibe ninguna clase de radiación.

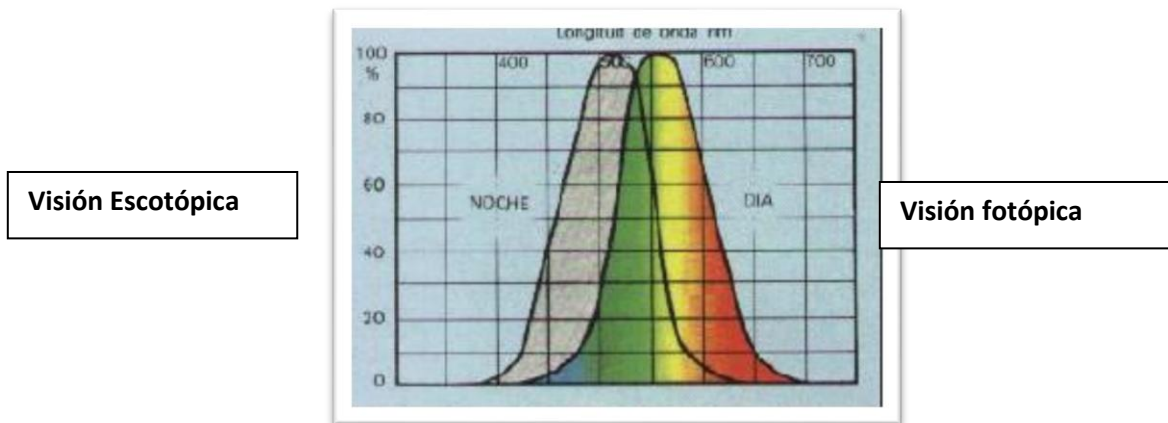
Figura 2. Espectro invisible.



Fuente: EL RINCÓN DE ALBOR. Recuperada el 10 de Octubre de 2011, Desde: fotoavanzada.elrincondealbor.es

La sensibilidad del ojo a las distintas longitudes de onda de la luz del mediodía soleado, suponiendo a todas las radiaciones luminosas de igual energía, se representa mediante una curva denominada “curva de sensibilidad del ojo”.

Figura 3. Curva de sensibilidad del ojo



Fuente: GEOCITIES. Recuperado el 10 de Octubre de 2011, Desde: www.geocities.ws

4.2.2 Curva sensibilidad del ojo y el efecto purkinje.

El ojo tiene su mayor sensibilidad en la longitud de onda de 555 nm que corresponde al color amarillo verdoso y la mínima a los colores rojo y violeta. Esta situación es la que se presenta a la luz del día ó con buena

iluminación y se denomina “visión fotópica” (actúan ambos sensores de la retina: los conos, fundamentalmente sensibles al color y los bastoncillos, sensibles a la luz).

En el crepúsculo y la noche, (visión escotópica) se produce el denominado Efecto Purkinje, que consiste en el desplazamiento de la curva VI hacia las longitudes de onda más bajas, quedando sensibilidad máxima en la longitud de onda de 507 nm. Esto significa que, aunque no hay visión de color, (no trabajan los conos) el ojo se hace relativamente muy sensible a la energía en el extremo azul espectro y casi ciego al rojo; es decir que, durante el Efecto Purkinje, de dos haces de luz de igual intensidad, uno azul y otro rojo, el azul se verá mucho más brillante que el rojo.

Es de suma importancia el tener en cuenta estos efectos cuando se trabaje con baja iluminancias.

Eficiencia Energética y el movimiento verde son el pensamiento estratégico de los gobiernos.

Reducir la huella de carbono es una gran prioridad para los entes educativos, los municipios, las industrias y las entidades prestadoras de servicios públicos. Hay un tremendo empuje hacia eficiencia energética, amigable con el medio ambiente y búsqueda de energías alternativas. Muchas alternativas ecológicas son costosas y económicamente inviables.

4.2.3 Efecto Fotópico y escotópico.

En diseño de iluminación hay dos distintos tipos de lúmenes producidos por una lámpara. El primero es llamado fotópico o lúmenes de diseño, el cual es indicado como el Flujo Luminoso de la lámpara. Representa la sensibilidad

relativa del ojo humano en altas intensidades lumínicas tales como la luz solar en exteriores. Los lúmenes fotópicos es la cantidad de luz registrada por los conos en el ojo humano y por los instrumentos estándar de medición de luz (luxómetros).

El segundo tipo de lúmenes es denominado escotópico, el cual representa la sensibilidad del ojo humano bajo típicas condiciones de baja luminosidad como interiores y exteriores de noche. Esta luminosidad puede se medida con equipos de última generación.

Los lúmenes escotópicos es la cantidad de luz registrada por los bastones en el ojo humano y también controla el tamaño de la pupila, afectando directamente la agudeza visual y la profundidad de campo.

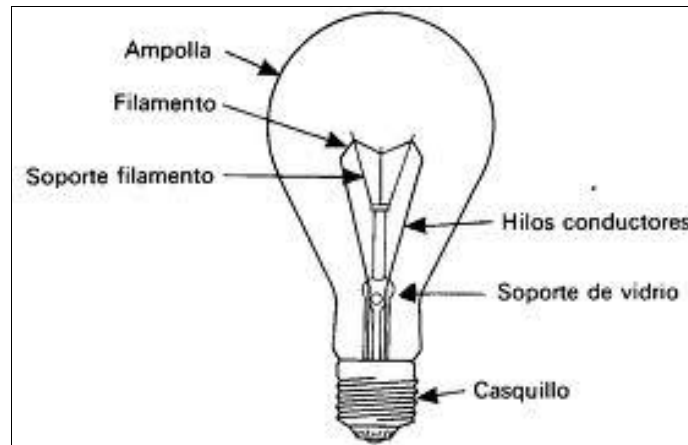
Es por esto que para espacios de iluminación interior y exteriores de noche debe ser aplicado un factor de corrección Escotópico / Fotópico a los lúmenes leídos por los instrumentos. De esta forma se puede determinar la luz efectivamente utilizable producida por una determinada fuente de luz. Esta luminosidad efectivamente visible o utilizable es denominada Pupil Lumens (Plm), siendo ésta más adecuada para comparar diferentes fuentes de iluminación.

4.3 TECNOLOGÍAS TRADICIONALES DE ILUMINACIÓN

Incandescente: es el primer tipo de iluminación masiva fue la más popular hasta la década de 1950, son las más utilizadas principalmente en el sector doméstico debido a su bajo costo también es la menos eficiente por sus pérdidas en calor, su funcionamiento se basa en hacer pasar una corriente eléctrica por un filamento de wolframio hasta que alcanza una temperatura tan elevada que emite

radiaciones visibles por el ojo humano.

Figura 4. Tecnología incandescente.



Fuente: BLOG, Tecnología Xavi. Lámpara Incandescente. Recuperado el 25 de Octubre de 2011, Desde: <http://tecnologiavaxi.blogspot.com/2013/04/parts-duna-bombeta.html>

En 1.950 estudiando la forma de aumentar la vida útil de la bombilla incandescente se desarrolla La incandescencia halógena mejora la vida y la eficacia de las lámparas incandescentes, su costo es mayor y su uso más delicado. Incorporan un gas halógeno para evitar que se evapore el wolframio del filamento y se deposite en la ampolla disminuyendo el flujo útil como ocurre en las Incandescentes estándar.

Figura 5. Tecnología incandescente estándar.



Fuente: ICANDELA. Incandescente estándar. Recuperado el 25 de Octubre de 2011, Desde: http://www.icandela.com/es/notices/2012/09/novedades_osram_halogen_eco_sustituta_natural_de_la_incandescencia_809.php

Lámparas de descarga: es la forma de producir luz más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. La luz se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos, para este método de iluminación se necesita un equipo auxiliar llámese balasta o fuente de poder dentro de este grupo tenemos:

- **Fluorescente Tubular:** se comenzó a utilizar en 1950 son lámparas de vapor de mercurio a baja presión de elevada eficacia y vida. Las cualidades de color y su baja luminancia las hacen idóneas para interiores de altura reducida. Se tienen modelos como las T5 (16 mm de diámetro) con alta eficacia luminosa, que puede alcanzar hasta 104 lm/W.

Figura 6. Tecnología fluorescente tubular.



Fuente: CLASES DE LÁMPARAS. Fluorescente tubular. Recuperado el 25 de Octubre de 2011,
Desde: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-clases.html>

- Fluorescente compacta o ahorradores: su funcionamiento es el mismo que las lámparas fluorescentes tubulares y están formadas por uno o varios tubos fluorescentes doblados, algunas de estas lámparas compactas llevan el equipo auxiliar incorporado y pueden sustituir directamente a las lámparas incandescentes en su portalámparas.

Figura 7. Tecnología fluorescente compacta o ahorradores



Fuente: CLASES DE LÁMPARAS. Fluorescente compacta (ahorradores) Recuperado el 25 de Octubre de 2011, Desde: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-clases.html>

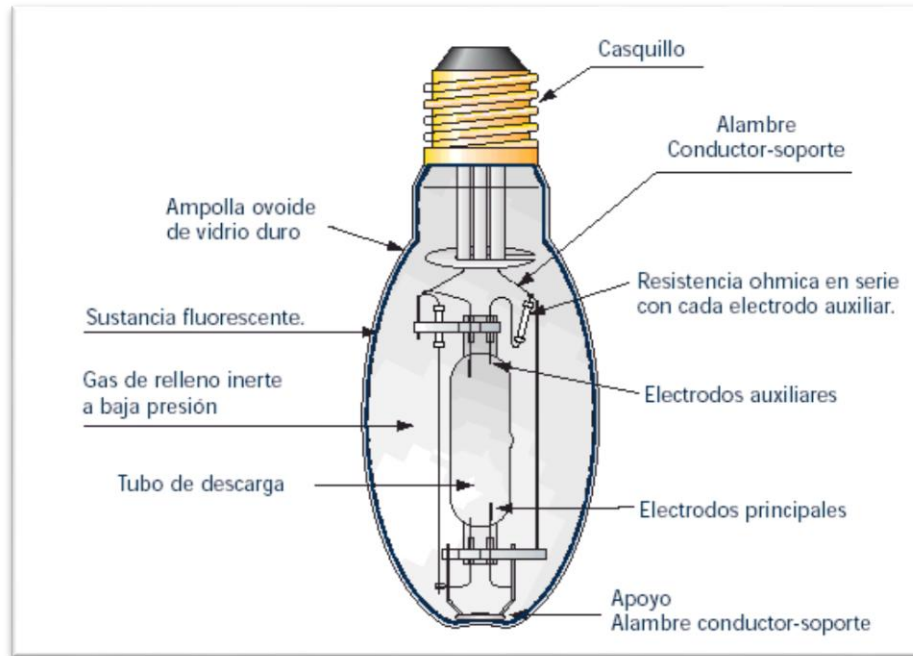
- Lámparas fluorescentes sin electrodos o de Inducción: desarrollada en 1890 por Tesla. con Patentes desde 1967 y está disponible comercialmente desde 1990, esta tecnología emite la luz mediante la transmisión de energía en presencia de un campo magnético, junto con una descarga en gas, la larga vida (1000.000 h) limitada sólo por los componentes electrónicos.

Alta Intensidad de Descarga (HID): Con esta tecnología obtenemos grandes potencias lumínicas fotópicas entre ellas tenemos:

- **Lámparas de vapor de mercurio a alta presión:** consiste en un tubo de descarga de Cuarzo relleno de vapor de Mercurio tiene dos electrodos principales y uno auxiliar para el arranque, La luz que emite es color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas, se le adicionan sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro, así se

mejoran las características cromáticas de la lámpara.

Figura 8. Lámpara de vapor de mercurios a alta presión.



Fuente: CLASES DE LÁMPARAS. Lámpara de vapor de mercurio. Recuperado el 25 de Octubre de 2011, Desde: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-clases.html>

- Lámparas de luz Mixta: un tubo de descarga en mercurio, hecho de cuarzo conectado en serie con un filamento de tungsteno, este filamento funciona como fuente de luz incandescente y al mismo tiempo, como reactancia para el tubo de descarga en mercurio ya que limita la corriente de la lámpara, la ampolla exterior de la lámpara tiene una capa interior correctora, que mejora la reproducción de la luz de ambas fuentes siendo el resultado una luz difusa, su principal característica es de no requerir equipo auxiliar, el tiempo necesario para que la lámpara alcance el 90% de su flujo máximo es 4 minutos, su vida útil se ve afectada por las variaciones de voltaje de la red donde este instalada.

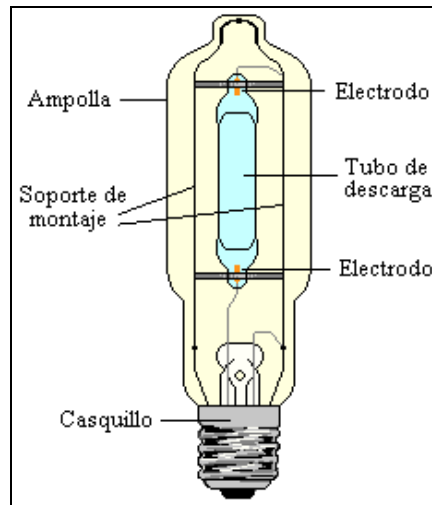
Figura 9. Lámparas de luz mixta.



Fuente: CLASES DE LÁMPARAS. Lámparas de luz mixta. Recuperado el 25 de Octubre de 2011, Desde: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-clases.html>

- *Metal Halide. Halogenuros metálicos (MH):* Similar a la de vapor de mercurio, pero con yoduros metálicos adicionales (sodio, talio, indio) para crear luz blanca por lo que mejoran considerablemente la capacidad de reproducir el color, cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro (por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio)., más utilizados en estacionamientos, tiene una vida más corta que el sodio, la depreciación lumínica es moderada.

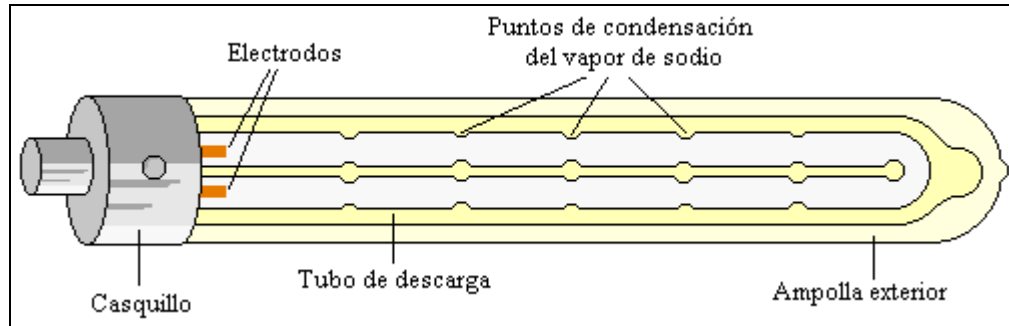
Figura 10. Metal halide.



Fuente: CLASES DE LÁMPARAS. Metal halide. Recuperado el 25 de Octubre de 2011, Desde: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-clases.html>

- Lámparas de vapor de sodio a baja presión: en estas lámparas se origina la descarga eléctrica en un tubo de vapor de sodio a baja presión produciéndose una radiación prácticamente monocromática. Actualmente son las lámparas más eficaces del mercado, es decir, sin embargo, su uso está limitado a aplicaciones en las que el color de la luz (amarillento en este caso) no sea relevante, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos.

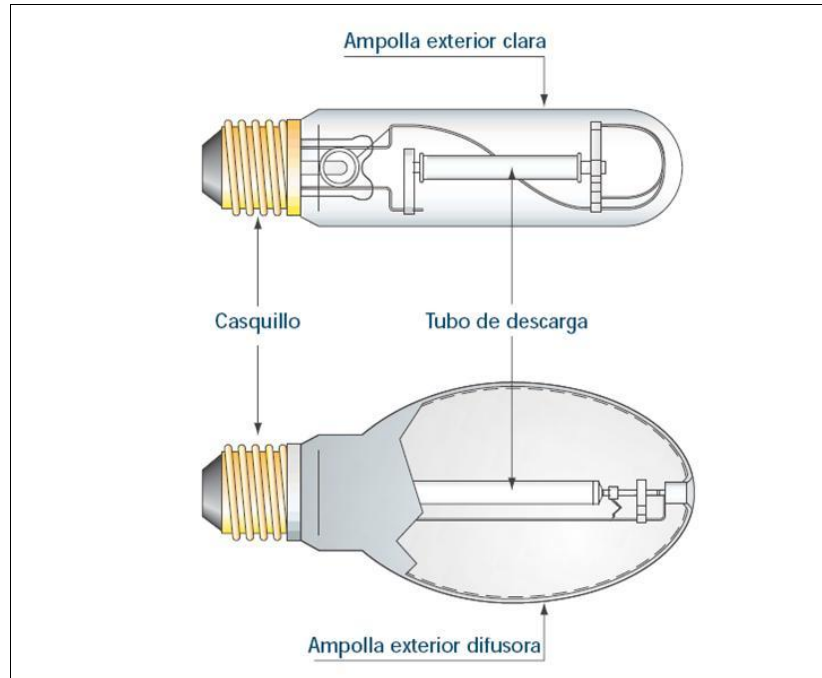
Figura 11. Lámparas de vapor de sodio a baja presión.



Fuente: CLASES DE LÁMPARAS. Lámparas de vapor de sodio a baja presión. Recuperado el 25 de Octubre de 2011, Desde: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-clases.html>

- **Sodio de alta presión:** desarrollado a principios de 1970. más eficiente que MH. Color ámbar, con bajo índice de reproducción del color, la depreciación lumínica es elevada, estas lámparas mejoran la reproducción cromática con respecto a las de baja presión y, aunque la eficacia disminuye su valor, sigue siendo alto comparado con otros tipos de lámparas. Su tamaño hace que el conjunto óptica-lámpara sea muy eficiente. Existe una tipología con mayor nivel de presión denominada Sodio Blanco el cual proporciona la mayor reproducción cromática que las lámparas de sodio tradicionales con eficacia menor. Estas lámparas se emplean en aplicaciones que requieran mayor índice de reproducción cromática.

Figura 12. Lámparas de sodio de alta presión.



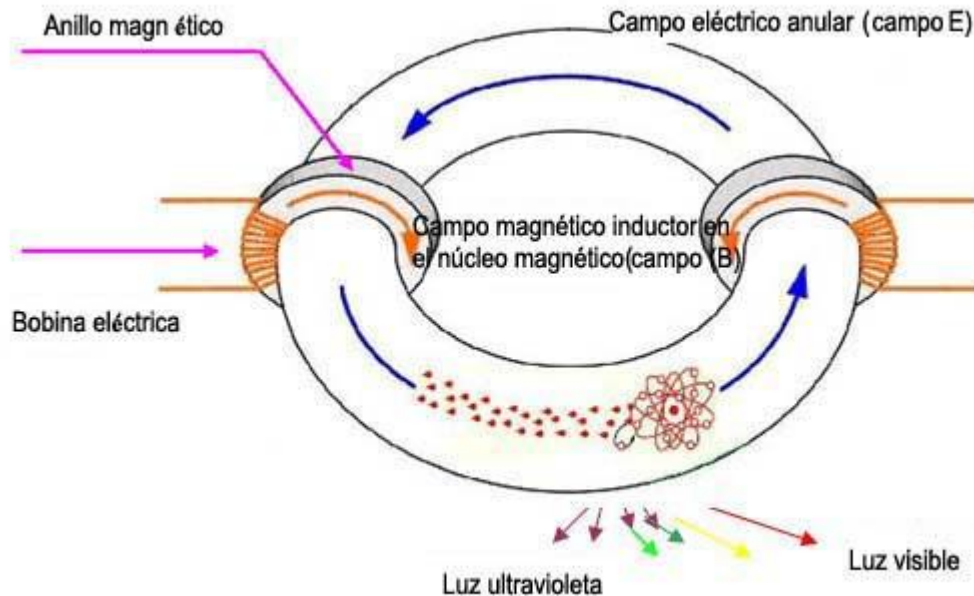
Fuente: ILUMINACIÓN DE INTERIORES. Lámpara de sodio de alta presión. Recuperado el 25 de Septiembre de 2011, Desde: <http://iluminaciondeinteriores.blogspot.com/2009/03/lampara-de-sodio-de-alta-presion.html>

- **Lámparas de inducción:** La tecnología básica de las lámparas de inducción no es particularmente nueva, se basa en un desarrollo de mejoramiento realizado en 1.967 por un fabricante de lámparas fluorescentes, la lámpara se basa en los principios fundamentales de la inducción electromagnética y de descarga de gas para crear la luz. La eliminación de los filamentos y los electrodos en una lámpara alargan su vida útil en gran medida.

Su principio de funcionamiento es el mismo del transformador una corriente alterna (IP) en la bobina primaria induce un campo magnético alterno en el núcleo y el espacio circundante. Este campo magnético a su vez induce una

corriente de la misma frecuencia (es) en la bobina secundaria. Cuanto mayor sea la frecuencia de la corriente alterna, mayor es la eficiencia global el sistema, y el más compacto que el sistema puede ser.

Figura 13. Principios de funcionamiento iluminación de inducción.



Fuente: GLOBEDIA, Lámparas con tecnología de Inducción Magnética, alternativa para el ahorro de energía. Recuperado el 29 de Mayo de 2013, Desde: <http://co.globedia.com/lamparas-tecnologia-induccion-magnetica-alternativa-ahorro-energia>.

Mediante la fuente de potencia de alta frecuencia envíanos un voltaje constante hacia los 2 toroides, que son los encargados de producir el campo magnético alrededor del tubo de vidrio, de esta forma creamos un fuerte campo magnético estático en el espacio de descarga del tubo de vidrio, la ruta circular en forma un circuito cerrado, genera la aceleración de los electrones libres que choquen con los átomos de mercurio, permiten que el gas que se encuentra al vacío dentro del bulbo genere una reacción e ionización del mismo, formando un plasma. Cuando los átomos de plasma reaccionan, la energía obtenida

anteriormente se irradia en forma de 253.7nm de radiación ultravioleta, cumpliendo con el proceso de transformación de la energía. Entonces, el fósforo tricolor que posee el bulbo en su superficie interna, será estimulado lo que permitirá emitir una luz visible.

LED (Lighting Emitting Diode): compuesto por materiales semiconductores, emiten su flujo luminoso cuando un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido. el primer LED que emitía en el espectro visible fue desarrollado por el ingeniero de General Electric Nick Holonyak en 1962. Esta tecnología es el objeto de nuestro proyecto y más adelante describiremos completamente su funcionamiento y características.

Figura 14. Lámpara LED (*Lighting Emitting Diode*)



Fuente: OLX. Características de las lámparas LED. Recuperado el 29 de Mayo de 2013, Desde: <http://maracaibo.olx.com.ve/bombillos-led-y-lamparas-led-grupo-sol-tsoi-iiid-95670808>

4.4 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS

Tabla 2. Evaluación comparativa de luminarias

CARACTERÍSTICA	LUMINARIA VSAP (250W)	LUMINARIA MIM (100W)	LUMINARIA LED (120W)
Rendimiento color CRI Ra)	40	80	75
Temperatura de color (°K)	2100 a 3500	4100 a 5500	2800 a 7000
Rendimiento luminoso (lm/W)	130	80	110
Factor de corrección por percepción visual	0,76	1,62	2
Rendimiento luminoso percibido (plm/W)	98,8	129,6	220
Coefficiente de iluminación (%)	70	90	99
Factor de mantenimiento	0,85	0,9	0,99
Vida útil promedio (hs)	25	>60.000	>100.000
Degradación durante vida útil (%)	60	50	50
Parpadeo	SI	NO	NO
Flujo luminoso instantáneo	NO	NO	SI
Estabilización luego de encendido (minutos)	15	10	0
Efecto encendido/apagado sobre vida útil	Acortan	Sin efecto	Sin efecto
Variación admitida tensión de línea (V)	210 a 230	208 a 277	87 a 264
Variación admitida frecuencia de línea (Hz)	48 a 52	50 a 60	47 a 63
Temperatura máx. en funcionamiento (°C)	600	120	60

CARACTERÍSTICA	LUMINARIA VSAP (250W)	LUMINARIA MIM (100W)	LUMINARIA LED (120W)
Atracción de insectos y generación de “carbonilla”	Alta	Media	NO
Factor de potencia	0,95	0,97	0,98
Contaminación luminosa	Alta	Media	Muy baja
Circuito de control de tensión	SI	Si	Si
Circuito auxiliar para arranque	SI	NO	NO
Circuito auxiliar durante operación	SI	SI	NO
Módulos potencialmente peligrosos	SI	Si	NO
Consecuencia mal funcionamiento mód. Pel.	F. De potencia	Inter.RF	No aplicable
Rendimiento energético (%)	40	70	>80
Fuera de servicio por lámpara	SI	SI	NO
Robustez mecánica	Media	Media	Muy alta

4.5 CARACTERÍSTICAS DE LA ILUMINACIÓN TIPO LED

4.5.1 ¿Qué es iluminación tipo LED?

Es una tecnología basada en la generación de luz en forma directa por excitación de los electrones de los átomos del semiconductor del LED, los que, al alcanzar la energía necesaria, se desprenden en forma de fotones (“partículas atómicas de luz”).

Una lámpara de led 1 es una lámpara de estado sólido que usa leds 2 (*Light-Emitting Diode*, Diodos Emisores de Luz) como fuente luminosa. Debido a que la luz capaz de emitir un led no es muy intensa, para alcanzar la intensidad luminosa similar a las otras lámparas existentes como las incandescentes o las fluorescentes compactas, las lámparas LED están compuestas por agrupaciones de leds, en mayor o menor número, según la intensidad luminosa deseada.

Actualmente las lámparas de led se pueden usar para cualquier aplicación comercial, desde el alumbrado decorativo hasta el de viales y jardines, presentado ciertas ventajas, entre las que destacan su considerable ahorro energético, arranque instantáneo, aguante a los encendidos y apagados continuos y su mayor vida útil, pero también con ciertos inconvenientes como su elevado costo inicial.

Los diodos funcionan con energía eléctrica de corriente continua (CC), de modo que las lámparas de LED deben incluir circuitos internos para operar desde el voltaje CA estándar. Los leds se dañan a altas temperaturas, por lo que las lámparas de LED tienen elementos de gestión del calor, tales como disipadores y aletas de refrigeración. Las lámparas de LED tienen una vida útil larga y una gran eficiencia energética, pero los costos iniciales son más altos que los de las lámparas fluorescentes.

Figura 15. Tipos de luminarias tipo LED



Fuente: Iluminet. Alumbrado público tipo LED. Recuperado el 10 de Octubre de 2011. Desde: <http://www.iluminet.com/luminarios-alumbrado-publico-leds/>

Figura 16. Alumbrado Público Led



Fuente: Iluminet. Luminarios para alumbrado público de vialidades con módulos de LEDs. Recuperado el 10 de Octubre de 2011. Desde: <http://www.iluminet.com/luminarios-alumbrado-publico-leds/>

Figura 17. Autopista 1 con luminarias tipo led.



Fuente: Iluminet. Alumbrado público tipo LED. Recuperado el 10 de Octubre de 2011. Desde: <http://www.iluminet.com/workshop-led-doe/>

Figura 18. Autopista 2 con luminarias tipo LED.



Fuente: Skyscrapercity. LED, La iluminación del futuro. Recuperado el 12 de Octubre de 2011, Desde: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1145643>

Figura 19. Lámpara de dos pines led.



Fuente: OFILED. Lámparas de dos pines. Recuperado el 10 de Octubre de 2011, Desde: <http://www.ofiled.com/lamparas-led>

4.5.2 Características y beneficios de la iluminación tipo LED en instalaciones de alumbrado exterior

- Eficiencia y ahorro energético
- Mejora de la competitividad, modernización en los sistemas de gestión.
- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.
- Reducción de los costos ocasionados por el consumo eléctrico.
- Prevención y limitación de riesgos
- Protección a personas, flora, fauna, bienes y medio ambiente.
- Tecnología de última generación y no adaptación de las antiguas.
- Por su forma de funcionamiento, convierten en luz prácticamente toda la energía que consumen por tal motivo producen muy poco calor.
- No atraen insectos.
- No hay zócalos, cables o circuitos quemados.
- No producen “carbonilla”.

- Realmente libres de mantenimiento.
- Mantienen su rendimiento luminoso para variaciones de frecuencia y de tensión de alimentación del orden del 20%.
- No parpadean.
- No las afectan los ciclos de encendido y apagado. No necesitan “arrancar”, por lo que no requieren complejos circuitos especiales que consuman energía y agreguen motivos de falla.
- No necesitan circuitos adicionales para aprovechar toda la energía suministrada por la red eléctrica (factor de potencia > 0.95).
- No requieren generadores de RF, ni producen interferencias electromagnéticas.
- No requieren cables especiales ni instalaciones complicadas.
- Plena luminosidad inmediata sin tiempos de estabilización.
- Inmunes a la posición de funcionamiento.
- Más de 50,000 horas con rendimiento lumínico dentro del 80%.
- Incorpora por “filosofía” funcional, respaldo reducido de iluminación.
- Tiempo promedio para reparar: 10 min.
- Acepta control sencillo de intensidad luminosa.
- Altamente resistentes a impactos, vibraciones y cargas mecánicas.
- Rendimiento luminoso muy alto (110 lumen/w).
- Internacionalmente amortizan su valor en corto tiempo (7,000 h (< 2 años a 10 h/día)).
- Ecológicas durante su vida operativa.
- Ecológicas al terminar su vida útil (aluminio, plástico y vidrio, fácilmente separables y reciclables).
- Presentan un muy buen rendimiento de color y el factor “*pupil-lumens*” más alto de la industria.
- Ideales para uso en ambientes explosivos por su bajísima temperatura de funcionamiento y la ausencia de balastos y generadores.

4.5.3 Aplicaciones

- Alumbrado público de autopistas, avenidas, calles principales y secundarias.
- Iluminación en túneles, caminos y puentes.
- Iluminación de playas de estacionamiento, maniobras, descarga, muelles, etc.
- Iluminación de calles y áreas especiales en barrios privados, clubes, fábricas, etc.
- Iluminación en hipermercados, centros comerciales, exposiciones, etc.
- Iluminación en ambientes explosivos.

4.6 LÚMENES A LA PUPILA

El estado de ánimo de las personas es influido por factores como: la iluminación, la contaminación sonora, el clima, el término luz tiene origen en el latín Lux y podemos decir que es el segmento de la radiación electromagnética que puede ser percibida en el ojo humano, describir la luz como emisión Lúmenes y medirla como Candelas por pie cuadrado en un plano de trabajo han sido las formas tradicionales de describir y definir la cantidad de luz que es necesaria para realizar una variedad de tareas. Sin embargo este concepto está siendo re-examinado sobre la base de resultados de los estudios realizados en la inspección visual de desempeño y los impactos psicológicos de la iluminación en los seres vivos. Además, el índice de reproducción del Color (CRI) y la temperatura de color correlacionada (CCT) describen la calidad de la luz (en relación con el número de colores verdaderos que aparecen en comparación con los obtenidos por un cielo del mediodía hacia el norte en un día claro). Como la tecnología de iluminación se convierte en diversos tipos y colores, no podemos simplemente medir la cantidad de luz para predecir la ergonomía

visual de las personas. El ejemplo más notable lo tenemos con las lámparas HID Sodio que nos produce muchos Lúmenes, pero sólo dos colores (amarillo y gris), la capacidad de distinguir los detalles, más allá de las formas de los objetos se pierde en este sistema de iluminación, en condiciones de bajos niveles de iluminación, nuestros ojos se dilatan para permitir que ingrese más luz, los Luxómetros y las recomendaciones de iluminación han sido establecidos para las condiciones de visualización al medio día relacionadas más arriba.

En general la iluminación interior está basada en la respuesta fotópica del ojo, sin embargo los estudios demuestran que la visión escotópica está más implicada de lo que se pensaba en la iluminación interior y afecta la obturación del tamaño de la pupila.

En las recientes conferencias internacionales, algunos expositores han sugerido a los diseñadores especificar el porcentaje de relación fotópica /escotópica (P/S) de las lámparas con el fin de obtener un mejor diseño, con eficiencia y ergonomía visual de los ocupantes.

Sam Berman: es actualmente emérito científico sénior en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, fue el creador y el primer líder del programa de investigación de la iluminación, fue profesor de física en la Universidad de Stamford, donde fue miembro del equipo que fundó el Acelerador Lineal de Stamford. El expresa en la siguiente tabla que los lúmenes efectivos al ojo se perciben de la visión basada en el tamaño de la pupila y el efecto sobre la visión.

Tabla 3. Factores de Corrección de Lúmenes a Lúmenes a la Pupila.

<i>Light source</i>	<i>Conventional lumens per watt</i>	<i>Correction factor (P/S ratio)</i>	<i>Pupil lumens per watt</i>
<i>Low-pressure sodium</i>	165	0.38	63
<i>5,000-K T5 fluorescent</i>	104	1.83	190
<i>4,100-K T8 fluorescent</i>	90	1.62	145
<i>Clear metal halide</i>	85	1.49	126
<i>5000-K PowerTube® Lamp</i>	80	1.62	129
<i>5,000-K pure triphosphor fluorescent</i>	70	1.58	111
<i>3,500-K triphosphor fluorescent</i>	69	1.24	85
<i>50-watt high-pressure sodium</i>	65	0.76	49
<i>2,900-K warm white fluorescent</i>	65	0.98	64
<i>Daylight fluorescent</i>	55	1.72	95
<i>35-watt high-pressure sodium</i>	55	0.57	31
<i>5,000-I 90 CRI fluorescent</i>	46	1.7	78
<i>Vitalite fluorescent</i>	46	1.71	79
<i>Deluxe mercury vapour</i>	40	0.86	34
<i>Standard incandescent</i>	15	1.26	19
<i>Tungsten halogen</i>	22	1.32	29

Fuente: ENERGY PARTHERS. Sistema de inducción de iluminación. Recuperado el 20 de Octubre de 2011, Desde: <http://www.energy-partnership.com/induction-specification.php>

Los factores de conversión de lúmenes a pupil lúmenes Corrección aplicada a los valores convencionales de lúmenes por vatio producen un valor para el pupil lúmen por vatio, que es una medida de la eficacia con que el ojo ve la luz que se emite. La pupila es más receptiva a la luz en el extremo azul del espectro.

5. METODOLOGIA

Se realiza investigación general sobre los aspectos relevantes de la iluminación principios generales, aspectos fisiológicos, psicológicos y diferentes posibilidades técnicas de fuentes luminosas a lo largo de la historia del hombre.

Nos focalizaremos en el estudio y aplicación de la tecnología de mayor proyección, como es la iluminación de LED, para justificar la implementación en la IUPB realizando un estudio económico para el cambio general del alumbrado público interno.

6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

Figura 20. Detalle luminaria plazoleta



Fuente: Fotografía tomada en las Instalaciones de la Institución Universitaria Pascual Bravo

Figura 21. Área de influencia del proyecto con luminaria tipo LED Bloque 3A



Fuente: Fotografía tomada en las Instalaciones de la Institución Universitaria Pascual Bravo

Figura 22. Detalle de luminaria de corredor peatonal Bloque 3A



Fuente: Fotografía tomada en las Instalaciones de la Institución Universitaria Pascual Bravo

Figura 23. Iluminación sector salida lateral del bloque 3A del fotografía tomada a las 8:30 pm.



Fuente: Fotografía tomada en las Instalaciones de la Institución Universitaria Pascual Bravo

6.2 MODELO A SER INSTALADO EN JARDÍN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO

Figura 24. Tipo de luminaria a instalar en el Jardín Bloque 3 (Luminaria 43 W).



Fuente: EL INMOBILIARIO. Luminaria 43W. Recuperado el 10 de Octubre de 2011, Desde: www.elinmobiliario.com

Figura 25. Luminarias para poste tipo led.



Fuente: EL INMOBILIARIO. Luminaria 43W. Recuperado el 10 de Octubre de 2011, Desde: www.elinmobiliario.com

Figura 26. Photometrics

Scalable Cobrahead (ERS1)

ISO Plot

Grid Distance in Units of
Mounting Height at 30° Initial
Footcandle Values at Grade

ERS1

Extra Narrow Asymmetric

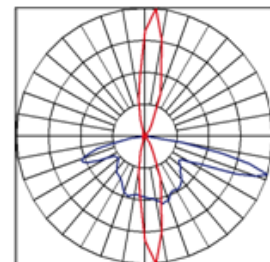
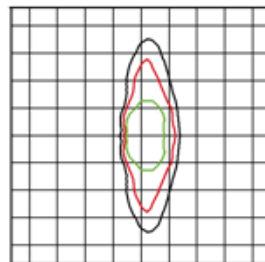
Medium

(CXAX)

5,500 Lúmenes

5700K

GE454891.ies



ERS1

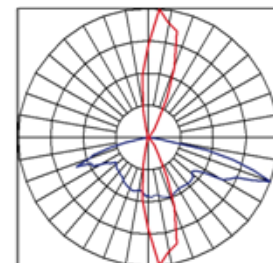
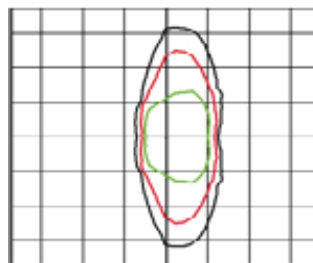
Narrow Asymmetric Medium

(CXBX)

5,700 Lumens

5700K

GE454666.ies



ERS1

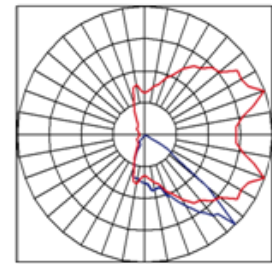
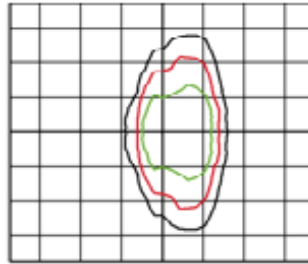
Asymmetric Short

(CXCX)

5,600 Lumens

5700K

GE454665.ies



ERS1

Asymmetric Forward Very

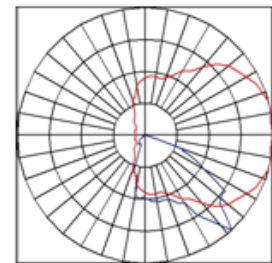
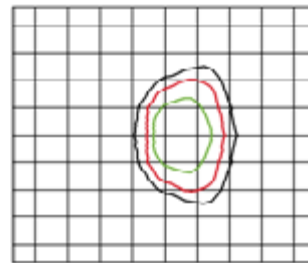
Short

(CXDX)

5,700 Lumens

5700K

GE454897.ies



ERS1

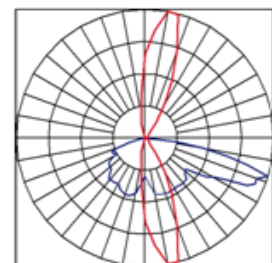
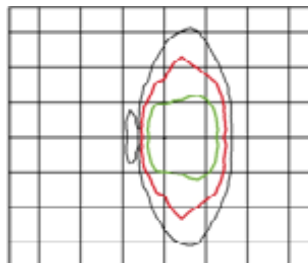
Asymmetric Medium

(CXEX)

5,400 Lumens

5700K

GE454646.ies



6.3 CÁLCULOS ILUMINACIÓN JARDÍN BLOQUE 3 CON SOFTWARE DIALUX

Figura 27. Imágenes tomadas del software Dialux.

JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO

PASCUAL BRAVO

INTELEC

BELLO



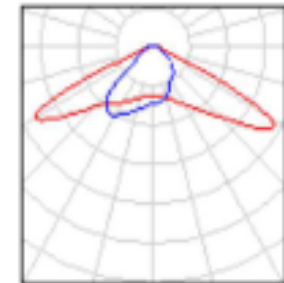
23.05.2013

Proyecto elaborado por RAMIRO PULGARIN
Teléfono (4)
Fax
e-Mail INTELEC2@HOTMAIL.COM

LED DE 30W / Lista de luminarias

4 Pieza JRA1-30-OS JRA1-30-OS
N° de artículo: JRA1-30-OS
Flujo luminoso (Luminaria): 2421 lm
Flujo luminoso (Lámparas): 2416 lm
Potencia de las luminarias: 32.1 W
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 37 81 96 100 100
Lámpara: 1 x Definido por el usuario (Factor de corrección 1.000).

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.



JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO

Proyecto1

INTELEC

BELLO



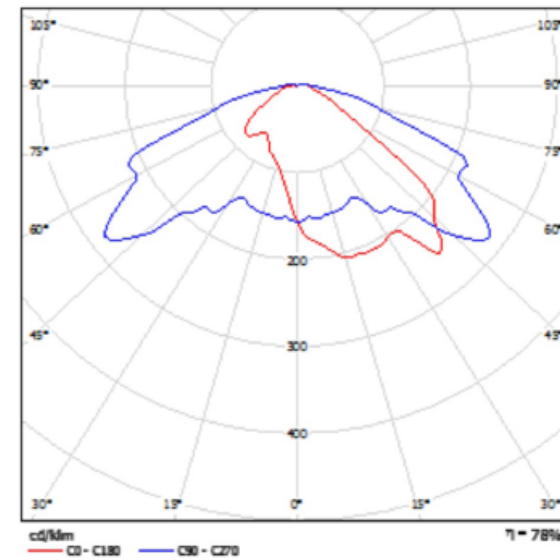
16.05.2013

Proyecto elaborado por RAMIRO PULGARIN
Teléfono (4)
Fax
e-Mail INTELEC2@HOTMAIL.COM

American Electric Lighting 115 07S R2 DG 115 SERIES 70W HPS TYPE 2 SHORT CUTOFF / Hoja de datos de luminarias

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.

Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 97
Código CIE Flux: 34 69 94 97 78

Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.

JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO

PASCUAL BRAVO

INTELEC

BELLO

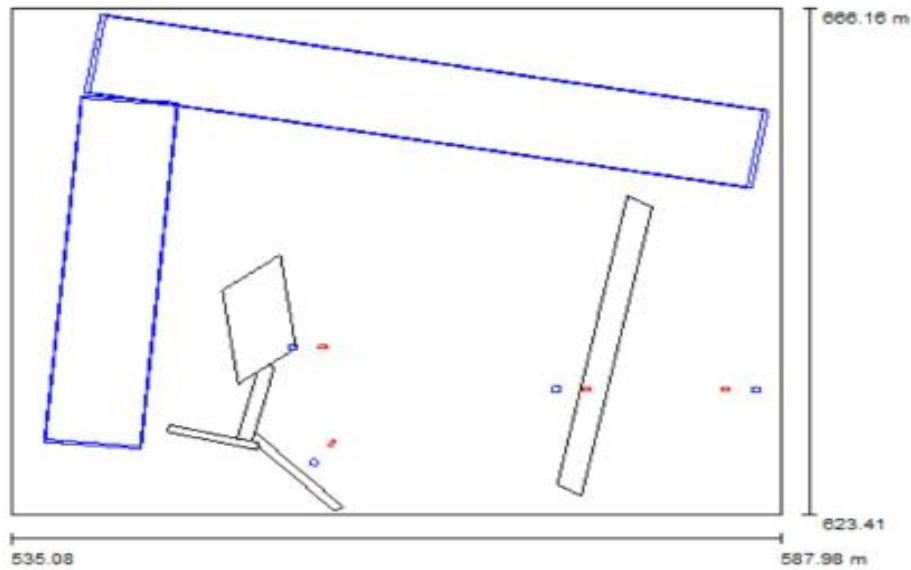


23.05.2013

Proyecto elaborado por RAMIRO PULGARIN
Teléfono (4)

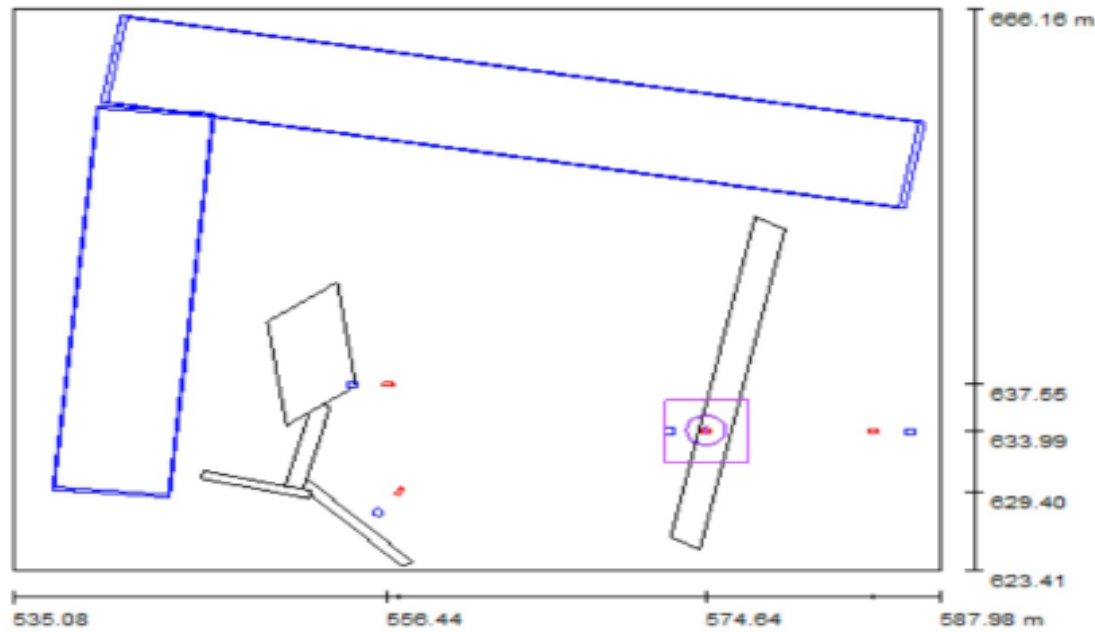
Fax
e-Mail INTELEC2@HOTMAIL.COM

LED DE 30W / Planta



Escala 1 : 500

LED DE 30W / Trama de cálculo (lista de coordenadas)



Escala 1 : 500

Lista de tramas de cálculo

N°	Designación	Posición [m]			Tamaño [m]		Rotación [°]		
		X	Y	Z	L	A	X	Y	Z
1	Trama de cálculo 1	574.704	634.002	0.000	4.760	4.756	0.0	0.0	0.0

JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO
PASCUAL BRAVO

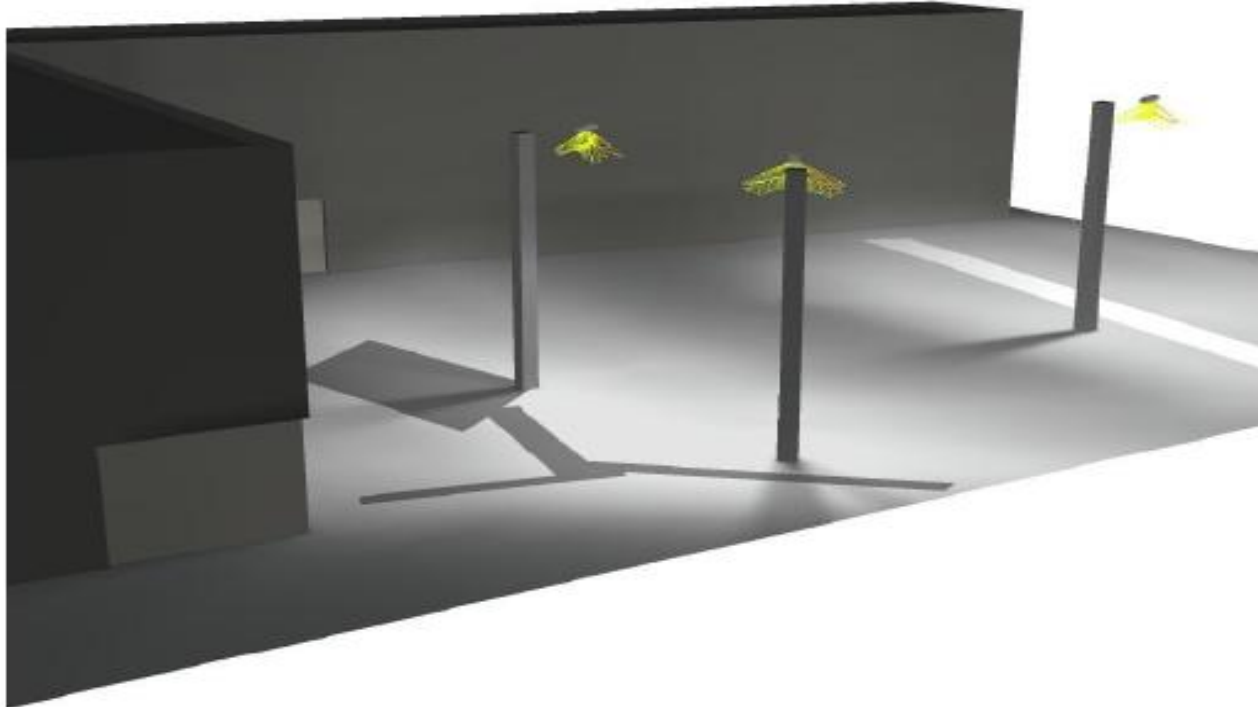
INTELEC
BELLO



23.05.2013

Proyecto elaborado por RAMIRO PULGARIN
Teléfono (4)
Fax
e-Mail INTELEC2@HOTMAIL.COM

LED DE 30W / Rendering (rocesado) en 3D

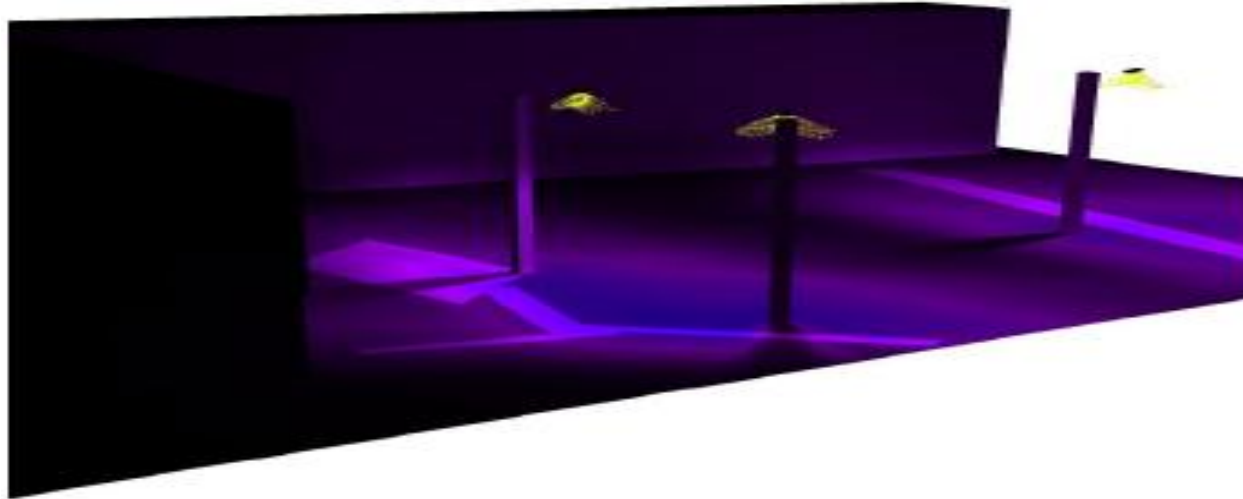


JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO
PASCUAL BRAVO
INTELEC
BELLO

Proyecto elaborado por RAMIRO PULGARIN
Teléfono (4)
Fax
e-Mail INTELEC2@HOTMAIL.COM

23.05.2013

LED DE 30W / Rendering (rocesado) de colores alsos



JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO

Proyecto1

16.05.2013

INTELEC

Proyecto elaborado por RAMIRO PULGARIN

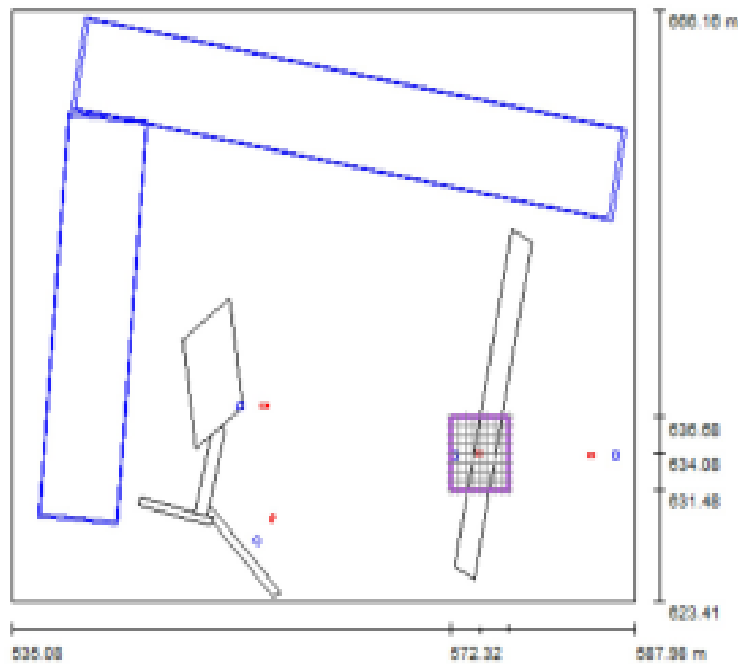
Teléfono (4)

Fax

e-Mail INTELEC2@HOTMAIL.COM

BELLO

LED DE 30W / Trama de cálculo 1 / Resumen



Escala 1 : 500

Posición: (574.784 m, 634.080 m, 0.000 m)

Tamaño: (4.919 m, 5.201 m)

Rotación: (0.0°, 0.0°, 0.0°)

Tipo: Normal, Trama: 9 x 9 Puntos

Sumario de los resultados

N°	Tipo	E_{in} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{in}	E_{min} / E_{max}	E_{hor} / E_{in}	H [m]	Cámara
1	horizontal	11	0.80	13	0.07	0.06	/	0.000	/
2	vertical, 0.0°	5.97	0.49	7.25	0.08	0.07	1.92	1.000	/

E_{hor} / E_{in} = Relación entre la intensidad lumínica central horizontal y vertical, H = Medición altura

JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO
 PASCUAL BRAVO

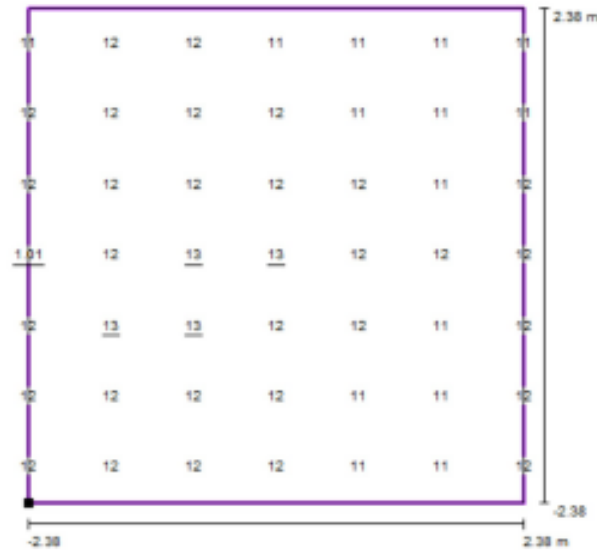
INTELEC
 BELLO



23.05.2013

Proyecto elaborado por RAMIRO PULGARIN
 Teléfono: (4)
 Fax:
 e-Mail: INTELEC2@HOTMAIL.COM

LED DE 30W / Trama de cálculo 1 / Gráfico de valores (E, horizontal)



Valores en Lux, Escala 1 : 50

Situación de la superficie en la escena exterior.
 Punto marcado: (572.324 m, 631.624 m, 0.000 m)



Trama: 7 x 7 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
12	1.01	13	0.09	0.08

JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO

PASCUAL BRAVO

INTELEC

BELLO



23.05.2013

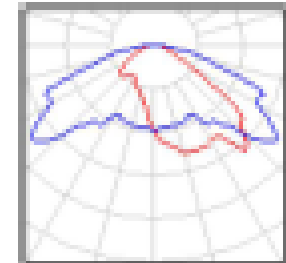
Proyecto elaborado por RAMIRO PULGARIN
Teléfono (4)
Fax
e-Mail INTELEC2@HOTMAIL.COM

REPLA O 0 SP / Lista de luminarias

4 Pieza

American Electric Lighting 115 07S R2 DG 115
SERIES 70W HPS TYPE 2 SHORT CUTOFF
N° de artículo: 115 07S R2 DG
Flujo luminoso (Luminaria): 4994 lm
Flujo luminoso (Lámparas): 6400 lm
Potencia de las luminarias: 70.0 W
Clasificación luminarias según CIE: 97
Código CIE Flux: 34 69 94 97 78
Lámpara: 1 x ONE 70-WATT CLEAR ED-23.5
HIGH PRESSURE SODIUM, TILTED 5-DEGREES
ABOVE HORIZONTAL POSITION. (Factor de
corrección 1.000).

Dispone de una imagen
de la luminaria en
nuestro catálogo de
luminarias.



JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO

PASCUAL BRAVO

INTELEC

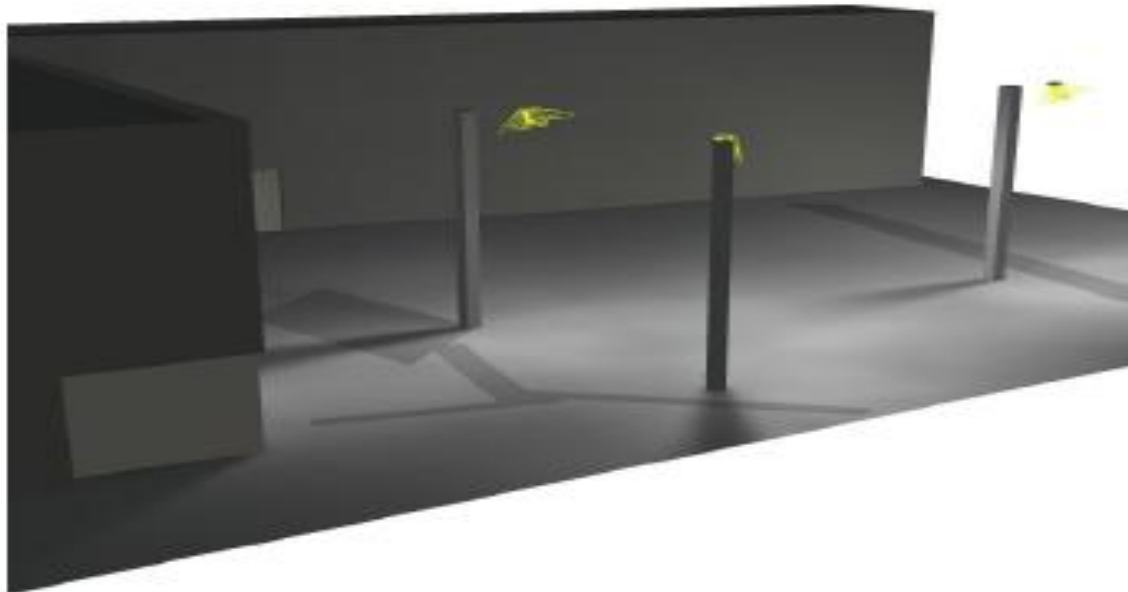
BELLO



23.05.2013

Proyecto elaborado por RAMIRO FULGARIN
Teléfono (4)
Fax
e-Mail INTELEC2@HOTMAIL.COM

REPLAZO 70 HSP / Rendering (procesado) en 3D



JARDIN BLOQUE 3 PASCUAL BRAVO

PASCUAL BRAVO

INTELEC

BELLO



23.05.2013

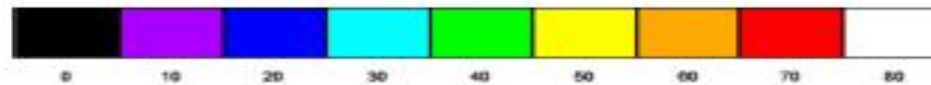
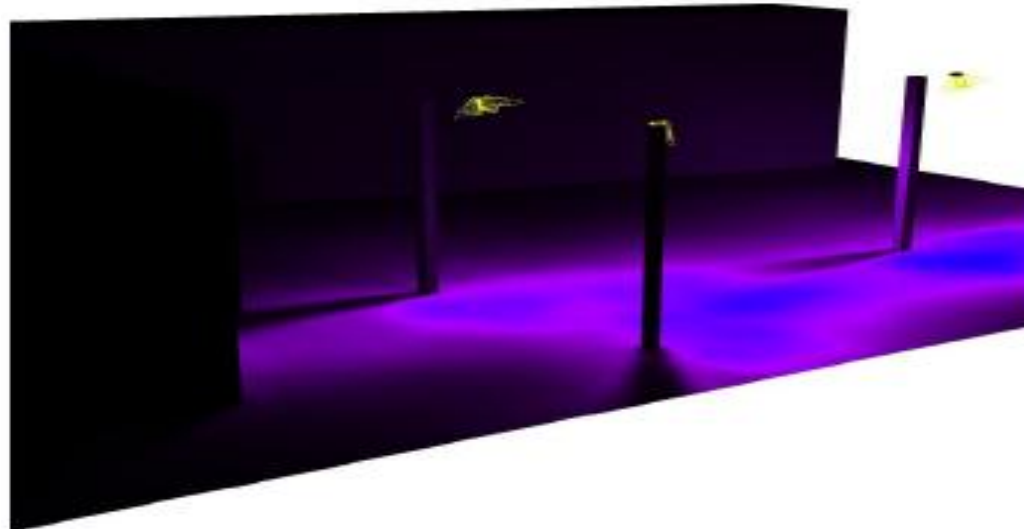
Proyecto elaborado por RAMIRO PULGARIN

Teléfono (4)

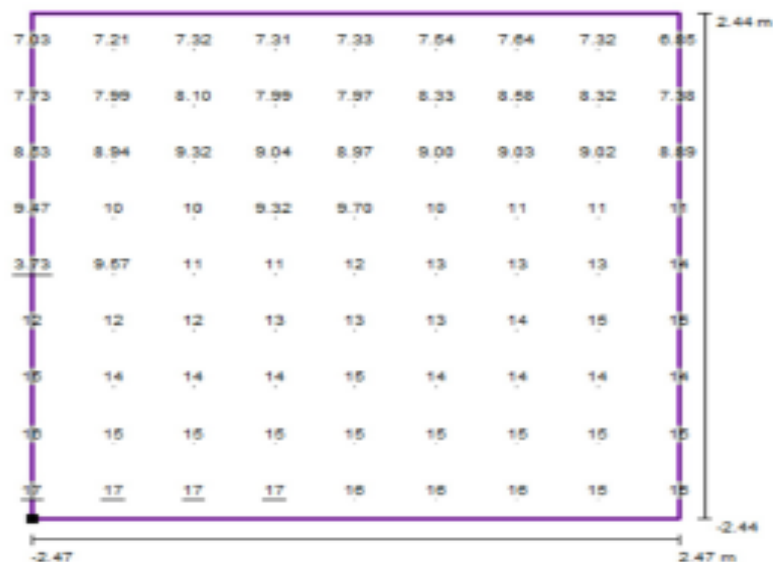
Fax

e-Mail INTELEC2@HOTMAIL.COM

REPLAZO 70 HSP / Rendering (procesado) de colores falsos



REPLAZO 70 HSP / Trama de cálculo 1 / Gráfico de valores (E, horizontal)



Valores en Lux, Escala 1 : 50

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (572.324 m, 631.685 m, 0.000 m)



Trama: 9 x 9 Puntos

E_m [lx]
12

E_{min} [lx]
3.73

E_{max} [lx]
17

E_{min} / E_m
0.32

E_{min} / E_{max}
0.22

6.4 COMPARACIÓN CALIDAD ILUMINACIÓN JARDÍN

Figura 28. Calidad de la iluminación en el sector a intervenir.



Fuente: Fotografía tomada en las Instalaciones de la Institución Universitaria Pascual Bravo

Figura 29. Calidad de la iluminación después de la intervención realizada



Fuente: Fotografía tomada en las Instalaciones de la Institución Universitaria Pascual Bravo

Figura 30. Iluminación sector salida lateral del bloque 3A del fotografía tomada a las 8:30 pm.



Figura 31. Panorámica utilización lámparas LED alumbrado exterior nocturno



6.5 COMPARATIVO DE COSTOS SISTEMA LED VS SODIO A 10 AÑOS

Tabla 4

Año	VALOR DEL Kwh	CUANTO VALE AHORA	CUANTO VALE EL LED	DIFERENCIA ENTRE LOS DOS	FLUJO DE CAJA	DESCUENTO	AHORROS ACUMULADOS
1	464	\$ 2.898.016	\$ 1.347.118				\$ 132.111.881
2	513	\$ 3.201.476	\$ 1.488.179				\$ 356.083.230
3	513	\$ 3.201.476	\$ 1.488.179				\$ 605.058.204
4	566	\$ 3.536.712	\$ 1.644.011				\$ 880.104.110
5	626	\$ 3.907.052	\$ 1.816.160				\$ 1.183.950.918
6	691	\$ 4.316.172	\$ 2.006.336				\$ 1.519.614.456
7	763	\$ 4.768.131	\$ 2.216.425				\$ 1.890.426.354
8	843	\$ 5.267.417	\$ 2.448.514				\$ 2.300.067.102
9	932	\$ 5.818.984	\$ 2.704.905				\$ 2.752.602.590
10	1137	\$ 7.101.436	\$ 3.301.042	\$ 3.800.394	\$ 3.800.394	TOTAL AÑO	\$ 3.252.524.457

6.6 RESUMEN GENERAL DE LA INVERSIÓN

6.6.1 Sistema sodio en IUPB proyectado a 10 años

- Mantenimientos con sodio (mano de obra) En 10 años: **\$131,000,000**
- Costo de repuestos para mantenimiento con sodio a 10 años (asumiendo cambio de balasto cada 2.7 años y bombillo cada 12,000 horas):
\$ 14,410,000
- Costo total de funcionamiento a 10 años con sodio (valor consumo + mantenimiento): **\$ 689,885,366.**

6.6.2 Sistema LED IUPB proyectado a 10 años

- Mantenimientos con LED En 10 años **\$0**
- Costo de repuestos para mantenimiento con LED a 10 años: **\$ 0**
- Costo total de funcionamiento a 10 años con LED (consumo + mantenimiento): **\$ 253,094,745**
- Total ahorro en 10 años: **\$436,790,062**

- Menos gastos de inversión: \$156,252,000+13,100,000(montaje)

Total utilidad a 10 años: **\$267,438,062**

Tabla 5. Consumo de energía antes y después de la realización del proyecto

ENERGIA CONSUMIDA SIN PROYECTO	
POTENCIA	17,35
CANTIDAD DE HORAS	12
DÍAS DEL MES	30
ENERGIA KILOWATIOS*HORA*MES	6246
ENERGIA CONSUMIDA CON PROYECTO LED	
POTENCIA	8,065
CANTIDAD DE HORAS	12
DÍAS DEL MES	30
ENERGIA KILOWATIOS*HORA*MES	2903

Tabla 6. Análisis de costos e inversión

COSTOS			
TIPO DE LAMPARA	COSTO DE LA LAMPARA	IVA	TOTAL UNITARIO
LAMPARA DE 43W	\$ 900.000,00	1,16	\$ 1.044.000,00
LAMPARA DE 82W	\$ 1.200.000,00	1,16	\$ 1.392.000,00
LAMPARA DE 82W	\$ 1.200.000,00	1,16	\$ 1.392.000,00
INVERSION			
LAMPARA TIPO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
VALOR UNITARIO LAMPARA LED 43 W	\$ 1.044.000	75	\$ 78.300.000
VALOR UNITARIO LAMPARA LED 82 W	\$ 1.392.000	19	\$ 26.448.000
VALOR UNITARIO LAMPARA LED 82 W	\$ 1.392.000	37	\$ 51.504.000
TOTAL	\$ -	131	\$ 156.252.000

Tabla 7. Evaluación financiera del proyecto

EVALUACION FINANCIERA	
TIR MENSUAL	0,959%
TIR ANUAL	12,14%
RETORNO DE LA INVERSION EN MESES	79
RETORNO DE LA INVERSION EN AÑOS	6,583333333

CONCLUSIONES

Es indispensable tener en cuenta que el mantenimiento es un arte, el cual con su evolución al mantenimiento Tero tecnológico, involucra en sus conceptos teóricos las mejores prácticas en pro de la eficiencia, lo concibe interrelacionado con los demás procesos productivos de las compañías independientemente de su función productiva, los ingenieros y administradores encargados de esta actividad no sólo se deben limitar a reparar, deben desarrollar planes que les permitan innovar, apropiarse de nuevas tecnologías e implementarlas obteniendo beneficios económicos, sociales y medioambientales.

Al comparar las tecnologías convencionales con la tecnología de LED objeto de este trabajo de grado, observamos una mejor calidad de la iluminación, más bajos costos de consumo, mejor tasa interna de retorno, mayor vida útil, mejor índice de reproducción del color y una gran variedad de temperaturas de color.

La Baja emisión de calor y la temperatura de operación de los sistemas de LED los hacen aptos para trabajar en cuartos fríos, de igual forma reducen los costos de operación de los aires acondicionados.

RECOMENDACIONES

- Los sistemas de iluminación deben contemplar desde su inicio una evaluación ambiental, ya que es nuestra responsabilidad mantener y mejorar nuestro ecosistema para las generaciones futuras, es por esto que se deben utilizar sistemas de iluminación de larga vida que tengan el menor nivel de contaminación posible.
- Evaluación económica en el mediano y largo plazo, se deben involucrar costos de consumo y mantenimiento de los sistemas de iluminación y determinar en un periodo no inferior a 5 años las tasas de retorno de la inversión.
- El confort que brinden de los sistemas de iluminación influyen directamente en el comportamiento de las personas y su productividad, este motivo es relevante en el momento de la toma de decisión en la adquisición de un sistema de iluminación.
- Se debe difundir la tecnología de iluminación de LED para sostener su lucro económico con las tecnologías tradicionales.
- Se deben implementar a nivel nacional proyectos pilotos que permitan establecer y determinar la conveniencia de la aplicación de esta tecnología en Colombia a fin de tener argumentos de juicio con experticia local de desempeño de la tecnología de LED.

BIBLIOGRAFIA

BLOG, El mundo de los diodos. Funcionamiento físico. [en línea]. [Consulta: 25 de Octubre de 2011], Disponible en: [<http://elmundodelosdiodos.wordpress.com/2009/12/05/funcionamiento-fisico/>](http://elmundodelosdiodos.wordpress.com/2009/12/05/funcionamiento-fisico/)

BLOG, ondas mecánicas y electromagnéticas. [en línea]. El espectro electromagnético. [Consulta: 14 de Octubre de 2011], Disponible en: [<http://cgracia61.blogspot.com>](http://cgracia61.blogspot.com)

BLOG, Tecnología Xavi. Lámpara Incandescente. [en línea]. [Consulta: 25 de Octubre de 2011], Disponible en: [<http://tecnologiavaxi.blogspot.com/2013/04/parts-duna-bombeta.html>](http://tecnologiavaxi.blogspot.com/2013/04/parts-duna-bombeta.html)

CLASES DE LÁMPARAS. Fluorescente tubular. [en línea]. [Consulta: 25 de Octubre de 2011], Disponible en: [<http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-clases.html>](http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-clases.html)

CLASES DE LÁMPARAS. Fluorescente compacta (ahorradores) [en línea]. [Consulta: 25 de Octubre de 2011], Disponible en: [<http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-](http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-)

clases.html>

CLASES DE LÁMPARAS. Lámpara de vapor de mercurio. [en línea].
[Consulta: 25 de Octubre de 2011], Disponible en:
<[http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-](http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-
clases.html)

clases.html>

CLASES DE LÁMPARAS. Lámparas de luz mixta. [en línea]. [Consulta: 25
de Octubre de 2011], Disponible en:
<[http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-](http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-
clases.html)

clases.html>

CLASES DE LÁMPARAS. Metal halide. [en línea]. [Consulta: 25 de Octubre
de 2011], Disponible en: <[http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-
luminaria/lampara-descarga-clases.html](http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-
luminaria/lampara-descarga-clases.html)>

CLASES DE LÁMPARAS. Lámparas de vapor de sodio a baja presión. [en
línea]. [Consulta: 25 de Octubre de 2011], Disponible en:
<[http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-](http://edison.upc.edu/curs/llum/lampara-luminaria/lampara-descarga-
clases.html)

clases.html>

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2007) Decreto número

2331 de junio 22 de 2007 (Sustitución de Bombillas Incandescentes por LFC de alta eficiencia en Entidades Oficiales). Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

COOPER LIGHTING. (2010) Manual de iluminación. [en línea]. [Consulta: 18 de Septiembre de 2011], Disponible en: <<http://www.cooperlighting.com>>

ENERGY PARTHERS. Sistema de inducción de iluminación. [en línea]. [Consulta: 20 de Octubre de 2011], Disponible en: <<http://www.energy-partnership.com/induction-specification.php>>

EL INMOBILIARIO. Luminaria 43W. [en línea]. [Consulta: 10 de Octubre de 2011], Disponible en: <www.elinmobiliario.com>

EL RINCÓN DE ALBOR. [en línea]. [Consulta: 10 de Octubre de 2011], Desde: fotoavanzada.elrincondealbor.es

FENERCOM. (2006) Guía Técnica de iluminación de eficiente: Sector Residencial y Terciario. [en línea]. [Consulta: 10 de Octubre de 2011], Disponible en: <<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>>

GESCOM. (2011) Inducción electromagnética interna. [en línea]. [Consulta: 14 de Noviembre de 2011], Disponible en: <<http://www.gescomchile.com/>>

ICANDELA. Incandescente estándar. [en línea]. [Consulta: 25 de Octubre de 2011], Disponible en: <http://www.icandela.com/es/notices/2012/09/novedades_osram_halogen_ec_o_sustituta_natural_de_la_incandescencia_809.php>

GSPYME. (2010) Nuevas soluciones en iluminación y energía. [en línea]. [Consulta: 23 de Octubre de 2011], Disponible en: <<http://www.gspyme.com/>>

GLOBEDIA, Lámparas con tecnología de Inducción Magnética, alternativa para el ahorro de energía. [en línea]. [Consulta: 29 de Mayo de 2013], Disponible en: <<http://co.globedia.com/lamparas-tecnologia-induccion-magnetica-alternativa-ahorro-energia.>>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. ICONTEC. Guía Técnica Colombiana No. 8. Electrotenia: principios de la ergonomía visual. Iluminación para ambientes de trabajo en espacios cerrados. GTC 8. Bogotá D.C.: El instituto, 1994. 36 p.

ILUMINACIÓN DE INTERIORES. Lámpara de sodio de alta presión. [en línea]. [Consulta: 25 de Septiembre de 2011], Disponible en: <<http://iluminaciondeinteriores.blogspot.com/2009/03/lampara-de-sodio-de-alta-presion.html>>

ILUMINET. Alumbrado público tipo LED. [Consulta: 10 de Octubre de 2011]. Disponible en: <<http://www.iluminet.com/luminarios-alumbrado-publico-leds/>>

ILUMINET. Luminarios para alumbrado público de vialidades con módulos de LEDs. [en línea]. [Consulta: 10 de Octubre de 2011]. Disponible en: <<http://www.iluminet.com/luminarios-alumbrado-publico-leds/>>

ILUMINET. Alumbrado público tipo LED. [en línea]. [Consulta: 10 de Octubre de 2011]. Disponible en: <<http://www.iluminet.com/workshop-led-doe/>>

OFILED. Lámparas de dos pines. [en línea]. [Consulta: 10 de Octubre de 2011], Disponible en: <<http://www.ofiled.com/lamparas-led>>

OLX. Características de las lámparas LED. [en línea]. [Consulta: 29 de Mayo de 2013], Disponible en: <<http://maracaibo.olx.com.ve/bombillos-led-y->

[lamparas-led-grupo-sol-tsoi-iid-95670808>](#)

OSRAM. (2011) Manual de Luminotecnia. [en línea]. [Consulta: 10 de Octubre de 2011], Disponible en: http://www.osram.com/osram_com/LED/index.html

PHILIPS LIGHTINGS. (2011) Guía de iluminación. [en línea]. [Consulta: 14 de Noviembre de 2011], Disponible en: <http://www.luz.philips.com/index.do>

SERMEX. (2011) Tecnología, pupil lumen. [en línea]. [Consulta: 18 de Septiembre de 2011], Disponible en: www.sermex.cl/induc_files/Tecnologia2.htm

Skyscrapercity. LED, La iluminación del futuro. [en línea]. [Consulta: 12 de Octubre de 2011], Disponible en: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1145643>

ANEXOS

Anexo 1. Datos del luxómetro

CERTIFICATE OF CALIBRATION		
Issued By Konica Minolta Sensing Americas, Incorporated 101 Williams Drive, Ramsey, New Jersey 07446[Voice (201) 785-2462 Facsimile (201) 785-2490		
Submitted By: <u>BE Aerospace.</u>		
Certificate No: <u>KMSA-0001-00-004256.</u> Instrument: <u>Illuminance Meter, T-10.</u>		
Body Serial No: <u>55136059.</u> Measuring Head Serial No: <u>35126013.</u>		
This certificate is provided for the Illuminance Meter listed above to confirm that the performance and accuracy of said instrument is within KONICA MINOLTA'S WORKING STANDARDS which are traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST), Test Number 844/272466-05-R.		
STATEMENT OF CALIBRATION CONDITIONS		
In compliance with your request concerning calibration of above instrument, Konica Minolta provides the following information:		
a) The instrument is calibrated to a KONICA MINOLTA standard tungsten filament lamp. The lamp is illuminant standard "A" calibrated to our primary standard lamp (#5E-103K/153), which has been certified by the N.I.S.T. for Color Temperature and Luminous Intensity.		
b) The voltage meter and power supply used on the optical bench were last calibrated in January 2010.		
c) Our KONICA MINOLTA STANDARD tungsten filament lamps are rotated and recalibrated after accumulating 24 hours of use.		
d) Our calibration facility is environmentally controlled to maintain a temperature between 69* – 74* with a humidity of approximately 45% - 65%.		
e) Expanded uncertainty (k=2) Uncertainty: (+/- 1.3%) Range: 1lx----- 100000 lx		
f) Our recommended cycle of calibration is once a year.		
g) Calibration Procedure used: T-10 3.1.3, Adjustment 3-6.		
CALIBRATION STANDARD	PREVIOUS READING	NEW READING
<u>Y= 800 lx (+-2%)</u>	<u>Y= 813 lx (In Tol.)</u>	<u>Y= 800 lx</u>
<u>Y= 80.0 lx (+-2%)</u>	<u>Y= 81.3 lx (In Tol.)</u>	<u>Y= 80.0 lx</u>
Date Received: <u>January 2 2012.</u> Date Calibrated: <u>January 8, 2012.</u>		
Date Calibration Due: <u>January 8, 2013.</u>		
Certified By: <u>P. Fisher.</u> Title: <u>Senior Repair Engineer.</u>		
THIS CERTIFICATE SHALL NOT BE REPRODUCED EXCEPT IN FULL, WITHOUT THE WRITTEN APPROVAL OF THIS LABORATORY		

Anexo 2. Catálogo Luxómetro

LIGHT METER *4 light type*

Model : LX-1108

ISO-9001, CE, IEC1010



FEATURES

- * 5 ranges :
40.00/400.0/4,000/40,000/400,000 Lux.
- * Resolution :
0.01 Lux to 100 Lux.
0.01 Ft-cd to 10 Ft-cd.
- * Selection of lighting type (Tungsten, Fluorescent, Sodium or Mercury).
- * Sensor used the exclusive photo diode & color correction filter, spectrum meet C.I.E. photopic.
- * Sensor cosine correction factor meet standard.
- * Separate Light Sensor allows user to measure the light at an optimum position.
- * Lux & Foot-candle unit selection.
- * Large LCD display with bar graph.
- * Water resistance front panel
- * Zero adjusting button.
- * Data hold and Peak hold.
- * Memory function with Recall. Auto
- * Auto power off or manual power off.
- * RS-232 computer data output.

Lutron
LUTRON ELECTRONIC

The Art of Measurement

4 light type selection
LIGHT METER
Model : LX-1108

FEATURES	
* 5 ranges : 40.00/400.0/4,000/40,000/400,000 Lux, wide measuring range.	* Large LCD display with bargraph and indicator.
* High resolution : 0.01 Lux to 100 Lux, 0.01 Fc to 10 Fc	* Water resistance front panel
* Selection of lighting type (Tungsten, Fluorescent, Sodium or Mercury).	* Use the rubber key for the function select.
* Sensor used the exclusive photo diode & color correction filter, spectrum meet C.I.E. photopic.	* LSI circuit provides high reliability and durability.
* Sensor cosine correction factor meet standard.	* Zero adjusting button.
* Separate Light Sensor allows user to measure the light at an optimum position.	* Data hold to freeze the desired reading.
* Lux & Foot-candle unit selection.	* Peak hold measurement.
	* Memory function to display the max. & min. display value with Recall.
	* Auto power auto off or manual power off.
	* Compact size and excellent operation.
	* Built-in low battery indicator.
	* RS-232 computer serial data output.

GENERAL SPECIFICATIONS			
Display	Large LCD display. LCD size 52 x 38 mm, 4 digits. with bargraph indicator.	Data Output	RS-232 serial data output
Measurement & ranges	5 ranges : 40.00/400.0 Lux, 4,000/40,000/400,000 Lux.	Operating Temperature	0 to 50 °C (32 to 122 °F).
Unit	Lux, Foot-candle (Ft-cd).	Operating Humidity	Max. 80% RH.
Lighting Type Selection	Tungsten, Fluorescent, Sodium, Mercury lamp.	Power Supply	DC 9V battery, 006P, MN1604 (PP3) or equivalent.
Sensor	The exclusive photo diode & color correction filter, spectrum meet C.I.E. Cosine correction factor meet standard.	Power Consumption	Approx. DC 8 mA.
Zero Adj.	External adjustment by pushing button. (40.00 Lux range only)	Weight	220 g/0.48 LB.
Peak Hold	To hold the peak display.	Dimension	<i>Main instrument :</i> 200 x 68 x 30 mm (7.9 x 2.7 x 1.2 inch). <i>Sensor probe :</i> 82 x 55 x 7 mm (3.2 x 2.2 x 0.3 inch).
Data Hold	To freeze the display value.	Accessories Included	Instruction Manual... 1 PC. Light Sensor with protection cover..... 1 PC.
Memory	Save the max. & min. value with Recall.	Optional Accessories	RS232 cable, UPCB-02 USB cable, USB-01 Application Software, SW-UB01-WIN Hard carryingt case, CA--06 Soft carryingt case, CA--05A
Power Off	Auto or manual power off.		
Over and Under range Indication	Over range Indicator : " _ _ _ _ " Under range Indicator : " _ _ _ _ "		

ELECTRICAL SPECIFICATIONS (23±5 °C)				
Measurement	Range	In-range Display	Resolution	Accuracy
Lux	40.00 Lux	0 - 40.00 Lux	0.01 Lux	± (3% rdg + 0.5 % F.S..)
	400.0 Lux	36.0 - 400.0 Lux	0.1 Lux	
	4,000 Lux	360 - 4,000 Lux	1 Lux	
	40,000 Lux	3,600 - 40,000 Lux	10 Lux	
	400,000 Lux	10,000 - 400,000 Lux	100 Lux	< 100,000 Lux : ± (3% rdg + 0.5 % F.S..) ≥ 100,000 Lux : @ for reference only
Foot-candle (Fc)	4.000 Fc	0 - 3.720 Fc	0.001 Fc	± (3% rdg + 0.5 % F.S..)
	40.00 Fc	3.35 - 37.20 Fc	0.01 Fc	
	400.0 Fc	33.5 - 372.0 Fc	0.1 Fc	
	4,000 Fc	335 - 3,720 Fc	1 Fc	
	40,000 Fc	930 - 37,200 Fc	10 Fc	< 9,300 Fc : ± (3% rdg + 0.5 % F.S..) ≥ 9,300 Fc @ for reference only
<i>Note : Accuracy tested by a standard parallel light tungsten lamp of 2856 K degree temperature.</i>				

* Appearance and specifications listed in this brochure are subject to change without notice.

CAT-0403-LX1108

Anexo 3. Comparativo iluminación de sodio vs iluminación led

Se realiza la medición de los Luxes con el siguiente equipo:

Luxómetro LX-1108 light meter, LT-LUTRON

Las medidas realizadas a una luminaria tipo sodio 150 w y una tipo LED

TIPO DE LAMPARA	Fecha de Medición	HORA	LUXES	Altura de las lámparas en metros
LAMPARA DE SODIO DE 150 W	21/05/2013	07:00 p.m.	9,19	9
LAMPARA DE LED DE 43 W	21/05/2013	07:00 p.m.	11,65	9