

**ESTUDIO DE LÁMPARAS LED PARA ALUMBRADO PÚBLICO Y
DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA CON CONTROL
AUTOMÁTICO ON/OFF**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO

**“ESTUDIO DE LÁMPARAS LED PARA ALUMBRADO
PÚBLICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA CON CONTROL
AUTOMÁTICO ON/OFF”**

AUTORES:

PEDRO FRANCISCO CHANTERA ABARCA

DANIEL RICARDO TOBAR ESTRELLA

DIRECTOR:

ING. MARCELO GARCÍA

QUITO, ABRIL 2013

Ing. Edwin Marcelo García Torres.

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y económicos del informe de la Tesis “ESTUDIO DE LÁMPARAS LED PARA ALUMBRADO PÚBLICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA CON CONTROL AUTOMÁTICO ON/OFF”, realizada por los Srs. Pedro Francisco Chantera Abarca y Daniel Ricardo Tobar Estrella, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Facultad de Ingenierías – Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 20 de Abril del 2013

Ing. Edwin Marcelo García Torres
DIRECTOR

DECLARACIÓN

Nosotros, Pedro Francisco Chantera Abarca y Daniel Ricardo Tobar Estrella, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el documento.

Los conceptos desarrollados, guías metodológicas y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Quito, Abril del 2013

Pedro Francisco Chantera Abarca

Daniel Ricardo Tobar Estrella

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Marcelo García por la confianza, los conocimientos compartidos y la labor conjunta a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Juan Bucheli por el apoyo incondicional y consejos brindados a lo largo de toda la carrera.

Al Ing. Fernando Beltrán por la ayuda brindada, oportuna y desinteresada.

Al Lic. William Freire por su aporte de conocimiento y sabiduría para la elaboración de este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Vicente Tobar y Aída Estrella, quienes me apoyaron incondicionalmente en todos los momentos de mi vida y me han demostrado que el esfuerzo y sacrificio tiene siempre una grandiosa recompensa.

A mis hermanos que han colaborado con mi formación llenándome de alegría, motivación y entrega.

A la mujer que me ha acompañado y me apoyado en toda esta etapa. Gracias por estar a mi lado.

Y en especial a mi Papá Enrique y mi Mamá Pola que siempre me brindaron todo su amor y cariño impulsándome siempre a soñar y a ser mejor.

A mis amigos, maestros y compañeros que me han acompañado en todo el trayecto de mi formación personal y académica.

Daniel Ricardo Tobar Estrella.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres Jorge H. Chantera y Carmen U. Abarca, quienes han estado apoyándome durante toda mi vida incondicionalmente, gracias por todo, nunca podré compensar todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanos que han sido pilar fundamental durante toda mi formación personal y académica.

A esa persona que ha hecho especial mi vida, gracias por estar a mi lado en las buenas y en las malas, jamás olvidaré eso.

A mis amigos del colegio y la universidad por hacer plena mi vida con su afecto y consideración.

A mis maestros y a todas las personas que de una u otra forma me impulsaron hasta donde estoy ahora.

Pedro Francisco Chantera Abarca.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las redes de alumbrado público fueron diseñadas en el siglo XIX y construidas con equipos de tecnología de punta de ese entonces, lámparas que tienen un nivel de consumo de energía considerable tomando en cuenta que en un circuito de iluminación existen de 10 a 15 lámparas, las cuales al momento de una falla simplemente dejan de funcionar y por inspección visual se determina su avería. El constante desarrollo de la tecnología ha exigido que se implemente y adapte sistemas de control, monitoreo y optimización de energía, ya sea por requerimientos del sistema o por la sencilla razón de no existir en el mercado un equipo que permita hacer estas aplicaciones, creando una mezcla de tecnologías, que ha colaborado a mejorar el sistema de distribución de energía, también ha incrementado la facilidad para determinar un daño si éste se produjera dentro de la red.

La tecnología no solo se ha desarrollado en los equipos de control y monitoreo, también ha realizado avances en equipos de alumbrado mencionando principalmente la tecnología LED, que han sido utilizados para suplir un equipo defectuoso o un dispositivo que ya cumplió su vida útil. El no contar con información actualizada sobre esta tecnología presenta un obstáculo puesto que no hay una barrera de la utilización de la misma, por esta razón se incrementa el tiempo en realizar un trabajo de cambio de equipo a nivel de las redes de iluminación.

Además esta falta de información incrementa el tiempo para solucionar un problema que afecta a todo un sistema y recae en la pérdida del servicio y no satisfaciendo la demanda del cliente.

El cambio de equipo por daño o mantenimiento ha requerido cambiar sistemas de iluminación comunes por sistemas inteligentes que permiten un mejor control adicionando a esto un monitoreo y optimización de energía.

Las necesidades actuales hacen notar que es necesario un sistema de control y monitoreo en tiempo real (SCADA), que permita adaptar esta tecnología de una forma correspondiente y adecuada y mejorar así el servicio que brinda el alumbrado público.

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Estudio de lámparas LED para alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con control automático on/off, está dirigida para realizar el cambio a futuro de lámparas de iluminación comunes por lámparas LED, las mismas que además de cumplir con su labor de alumbrado permitirán obtener un control y monitoreo del sistema eléctrico al que están conectados, así como una disminución considerable en el consumo de energía, teniendo una base de datos que permita almacenar las variaciones del sistema, ésta información servirá para mejorar los programas de mantenimiento. Este cambio colaborará notablemente en la reducción de tiempos al solucionar daños o averías a las que el sistema está expuesto día a día.

Estudio de lámparas LED para alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con control automático on/off, requiere de un proceso de levantamiento de información, el cual partirá con un estudio de las lámparas, equipos e instalaciones del circuito de iluminación, para corroborar o corregir la información de los mismos, este procedimiento permitirá actualizar el sistema con información real y efectiva.

Un debido estudio de los requerimientos del sistema SCADA más el estudio de lámparas LED, permitirá ordenar y optimizar el control de la iluminación. Esto reducirá el consumo de energía por medio de desconexión de sectores que no sean necesarios.

Estudio de lámparas LED para alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con control automático on/off, se obtendrá parámetros para optimizar requerimientos de materiales, equipos y actividades para la implementación de lámparas LED, eliminar toda lámpara de sodio(Na) o mercurio(Hg) que sale de servicio de una forma ecológica y técnica, para el correcto desempeño del personal de Operación y Mantenimiento, adicionalmente permitirá optimizar costos y tener una referencia del valor de éste trabajo.

ALCANCES.

Estudio de lámparas LED para alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con control automático on/off de:

Universidad politécnica salesiana campus Kennedy

Se procederá a realizar un proceso de levantamiento de información del alumbrado público actual, el cual partirá con un estudio de las lámparas, equipos e

instalaciones del circuito de iluminación, para corroborar o corregir la información de los mismos, este procedimiento permitirá actualizar el sistema con información real y efectiva.

Se desarrollará un estudio, investigación y análisis detallado de lámparas LED, con lo cual se determinará su funcionamiento, aplicación y costo orientado al campus.

Con esto se establecerá los parámetros para escoger el tipo de lámpara a utilizar y se elaborará un listado de los recursos para el cambio de lámparas LED necesarias para el campus Kennedy, además de los aditamentos para implementar el sistema SCADA del mismo, con esto se optimizará recursos y se obtendrá referencia de costos.

OBJETIVOS.

General

Realizar el estudio de lámparas LED para alumbrado público y diseñar un sistema SCADA con control automático on/off, en el campus Kennedy de la UPS.

Específicos.

1. Verificar las ventajas y desventajas de usar tecnología LED en el alumbrado público.
2. Dotar de un sistema de control y monitoreo del consumo de energía eléctrica en el alumbrado público así como el corte y reconexión de las luminarias del campus Kennedy.
3. Diseñar el sistema de comunicación de las luminarias de la red de alumbrado público del campus Kennedy.
4. Integrar al sistema una base de datos que permita llevar un registro de históricos de los eventos que se presentan en el sistema.

HIPÓTESIS.

El Estudio de lámparas LED para alumbrado público y Diseño de un sistema SCADA con control automático on/off, permitirá la modernización del sistema de alumbrado público y facilitará las operaciones de mantenimiento, operación de la iluminación y reducir costos por consumo de energía.

ESQUEMA DE CONTENIDOS.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES Y FUNDAMENTOS TÉCNICOS

- 1.1 Generalidades Y Antecedentes
- 1.2 Alumbrado Público
- 1.3 Tipos de Lámparas
- 1.4 Sistemas de Control y Comunicación

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE LÁMPARAS LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO

- 2.1 Dialux
- 2.2 Estudio De Red De Alumbrado Público Actual
- 2.3 Tipos De Lámparas LED
- 2.4 Estudio De Red De Alumbrado Público con Lámparas LED

CAPÍTULO III

PROPUESTA DEL SISTEMA SCADA

- 3.1 Sistema De Control
- 3.2 Sistema De Monitoreo
- 3.3 Base De Datos
- 3.4 Comunicación

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 4.1 Estudio técnico
- 4.2 Análisis Económico

4.3 Factibilidad

4.4 Verificación de hipótesis

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realiza un estudio de lámparas LED para alumbrado público y un diseño de un sistema SCADA con control automático on/off para el campus Kennedy de la Universidad Politécnica Salesiana.

En el Ecuador el tema de iluminación LED aplicado al alumbrado público es poco conocido, existen pocos proyectos de este tipo ya que es un tema reciente que no cuenta con publicaciones e información detallada que indique los beneficios y desventajas de utilizar este tipo de tecnología en la iluminación exterior.

Los sistemas de control y monitoreo están direccionados al ámbito industrial y comercial, pero en la actualidad se ve la necesidad de expandir el área de aplicación incluso a nivel residencial. Con un sistema de control aplicado a la iluminación externa, se cambiará el concepto de alumbrado público en términos de modernización, servicio y calidad.

El propósito de este estudio es analizar el estado actual del alumbrado público de la Universidad Politécnica Salesiana para determinar si el sistema actual cumple con los estándares nacionales e internacionales.

Se realizará mediciones de niveles de iluminación en sectores de flujo peatonal y vehicular con el cual se podrá indicar las fallas detectadas y posibles correctivos. Además se hará una revisión de las instalaciones eléctricas que conforman el alumbrado público.

Las correcciones planteadas al sistema actual en sodio van a ser la base para una proyección de utilizar tecnología LED para la iluminación del campus. En función de esta proyección se realizarán cálculos de caída de tensión, niveles de iluminancia y coeficiente de uniformidad, para determinar si las propuestas son válidas y aplicables a futuro. Con esto se analizará el impacto de esta nueva tecnología resaltando ventajas y desventajas que podrían existir.

Con la ayuda del software Dialux se podrá realizar una simulación de las soluciones planteadas en niveles de iluminación, logrando observar de la manera más cercana a la realidad como funcionaría el alumbrado público en la universidad. Además servirá de herramienta para la proyección de lámparas LED en el sistema verificando si cumple con los niveles de iluminación exigidos tanto para niveles de iluminancia promedio, como para la uniformidad general. El tema energético será

tomado en cuenta para comprobar si existe un ahorro de energía y por ende trasladarlo a valores monetarios.

Existen muchos tipos de lámparas LED en el mercado, y la selección de una en particular se debe realizar bajo un análisis técnico-económico que certifique la aplicación en un determinado proyecto. En este caso, se analizarán tres lámparas en función de la calidad que ofrecen en términos de luminosidad y ahorro energético y considerando la inversión que esta significaría.

El proyecto de iluminación con tecnología LED se complementa con un sistema de control y monitoreo. Se diseñará un SCADA que permita el encendido o apagado remoto de cada lámpara del sistema registrando y almacenando cada evento ejecutado en un una base de datos.

Con el análisis técnico-económico de los beneficios y desventajas de la implementación de lámparas LED en el alumbrado público, se establecerá si el proyecto es aplicable al campus Kennedy.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA.....	V
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	VII
JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	VIII
ALCANCES.....	VIII
OBJETIVOS.....	IX
HIPÓTESIS.....	IX
ESQUEMA DE CONTENIDOS.....	X
RESUMEN.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXIV
CAPÍTULO I	1
1.1. GENERALIDADES Y ANTECEDENTES.....	1
1.2. ALUMBRADO PÚBLICO.....	1
1.2.1 HISTORIA.....	2
1.2.2 CONCEPTOS DE ALUMBRADO PÚBLICO.....	3
1.2.2.1. LUMINARIAS.....	3
1.2.2.2. CUALIDADES DE LAS LUMINARIAS.....	5
1.2.2.3. POSTES.....	6
1.2.2.4. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO.....	8
1.3 TIPOS DE LÁMPARAS.....	9
1.3.1 INCANDESCENTES.....	9
1.3.2 HALÓGENOS.....	9
1.3.3 FLUORESCENTES.....	10
1.3.4 COMPACTOS FLUORESCENTES.....	11
1.3.5 MERCURIO.....	11
1.3.6 METAL HALIDE.....	12
1.3.7 LUZ MIXTA.....	13
1.3.8 SODIO BAJA PRESIÓN.....	14
1.3.9 VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN.....	14
1.3.10 LED.....	15
1.4 SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIÓN.....	16

1.4.1. SISTEMA DE COMUNICACIONES	16
RS485	17
PROFIBUS	19
PROFINET	21
INDUSTRIAL ETHERNET	22
MODBUS.....	25
DEVICENET	27
1.4.2. REDES DE COMUNICACIÓN	28
1.4.2.1. TOPOLOGÍAS DE RED	28
1.4.2.2. RED DE BUS LINEAL.....	29
1.4.2.3. RED EN ESTRELLA	29
1.4.2.4. RED EN ANILLO.....	30
1.4.2.4 REDES INALÁMBRICAS	31
1.4.3 SISTEMAS DE CONTROL	36
1.4.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.....	37
1.4.3.2 SISTEMAS DE CONTROL EN ALUMBRADO PÚBLICO	38
CAPÍTULO II	40
2.1 DIALUX.....	40
2.1.1 MANEJO DE DIALUX	40
2.2 ESTUDIO DE RED DE ALUMBRADO PÚBLICO ACTUAL.....	50
2.2.1 LÁMPARAS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO CAMPUS KENNEDY	50
2.2.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL CAMPUS KENNEDY	53
2.2.2.1 EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	53
2.2.2.2 LUMINARIAS.....	56
2.2.2.3 Identificación de Circuitos	66
2.2.2.4 NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	81
2.2.2.5 SIMULACIÓN DE SISTEMA ACTUAL CAMPUS KENNEDY	96
2.2.3 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE ILUMINACIÓN.....	101
2.3 TIPOS DE LÁMPARAS LED	115
2.3.1 DE FORMA GENERAL.....	115
2.3.1.1 BOMBILLAS LED.....	115
2.3.1.2 BOMBILLAS PAR	116
2.3.1.3 DICROICAS LED	117
2.3.1.4 RGB LED	117
2.3.1.5 FLUORESCENTES LED.....	118
2.3.1.6 DOWNLIGTH LED	119
2.3.1.7 STREETLIGHT LED	120

2.3.1.8 HIGHBAY LED.....	120
2.3.2 POR SU ESTRUCTURA INTERNA	121
2.3.2.1 INORGÁNICO.....	121
2.3.2.2 ORGÁNICOS.....	122
2.3.3 POR ELEMENTO, PARTE O COMPUESTO LED	123
2.3.3.1 LED CON ÓPTICA PRIMARIA.....	123
2.3.3.2 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO PCB	124
2.3.3.3 MÓDULOS DE LED (LÁMPARAS)	124
2.4 ESTUDIO DE RED DE ALUMBRADO PÚBLICO CON LÁMPARAS LED.....	125
2.4.1 LÁMPARAS PROPUESTAS	125
SYLVANIA ENDURA CITYLINER (S60).....	126
SCHREDER TECEO 2	127
BBE LU4.....	128
2.4.2 SELECCIÓN DE LÁMPARA	129
2.4.3 PROYECCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO LED CON SCHREDER TECEO 2	130
2.4.3.1 SIMULACIÓN EN DIALUX.....	131
2.4.3.2 CAÍDA DE TENSIÓN	132
2.4.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS LED.....	146
2.4.3.4 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA	148
CAPÍTULO III	152
3.1 SISTEMA DE CONTROL.....	152
3.1.1 TARJETA DE CONTROL.....	152
3.1.1.1 CIRCUITO DE CONTROL	152
3.1.1.2 CIRCUITO DE POTENCIA.....	154
3.1.1.3 CIRCUITO DE COMUNICACIÓN.....	158
3.1.2 CIRCUITO DE CONTROL ON/OFF DE LUMINARIAS.....	160
3.2 SISTEMA DE MONITOREO	162
3.2.1 LABVIEW.....	162
3.2.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA	163
3.2.3 DESCRIPCIÓN DEL HMI.....	166
3.3 BASE DE DATOS	179
3.3.1 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS	179
3.3.2 BASE DE DATOS EN LABVIEW	182
3.4 COMUNICACIÓN	183
3.4.1 ARQUITECTURA DE ZIGBEE.....	183
3.4.2 X-CTU.....	185
3.4.3 CONFIGURACIÓN DE LA RED.....	190

3.4.3 .1 RED DEL SISTEMA DE ALUMBRADO DEL CAMPUS KENNEDY.....	192
CAPÍTULO IV	194
4.1 ESTUDIO TÉCNICO.....	194
4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO	204
4.3 FACTIBILIDAD	210
4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	211
CONCLUSIONES.....	212
RECOMENDACIONES.....	214
BIBLIOGRAFÍA.....	215
GLOSARIO.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación Geográfica del Campus Kennedy de la U.P.S	1
Figura 1. 2 Luminarias	4
Figura 1.3 Esquema de una Luminaria	5
Figura 1.4 Poste de Acero	6
Figura 1.5 Poste de Cemento Armado	7
Figura 1.6 Poste de Aluminio	7
Figura 1.7 Poste de Plástico	8
Figura 1.8 Lámpara Incandescente.....	9
Figura 1.9 Lámpara Halógena	10
Figura 1.10 Lámpara Fluorescente	10
Figura 1.11 Lámpara Fluorescente Compacto	11
Figura 1.12 Lámpara de Mercurio.....	12
Figura 1.13 Lámpara de Mercurio en Alta Presión (Metal Halide)	13
Figura 1.14 Lámpara de Luz Mixta	13
Figura 1.15 Lámpara de Sodio Baja Presión.....	14
Figura 1.16 Lámpara de Sodio Alta Presión.....	15
Figura 1.17 Lámpara Led.....	16
Figura 1.18 Conexión diferencial	18
Figura 1.19 Interferencia en señal diferencial	18
Figura 1.20 Red Profinet.....	22
Figura 1.21 Ethernet IP y un bus clásico.....	23
Figura 1.22 Ejemplo de ethernet en red de bus lineal	29
Figura 1.23 Red en estrella aplicando switch.....	30
Figura 1.24 Red en anillo redundante	31
Figura 1.25 Red Inalámbrica.....	32
Figura 1.26 Red IWLAN con subredes y puntos de acceso inalámbricos	34
Figura 1.27 Control Individual en lámpara de alumbrado público.....	39
Figura 1.28 Control múltiple con relé unipolar en lámparas de alumbrado público	39
Figura 1.29 Control múltiple con relé bipolar en lámparas de alumbrado público	39
Figura 2.1 Menú principal de Dialux.....	40
Figura 2.2 Asistentes Dialux	41
Figura 2.3 Menú de información del proyecto	42
Figura 2.4 Menú de entrada de datos	43

Figura 2.5 Selección de catálogos	43
Figura 2.6 Selección de luminarias en catálogos	44
Figura 2.7 Visualización de lámparas seleccionadas	44
Figura 2.8 Menú de cálculos y resultados	45
Figura 2.9 Tabla de cálculos realizados por Software	45
Figura 2.10 Vista general del proyecto en 3D	46
Figura 2.11 Vista general de proyecto en blanco	46
Figura 2.12 Menú de selección de catálogos	47
Figura 2.13 Vista de equipo seleccionado	47
Figura 2.14 Vista de equipo insertado en el proyecto	48
Figura 2.15 Menú de cálculos	48
Figura 2.16 Vista de lámpara en proyecto	49
Figura 2.17 Espectro lumínico	49
Figura 2.18 Tabla de nivel de iluminación por color	50
Figura 2.19 Lámpara de vapor de sodio Schreder Ámbar	51
Figura 2.20 Distribución Fotométrica Lámpara Ámbar	51
Figura 2.21 Proyector Estando Schreder Radial 3	52
Figura 2.22 Distribución fotométrica de lámpara Radial 3	53
Figura 2.23 Gps Etrex Garmin Venture	54
Figura 2.24 Medidor de distancia Bosch DEL 40	54
Figura 2.25 Pinza amperimétrica Greenlee	55
Figura 2.26 Luxómetro Amprobe Lm-120	55
Figura 2.27 Analizador Trifásico Fluke 435	56
Figura 2.28 Posición real de luminarias en el plano	62
Figura 2.29 Simbología utilizada para planos	66
Figura 2.30 Circuito 1 de Sistema de Iluminación	67
Figura 2.31 Características del circuito	70
Figura 2.32 Circuito 3 de Sistema de iluminación	72
Figura 2.33 Circuito 4 de Sistema de iluminación	74
Figura 2.34 Circuito 5 de Sistema de iluminación	76
Figura 2.35 Circuito 6 de Sistema de iluminación	78
Figura 2.36 Sectorización de campos de medición de iluminancia	83
Figura 2.37 Señalización de puntos a medir	83
Figura 2.38 Toma de lecturas de luxómetro	84
Figura 2.39 Toma de lecturas de luxómetro	85
Figura 2.40 Luxómetro Amprobe LM-120	85
Figura 2.41 Puntos de medida para la iluminancia	87

Figura 2.42 Puntos de cálculo para la iluminancia	88
Figura 2.43 Sector 1	88
Figura 2.44 Tendencia de iluminancia del Sector 1.....	89
Figura 2.45 Sector 2	90
Figura 2.46 Tendencia de iluminancia del Sector 2.....	91
Figura 2.47 Sector 3	92
Figura 2.48 Tendencia de iluminancia del Sector 3.....	92
Figura 2.49 Sector 4	93
Figura 2.50 Tendencia de iluminancia del Sector 4.....	94
Figura 2.51 Sector 5	95
Figura 2.52 Tendencia de iluminancia del Sector 5.....	95
Figura 2.53 Vista superior 3D del Campus Kennedy.....	97
Figura 2.54 Representación de colores falsos del Campus Kennedy.....	97
Figura 2.55 Escala por colores de nivel de luxes	97
Figura 2.56 Iluminancia Mínima	98
Figura 2.57 Iluminancia Máxima	99
Figura 2.58 Iluminancia Promedio	99
Figura 2.59 Uniformidad general de iluminancia	100
Figura 2.60 Uniformidad extrema de iluminancia	100
Figura 2.61 Estado del sistema eléctrico de iluminación	105
Figura 2.62 Simulación 3D del Campus con tasa de falla cero	108
Figura 2.63 Representación de colores falsos del Campus con tasa de falla cero	108
Figura 2.64 Nuevas luminarias ubicadas en el plano	110
Figura 2.65 Vista 3D del sistema de iluminación corregido	113
Figura 2.66 Espectro fotométrico de sistema corregido	114
Figura 2.67 Bombilla LED	116
Figura 2.68 Bombilla par.....	116
Figura 2.69 Dicroica LED.....	117
Figura 2.70 Rgb LED	118
Figura 2.71 Fluorescente LED	119
Figura 2.72 Downlight LED	119
Figura 2.73 Streetlight LED.....	120
Figura 2.74 Highbay LED.....	121
Figura 2.75 Diodos LED.....	122
Figura 2.76 Oled.....	123
Figura 2.77 LED de óptica primaria	123

Figura 2.78 Pcb LED	124
Figura 2.79 Módulo LED	125
Figura 2.80 Sylvania Endura Cityliner S60 LED 3	126
Figura 2.81 Distribución fotométrica de lámpara Sylvania Endura Cityliner S60	127
Figura 2.82 Schreder Teceo 2	127
Figura 2.83 Distribución fotométrica de lámpara Schreder Teceo 2	128
Figura 2.84 BBE Lu4	128
Figura 2.85 Distribución fotométrica de lámpara BBE Lu4	129
Figura 2.86 Simulación 3D del Campus Kennedy con Lámparas LED	131
Figura 2.87 Representación de colores falsos del Campus con lámparas LED	131
Figura 2.88 Simbología	133
Figura 2.89 Circuito 1A LED	133
Figura 2.90 Circuito 1B LED	135
Figura 2.91 Circuito 2 LED	146
Figura 2.92 Circuito 3 LED	137
Figura 2.93 Circuito 4 LED	139
Figura 2.94 Circuito 5 LED	140
Figura 2.95 Circuito 6A LED	141
Figura 2.96 Circuito 6B LED	143
Figura 2.97 Circuito 7 LED	144
Figura 2.98 Circuito 8 LED	145
Figura 3.1 PIC16F628A	153
Figura 3.2 Características de funcionamiento de PIC16F628A	154
Figura 3.3 MOC3021	155
Figura 3.4 Características de funcionamiento de MOC3021	155
Figura 3.5 Triac BT136	156
Figura 3.6 Características de funcionamiento de BT136	156
Figura 3.7 Disipador calculado para BT136	158
Figura 3.8 Características de funcionamiento De XBee Pro S2	159
Figura 3.9 Esquema general de la red ZigBee	160
Figura 3.10 Circuito de control para luminarias	160
Figura 3.11 Placa Impresa de la tarjeta de control para luminarias	161
Figura 3.12 Vista 3D de tarjeta de control	161
Figura 3.13 Diagrama de flujo de subrutina “Carátula” y “Menú Principal	164
Figura 3.14 Diagrama de flujo de subrutina “Históricos	165

Figura 3.15 Diagrama de flujo de subrutina “Control de Iluminación”	165
Figura 3.16 Diagrama de flujo de subrutina “Sector1”	165
Figura 3.17 Configuración propiedades para todas las pantallas	166
Figura 3.18 Carátula del sistema de iluminación.....	166
Figura 3.19 Programación de la pantalla “Bienvenida”.....	167
Figura 3.20 Control de usuario.....	167
Figura 3.21 Programación de identificación de usuario.....	168
Figura 3.22 Bloque de programación de claves	168
Figura 3.23 Error en clave de ingreso	169
Figura 3.24 Archivo de texto txt para almacenamiento de clave	169
Figura 3.25 Menú Principal del Sistema de iluminación	170
Figura 3.26 Programación de Menú Principal	170
Figura 3.27 Control de iluminación	171
Figura 3.28 Programación de Control de iluminación.....	171
Figura 3.29 Sector1 “Parqueadero de estudiantes”.....	172
Figura 3.30 Sector 2 “Calle lateral al coliseo”.....	173
Figura 3.31 Sector 3 “Patio principal”.....	173
Figura 3.32 Sector 4 “Calle lateral al edificio administrativo”.....	174
Figura 3.33 Sector 5 “Entrada principal”	175
Figura 3.34 Sector 6 “Calle lateral a la Escuela y Mecanoplast”	175
Figura 3.35 Sector 7 “Entrada principal a la Iglesia”.....	176
Figura 3.36 Sector 8 “Subsuelo edificio administrativo”.....	177
Figura 3.37 Programación de control de iluminación una lámpara.....	178
Figura 3.38 Programación de registro de estados de lámpara 8 en Base de datos.....	178
Figura 3.39 Creación de Base de datos.....	179
Figura 3.40 Creación de campos dentro de la Base de datos.....	180
Figura 3.41 Creación de enlace Labview-Base de datos	180
Figura 3.42 Listado de origen de datos.....	180
Figura 3.43 Creación del nombre de enlace y direccionamiento de Base de datos.....	181
Figura 3.44 Selección de la ubicación del archivo para la base de datos.....	181
Figura 3.45 Históricos.....	182
Figura 3.46 Programación de pantalla históricos	183
Figura 3.47 Capas del Modelo OSI.....	184
Figura 3.48 Pantalla inicial del software.....	186
Figura 3.49 Menú Pc Settings.....	187

Figura 3.50 Com Test, prueba de conexión	187
Figura 3.51 Menú Range Test	188
Figura 3.52 Menú Terminal.....	188
Figura 3.53 Prueba de Terminal, dispositivos conectados a la red	189
Figura 3.54 Menú Modem Configuration.....	189
Figura 3.55 Distribución de dispositivos en una red ZigBee común	190
Figura 3.56 Configuración de dispositivos	191
Figura 3.57 Configuración de red.....	191
Figura 3.58 Identificación de dispositivo	192
Figura 3.59 Distribución de dispositivos ZigBee en el Campus Kennedy	193
Figura 4.1 Observaciones del sistema de iluminación Actual.....	195
Figura 4.2 Comparación Niveles de iluminación Sodio vs. LED	198
Figura 4.3 Comparación de vistas Sodio vs. LED	198
Figura 4.4 Comparación de consumo de energía Sodio vs. LED	200
Figura 4.5 Línea de recuperación de la inversión.....	207
Figura 4.6 Línea de recuperación de la inversión.....	208

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Características básicas de lámparas Incandescentes	9
Tabla 1. 2 Características básicas de lámparas Halógenas.....	10
Tabla 1.3 Características básicas de lámparas Fluorescentes.....	10
Tabla 1.4 Características básicas de lámparas Fluorescentes.....	11
Tabla 1.5 Características básicas de lámparas de Mercurio	12
Tabla 1.6 Características básicas de lámparas Metal Halide	13
Tabla 1.7 Características básicas de lámparas Mixtas.....	14
Tabla 1.8 Características básicas de lámparas de Sodio Baja Presión.....	14
Tabla 1.9 Características básicas de lámparas de Sodio Alta Presión.....	15
Tabla 1.10 Características básicas de Lámparas LED.....	16
Tabla 2.1 Características de lámpara Schreder Ámbar 3.....	51
Tabla 2.2 Características de proyector Schreder Radial 3	52
Tabla 2.3 Descripción de la Luminaria 1	57
Tabla 2.4 Descripción de la Luminaria 2	58
Tabla 2.5 Descripción de la Luminaria 3	58
Tabla 2.6 Descripción de la Luminaria 4	58
Tabla 2.7 Descripción de la Luminaria 5	59
Tabla 2.8 Descripción de la Luminaria 6	59
Tabla 2.9 Descripción de la Luminaria 7	59
Tabla 2.10 Descripción de la Luminaria 8	60
Tabla 2.11 Descripción de la Luminaria 9	60
Tabla 2.12 Descripción de la Luminaria 10	60
Tabla 2.13 Descripción de la Luminaria 11	61
Tabla 2.14 Descripción de la Luminaria 12	61
Tabla 2.15 Descripción de la Luminaria 13	61
Tabla 2.16 Descripción de la Luminaria 14	62
Tabla 2.17 Descripción de la Luminaria 15	62
Tabla 2.18 Descripción de la Luminaria 16	62
Tabla 2.19 Descripción de la Luminaria 17	63
Tabla 2.20 Descripción de la Luminaria 18	63
Tabla 2.21 Descripción de la Luminaria 19	63
Tabla 2.22 Descripción de la Luminaria 20	64
Tabla 2.23 Descripción de la Luminaria 21	64
Tabla 2.24 Descripción de la Luminaria 22	64
Tabla 2.25 Descripción de la Luminaria 23	65

Tabla 2.26 Descripción de la Luminaria 24	65
Tabla 2.27 Descripción de la Luminaria 25	65
Tabla 2.28 Descripción de la Luminaria 26	66
Tabla 2.29 Características del circuito 1	67
Tabla 2.30 Datos recopilados según Fluke 435	68
Tabla 2.31 Características del circuito 2	70
Tabla 2.32 Datos recopilados Según Fluke 435.....	71
Tabla 2.33 Características del circuito 3	72
Tabla 2.34 Datos recopilados Según Fluke 435.....	73
Tabla 2.35 Características del circuito 4	74
Tabla 2.36 Datos recopilados Según Fluke 435.....	75
Tabla 2.37 Características del circuito 5	77
Tabla 2.38 Características del circuito 6	78
Tabla 2.39 Datos recopilados Según Fluke 435.....	79
Tabla 2.40 Identificación de zonas de conflicto.....	81
Tabla 2.41 Niveles De Iluminación Para Zonas De Conflicto	82
Tabla 2.42 Valores Reales Vs Valores Simulados	98
Tabla 2.43 Diagnóstico Del Sistema Eléctrico De Iluminación	102
Tabla 2.44 Resumen De Diagnóstico De Niveles Iluminación.....	106
Tabla 2.45 Valores Simulados En Dialux Con Tasa De Falla Cero	109
Tabla 2.46 Descripción de la Luminaria 27	110
Tabla 2.47 Descripción de la Luminaria 28	110
Tabla 2.48 Descripción de la Luminaria 29	111
Tabla 2.49 Descripción de la Luminaria 30	111
Tabla 2.50 Descripción de la Luminaria 31	111
Tabla 2.51 Descripción de la Luminaria 32	112
Tabla 2.52 Descripción de la Luminaria 33	112
Tabla 2.53 Descripción de la Luminaria 34	112
Tabla 2.54 Descripción de la Luminaria 35	113
Tabla 2.55 Descripción de la Luminaria 36	113
Tabla 2.56 Valores Simulados en Dialux de sistema corregido.....	114
Tabla 2.57 Características básicas de bombillas LED	116
Tabla 2.58 Características básicas de Bombillas Par	117
Tabla 2.59 Características básicas de Dicroicas LED	117
Tabla 2.60 Características básicas de Rgb LED.....	118
Tabla 2.61 Características básicas de Fluorescente LED.....	119
Tabla 2.62 Características básicas de Downlight LED.....	120

Tabla 2.63 Características básicas de Streetlight LED	120
Tabla 2.64 Características básicas de Highbay LED	121
Tabla 2.65 Características Sylvania Endura Cityliner S60	126
Tabla 2.66 Características Schreder Teceo 2	128
Tabla 2.67 Características BBE Lu4 2	129
Tabla 2.68 Medidas de iluminancia y uniformidad.....	132
Tabla 2.69 Características del Circuito 1A LED	134
Tabla 2.70 Características del Circuito 1B LED	135
Tabla 2.71 Características del Circuito 2 LED.....	136
Tabla 2.72 Características del Circuito 3 LED.....	138
Tabla 2.73 Características del Circuito 4 LED.....	139
Tabla 2.74 Características del Circuito 5 LED.....	140
Tabla 2.75 Características del Circuito 6A LED	142
Tabla 2.76 Características del Circuito 6B LED	143
Tabla 2.77 Características del Circuito 7 LED.....	144
Tabla 2.78 Características del Circuito 8 LED.....	146
Tabla 2.79 Niveles de iluminación con lámparas LED	151
Tabla 4.1 Niveles de iluminación. Requeridos Vs. Alcanzados Con LED.....	197
Tabla 4.2 Cálculo de energía en función de horas de consumo del Campus Kennedy en sodio	199
Tabla 4.3 Cálculo de energía en Función de horas de consumo del Campus Kennedy en LED.....	199
Tabla 4.4 Lámpara Teceo 2 LED vs. Lámparas Ámbar Sodio.....	200
Tabla 4.5 Sistema Propuesto vs. Marcas Comerciales	203
Tabla 4.6 Comparación de ZigBee vs. PLC	203
Tabla 4.7 Potencia y energía de lámparas de Sodio.....	204
Tabla 4.8 Potencia y energía de lámparas LED.....	204
Tabla 4.9 Precio de Consumo de tecnología Sodio y LED.....	205
Tabla 4.10 Costos de inversión.....	206
Tabla 4.11 Indicadores del proyecto	206
Tabla 4.12 Costos de inversión con Sylvania Enduro S60.....	208
Tabla 4.13 Indicadores del proyecto	208

CAPÍTULO I

GENERALIDADES Y FUNDAMENTOS TÉCNICOS

1.1. GENERALIDADES Y ANTECEDENTES

El campus Kennedy de la Universidad Politécnica Salesiana se encuentra ubicada en la ciudad de Quito, en las calles José Bustamante y Gonzalo Zaldumbide.



Fig. 1.1 Ubicación Geográfica del Campus Kennedy de la U.P.S.¹

1.2. ALUMBRADO PÚBLICO

Se puede considerar al alumbrado público como un servicio que se presta a lugares de libre acceso, que consiste en la iluminación de los mismos como son por ejemplo los parques, plazas y las vías de circulación vehicular y peatonal etc., que no se encuentran adjudicados al pago o consumo de una sola persona sea esta natural o jurídica, sino al bien común dentro de una zona rural o urbana, con el fin de proporcionar un desarrollo normal de actividades por medio de la iluminación que brinda el servicio a la comunidad.

Dentro de este servicio se incluye también los sistemas de semaforización o sistemas que ayuden al entorno social. El servicio requiere de ciertos requisitos para su funcionamiento, aparte de la energía necesaria se necesita control de la

¹<https://maps.google.com/maps?hl=en&q=mapa+de+quito&ie=UTF-8&hq=&hnear=0x91d59a4002427c9f:0x44b991e158ef5572,Quito+Canton,+Ecuador&ei=Zx-6UJHMLJLu8ATus4CoCQ&ved=0CC0Q8gEwAA>

misma, plasmado en administración, mantenimiento, operación, y proyección a futuro.

La función principal de este servicio público es brindar un aporte a la sociedad con calidad, eficiencia, confiabilidad y eficacia, adaptándose al desarrollo de la urbe considerando el ámbito económico y ambiental. [1] [2]

1.2.1 HISTORIA

La iluminación nace desde tiempos ancestrales con el control del fuego. Por medio de antorchas las personas en el tiempo antiguo iluminaban lugares que necesitaban para su diario vivir. Como esta solución no era duradera empezaron aparecer los primeros sistemas de luminarias con diferentes derivaciones, como son las que utilizan mechas y aceites que permitían una iluminación más cómoda por su prolongación de tiempo funcional. Es así que con el pasar del tiempo aparecen las primeras ordenanzas para alumbrado público en el siglo XVI.

En 1807 la iluminación por gas fue la primera en utilizarse como alumbrado público, cuando el científico Frederick Albert Winsor utilizó este medio para iluminar un costado de una calle en Londres llamada Pall Mall, esto basándose en los estudios de Philippe Lebon científico francés que fue uno de los iniciadores del campo de la iluminación pública.

En 1875 el ruso Pavel Yablochkov desarrolla la primera farola eléctrica del tipo arco eléctrico, estas farolas eran conocidas como velas eléctricas y llevaban el nombre de su creador en su honor. Estos dispositivos funcionaban por medio de arco eléctrico con electrodos de carbón que ardían de manera regular por medio de la utilización de corriente alterna. El país que adoptó esta tecnología en masa fue los Estados Unidos ya que para el año 1980 existían alrededor de 130000 velas eléctricas instaladas en su territorio.

En Europa el primer país con contar con alumbrado público por electricidad fue Rumania, específicamente la ciudad de Timisoara, con la instalación de 731 lámparas el 12 de noviembre de 1884. Notablemente por ser un producto y un sistema en desarrollo no era perfecto, la luz de arco eléctrico poseía dos inconvenientes considerables, el primero de estos era el gran desprendimiento de calor y su luz intensa, lo que provocaba incomodidad para ser utilizada en calles de centros urbanos, aunque esta desventaja era utilizada al máximo en lugares donde se necesitaba este tipo de luz como los astilleros, y su otro inconveniente era su nivel de mantenimiento, ya que los electrodos de carbón se desgastaban de forma

rápida. Con el desarrollo de lámparas incandescentes baratas, fiables y brillantes a finales del siglo XIX, las lámparas de arco fueron obsoletas para el alumbrado público, permaneciendo para usos industriales según los requerimientos.

Tiempo después apareció la primera lámpara de vapor de mercurio de alta presión, la que utilizaba un gas a alta presión para la descarga del arco eléctrico que la hacía funcional, por lo que se llamó High Intensity Discharge o HID, conocidas en español como DAI, que significa Descarga en Alta Intensidad. Su desventaja es su rápida pérdida de intensidad luminosa por degradación de sus componentes internos, su emisión de luz es puntual. Posterior a esta lámpara apareció la lámpara de vapor de sodio de baja presión, que emitía una luz monocromática, tiempo después apareció la evolución, la lámpara de vapor de sodio de alta presión, cuya emisión de luz es de color ámbar, tiene mejores características que la de baja presión en su tamaño y su emisión de luz que es más puntual, lo que la hace manejable y más dócil al diseño de luminarias, son lámparas HID o DAI. [2] [3]

1.2.2 CONCEPTOS DE ALUMBRADO PÚBLICO

1.2.2.1. LUMINARIAS

Las luminarias son dispositivos que permiten dividir el flujo luminoso que proporcionan las lámparas, con el fin de iluminar puntos u objetos, todas las luminarias deben cumplir con normas estandarizadas para su buen funcionamiento y aplicación, parámetros eléctricos, mecánicos y de luminotecnia.

Los fabricantes han puesto su atención en la elaboración de los complementos de las luminarias como son los difusores, reflectores y refractores, que son los que permiten que el dispositivo opere de manera eficiente y óptima.

Todo el equipo debe estar diseñado para operar en condiciones adversas del clima o los agentes atmosféricos dañinos como el agua o el polvo, esto quiere decir que tanto luminarias como lámparas y resto de complementos (alimentadores, conectores, portalámparas etc.) deben ser elaboradas bajo normas internacionales de funcionamiento. [2]



Fig. 1.2. Luminarias²

1.2.2.1.1. ELEMENTOS DE LAS LUMINARIAS

Las luminarias están compuestas por partes o elementos básicos, que permiten que cumpla con el funcionamiento correcto cumpliendo la función para la cual son implementadas dentro de un sistema de iluminación.

Reflectores: son los encargados de la emisión correcta de la luz que provee la fuente luminosa, independientemente de del tipo que sea esta. Están fabricadas de tal manera que los componentes brinden una mayor proyección de luz, su material de composición es aluminio reluciente y anodizado, con laminas esmaltadas o con vidrio con colores metalizados para reflejar.

Refractores: son los encargados de la distribución de la luz, es decir de la dirección correcta y preestablecida por la luminaria, su material de composición es de plástico o vidrio con acabados prismatizados con el fin dotar la dirección, su forma es vital para su función, se construyen en forma de media pera, copa o globo.

Difusores: son los encargados de dotar a la luminaria de un correcto nivel de deslumbramiento, por medio de la disminución de la luminancia a través de filtros contruidos de materiales pálidos, pueden ser de materiales plásticos o de vidrio, para garantizar así que no afecte al ojo humano. [2]

²<http://http://energiaenlaweb.com/sobre-bombillas-parte-1/>

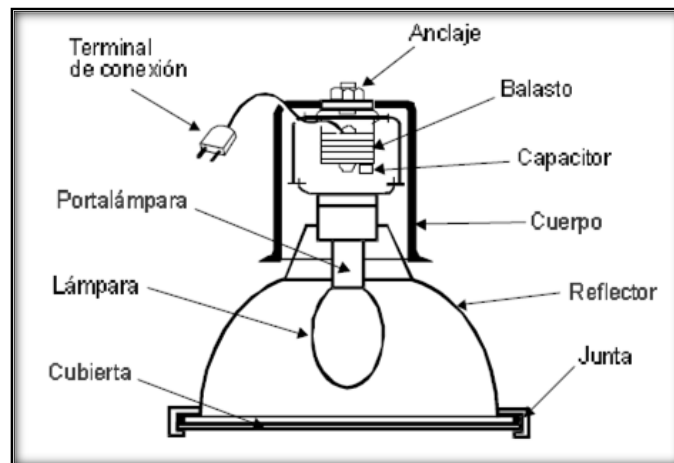


Fig. 1.3. Esquema de una luminaria³

1.2.2.2. CUALIDADES DE LAS LUMINARIAS

Todas las luminarias deben tener varias cualidades o características que deben cumplir para que se puedan desempeñar de manera óptima dentro de una instalación de alumbrado. Las principales cualidades son las siguientes:

Óptica: Esta direccionada al buen funcionamiento de la luminaria, la distribución óptica debe estar en función a la aplicación a realizarse para contar con un sistema eficaz, su rendimiento luminoso es de vital importancia, pero se debe reducir en determinadas direcciones la luminancia para evitar deslumbramiento.

Mecánica y Eléctrica: la luminaria debe ser solida, el material del que están compuestos debe ser el adecuado de acuerdo al ambiente de funcionamiento, la estructura de la luminaria debe permitir el correcto funcionamiento de la temperatura de la lámpara colocada en ella, ser amigable con el mantenimiento, fácil de montar y desmontar para limpieza, de contar con un cómodo acceso hacia la lámpara y complementos eléctricos que disponga la misma.

Estética: no debe causar molestia al ambiente donde están aplicado el sistema tanto en la mañana cuando no funcionan así como en la noche que permanecen encendidas, no debe generar contaminación visual. [4]

³<http://es.scribd.com/doc/50918295/APUNTES-GENERALES-SOBRE-REDES-DE-DISTRIBUCIÓN-ELÉCTRICA>

Las cualidades de una luminaria definen el funcionamiento de la misma, permitiendo así satisfacer la necesidad de alumbrado en una determinante zona o sector, las características que se detallaron hace que un dispositivo de iluminación sea eficiente y de buena calidad.

1.2.2.3. POSTES

Los postes son elementos complementarios para las luminarias, son partes del montaje de las mismas y son utilizados en distintas circunstancias dependiendo del sitio donde se los coloque, como pueden ser, avenidas, calles, plazas, jardines, edificios, parques, etc., y para lo cual deben cumplir con varios requerimientos en su composición mecánica. Los aspectos más importantes en este caso son los efectos adversos que provoca el clima, la carga que representa el viento, el sol y la nieve, los efectos de degradación de los agentes que están presentes en el entorno, son factores importantes al formar la composición del poste, se debe tomar en cuenta la facilidad de transporte, para la instalación o sustitución del mismo, deben ser resistentes para que no demanden un factor de mantenimiento tan alto y no provocar contaminación visual. [2]

Existen en el mercado una variedad de formas de acuerdo al uso para el que vaya a ser instalado y desde el punto de vista del material los más importantes son:

De Acero: los postes de acero son utilizados en ambientes que tienen un nivel corrosivo alto, debidamente protegidos y elaborados adecuándolos con pintura anticorrosiva o galvanizándolos, utilizados en lugares donde no se puedan usar postes de hormigón por su peso pero donde se necesite un nivel confiable de duración y rigidez.



Fig. 1.4. Poste de Acero⁴

⁴<http://www.ve.all.biz/g8463/>

De Cemento Armado: son postes de larga duración y bajo nivel de mantenimiento, son usados en lugares con alto nivel corrosivo, es decir que son aptos para los inconvenientes que presenta el clima porque funcionan al aire libre. Su principal desventaja es su peso por lo cual no puede ser utilizado en todos los lugares deseados.



Fig. 1.5. Poste de Cemento armado⁵

De Aluminio: los postes de aluminio son utilizados por su bajo peso, tienen un nivel alto de resistencia a ambientes corrosivos, bajo nivel de mantenimiento y prácticos para su implementación, su principal desventaja es el alto costo de adquisición, en la mayoría de los casos superan al valor de un poste de cemento o de acero.



Fig. 1.6. Poste de Aluminio⁶

⁵Autores

⁶Autores

De Material Plástico: este tipo de poste es utilizado en lugares donde no se puede colocar gran cantidad de peso como son puentes o muelles, su altura está limitada por su composición, son tienen buena resistencia a la corrosión, su ventaja es su peso, pero su costo es relativamente elevado. [2]



Fig. 1.7. Poste de Plástico⁷

1.2.2.4. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO.

El punto de partida para un proyecto de iluminación pública son los elementos a considerar y, además, ciertos requisitos que debe satisfacer la instalación como son:

Para todo proyecto de iluminación se debe considerar ciertos requisitos que permiten que un sistema funcione de manera correcta y eficaz, los cuales permiten garantizar que todas las demandas sean cubiertas, estos requisitos son:

- Evitar el fenómeno de deslumbramiento (ofuscación de la vista debido a una luz fuerte que puede causar molestia al ojo).
- Ofrecer un grado aceptable de uniformidad en la iluminación.
- Facilitar el mantenimiento.
- Satisfacer las condiciones de estética.
- Dar un grado satisfactorio de confiabilidad. [2] [5]

⁷<http://www.corzocomposites.com/cms/productos/otros-productos.html>

1.3 TIPOS DE LÁMPARAS

1.3.1 INCANDESCENTES

Este tipo de lámpara está compuesto por un filamento de tungsteno, su luz es generada por el paso de corriente eléctrica a través de este, y la temperatura elevada que provoca este movimiento de electrones provoca una radiación visible en forma de luz. Este filamento se encuentra dentro de una ampolla de vidrio en vacío o rellena con gas, con esto se evita que el componente haga combustión por la alta temperatura generada. Básicamente el rendimiento de este tipo de lámparas es bajo, ya que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor, su beneficio se ve reflejado en su bajo costo y en que garantiza la iluminación de los objetos en sus colores originales. [4]

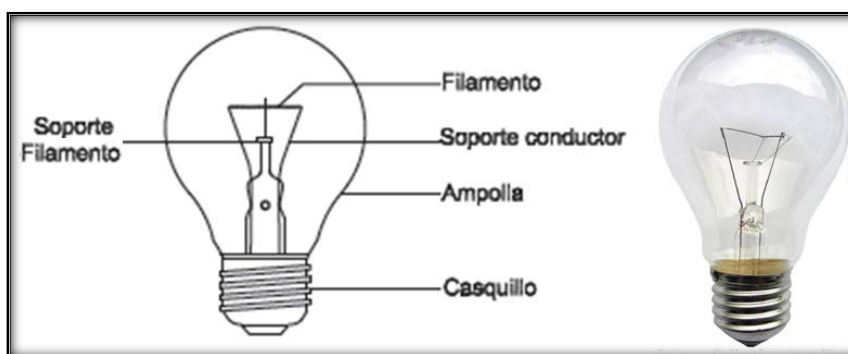


Fig. 1.8. Lámpara Incandescente⁸

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	1000	Horas
Eficiencia Luminosa	9-17	lm/W

Tabla 1.1. Características Básicas de Lámparas Incandescentes [4]

1.3.2 HALÓGENOS

Al igual que las lámparas incandescentes las lámparas halógenas funcionan bajo el mismo principio, la diferencia está en que existe un componente halógeno sumado al gas que posee la ampolla que cubre al filamento, y este componente halógeno actúa de forma regenerativa. Las temperaturas que alcanza esta lámpara es elevada y en su forma existen básicamente dos tipos, suelen ser con casquillo de rosca o casquillo bi-pin, el primero con o sin reflector y el segundo lineal o con reflector. [4]

⁸ Autores

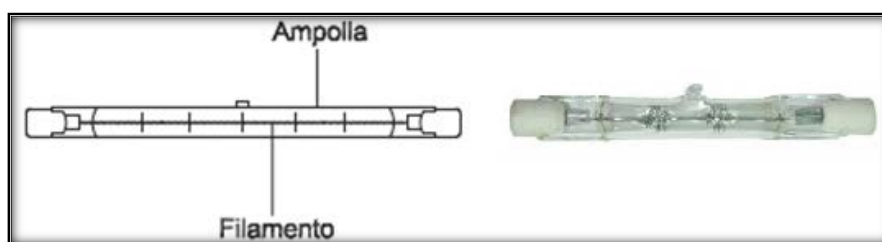


Fig. 1.9. Lámpara Halógena⁹

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	2000	Horas
Eficiencia Luminosa	15-27	lm/W

Tabla 1.2. Características Básicas de Lámparas Halogenas [4]

1.3.3 FLUORESCENTES

Las lámparas fluorescentes son tubos de vapor de mercurio a baja presión, que funcionan con radiación ultravioleta. Esta radiación se hace visible gracias a que las paredes del tubo están cubiertas por polvos fluorescentes y estos entran en reacción con los rayos UV. Actualmente para la creación de este tipo de lámparas se dispone de 2 tipos de polvos reactivos, los que producen espectro continuo y los trifosforos. [4]

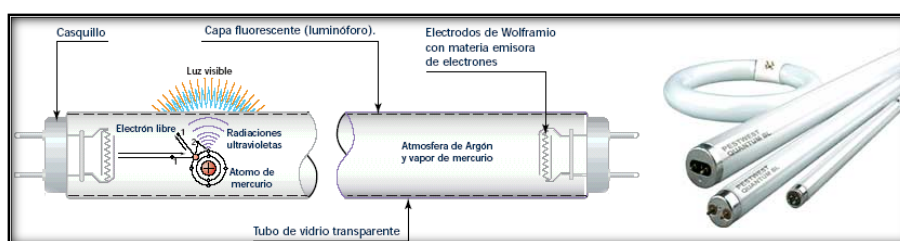


Fig. 1.10. Lámpara Fluorescente¹⁰

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	8000-12000	Horas
Eficiencia Luminosa	65-100	lm/W

Tabla 1.3. Características Básicas de Lámparas Fluorecentes [4]

⁹ Autores

¹⁰ Autores

1.3.4 COMPACTOS FLUORESCENTES

Los fluorescentes compactos tienen las mismas características de los tubos fluorescentes, se podría decir que son una derivación de los mismos, su tamaño reducido los hace semejantes a las lámparas incandescentes, su principal característica es su bajo consumo de energía, y su reproducción de color, pueden estar dotados o no de un balastro dependiendo del tipo de rosca que presenten. [4]

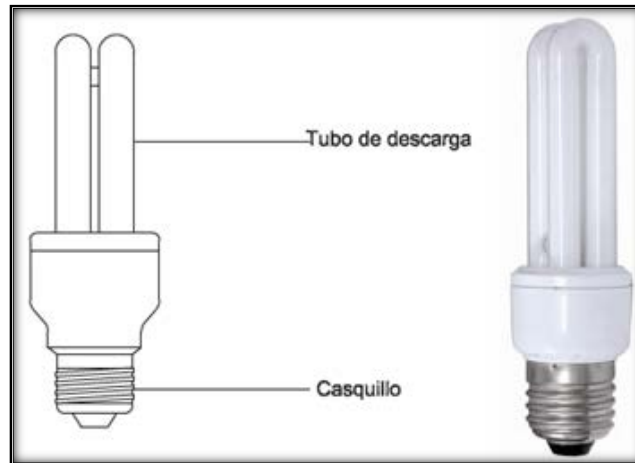


Fig. 1.11. Lámpara Fluorescente Compacto¹¹

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	8000-12000	Horas
Eficiencia Luminosa	45-70	lm/W

Tabla 1.4. Características Básicas de Lámparas Fluorecentes [4]

1.3.5 MERCURIO

La lámpara de mercurio es una de las que funciona con alta presión, su periodo de encendido es relativamente largo, oscila entre los 4 y 5 minutos, tiene un color azul verdoso característico al encendido, su eficiencia es directamente proporcional a la potencia. Para su encendido ioniza el contenido del bombillo y por medio de un electrodo auxiliar que se encuentra próximo a uno de los dos electrodos principales de la lámpara, con esto se logra la descarga produciendo el encendido de la misma.

Tiene además complementos necesarios para su funcionamiento como son un condensador para mejorar su factor de potencia y un balastro para regular la corriente de encendido. [4]

¹¹ Autores

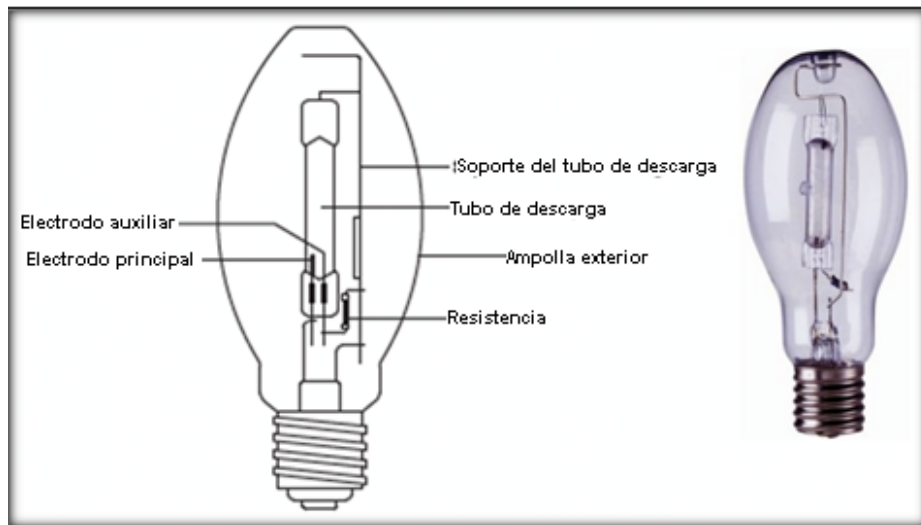


Fig. 1.12. Lámpara de Mercurio¹²

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	12000-16000	Horas
Eficiencia Luminosa	40-60	lm/W

Tabla 1.5. Características Básicas de Lámparas de Mercurio [4]

1.3.6 METAL HALIDE

Las lámparas de este tipo están caracterizadas por su alto rendimiento de color y su elevada eficiencia, están compuestas de un tubo de descarga relleno de mercurio en alta presión y compuesto por una combinación de halogenuros metálicos como el Dysprosio (Dy), Tulio (Tm) y Holmio (Ho), los que permiten que la eficiencia crezca considerablemente proponiéndolas incluso superiores a las lámparas de mercurio.

Al igual que las lámparas de mercurio poseen equipos auxiliares para su funcionamiento como arrancador, balasto y condensador. [4]

¹²Autores



Fig. 1.13. Lámpara de Mercurio en Alta Presión (metal halide)¹³

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	6000-15000	Horas
Eficiencia Luminosa	75-95	lm/W

Tabla 1.6. Características Básicas de Lámparas Metal Halide [4]

1.3.7 LUZ MIXTA

Como su nombre lo indica estas lámparas son una mezcla de lámpara de mercurio con una lámpara incandescente, al igual que las incandescentes utilizan un filamento y la vida útil está dada por el mismo, por usar filamento para su funcionamiento no necesitan balasto, ya que este es quien se encarga de regular la corriente con la que funciona. [4]

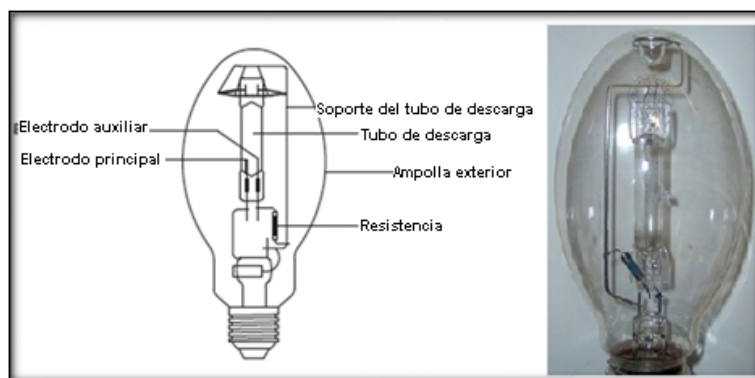


Fig. 1.14. Lámpara de Luz Mixta¹⁴

¹³ Autores

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	3500	Horas
Eficiencia Luminosa	16-22	lm/W

Tabla 1.7. Características Básicas de Lámparas Mixtas [4]

1.3.8 SODIO BAJA PRESIÓN

Las lámparas de sodio de baja presión son lámparas de considerable eficiencia, ya que la reacción que estas producen al momento de condensarse no produce calor considerable haciendo que su capacidad lumínica mejore. Normalmente tienen forma de U, y su composición interna es a base de óxido de indio encerrada en una cubierta de vidrio al vacío. El vacío mezclado con la capa de indio actúa como reflector infrarrojo, y esto permite que la temperatura de operación sea adecuada, esta temperatura normalmente se encuentra a 269°C. [4]

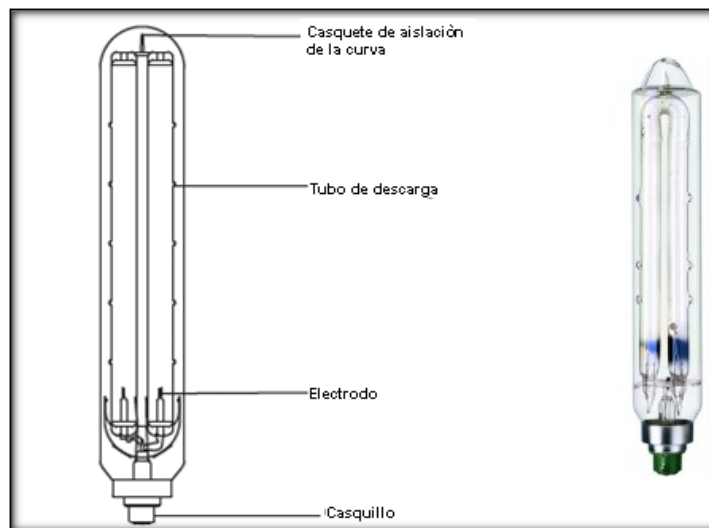


Fig. 1.15. Lámpara de Sodio Baja Presión¹⁵

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	18000	Horas
Eficiencia Luminosa	100-183	lm/W

Tabla 1.8. Características Básicas de Lámparas de Sodio Baja Presión [4]

1.3.9 VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN

Este tipo de lámparas a diferencia con las de baja presión es la cantidad de sodio que almacenan, estas lámparas poseen mayor cantidad, y además de este

¹⁴ Autores

¹⁵ Autores

componente poseen mercurio y xenón, que son los que permiten que sea viable el encendido de la lámpara y a su vez limitan la elevación de calor en las paredes del tubo por el arco de descarga que se produce. Este tipo de lámpara es aplicado en iluminación exterior, ya que su espectro visible es de alta calidad por los objetos iluminados.

Al igual que otras lámparas posee elementos auxiliares para su funcionamiento, como son el arrancador que nos permite limitar el pico de corriente que se produce en el encendido, y un condensador para mejorar el factor de potencia. [4]

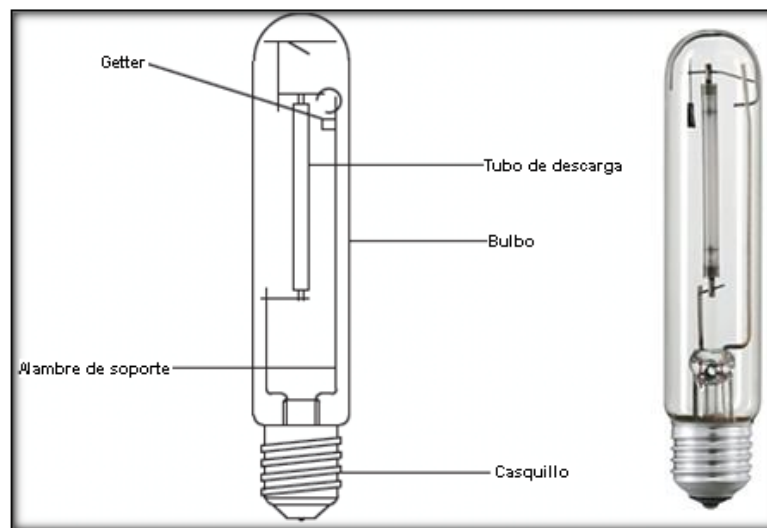


Fig. 1.16. Lámpara de Sodio a Alta Presión¹⁶

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	10000-24000	Horas
Eficiencia Luminosa	70-130	lm/W

Tabla 1.9. Características Básicas de Lámparas de Sodio Alta Presión [4]

1.3.10 LED

Las lámparas LED están conformados por bancos reunidos de diodos emisores de luz, es decir que una lámpara de este tipo está compuesta por una cierta cantidad de LEDs, esta cantidad va de acuerdo a la fuente luminosa a la que se desea llegar comparándose con lámparas de uso común como las fluorescentes y las incandescentes. Esta lámpara se caracteriza además por ser de estado sólido.

¹⁶Autores

En la actualidad las lámparas LED tienen muchos usos, ya que su gama es amplia y abarca casi todos los campos lumínicos, este tipo de lámparas muestran ciertas ventajas como son el ahorro energético que representa su mayor aporte junto con su larga vida útil, su velocidad de arranque es inmediato, está diseñada para arranques y paros continuos, es decir que funciona bajo un esfuerzo considerable, su desventaja más notable es la de su elevado costo frente a otras lámparas que se encuentran en el mercado.

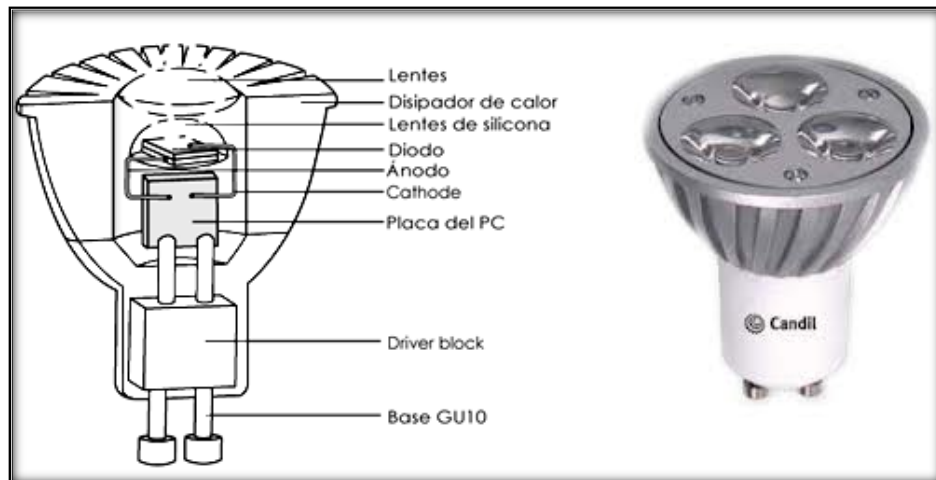


Fig. 1.17. Lámpara LED¹⁷

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	25000-50000	Horas
Eficiencia Luminosa	150	lm/W

Tabla 1.10. Características Básicas de Lámparas Led [6]

1.4 SISTEMAS DE CONTROL Y COMUNICACIÓN

1.4.1. SISTEMA DE COMUNICACIONES

El sistema de comunicaciones es de vital importancia, ya que se encarga del manejo de los datos que gobiernan un proceso, dependiendo del tipo de trabajo que vaya a realizar el sistema se puede implementar diferentes tipos de protocolos de comunicación, variando en su velocidad y capacidad de manejo de datos, entre las características más importantes que se puede destacar de cada protocolo.

¹⁷ Autores

Existen diferentes tipos de protocolos de comunicación, los cuales dependen del tipo de medios físicos que se tenga dentro del proceso para ser implementados, entre los principales se encuentran los siguientes:

RS485

Dentro de las comunicaciones industriales se han desarrollado varios estándares y configuraciones, teniendo como gran referencia al estándar de transmisión RS485.

Este estándar pertenece a la capa física del modelo OSI, el cual posibilita la conexión de muchos dispositivos en un solo cable, alcanzando altas velocidades de transmisión sobre largas distancias (12 Mbps hasta 12 metros y 100 Kbps en 1.200 metros).

Cabe resaltar que ésta configuración es la más utilizada por Profibus debido a sus favorables características, entre las cuales se menciona:

- Conexión hasta 32 dispositivos
- Adaptabilidad en externos
- Velocidades entre 9.6 kBits/s a 12 Mbits/s.
- Cable de par trenzado apantallado.
- Dependiendo de la velocidad, transmite hasta 1200m. Con repetidores de señal podría incrementarse a 10000m.
- Resistencia a interferencias de señales de diferencia de tensión. [7]

PRINCIPIO DE TRANSMISIÓN.

RS485 se basa en la transmisión de señales como diferencia de potencial, sin referencia de tierra. En el caso de haber interferencias, afectan por igual a las dos señales.

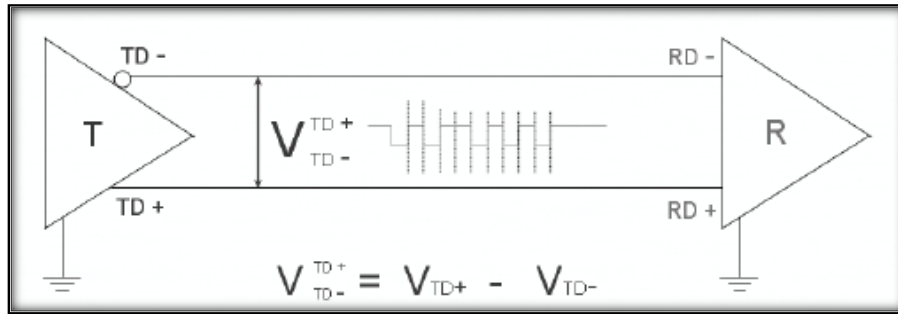


Fig. 1.18. Conexión Diferencial.¹⁸

En el destino, la señal definitiva se obtiene de restar las dos señales recibidas con lo cual la interferencia se anula.

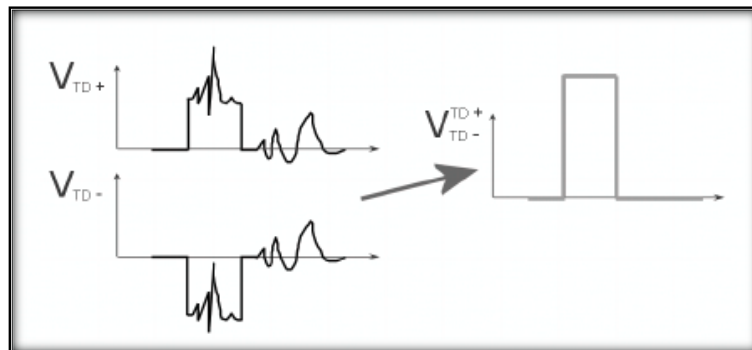


Fig. 1.19. Interferencia en Señal Diferencial.¹⁹

Para compensar las diferencias de potencial que aparecen en las grandes instalaciones suele tenderse un cable de igualación de potencial, para evitar corrientes que fluyan a través de la malla del cable de señal.

El cable utilizado para la transmisión RS485 no tiene interrupciones y está terminado en sus extremos con resistencias de adaptación de línea.

Las estaciones (hasta 32) se conectan, en paralelo al cable de bus. Se aconseja conectar directamente la estación al bus mediante los conectores especiales diseñados a tal efecto (el cable de bus atraviesa el conector).

Es posible realizar conexiones con cable de hasta 1m, esto no se recomienda debido a las interferencias que se pueden generar en la línea (capacidades, reflexiones de señal). [7]

¹⁸ Rodríguez Penin, Aquilino. "Comunicaciones industriales", 2nd ed. Barcelona, España: Marcombo. 2008. p.9

¹⁹ Rodríguez Penin, Aquilino. "Comunicaciones industriales", 2nd ed. Barcelona, España: Marcombo, 2008. p.9

PROFIBUS

Para comunicaciones Maestro-Esclavo el protocolo Profibus brinda una solución factible, así como sistemas de Seguridad, Control de movimiento y procesos en general aplicados a industrias. Es un modelo muy flexible tan así que está presente en todos los niveles de automatización, desde niveles básicos como son los actuadores y sensores, has sistemas complejos de adquisición de datos. Profibus se desarrolló por medio de la unión de varias instituciones educativas y empresas involucradas en el campo en el año de 1989.

ProfibusFMS sirve para el manejo de grandes cantidades de datos, básicamente para intercambiar información entre autómatas. Para este tipo de protocolo se considera más el funcionamiento del mismo, que la rapidez con la que actúa, por lo que los tiempos de reacción son más lentos. La transmisión de datos es de tipo acíclico.

Utilizado originalmente para comunicar autómatas programables, controladores y PCs, convirtiéndose más tarde en la variante utilizada cuando debían comunicarse equipos de distintos fabricantes. Se desarrolló para el intercambio de datos entre dispositivos de automatización inteligentes.

Trabaja con programación orientada a objetos, permitiendo así el acceso estandarizado a variables, programas y áreas de datos. Todos los objetos de la comunicación de una estación se introducen en la configuración del sistema de bus en el objeto directo. El acceso al objeto de comunicación se realiza a través de un índice o a través de símbolos.

Convierte a los elementos de la red en dispositivos virtuales, VFD (Virtual Field Dvice), que son parte de un proceso de comunicación de un dispositivo real.

Profibus DP (Periferia Descentralizada), se completa en 1993 (aproximadamente el 90% de Esclavos Profibus son Profibus DP), diseñado para la comunicación de datos a alta velocidad a nivel de dispositivo. Los controladores centrales (PLCs/PCs) se comunican con los dispositivos de campo distribuido por medio de un enlace serie de alta velocidad.

La idea era desarrollar un sistema de bus de campo abierto y transparente a los fabricantes, que permitiese unir en una red de comunicación dispositivos de automatización del nivel de sensores y actuadores con el nivel de célula.

Características principales:

- Acceso al bus por Paso de testigo entre Maestros y Maestro-Esclavo con el resto de estaciones.
- Permite sistemas mono Maestro o multi Maestro.
- Comunicación cíclica Maestro-Esclavo.
- Comunicación Punto a punto (comunicación de datos de usuario) o multicast.
- Tiempo de ciclo típico: 5 a 10 ms.
- Hasta 32 estaciones por segmento.
- Hasta 127 estaciones en total, con 9 a 246 bytes de datos de usuario.
- Velocidad: 9,6 KBaud a 12 MBaud.
- Los módulos de bus pueden conectarse y desconectarse en marcha.
- Trasmisión: RS485 o por fibra óptica.
- El bus se puede ampliar mediante repetidores.
- La topología de un segmento es lineal (hasta 1200m). con repetidores, se puede elaborar una estructura en árbol.
- Hasta 12 km con cables y hasta 23,8 km con fibra óptica.

Profibus PA (Automatización de Procesos), conecta los sistemas de automatización y los sistemas de control de procesos con los dispositivos de campo como son por ejemplo los transmisores (presión, temperatura).

Datos fundamentales de Profibus PA:

- Trasmisión digital síncrona.
- Velocidad: 31,25 Kbits/s.
- Alimentación de potencia (VDC) en el cable de bus.
- Topologías: Lineal, Árbol y Estrella.
- Hasta 32 estaciones por segmento.
- Longitud de segmento hasta 1900 m (sin repetidor).
- Bus expandible con un máximo de 4 repetidores por segmento. [8]

PROFINET

Protocolo de comunicaciones para bus de campo, que permite el funcionamiento en tiempo real para datos de E/S cíclicos. Utiliza la arquitectura maestro/esclavo, posee la característica de ser una comunicación rápida, flexible y abierta, alta velocidad de tiempo de ciclo por dispositivo, soporta configuración en anillo.

Esto incluye un soporte óptimo para los diferentes tipos de aplicación, Profinet ofrece dos posibilidades: Profient IO para la integración de periferia descentralizada, y Profinet CBA para la creación de plantas modulares en la automatización distribuida. A través de su concepto proxy, Profinet permite una perfecta integración de los sistemas de bus de campo. Se trata de una importante función de expansión.

Sin embargo, Profinet es mucho más que solo un óptimo sistema para la automatización de la ingeniería basado en Ethernet Industrial. Profinet es un estándar global que cumple todas las demandas de uso de Ethernet en la automatización industrial, cubriendo comunicación a nivel de controlador, un estándar de automatización para sistemas E/S, hasta poderosas aplicaciones de control de movimiento. Profinet es adecuado para todas las aplicaciones de automatización.

El tema de las operaciones de mantenimiento ha sido un paso inicial hacia una interfaz con el nivel MES (Manufacturing Execution Systems). Con respecto a la automatización de procesos, las demandas para el uso de Profinet actualmente están en vigencia.

La temprana introducción de la certificación de productos, ha adicionado mucha importancia a Profinet. Esta es una medida que acompaña el desarrollo tecnológico a través del cual, un alto nivel de calidad de los productos Profinet están garantizados desde el principio.

Profinet utiliza tres canales diferentes de comunicación para el intercambio o transferencia de datos con controladores programables y dispositivos de otros campos. Los canales de comunicación son:

- Primero es la canal estándar que utiliza el protocolo TCP / IP o UDP / IP para la comunicación Ethernet, que se aplica para parámetros, configuración y opciones acíclicas de read/write.

- El segundo es el flexible canal de comunicación en tiempo real, ProfinetSRT. Es usada para la comunicación entre controladores programables y sistemas de E / S. Las aplicaciones típicas de automatización de fábricas requieren actualización o tiempos de respuesta dentro de 5 a 10 ms. La comunicación RT realiza un bypass TCP / IP para agilizar el intercambio de datos con autómatas programables.
- La tercera es el canal sincrónico de tiempo real, conocido como hard-real-time communication (solida comunicación en tiempo real) que es Profinet IRT. La comunicación es sincronizada por medio de un reloj para aplicaciones de controles de movimiento. [8] [9]



Fig. 1.20. Red ProfiNet.²⁰

INDUSTRIAL ETHERNET

Ethernet es un protocolo de comunicaciones basado en la comunicación en estrella, por estar comunicado de esta manera la detección de fallos se facilita ya que por medio del cableado se puede realizar pruebas de comprobación de dispositivos, denominado Link-Led. [8]

²⁰ Autores

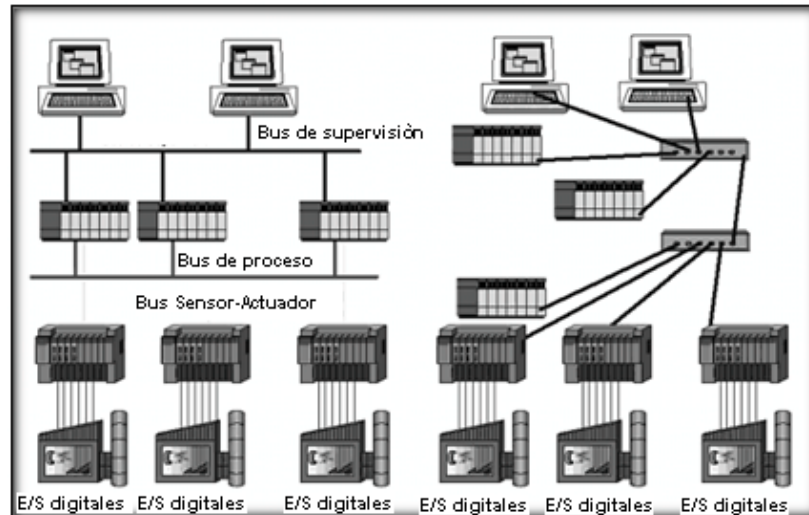


Fig. 1.21. Ethernet IP y un bus clásico.²¹

El estándar Ethernet fue desarrollado en conjunto por varios miembros del comité de normalización IEEE802.3, entre que los destacan IBM, AT&T y HP. Ethernet es un protocolo de comunicación de gran éxito debido a su facilidad de adaptación de la red, acoplándose a sistemas que han sido conformados con anterioridad y manteniendo sus características de topología y cableado. Es así que este protocolo ha ganado protagonismo por su fiabilidad y su bajo costo de implementación lo que permite que se expanda a nivel industrial con facilidad. Las redes Ethernet poseen una gran velocidad de transmisión es así que van desde 1 Megabit a 1 Gigabit, por medio de un cable categoría 6 UTP. Su disponibilidad y adaptación la hacen prioritaria al momento de considerar un protocolo de comunicación, tal es su alcance que ha desplazado a buses de campo como Profibus en su versión FMS.

Los estándares Ethernet abarcan una gran cantidad de niveles de aplicación y adopción de prioridad, es así que IEEE802.3 normaliza las capas física y de transporte de una red sometida a Ethernet, la cual está basada en el desarrollo de Xerox, que permite estandarizar la interconexión de equipos informáticos y ordenadores comunes.

Para la inter operación de sistemas en tiempo real lo recomendable es CIP (Common Industrial Protocol), que se adapta con facilidad a estos requerimientos de red.

²¹Rodríguez Penin, Aquilino. "Comunicaciones industriales". España: Marcombo, 2008. p 152.

Para la interpretación de la nomenclatura que utiliza Ethernet se necesita conocer a que pertenece cada parte de la descripción de la misma así:

- El primer número está dado por la velocidad de transmisión por segundo en Megabits.
- La parte central donde se encuentra todo un texto, hace referencia al tipo de transmisión que se utiliza, la cual puede ser de dos tipos, BASE (Banda base) y BROAD (Banda Ancha).
- La longitud del cable máxima está dado por el número que se encuentra en la parte derecha multiplicado por un factor 100.
- Existe una variación para estándares modernos el cual sustituye el número que hace referencia a la distancia por letras, las que representan el tipo de cableado utilizado en la aplicación. Por ejemplo 10BASE-1 o 10BASE-T.

Ethernet tiene varias versiones enfocadas al tipo de red que se vaya a implementar:

- Thick Ethernet (10BASE5), llamado también Ethernet Grueso, esta denominación se debe al cable utilizado para la transmisión de datos el cual es coaxial.
- Thin Ethernet (10BASE2), llamado también Ethernet fino, utilizado en entornos de oficina, direccionado a simplificación de redes, es aplicado por su bajo coste de implementación.
- 10BASE-T, esta es una remodelación de la capa física, el cambio fue orientado al cable, se dejó de utilizar cable coaxial para pasar al UTP, en el cable trenzado se utiliza dos pares, cada par tiene diferente función, el de transmisión y recepción.
- Versión de Fibra Óptica 10BASE-F, la cual se subdivide en tres tipos:
 - Fiber Passive (FP)
 - Fiber Backbone (FB)
 - Fiber Link (FL)
- Fast Ethernet (100BASE-T), es una evolución en la velocidad, su control de acceso fue mejorado 10 veces comparándola con versiones anteriores.
- Gigabit Ethernet, esta versión es una mejora al control de acceso al medio, su velocidad se ve incrementada considerablemente. Aplicado a entornos industriales mejorando sus características de funcionamiento por sus especificaciones físicas y su programación interna. [7]

MODBUS

Es un protocolo desarrollado por Modicon en 1979, permite la comunicación entre equipos inteligentes y dispositivos de campo, basándose en el enlace Maestro-Esclavo y/o Cliente-Servidor. Tiene un gran gama de trasmisión de datos, estos pueden ser de tipo analógico o digital, pueden ser registros completos y se aplica también para el monitoreo de dispositivos dentro de una red.

Modbus es un protocolo que permite monitorear elementos de campo vía comunicación inalámbrica, normalmente por medio de radiofrecuencia hacia terminales remotas (RTU), normalmente estos dispositivos se encuentran dentro de una red aplicada a estaciones de desarrollo industrial como subestaciones eléctricas y plantas petrolíferas, etc.

Los controladores pueden reconocer el tipo de mensaje de comunicación que proporciona Modbus, ya que este protocolo define el mismo, omitiendo el tipo de red que se utilizo para comunicarlos. La prioridad es de este protocolo es la comunicación Maestro-Esclavo. Para definir quién opera en cada una de las dos opciones basta con entender quien genera el mensaje y quien lo interprete, pues quien genera la orden se denomina Maestro y quien espera una es el Esclavo.

El formato que genera el protocolo para comunicarse con otros dispositivos sigue un orden lógico que va desde la dirección, la acción a realizar por medio del código que la identifica, datos adicionales por si los hubiera y la verificación de errores de trasmisión. El Maestro tiene la capacidad de comunicarse con sus Esclavos por medio de mensajes generales o específicos a cada uno, es decir aplicando comunicación punto a punto.

MODOS DE TRASMISIÓN

Los controladores pueden configurarse para los dos tipos de comunicación posibles:

ASCII

- Cada 8bit de un mensaje se envían como dos caracteres ASCII. La ventaja de esta modalidad es que se permiten tiempos muertos de hasta un segundo entre caracteres sin provocar un error.
- Utiliza codificación Hexadecimal.

- Un carácter hexadecimal contenido en cada carácter ASCII del mensaje.
- En cada byte:
 - 1 start bit
 - 8 bit de datos
 - 1 bit de pariedad
 - 1 stop bit con pariedad
 - Campo de verificación de error
 - Verificación de redundancia longitudinal

RTU

- Cada 8bit del mensaje se envían como dos caracteres hexadecimales de 4 bit. La ventaja de esta modalidad es la densidad de caracteres, más elevada que ASCII que aumenta la tasa de transmisión manteniendo la velocidad.
- La codificación es binaria de 8bit, hexadecimal.
- Dos caracteres hexadecimales por cada byte de mensaje.
- En cada byte:
 - 1 start bit
 - 8 bit de datos
 - 1 bit de parierad
 - 1 stop bit con pariedad
 - Campo de verificación de error
 - Verificación de redundancia cíclica

Es aplicado para sistemas de control y supervisión de procesos (Scada). Las interfaces de capa física pueden ser varias como: RS-232, RS-485.

Es el protocolo que más goza de disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales. La razón por la que Modbus es superior a otros protocolos de comunicación son:

- Es público.
- Su implementación es fácil y requiere poco desarrollo.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones. **[8] [10]**

DEVICENET

Es una red de comunicación digital de alta implementación gracias a su flexibilidad y su bajo costo económico, logrado por ser una red de tipo abierta. Al igual que otros protocolos es capaz de comunicar dispositivos industriales dentro de una red sean estos de tipo entrada o salida como son sensores, pulsadores, etc. Dentro de la red cada equipo forma un nodo.

Es una tecnología diseñada para satisfacer las exigencias de fiabilidad requeridas por los ambientes industriales. Utiliza CAN para el enlace de datos, y CIP (Protocolo Común Industrial) para las capas superiores de red.

Es un protocolo de comunicaciones industriales ya que está diseñado para satisfacer necesidades de alto nivel. Para el enlace de datos se basa en CAN, y para las capas superiores de la red utiliza Protocolo Común Industrial (CIP).

Con este protocolo de comunicaciones es posible mostrar el comportamiento de un dispositivo a distancia. Es muy abierto, tanto que un fabricante puede añadir detalles y funciones exclusivas de sus productos.

Su comunicación es del tipo jerárquica, es decir que puede reconocer órdenes y mensajes con prioridad dentro la red.

Puede funcionar fácilmente en la configuración Maestro-Esclavo al igual que en enlaces del tipo punto a punto.

El protocolo permite también alimentación directa por medio del cable físico para dispositivos de bajo consumo dentro de la red, facilitando así en los casos donde se aplique el cableado y reduciendo costos del sistema.

La red DivceNet utiliza topología lineal con pares separados para transmisión de señal y de potencia. El cable grueso (Thick cable) o delgado (Thin line) puede utilizarse tanto para la line principal (Trunk line) como para líneas secundarias (droplines). La longitud de red varía tanto por la velocidad como por los cables utilizados. [7] [11]

Características:

- Su velocidad de transmisión oscila entre los 125 y 500 Kbaud.

- Necesita una resistencia de 121 ohm en la línea principal, para adaptación de impedancias.
- Los elementos que estén conectados a la red pueden poseer o no aislamiento, basta colocar opto-acopladores para la conexión al bus.
- Los elementos conectados a la red pueden conectarse o no en caliente, no se necesita desconectar la red para realizar esta acción, se debe tomar en cuenta que si se añade un dispositivo se debe actualizar la lista de elementos.
- No existe inconvenientes con alimentaciones redundantes que se encuentren conectadas en cualquier punto de la red, ya que su línea principal soporta hasta 8 amperios.
- La alimentación para los nodos es a través del mismo cable trenzado, separado datos y potencia.
- La alimentación de sus salidas se las realiza por separado. [7]

1.4.2. REDES DE COMUNICACIÓN

Las redes de comunicación industriales, son las que permiten la transmisión de datos dentro de un sistema compuesto de dispositivos enlazados entre sí para coordinar, monitorear y controlar un determinado proceso o grupo de procesos.

Existen diferentes tipos y configuraciones de redes que nos permiten cumplir una función dentro de un proceso industrial dependiendo del objetivo que se busca, existe flexibilidad y una gran gama de redes que se adaptan a los procesos industriales más comunes en la automatización.

1.4.2.1. TOPOLOGÍAS DE RED

La topología de red se refiere a la manera como están conectados dispositivos dentro de una red y su distribución física en la misma. La topología de una red no es única, puede estar compuesta por varias sub redes que forman una distinta, o pueden ser tan simples como una conexión entre dos dispositivos.

1.4.2.2. RED DE BUS LINEAL

Dentro de las redes de comunicación se encuentra la red de bus lineal, la que consiste en la conexión directa de un dispositivo a otro por medio de un solo medio físico, es la estructura más simple en las redes de comunicación, cada dispositivo es un nodo, puede estar conectado sobre un ramal o directo entre dos dispositivos.

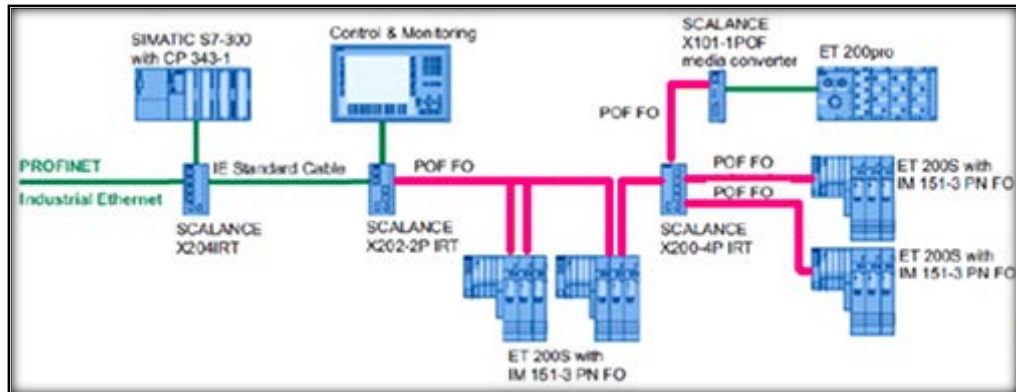


Fig. 1.22. Ejemplo de Ethernet en Red de Bus Lineal.²²

Al ser una red simple los costos de implementación son bajos, no demanda demasiados aditamentos para componerlo a más que los equipos que se desee integrar a la red.

Sin embargo su confiabilidad no es la mejor, ya que no tiene un respaldo próximo, una avería en algún punto del recorrido del medio físico (cable), podría inhabilitar todos los equipos que estén aguas abajo. [10]

1.4.2.3. RED EN ESTRELLA

La red de comunicación en estrella se caracteriza por ser centralizada, básicamente utiliza switch como punto central de la misma, es decir que todos los dispositivos se conectan a ella denominándose así como nodo central, todos los dispositivos que conforman la red pueden estar ubicados en ramales o de forma individual, pero todos a su vez enlazados al nodo central. Cada nodo tiene conexión directa con el switch principal, lo que facilita la velocidad de transmisión de datos entre dispositivos ya que por medio de los nodos no es necesario que la información recorra toda la red.

²²SIMATIC NET Manual Collection - SYH_IE-Net_76, *Linear bus network topology based on the example of Industrial Ethernet*, 2010

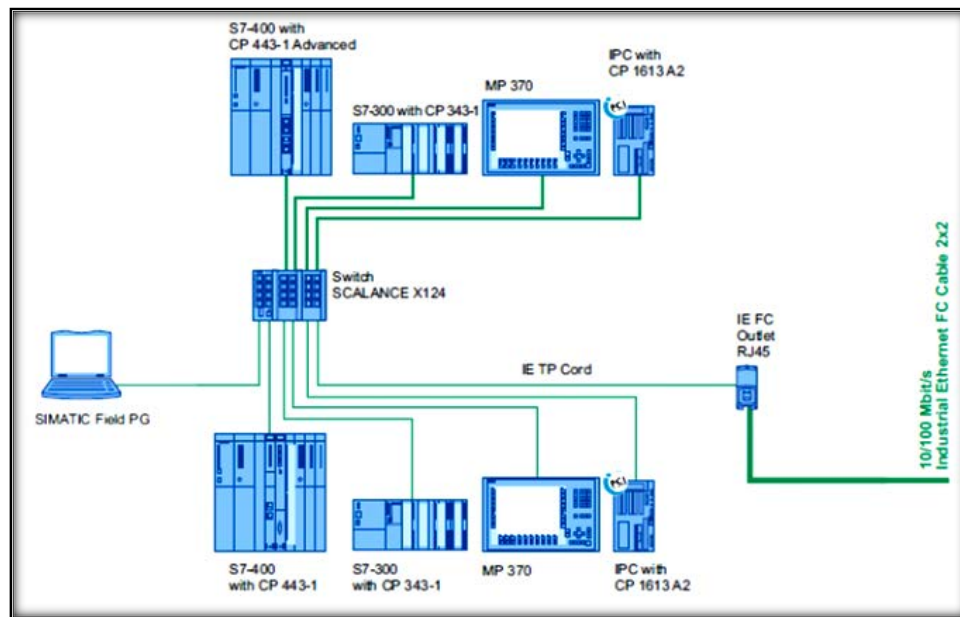


Fig. 1.23. Red en Estrella aplicando Switch²³

La estructura en estrella es mucho más confiable respecto a la lineal, ya que si algún nodo falla los demás permanecen funcionando sin problema.

El costo es más elevado, ya que el medio físico de transmisión se incrementa por el recorrido de la red, se puede decir que mientras más es la inversión, el sistema se vuelve más confiable (redundante).

Existe una variante de la red en estrella, conocida como Red en Árbol, que básicamente es la unión de estrellas en un mismo sistema, la confiabilidad es la misma, pero hay que considerar que todo depende de lo que suceda aguas arriba, ya que si existe una falla la parte afectada puede ser de mayor tamaño. [7] [10]

1.4.2.4. RED EN ANILLO

La red en anillo es uno de los sistemas más confiables, la información que se trasmite es bidireccional, es decir que tiene un camino alternativo por si ocurre algún desperfecto, su forma de conexión es sucesiva, es decir uno tras de otro hasta que el último dispositivo vuelve al primero, formando un circuito cerrado.

Adicionalmente se le puede dar un funcionamiento óptimo dependiendo del medio físico que se utilice para conformar el anillo, lo más recomendado es fibra óptica.

²³SIMATIC NET Manual Collection - SYH_IE-Net_76

La red en anillo es uno de los sistemas más utilizados a nivel industrial, la distribución de los elementos conectados a la red permite que no se pierda el enlace con todos los equipos al mismo tiempo, a menos que el problema sea del control centralizado, de otra forma el sistema seguirá enviando y recibiendo datos independientemente de los dispositivos que se encuentren fuera de la red.

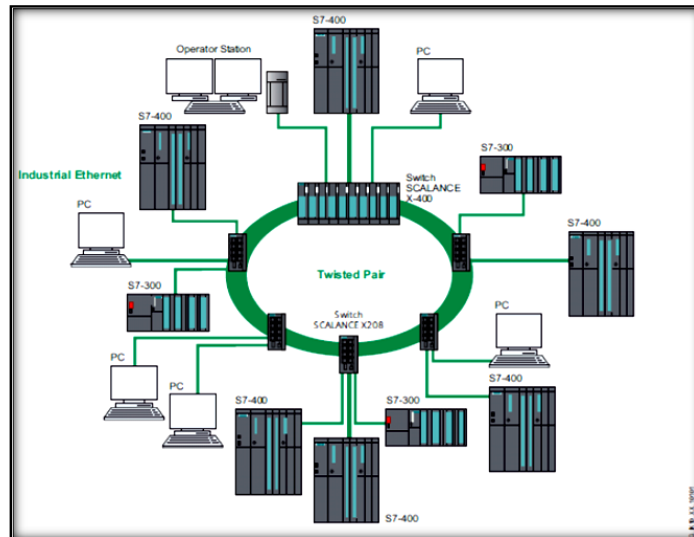


Fig. 1.24. Red en Anillo Redundante.²⁴

1.4.2.4 REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas son redes que no necesitan medio físico de comunicación, los datos se envían vía señal de un dispositivo a otro por medio de ondas electromagnéticas usando puertos, es un medio de comunicación que restringe costos, ya que por medio de esta se evita la adquisición de cableado, pero es más vulnerable a intrusos por lo que su seguridad es la desventaja, actualmente se han desarrollado tanto en software como en hardware escudos y medios de protección para mantener segura una red.

Estas pueden ser de largo o corto alcance dependiendo la aplicación y el equipo que se utilizara para la conexión.

²⁴SIMATIC NET Manual Collection - SYH_IE-Net_76



Fig. 1.25. Red Inalámbrica.²⁵

1.4.2.4.1 WI-FI

Wi-Fi es una red de comunicación que permite conectar dispositivos electrónicos sin la necesidad de un medio físico. Los dispositivos que se conecten de forma inalámbrica a la red pueden tener acceso a internet por medio de un punto determinado habilitado por un administrador, dentro de esta gama de equipos se encuentran: ordenadores, teléfonos celulares, reproductores de video y/o audio, etc.

“Wi-Fi es una marca de la Wi-Fi Alliance (anteriormente la WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance), la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11b relacionados a redes inalámbricas de área local. Con este sistemas se pueden establecer comunicaciones a una velocidad máxima de 11 Mbps, alcanzándose distancias de varios cientos de metros.”²⁶

La gran ventaja de WI-FI es la compatibilidad que comparte con redes más conocidas como Ethernet e incluso comparte semejanzas con la misma. Esto quiere decir que, en lo único que se diferencia una red WI-FI de una red Ethernet es la forma en cómo los ordenadores y terminales en general acceden a la red, el resto es idéntico. Entonces en consecuencia, una red Ethernet es totalmente compatible con una red inalámbrica WI-FI y todos sus servicios. La red WI-FI puede tener miles de componentes o dispositivos vinculados a ella o simplemente dos. Para que un dispositivo electrónico pueda conectarse con la red, sea este un ordenador, un

²⁵ <http://velocidaddeinternet.com/router-wifi-lento-por-muchas-conexiones/router-wifi-divide-su-atencion/>

²⁶ José A. Carballar. “WI-FI Instalación, Seguridad y Aplicaciones”. RA-MA, España: Madrid, 2da ed. 2007., pag 12.

Smartphone, etc., necesita tener en su composición un radio transmisor, una antena y un receptor (adaptador de red), que son los que logran que la comunicación inalámbrica sea posible. Por consiguiente a todos los dispositivos que se encuentran conectados a WI-FI o una red inalámbrica se los denomina como terminales.

Adicional a los elementos necesarios para la comunicación, WI-FI debe disponer de estaciones base utilizadas para realizar la labor de comunicar a dos terminales, estos son conocidos como puntos de acceso o AccesPoint, trabajan de forma independiente, sin ser necesario que estén conectados directamente con algún dispositivo vinculado a la red.

Por consiguiente a los puntos de acceso así como a los terminales que son parte de la red WI-FI o una red inalámbrica se los denomina como estaciones.

Los equipos se pueden comunicar entre sí porque su configuración de protocolos internos es la misma, y además deben trabajar en misma banda de frecuencia. [12]

“Aunque los protocolos que utiliza WI-FI están basado en las siete capas del modelo de referencia OSI, el estándar IEEE802.11b solo define las dos primeras capas (física y enlace); el resto de las capas son idénticas a las empleadas en las redes locales cableadas e internet y se conoce con el nombre de conjuntos de protocolos IP (Protocolo Internet).”²⁷

Esto quiere decir que el cambio se realiza en la parte física que es el componente que se utiliza para conectar el equipo a la red que en este caso es inalámbrico y el enlace por el cual se realiza el envío de datos.

1.4.2.4.2 IWLAN

Las redes industriales inalámbricas (Industrial Wireless Local Área Network - IWLAN), son estructuras que se implementan para aplicación comercial en el campo industrial, mostrando un funcionamiento realmente confiable. No poseen topología física, operan simplemente al alcance de la red, no son de forma estructurada o pueden estar conformadas en células y actúan por medio de sus puntos de acceso que funcionan como conmutadores. Los nodos están conectados a la fuente.

²⁷ José A. Carballar. “WI-FI Instalación, Seguridad y Aplicaciones”. RA-MA, España: Madrid, 2da ed. 2007., pag 12.

“La tecnología Industrial Wireless LAN supone la ampliación del estándar IEEE 802.11, que es especialmente apropiado para aplicaciones exigentes en tiempo real y redundancia en la industria. De este modo, se dispone de una red inalámbrica tanto para datos críticos en el proceso como para la comunicación no crítica.”²⁸

La comunicación inalámbrica utilizan ondas radioeléctricas, estos es lo que los diferencia de otros tipos de comunicación que utilizan medio físico como cables. El alcance y la nitidez de los datos enviados por las ondas dependen directamente del entorno, y del equipo que se esté utilizando para transmitirlos. El nivel de las señales se puede mejorar con la instalación de equipos complementarios para toda red inalámbrica como son antenas de alta calidad, etc., esto hace que la red sea más confiable porque de esta manera hay menos pérdida en la radiotransmisión.

La comunicación IWLAN se hace robusta porque está basada en estándares internacionales como IEEE 802.11n, lo que permite que la red sea confiable sobre niveles aceptables, permite colocar antenas en paralelo para contrarrestar fallos y pérdidas de comunicación. Una ventaja importante es que utiliza MIMO (Múltiple Input, Múltiple Output), que es la propagación de trayectos múltiples. Gracias a esto la velocidad de transmisión se eleva.

IWLAN está basado en el estándar WLAN según IEEE 802.11a/b/g/h, que utilizan para transmitir y recibir datos un solo canal. Por este motivo la velocidad de transmisión se eleva llegando a niveles máximos de hasta 54Mbits/s. Con la ayuda de la denominada agrupación de canales (ChannelBonding) se utilizan dos canales simultáneamente. En combinación con la tecnología MIMO según IEEE 802.11n es posible alcanzar velocidades de transferencia brutas hasta de 450 Mbits/s.

La flexibilidad de este tipo de red permite que la velocidad de transmisión se incremente por sobre los 54Mbits/s. La combinación de la tecnología MIMO, adicionada a la agrupación de canales (ChannelBonding), permite llegar a velocidades de transferencia máximos de hasta 450 Mbits/s. [13]

²⁸Siemens. “Industrial Wireless Communication”, 1st ed. Nurnberg, Alemania: Siemens AG, 2012, pag 8/3.

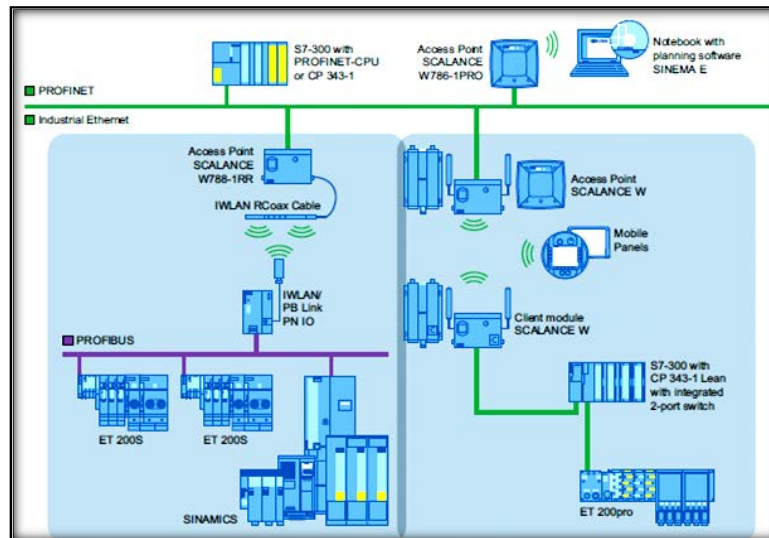


Fig. 1.26. Red IWLAN con subredes y puntos de acceso inalámbricos²⁹

1.4.2.4.3 ZIGBEE

ZigBee es un estándar para redes WLAN, fue diseñado con el objetivo de crear una red inalámbrica de bajo costo, priorizando la reducción de dispositivos simples dentro de una red como son sensores y/o actuadores que operan de manera individual. Este tipo de red maneja pequeños paquetes de información, se caracteriza por ser muy seguro, confiable y de bajo costo.

“ZigBee, también conocido como "HomeRF Lite", es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s y rangos de 10 m a 75 m. Puede usar las bandas libres ISM de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU).”³⁰

La tecnología ZigBee prioriza el bajo consumo de energía, los dispositivos están equipados con un elemento autónomo conocido como transceiver ZigBee, que permite el control on/off del dispositivo. Por medio de este elemento el equipo pasa la mayor parte del tiempo dormido, y esto conlleva a que el consumo de energía sea mucho menor en comparación con otros tipos de comunicación inalámbrica. Una red ZigBee es amplia puede estar compuesta de hasta 255 nodos.

²⁹Siemens. “Industrial Wireless Communication”, 1st ed. Nurnberg, Alemania: Siemens AG, 2012, pág 8/6.

³⁰José A. Carballar. “WI-FI Instalación, Seguridad y Aplicaciones”. RA-MA, España Madrid. 2007., pág. 14.

El periodo de vida de un dispositivo ZigBee es satisfactorio, esto se debe a su bajo consumo de potencia. Un módulo ZigBee puede estar energizado durante 6 meses hasta un año por un par de baterías AA.

“Durante mucho tiempo, un dispositivo ‘esclavo’ está en modo ‘dormido’ y sólo se ‘despierta’ por una fracción de segundo para confirmar que está ‘vivo’ en la red de dispositivos. Por ejemplo, la transición del modo ‘dormido’ al modo ‘despierto’ (cuando transmite) dura unos 15ms y la enumeración de ‘esclavos’ dura unos 30ms”³¹

Esto permite que el sistema se mantenga operativo durante más tiempo sin la necesidad de realizar mantenimiento por la alimentación del dispositivo de forma continua.

ZigBee es un sistema que utiliza normas estándar para la seguridad de la transmisión de datos. Está basado en 4 puntos especiales que constan en la subcapa de seguridad de MAC IEEE 802.15.4, los cuales mencionan lo siguiente:

- Posee un control de accesos, tiene una base de datos donde están registrados los dispositivos comprobados de la red.
- Usa un código de encriptación de 128 bits.
- Protege los datos de modificaciones de terceros, por medio de un sistema de Integración de tramas.
- Actualización de Tramas, comprueba las tramas para verificar si no han sido reemplazadas o modificadas. [12]

1.4.3 SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control es aquel que se encarga de permitir un correcto funcionamiento de un dispositivo, tiene varios elementos en su composición con el fin de actuar como regulador, puede alterar su propio funcionamiento o la de un sistema conjunto o adyacente, para así reducir la tasa de errores o fallos y obtener un resultado satisfactorio a la salida del sistema controlado. En la actualidad en las industrias es indispensable el uso de los sistemas de control.

Estos sistemas se utilizan para optimizar el resultado de un proceso determinado, haciendo así que el proceso tienda a tener menos incidencia de falla y reduciendo

³¹José A. Carballar. “WI-FI Instalación, Seguridad y Aplicaciones”. RA-MA, España Madrid. 2007., pág. 14.

personal, este sistema puede controlar varios procesos eléctricos, mecánicos, etc. Los sistemas automatizados con sistemas de control, utilizan una gran cantidad de parámetros para tener mejor manejo de variables, tienen el nombre de controladores programables de automatización PAC. Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

1. Tener la capacidad de recuperarse de perturbaciones o fallos en los procesos, para eso el sistema debe ser robusto y estable.
2. La eficiencia debe tener prioridad, demandando un alto nivel de la misma, para evitar comportamientos erróneos y bruscos. [14]

1.4.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO

Los sistemas en los cuales la salida no se ve alterada la acción de control se denominan sistemas de control de lazo abierto. Un sistema de lazo abierto no se retroalimenta, es decir que el parámetro de la salida del sistema es única en el tiempo, actúa una sola vez en el sistema de control. La precisión del sistema está dada por la calibración que se le haya dado con anticipación. Este sistema es muy vulnerable con respecto a interferencias y ruidos producidos por el proceso mismo, ya que no tiene la capacidad de autocorrección, perdiendo así la autonomía del proceso deseado.

Por consiguiente se puede decir que este sistema se utiliza cuando se tiene claro los parámetros de entrada y de salida, es decir la relación que necesita el proceso controlado, y si no existe ninguna perturbación importante tanto externa como interna, que pueda alterar el funcionamiento correcto del mismo. [14]

“Estos sistemas se caracterizan por:

- *Ser sencillos y de fácil concepto.*
- *Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.*
- *La salida no se compara con la entrada.*
- *Ser afectado por las perturbaciones. Éstas pueden ser tangibles o intangibles.*
- *La precisión depende de la previa calibración del sistema.”*³²

³² Katsuhico Ogata. “Ingeniería de control moderna”. 3ra ed. Prentice-Hall. México DF. 2008. pág. 7.

Estas características rigen el funcionamiento del sistema, aplicable en diseños que no son afectados por perturbaciones o donde las perturbaciones recibidas no afectan el resultado final del proceso.

SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO

Los sistemas de control de lazo cerrado son aquellos que poseen retroalimentación, es decir que ocupan los parámetros que obtienen la salida del sistema para ingresarla nuevamente a la acción de control, compararan una y otra vez estos parámetros con los de correcto funcionamiento para mantener el proceso óptimo. Con esto se obtiene que los datos de salida sean los más cercanos al valor requerido, reduciendo así errores y perturbaciones dentro del funcionamiento del dispositivo controlado. [14]

“Sus características son:

- *Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.*
- *La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.*
- *Su propiedad de retroalimentación.*
- *Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.”*³³

Estas características rigen el funcionamiento del sistema, aplicable en diseños que requieran de precisión y en entornos donde existen perturbaciones considerables, la mayoría de los procesos a nivel industrial son de este tipo en particular por la confiabilidad que demandan.

1.4.3.2 SISTEMAS DE CONTROL EN ALUMBRADO PÚBLICO

Existen en la actualidad diversos sistemas para el control del alumbrado público, el más aplicado a nivel nacional es un sistema on/off de simple conmutación por medio de fotoceldas o foto-controladores.

Los fotocontroladores son elementos que trabajan con luz, es decir que su sistema de acción dependen de la luz que llegue a su dispositivo sensor, realizando así el movimiento de contactos que periten la conexión y/o desconexión de un circuito. [15]

De esta manera existen 2 tipos de control:

³³ Katsuhico Ogata. “Ingeniería de control moderna”. 3ra ed. Prentice-Hall. México DF. 2008. pág. 7.

Control Individual

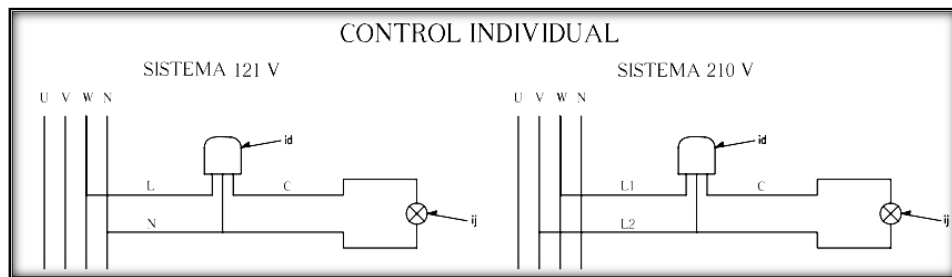


Fig. 1.27. Control Individual en lámpara de alumbrado público³⁴

Control Múltiple

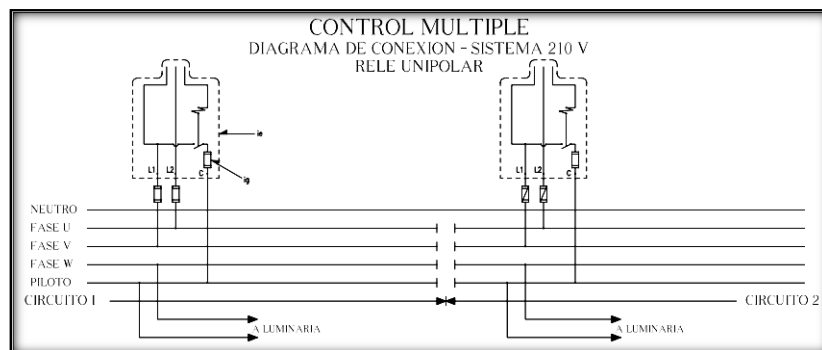


Fig. 1.28. Control Múltiple con relé unipolar en lámparas de alumbrado público³⁵

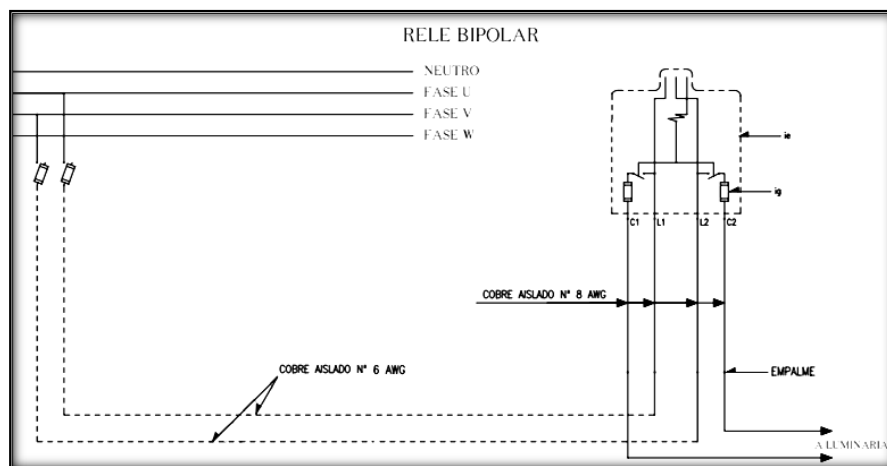


Fig. 1.29. Control Múltiple con relé bipolar en lámparas de alumbrado público³⁶

³⁴ Normas para sistemas de distribución EEQ, parte A, esquema típico de control alumbrado público. Apéndice A-11-F. pág. 1

³⁵ Normas para sistemas de distribución EEQ, parte A, esquema típico de control alumbrado público. Apéndice A-11-F. pág. 2

³⁶ Normas para sistemas de distribución EEQ, parte A, esquema típico de control alumbrado público. Apéndice A-11-F. pág. 3

CAPÍTULO II

IMPACTO DE LÁMPARAS LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO

2.1 DIALUX

Dialux es un software libre creado por la empresa alemana Dial especialista en domótica e iluminación, con el objetivo de facilitar tareas y optimizar procesos en proyectos de automatización. Es una herramienta difundida a nivel mundial líder en su campo.

Este software permite realizar una simulación eficiente con respecto a un proyecto real, el cual consta de muchas herramientas que permiten que el desarrollo del evento cumpla con normas y estándares conocidos a nivel mundial. Dialux dispone de información actualizada por medio de sus miembros, a los cuales les interesa el uso de esta herramienta con sus productos. Es así que el software tiene acceso a catálogos de productos de las marcas más prestigiosas y conocidas a nivel mundial, como son Schreder, ETAP, Philips, Osram, etc.

Dialux permite simular ambientes de toda índole, puede ser aplicado en espacios internos como externos, desde una casa común hasta ciudadelas y espacios verdes completos, además brindando soporte de cálculos en iluminación.

2.1.1 MANEJO DE DIALUX

A continuación se detalla de una manera breve y básica el funcionamiento del software Dialux. Instalado el software en la PC se procede a la creación de un nuevo proyecto.

Presenta dos formas básicas de crear un proyecto, por medio del asistente de Dialux o de forma directa. Como en la mayoría de programas para Windows existe el asistente de creación de proyectos, que funciona a modo de instructor, permitiendo el aprendizaje y elaboración de un proyecto, así tenemos entonces el menú siguiente:



Fig. 2.1 Menú Principal de Dialux³⁷

En la figura 2.1 se detalla también el tipo de proyecto que se va a realizar, teniendo tres tipos de opciones fundamentales que son:

- Proyecto de interiores
- Proyecto de exteriores
- Proyecto de calle

Para nuestro caso se utilizó la opción asistentes Dialux, para realizar el proyecto paso a paso. Se despliega entonces el siguiente menú, dando las opciones del proyecto que se desea crear. Seleccionando uno de ellos se da el botón “Siguiente”.

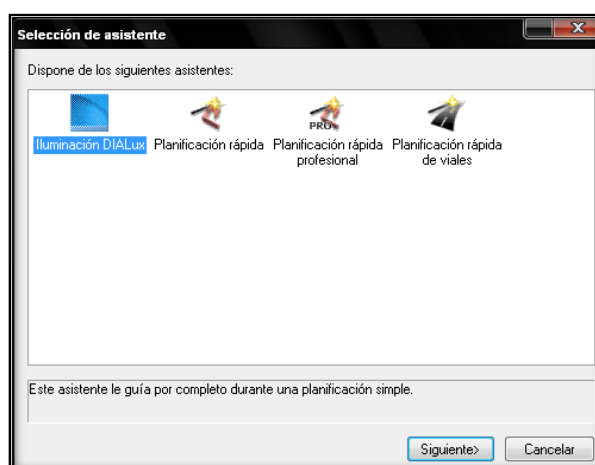


Fig. 2.2 Asistentes Dialux³⁸

³⁷ Software DIALux 4.10

Es así entonces que se despliega ya la pantalla de creación de proyecto:

Fig. 2.3 Menú de Información del proyecto³⁹

En la figura 2.3 se detalla todos los datos con respecto al proyecto a realizar. Aquí se ingresa la información básica, como nombre del proyecto, descripciones generales, y datos del diseñador o de la empresa a la que representa. Una vez terminado de ingresar todos los datos necesarios se presiona el botón “Siguiente”.

Es así entonces que ya se llega una de las partes importantes del proyecto que es la Entrada de datos. Tenemos entonces la geometría del local, con el ingreso de las dimensiones del espacio donde va a estar funcionando el sistema en las unidades respectivas.

Ingreso de datos del grado de reflexión, que permite ubicar a conveniencia los datos que se desee implementar.

El montaje de luminarias que permite ingresar el tipo de montaje, longitud de suspensión, altura del punto de luz y altura del montaje.

Y el más importante que es la selección de luminarias, donde se ingresa la luminaria deseada a implementar en el proyecto.

³⁸ Software DIALux 4.10

³⁹ Ídem.

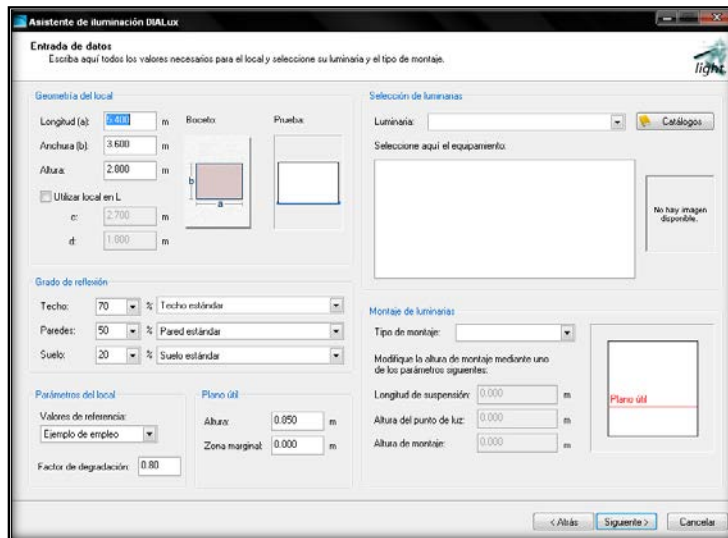


Fig. 2.4 Menú de Entrada de datos⁴⁰

Es la figura 2.4 se empieza con el ingreso de datos técnicos a aplicarse en el proyecto, aquí se ve la flexibilidad del software Dialux por medio de los catálogos que ofrece para sus aplicaciones.

Seleccionando el botón “Catálogos” se despliega la opción de selección de todos los catálogos que forman parte del software:

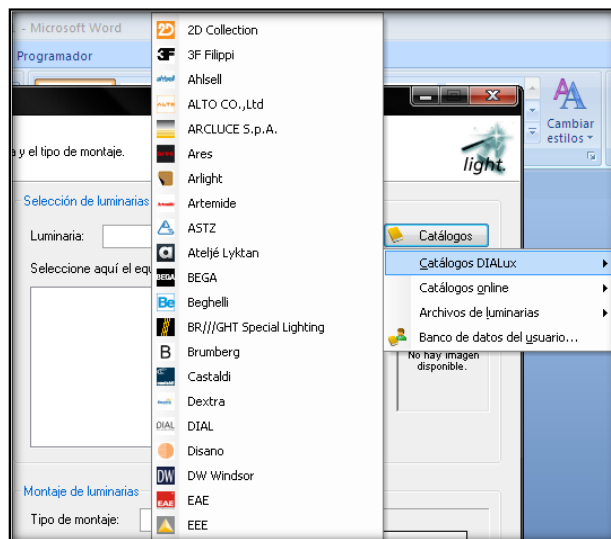


Fig. 2.5 Selección de Catálogos⁴¹

Todos los catálogos pueden ser descargados de forma gratuita de la red, para la demostración se seleccionó una lámpara cualquiera del catálogo DIAL.

⁴⁰ Software DIALux 4.10

⁴¹ Ídem.

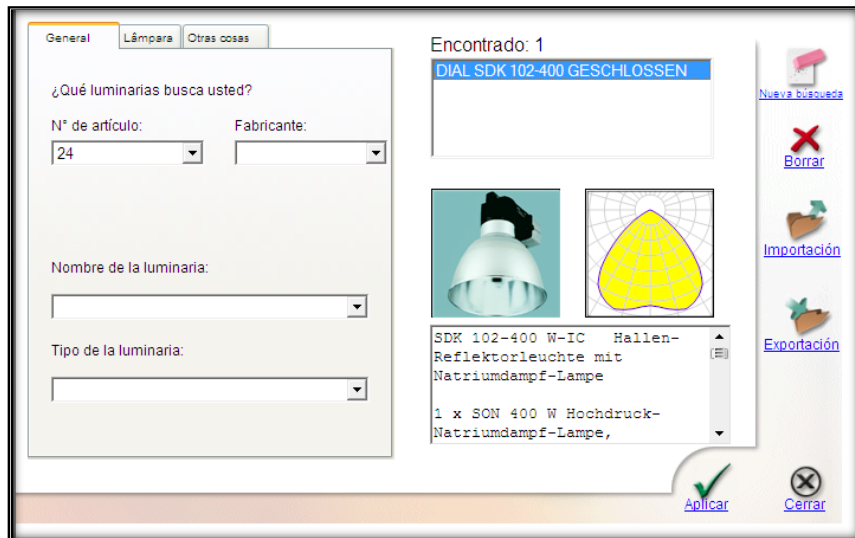


Fig. 2.6 Selección de luminarias en catálogos⁴²

De este modo la lámpara seleccionada aparece ya dentro de las opciones de selección de lámparas. Consta de varias opciones para su selección, es decir que si el modelo lo permite se puede cambiar la potencia de la lámpara que se va aplicar además de proporcionar información adicional como el flujo luminoso y la potencia total de consumo (por equipos auxiliares).

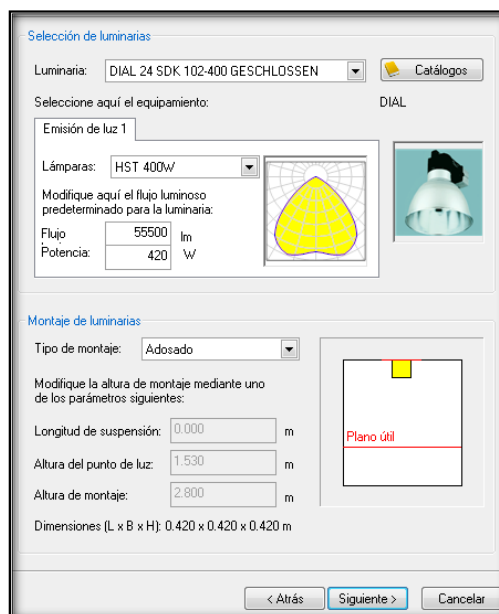


Fig. 2.7 Visualización de lámparas seleccionadas⁴³

Una vez ingresadas las lámparas al programa se procede a dar el botón “Siguiente”.

⁴² Software DIALux 4.10

⁴³ Ídem.

De este modo se despliega el menú de cálculo y resultados, aquí ya se muestra la lámpara seleccionada con anterioridad.

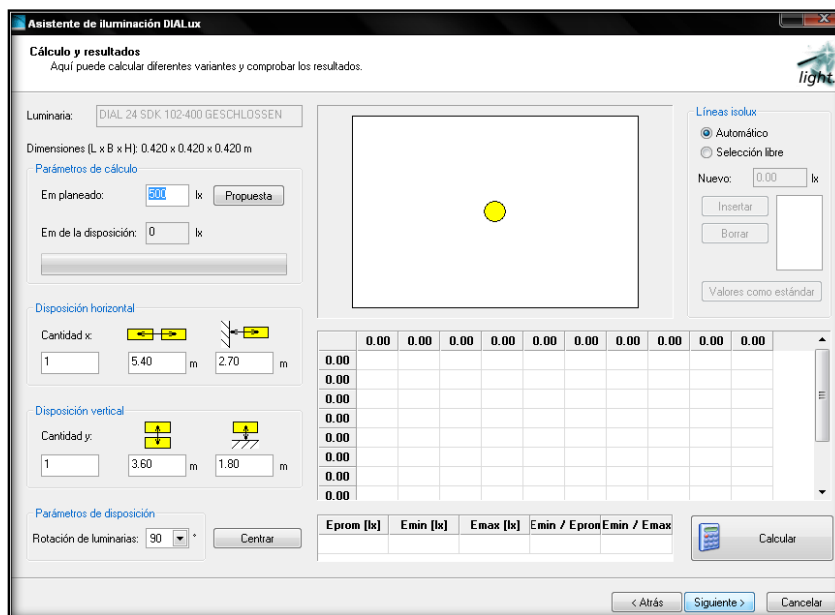


Fig. 2.8 Menú de Cálculos y resultados⁴⁴

En la figura 2.8 al seleccionar el botón “Calcular” se muestra el resultado en función de la dispersión lumínica de la lámpara en luxes.

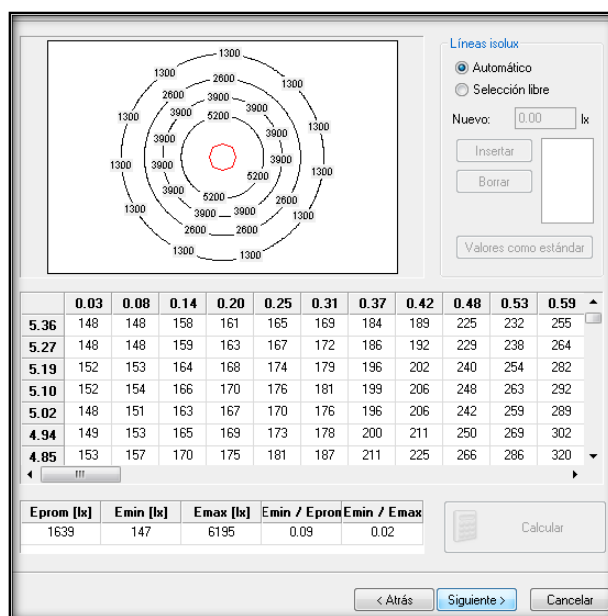


Fig. 2.9 Tabla de cálculos realizados por software⁴⁵

⁴⁴ Software DIALux 4.10

⁴⁵ Ídem.

Realizado esto se procede a seleccionar el botón “Siguiente”. Se muestra entonces el resultado ya directo sobre el programa y una vista en 3D del entorno ingresado.

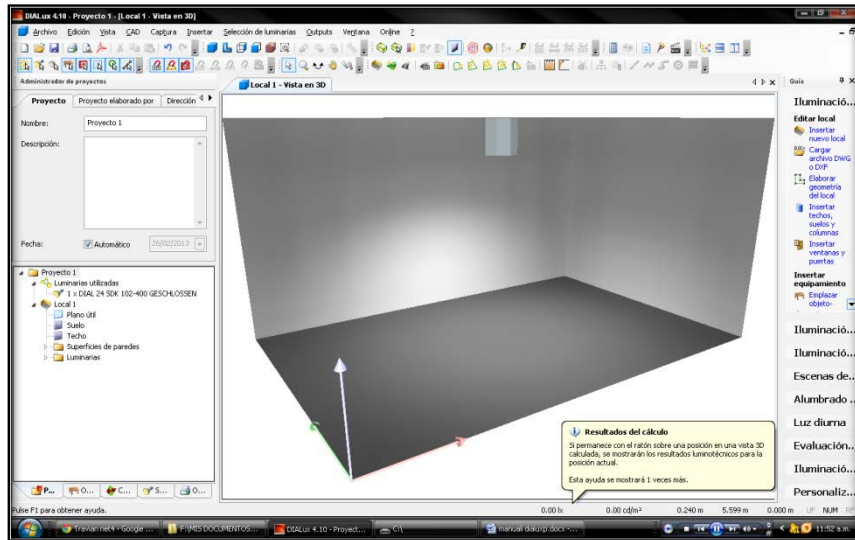


Fig. 2.10 Vista general del proyecto en 3D⁴⁶

Esta aplicación ha sido realizada con ayuda del asistente Dialux. Sin embargo se puede realizar el inicio de un proyecto de forma directa seleccionando la opción del proyecto a realizar como se muestra en la figura 2.1 dando como resultado la creación de un proyecto en blanco así:

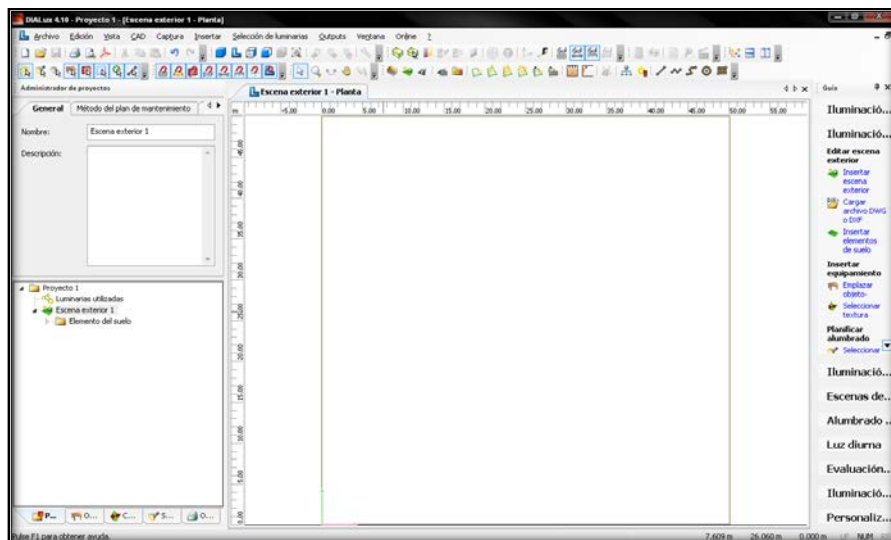


Fig. 2.11 Vista general de proyecto en blanco⁴⁷

⁴⁶ Software DIALux 4.10

⁴⁷ Ídem.

De esta manera lo fundamental es proporcionar sistemas de iluminación al proyecto, para lo cual nos dirigimos al panel de herramientas principal. En la pestaña “Selección de luminarias”, “Catálogos Dialux” y seleccionamos los elementos.

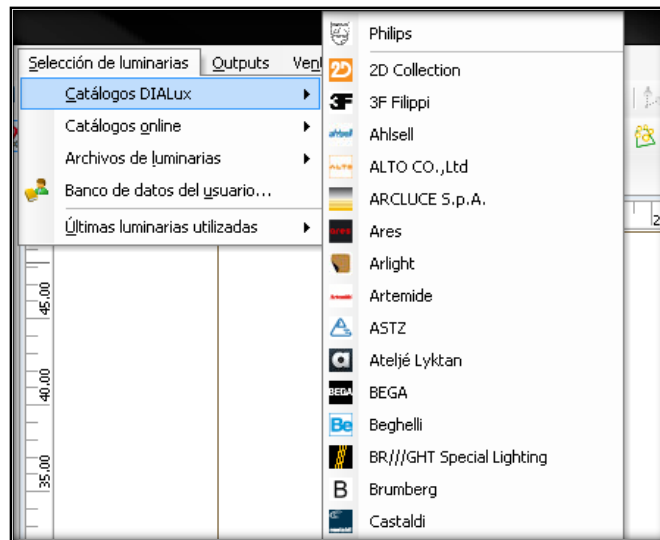


Fig. 2.12 Menú de selección de catálogos⁴⁸

Ingresando al catálogo seleccionamos una lámpara la cual nos aparece en la parte izquierda de la pantalla, en este caso es una lámpara Philips TBS 320.

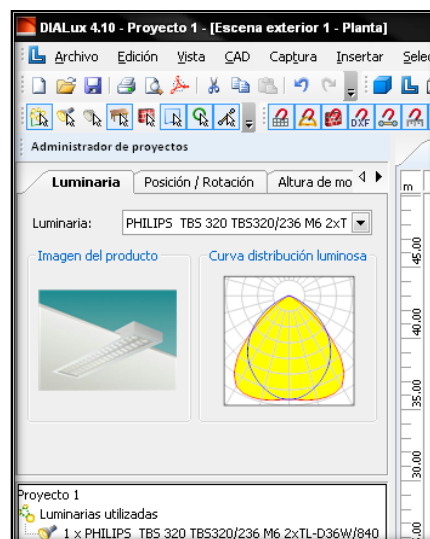


Fig. 2.13 Vista de equipo seleccionado⁴⁹

⁴⁸ Software DIALux 4.10

⁴⁹ Ídem.

Para insertar el elemento en el proyecto es necesario arrastrar el mismo hacia el espacio del diseño y se obtendrá la siguiente forma.

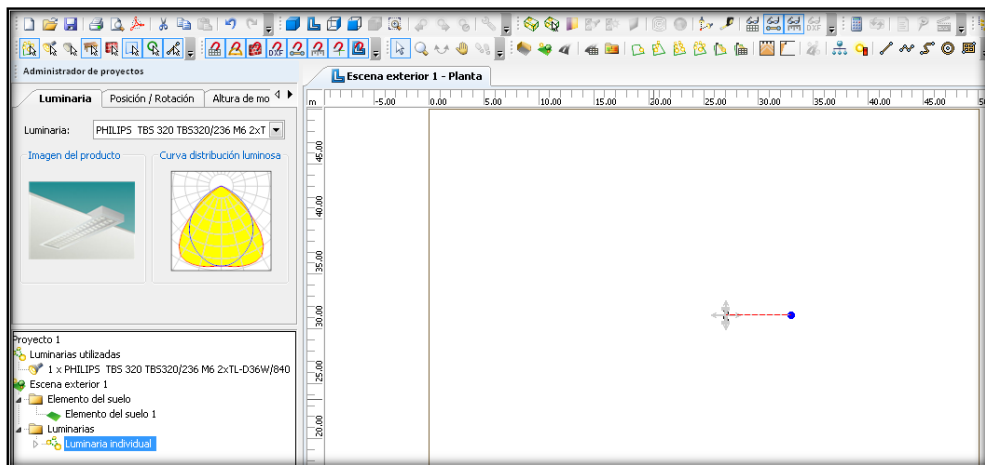


Fig. 2.14 Vista de equipo insertado en el proyecto⁵⁰

En la figura 2.14 se muestra insertada la lámpara en el proyecto. Para proceder a realizar el cálculo nos dirigimos al menú principal y seleccionamos la pestaña “Outputs”, e “Iniciar cálculo”.

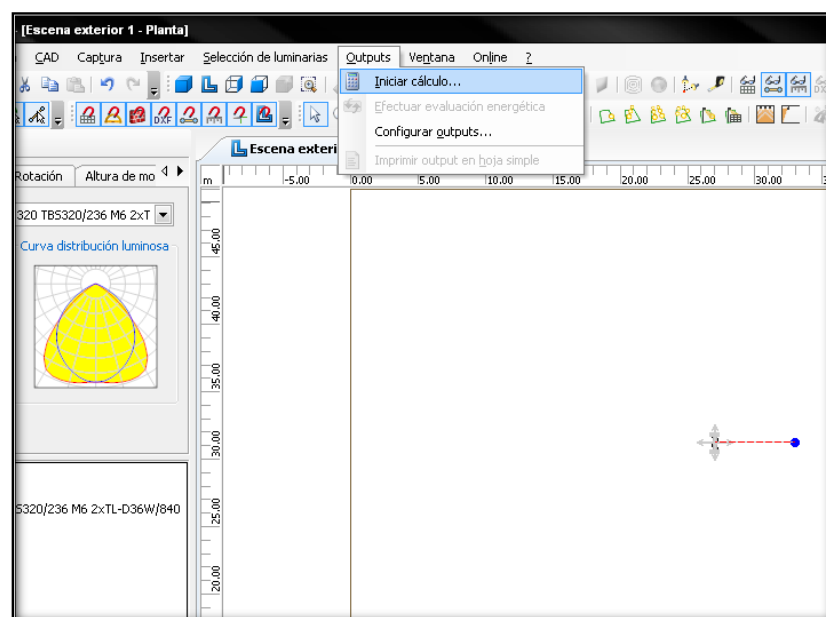


Fig. 2.15 Menú de Cálculos⁵¹

Obteniendo así la simulación de alumbrado en 3D.

⁵⁰ Software DIALux 4.10

⁵¹ Ídem.

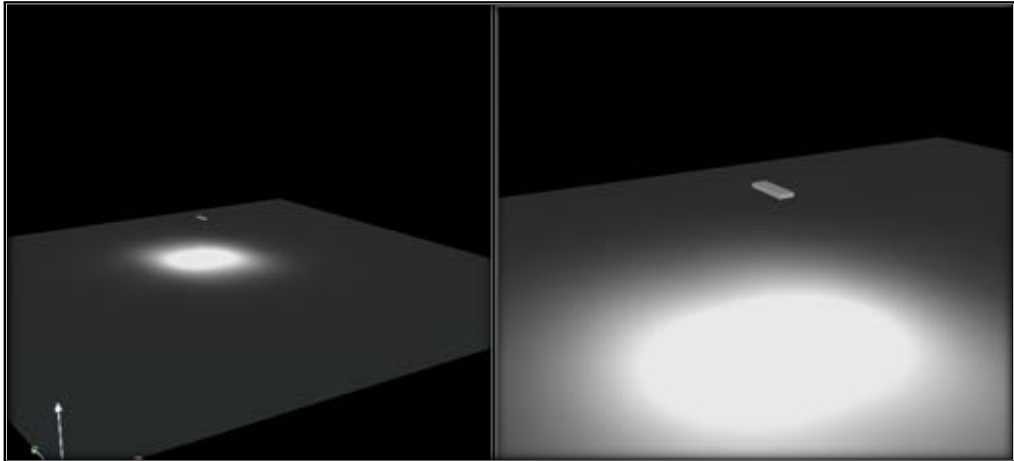


Fig. 2.16 Vista de lámpara en proyecto⁵²

Con el proyecto avanzado hasta este nivel, se puede realizar ya una simulación del nivel de iluminación sobre una superficie, aplicando las herramientas que el programa nos brinda. Por ejemplo los niveles de flujo luminoso emitido sobre la superficie.

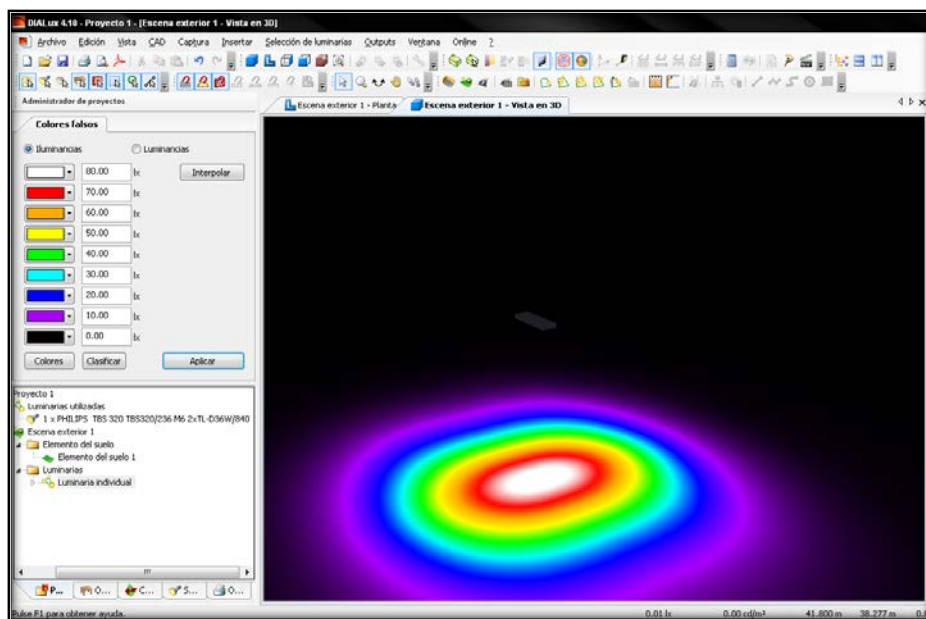


Fig. 2.17 Espectro Lumínico⁵³

En la parte izquierda de la figura 2.17 se puede apreciar en escala de colores los Luxes que proyecta la lámpara.

⁵² Software DIALux 4.10

⁵³ Ídem.

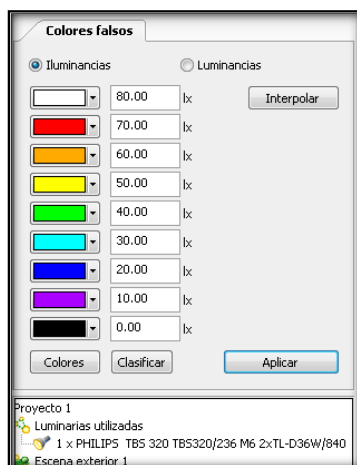


Fig. 2.18 Tabla de nivel de iluminación por color⁵⁴

2.2 ESTUDIO DE RED DE ALUMBRADO PÚBLICO ACTUAL

El campus Kennedy de la Universidad Politécnica Salesiana tiene a lo largo de su extensión alumbrado exterior que permite que las actividades se desarrollen con normalidad. Posee iluminación para parqueaderos, zonas de tránsito vehicular y peatonal.

Para el estudio de la red de alumbrado actual del campus se realizará un levantamiento de información para determinar si el sistema se encuentra operando de forma correcta y cumpliendo con estándares establecidos con normas, tanto en la parte eléctrica como en la de iluminación.

Por medio del software Dialux se podrá corroborar y corregir, si fuera el caso, los registros obtenidos de forma real por medio de inspecciones y mediciones.

2.2.1 LÁMPARAS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO CAMPUS KENNEDY

Actualmente en el campus Kennedy se encuentran colocadas lámparas de vapor de sodio de alta presión con las siguientes características:

⁵⁴ Software DIALux 4.10

Lámpara Schreder Ámbar 3 VSAP (Vapor de Sodio Alta Presión)



Fig. 2.19. Lámpara de Vapor de Sodio Schreder Ámbar⁵⁵

CARACTERÍSTICAS		
Voltaje	220	V
Frecuencia	60	Hertz
Potencia	70-100-150-250-400	W
Vida Nominal Promedio	24000	Hrs
Vida Útil (L70)	18000	Hrs
Temperatura de Color	1900-2200	°K
Tiempo de Encendido	3-5	min
Tiempo de Reencendido	30-60	seg
Flujo Luminoso	40000-48000	lm
Eficiencia Luminosa	70-130	lm/W
Índice de Reproducción Cromática (IRC)	20-25	adim
Contenido de Mercurio	24	mg
Calor a Disipar	37	%

Tabla 2.1. Características de lámpara Schreder Ámbar 3. [16]

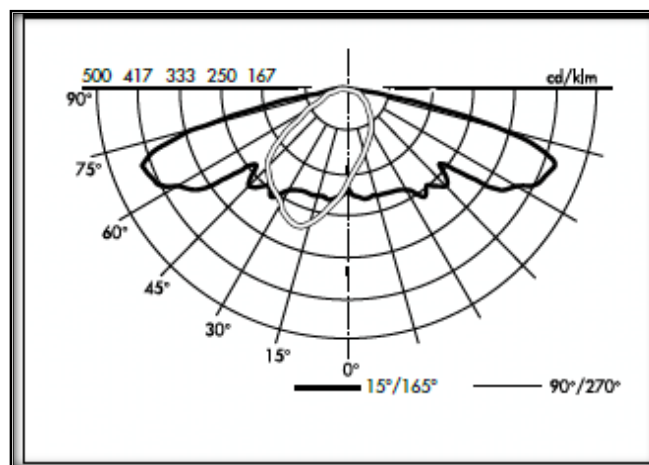


Fig. 2.20. Distribución Fotométrica lámpara Ámbar 3⁵⁶

⁵⁵ <http://www.schreder.com/ecs-es/Productos/Pages/ÁMBAR.aspx?pageNumber=4>

Estas lámparas se encuentran distribuidas en toda la zona peatonal del Campus y parqueadero de docentes excepto en el parqueadero de estudiantes de la Universidad.

Proyector Estanco Schreder Radial 3 VSAP (Vapor de Sodio Alta Presión)



Fig. 2.21. Proyector Estanco Schreder Radial 3⁵⁷

CARACTERÍSTICAS		
Voltaje	220	V
Frecuencia	60	Hertz
Potencia	150-250-400	W
Vida Nominal Promedio	15000	Hrs
Vida Útil (L70)	12000	Hrs
Temperatura de Color	2000	°K
Tiempo de Encendido	3-5	min
Tiempo de Reencendido	30-60	seg
Flujo Luminoso	50000-56000	lm
Eficiencia Luminosa	120-140	lm/W
Índice de Reproducción Cromática (IRC)	20	adim
Contenido de Mercurio	24	mg
Calor a Disipar	37	%

Tabla 2.2. Características de Proyector Schreder Radial 3. [16]

⁵⁶ <http://www.schreder.com/ecs-es/Productos/Pages/ÁMBAR.aspx?pageNumber=4>

⁵⁷ <http://www2.schreder.com/97-4-43-108/product/detail.aspx>

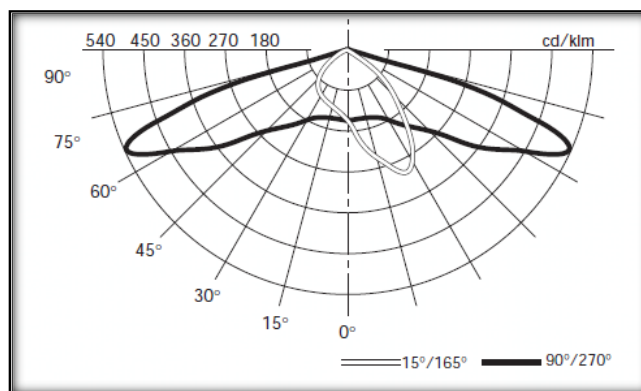


Fig. 2.22. Distribución Fotométrica de lámpara Radial 3. ⁵⁸

Estas lámparas se encuentran ubicadas exclusivamente en la zona destinada para el parqueadero de estudiantes de la Universidad.

2.2.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL CAMPUS KENNEDY

La recopilación de información del alumbrado público del campus Kennedy es de vital importancia para saber la situación en la que se encuentra operando el sistema y partir de esto para un análisis posterior. El análisis de levantamiento de información se realizará con la ayuda de equipos como GPS, medidor de distancia, medidor de luxes, analizador de energía, y con el respaldo de normas y regulaciones nacionales e internacionales. Estas normas y regulaciones son:

- CIE 140 2000 “Road Lighting Calculations”
- RTE-INEN 069 “Alumbrado Público”
- ITC-BT-09 “Instructivo Técnico Complementario en Baja Tensión”
- IEEE 519 “Harmonic Limits”
- CONELEC 008/11 “Prestación del Servicio de Alumbrado Público General”
- CONELEC 006/00 “PROCEDIMIENTOS DE DESPACHO Y OPERACIÓN”
- ITC-EA-07 “Mediciones Luminotécnicas en las Instalaciones de Alumbrado”

2.2.2.1 EQUIPOS DE MEDICIÓN

GPS Etrex Garmin Venture

Para la posición Georeferenciada se utilizó el equipo GPS Etrex Garmin Venture, un dispositivo que permite una precisión de los puntos en función del número de satélites que se tiene en coordinación, para la obtención de coordenadas necesita

⁵⁸ <http://www.schreder.com/ecs-es/Productos/Pages/RADIAL.aspx?pageNumber=4>

al menos siete satélites en línea y su rango de referencia de un punto es de 5 a 20 metros.



Fig. 2.23 GPS Etrex Garmin Venture⁵⁹

BOSCH DLE 40 Professional

Para la medición de la Altura de la luminaria se utilizó el equipo BOSCH DEL40 Professional, un dispositivo que permite medir objetos a distancia por medio de emisión laser, con una precisión de medición $\pm 1,5$ mm (0,3 – 30 m), un rango de medición interior de 0,05 - 40m, y un tiempo de medición $< 0,5$ s.



Fig. 2.24 GPS Etrex Garmin Venture⁶⁰

⁵⁹ http://www.tramssoft.ch/gps/garmin_etrex-venture-hc_en.html

⁶⁰ <http://www.todofer.com/medidores-laser/90-telemetro-laser-bosch-dle-40--3165140488242.html>

Pinza Amperimétrica Greenlee CM-1550

Para la medición en general de corriente y voltaje se utilizó el equipo Greenlee CM-1550, un dispositivo que permite medir valores RMS con una precisión de medición $\pm 1,5\% + 0,5$ A en corriente de hasta 400 A y $\pm 1,5\% + 0,5$ V en voltaje de hasta 400V. su tiempo de respuesta y de muestre es de 1,5s.



Fig. 2.25 Pinza Amperimétrica Greenlee⁶¹

AMPROBE LM-120



Fig. 2.26 Luxómetro AMPROBE LM-120⁶²

Para la medición de Luxes, se utilizó el equipo AMPROBE LM-120, que permite hacer mediciones en cualquier punto de un plano. Su rango de medición va desde 0 a 2000 luxes. Su precisión es del ± 3 % (calibrado con lámpara incandescente

⁶¹ http://www.toolup.com/greenlee_cm-1550_1000a-acdc-true-rms-clamp-meter.aspx

⁶² <http://www.amprobe.com/amprobe/usen/Environmental-Test/Light/LM-120.htm?PID=73271>

estándar a 2854 °K) y del 6 % del resto de fuentes de luz visibles. Está en la capacidad de medir la luz visible de fuentes fluorescentes, de haluros metálicos, de sodio a alta presión e incandescentes.

FLUKE 435



Fig. 2.27 Analizador Trifásico Fluke 435⁶³

Para la medición real RMS de datos de voltaje, corriente y potencia se utilizó el equipo Fluke 435, es un analizador de calidad de energía eléctrico y analizador trifásico de energía. Permite realizar mediciones de la gran mayoría de parámetros eléctricos, entre los más importantes aparte de los ya mencionados se encuentra el factor de potencia, armónicos, frecuencia y energía. Tiene una capacidad de muestreo en tiempo real, y cumple con normas y estándares internacionales para pruebas en base a IEC 61000-4-30 Clase A. Tiene una precisión de \pm %0,5 en Corriente (A) y \pm %0,1 en Voltaje (V), de los valores nominales.

2.2.2.2 LUMINARIAS

Para el levantamiento de la red de alumbrado actual del campus Kennedy se realiza el detalle siguiente de los elementos que forman parte del mismo. Con la ayuda del siguiente gráfico que indica la posición real de las luminarias:

⁶³ http://spanish.testequipmentconnection.com/35570/Fluke_435-BASIC.php

Luminaria 2

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (2.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	12.66 m ($\angle 10^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780921

Tabla 2.4. Descripción de la Luminaria 2⁶⁶

Luminaria 3

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (2.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	12.66 m ($\angle 10^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780898

Tabla 2.5. Descripción de la Luminaria 3⁶⁷

Luminaria 4

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.95 m ($\angle 20^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780903

Tabla 2.6. Descripción de la Luminaria 4⁶⁸

⁶⁶ Autores

⁶⁷ Ídem.

⁶⁸ Ídem.

Luminaria 5

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	2
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.93 m ($\angle 20^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780872

Tabla 2.7. Descripción de la Luminaria 5⁶⁹

Luminaria 6

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	2
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.65 m ($\angle 20^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780848

Tabla 2.8. Descripción de la Luminaria 6⁷⁰

Luminaria 7

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	2
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.90 m ($\angle 20^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780820

Tabla 2.9. Descripción de la Luminaria 7⁷¹

⁶⁹ Autores

⁷⁰ Ídem.

⁷¹ Ídem.

Luminaria 8

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (1.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	12.60 m ($\angle 20^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780871

Tabla 2.10. Descripción de la Luminaria 8⁷²

Luminaria 9

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (1.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	12.60 m ($\angle 20^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780961

Tabla 2.11. Descripción de la Luminaria 9⁷³

Luminaria 10

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (1.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	13.70 m ($\angle 20^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780965

Tabla 2.12. Descripción de la Luminaria 10⁷⁴

⁷² Autores

⁷³ Ídem.

⁷⁴ Ídem.

Luminaria 11

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (8m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	10.90 m ($\angle 20^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780944

Tabla 2.13. Descripción de la Luminaria 11⁷⁵

Nota: El poste se encuentra anclado a la estructura de la sala de ping-pong

Luminaria 12

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (4.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	13.20 m ($\angle 0^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780821

Tabla 2.14. Descripción de la Luminaria 12⁷⁶

Luminaria 13

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (4.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	11.53 m ($\angle 0^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780891

Tabla 2.15. Descripción de la Luminaria 13⁷⁷

⁷⁵ Autores

⁷⁶ Ídem.

⁷⁷ Ídem.

Luminaria 14

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (4.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	11.10 m ($\angle 0^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780871

Tabla 2.16. Descripción de la Luminaria 14⁷⁸

Luminaria 15

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (4.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	13.60 m ($\angle 0^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780839

Tabla 2.17. Descripción de la Luminaria 15⁷⁹

Luminaria 16

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (4.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	13.35 m ($\angle 0^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780832

Tabla 2.18. Descripción de la Luminaria 16⁸⁰

⁷⁸ Autores

⁷⁹ Ídem.

⁸⁰ Ídem.

Luminaria 17

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	10.15 m ($\angle 5^{\circ}$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780766

Tabla 2.19. Descripción de la Luminaria 17⁸¹

Luminaria 18

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.85 m ($\angle 5^{\circ}$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780715

Tabla 2.20. Descripción de la Luminaria 18⁸²

Luminaria 19

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (10m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	8.25 m ($\angle 5^{\circ}$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780686

Tabla 2.21. Descripción de la Luminaria 19⁸³

⁸¹ Autores

⁸² Ídem.

⁸³ Ídem.

Luminaria 20

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	10 m ($\angle 5^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780655

Tabla 2.22. Descripción de la Luminaria 20⁸⁴

Luminaria 21

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Radal 3
	3. Número de lámparas por luminaria	2
	4. Poste o Brazo	Poste (12.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	10.15 m ($\angle 50^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780740

Tabla 2.23. Descripción de la Luminaria 21⁸⁵

Luminaria 22

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Radal 3
	3. Número de lámparas por luminaria	2
	4. Poste o Brazo	Poste (12.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	10 m ($\angle 50^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780718

Tabla 2.24. Descripción de la Luminaria 24⁸⁶

⁸⁴ Autores

⁸⁵ Ídem.

⁸⁶ Ídem.

Luminaria 23

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Radal 3
	3. Número de lámparas por luminaria	2
	4. Poste o Brazo	Poste (12.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	10.40 m ($\angle 50^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780665

Tabla 2.25. Descripción de la Luminaria 23⁸⁷

Luminaria 24

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Radal 3
	3. Número de lámparas por luminaria	2
	4. Poste o Brazo	Poste (12.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.40 m ($\angle 50^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780724

Tabla 2.26. Descripción de la Luminaria 24⁸⁸

Luminaria 25

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Radal 3
	3. Número de lámparas por luminaria	2
	4. Poste o Brazo	Poste (12.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.35 m ($\angle 50^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780685

Tabla 2.27. Descripción de la Luminaria 25⁸⁹

⁸⁷ Autores

⁸⁸ Ídem.

⁸⁹ Ídem.

Luminaria 26

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Radal 3
	3. Número de lámparas por luminaria	2
	4. Poste o Brazo	Poste (12.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.40 m ($\angle 50^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780650

Tabla 2.28. Descripción de la Luminaria 26⁹⁰

2.2.2.3 Identificación de Circuitos

Dentro del campus podemos definir los siguientes circuitos de iluminación, en función de su sistema de control. A continuación se detalla la simbología aplicada para todos los circuitos:







	LAMPARA DE SODIO
	ANCLAJE
	POSTE DE HORMIGÓN
	CONEXIÓN SUBTERRANEA
	CONEXIÓN AÉREA
	SWITCH

Fig. 2.29 Simbología Utilizada para Planos⁹¹

⁹⁰ Autores

⁹¹ Ídem.

Circuito 1

Comprende desde la luminaria 1 hasta la luminaria 7. El circuito es bifásico.

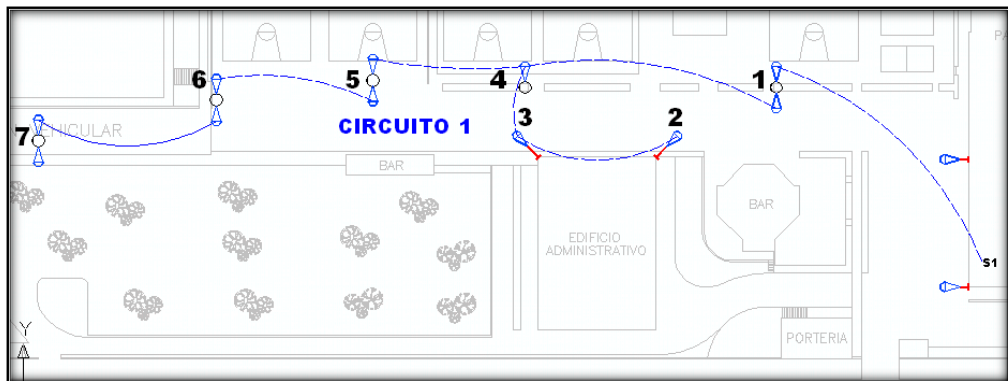


Fig. 2.30 Circuito 1 de Sistema de Iluminación⁹²

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 1	Unidades
Potencia Instalada	2.750,00	W
Protección	2x16	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	250,00	W
Nº Lámparas	11,00	adim
Longitud	210	m
Cable	2x12	AWG
Sistema de Control	Pulsador	adim

Tabla 2.29. Características del Circuito 1⁹³

⁹² Autores

⁹³ Ídem.

Recopilación de Datos según Fluke 435

Voltaje	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
L1	113,74	121,015	125,39	V
L2	118,02	123,06	128,21	V
Corriente				
L1	1	12,38	182	A
L2	1	13,22	192	A
Frecuencia	59,92	59,99	60,073	Hz
Pot. Activa				
L1	0	1206,21	1400	W
L2	0	1234,63	1500	W
Total	0	2430,59	2800	W
Pot. Reactiva				
L1	-700	-618,325	400	kvar
L2	0	811,144	1500	kvar
Total	0	198,579	2000	kvar
Pot. Aparente				
L1	0	1358,56	1600	VA
L2	0	1472,48	1700	VA
Total	0	2835,98	3300	VA
Fac. de Potencia				
L1	-0,02	0,763	0,94	adim
L2	-0,05	0,709	0,83	adim
Total	-0,03	0,736	0,84	adim
E. Activa				
L1	0	2079,28	4000	Wh
L2	0	2154,82	5000	Wh
Total	0	4275,99	9000	Wh
E. Reactiva				
L1	0	3,07E+12	4,29497E+12	VARh
L2	0	1428,57	3000	VARh
Total	0	311,144	1000	VARh
E. Aparente				
L1	0	2382,2	5000	Vah
L2	0	2584,14	500	Vah
Total	0	4999,25	11000	Vah
THD				
L1	2,48	3,31	4,14	%
L2	2,53	3,56	4,14	%

Tabla 2.30. Datos recopilados según Fluke 435⁹⁴

NOTA: El estudio realizado con el analizador de energía FLUKE 435 se presenta en el Anexo A.⁹⁵

⁹⁴ Autores

Caída de Tensión

El voltaje en los terminales de la carga es por lo general menor al voltaje que se tiene en los alimentadores, la diferencia entre estos dos da como resultado un valor conocido como caída de tensión. El cálculo de caída de tensión es importante en todo circuito eléctrico, tomando protagonismo a medida que va creciendo en longitud, es por eso que un conductor no debe ser elegido solo por la corriente que circula por él, sino también por su caída de tensión. Es necesario que cumpla requisitos mínimos de funcionamiento. La caída de tensión se calcula de la siguiente manera: [17]

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S} \quad (1)$$

Donde:

ρ es la resistividad del material en Ωm

L es la longitud del cable en m

I es la Intensidad de corriente eléctrica en A.

$\cos\varphi$ es el Factor de potencia

S es la sección del conductor en mm^2

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (210) \times (12,8) \times (0.736)}{3,31}$$

$$\Delta V = 19.65 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 9,38\%$$

⁹⁵ Informe realizado con Analizador de Energía FLUKE 435.

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #12 AWG es 3,31mm², los valores de corriente y factor de potencia son proporcionados por el analizador de energía, el valor de la distancia por las características enunciadas del circuito.

Circuito 2

Comprende desde la luminaria 8 hasta la luminaria 11. El circuito es bifásico.

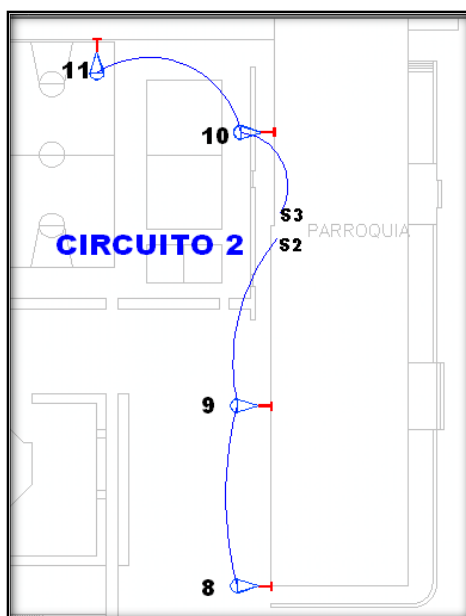


Fig. 2.31 Circuito 2 de Sistema de Iluminación⁹⁶

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 2	Unidades
Potencia Instalada	1.000,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	250,00	W
Nº Lámparas	4,00	adim
Longitud	100	m
Cable	2x8	AWG
Sistema de Control	Breaker	adim

Tabla 2.31. Características del Circuito 2⁹⁷

⁹⁶ Autores

⁹⁷ Ídem.

Recopilación de Datos según Fluke 435

Voltaje	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
L1	123,7	128,5	132,75	V
L2	124,5	129,3	131,5	V
Corriente				
L1	1	5,5	6	A
L2	1	5,6	7	A
Frecuencia	59,91	59,99	60,073	Hz
Pot. Activa				
L1	0	544,41	600	W
L2	0	550,7	600	W
Total	0	1030,5	1150	W
Pot. Reactiva				
L1	0	250,6	300	kvar
L2	-400	-296,63	300	kvar
Total	-400	-56,6	600	kvar
Pot. Aparente				
L1	0	630,24	700	VA
L2	0	650,8	700	VA
Total	0	1100,5	1400	VA
Fac. de Potencia				
L1	-0,01	0,77	0,92	adim
L2	0	0,76	0,94	adim
Total	0	0,79	0,97	adim
E. Activa				
L1	0	804,72	2000	Wh
L2	0	798,9	2000	Wh
Total	0	1400,8	4000	Wh
E. Reactiva				
L1	0	1,98E+12	4,29497E+12	VARh
L2	0	496,7	500,6	VARh
Total	0	60,6	800	VARh
E. Aparente				
L1	0	964,57	2000	Vah
L2	0	356,8	2000	Vah
Total	0	1245,6	2000	Vah
THD				
L1	2,86	3,98	4,9	%
L2	2,66	2,78	4,4	%

Tabla 2.32. Datos recopilados según Fluke 435⁹⁸

⁹⁸ Autores

NOTA: El estudio realizado con el analizador de energía FLUKE 435 se presenta en el Anexo A.⁹⁹

Caída de Tensión

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 2:

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (100) \times (5,55) \times (0,79)}{8,37}$$

$$\Delta V = 1.78 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 0,80\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #8 AWG es 8,37mm², los valores de corriente y factor de potencia son proporcionados por el analizador de energía, el valor de la distancia por las características enunciadas del circuito.

Circuito 3

Comprende la luminaria 12. El circuito es bifásico.

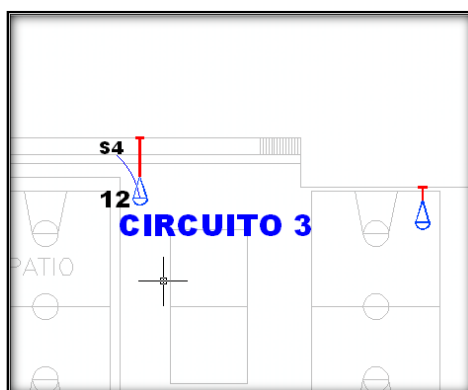


Fig. 2.32 Circuito 3 de Sistema de Iluminación¹⁰⁰

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 3	Unidades
Potencia Instalada	250,00	W
Protección	2x30	A
Equipo	LUMINARIA	adim

⁹⁹ Informe realizado con Analizador de Energía FLUKE 435.

¹⁰⁰ Autores

Potencia Unitaria	250,00	W
Nº Lámparas	1,00	adim
Longitud	20	m
Cable	2x12	AWG
Sistema de Control	Interruptor	Adim

Tabla 2.33. Características del Circuito 3¹⁰¹

Recopilación de Datos según Fluke 435

Voltaje	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
L1	121,77	126,1	129,04	V
L2	123,1	128,47	131	V
Corriente				
L1	1	1,96	2	A
L2	1	1,96	3	A
Frecuencia	59,89	60,001	60,1	Hz
Pot. Activa				
L1	0	177,37	200	W
L2	0	191,56	200	W
Total	0	289,49	400	W
Pot. Reactiva				
L1	0	96,94	200	kvar
L2	-100	-93,98	100	kvar
Total	-100	-51,79	300	kvar
Pot. Aparente				
L1	0	191,83	200	VA
L2	0	191,83	200	VA
Total	0	384,381	400	VA
Fac. de Potencia				
L1	-0,01	0,394	0,5	adim
L2	0	0,41	0,55	adim
Total	0	0,61	0,68	adim
E. Activa				
Total	0	482,94	1000	Wh
E. Reactiva				
Total	0	680,00	1160,2	VARh
E. Aparente				
L1	0	90,66	1000	Vah
L2	0	210,05	1000	Vah
Total	0	571,81	1000	Vah
THD				
L1	2,26	3,4	3,92	%
L2	2,37	3,54	4,16	%

¹⁰¹ Autores

Tabla 2.34. Datos recopilados según Fluke 435¹⁰²

NOTA: El estudio realizado con el analizador de energía FLUKE 435 se presenta en el Anexo A.¹⁰³

Caída de Tensión

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 3:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \phi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (20) \times (1,96) \times (0,61)}{3,31}$$

$$\Delta V = 0.25 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 0,11\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #12 AWG es 3,31mm², los valores de corriente y factor de potencia son proporcionados por el analizador de energía, el valor de la distancia por las características enunciadas del circuito.

Circuito 4

Comprende la luminaria 13 y 14. El circuito es bifásico.

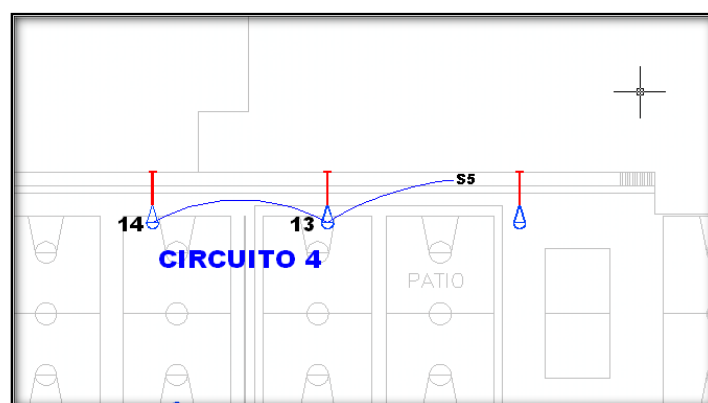


Fig. 2.33 Circuito 4 de Sistema de Iluminación¹⁰⁴

¹⁰² Ídem.

¹⁰³ Informe realizado con Analizador de Energía FLUKE 435.

¹⁰⁴ Autores

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 4	Unidades
Potencia Instalada	500,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	LUMINARIA	adim
Potencia Unitaria	250,00	W
Nº Lámparas	2,00	adim
Longitud	80	m
Cable	2x12	AWG
Sistema de Control	Interruptor	adim

Tabla 2.35. Características del Circuito 4¹⁰⁵

Recopilación de Datos según Fluke 435

Voltaje	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
L1	118,03	121,92	141,4	V
L2	119,04	121,8	141,1	V
Corriente				
L1	1	2,93	4	A
L2	1	2,93	5	A
Frecuencia	59,9	59,99	60,07	Hz
Pot. Activa				
L1	0	215,98	300	W
L2	0	225,4	350	W
Total	0	440,9	600	W
Pot. Reactiva				
L1	0	153,4	100	kvar
L2	-200	-151,85	100	kvar
Total	-200	-75,4	200	kvar
Pot. Aparente				
L1	0	289,31	300	VA
L2	0	285,3	300	VA
Total	0	560,5	600	VA
Fac. de Potencia				
L1	-0,02	0,63	0,77	adim
L2	0	0,72	0,79	adim
Total	0	0,78	0,82	adim
E. Activa				
L1	0	322,43	1000	Wh
L2	0	354,6	1000	Wh
Total	0	670,7	2000	Wh
E. Reactiva				
L1	0,00	9,89E+11	2,15E+12	VARh
L2	0	259,5	280	VARh

¹⁰⁵ Autores

Total	0	30,5	400	VARh
E. Aparente				
L1	0	428,44	1000	Vah
L2	0	170,7	1000	Vah
Total	0	650,78	1000	Vah
THD				
L1	2,36	3,62	4,91	%
L2	2,67	3,78	4,56	%

Tabla 2.36. Datos recopilados según Fluke 435¹⁰⁶

NOTA: El estudio realizado con el analizador de energía FLUKE 435 se presenta en el Anexo A.¹⁰⁷

Caída de Tensión

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 4:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \phi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (80) \times (2,93) \times (0,78)}{3,31}$$

$$\Delta V = 1,88 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 0,89\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #12 AWG es 3,31mm², los valores de corriente y factor de potencia son proporcionados por el analizador de energía, el valor de la distancia por las características enunciadas del circuito.

Circuito 5

Comprende desde la luminaria 15 hasta la luminaria 20. El circuito es bifásico.

¹⁰⁶ Ídem.

¹⁰⁷ Informe realizado con Analizador de Energía FLUKE 435.

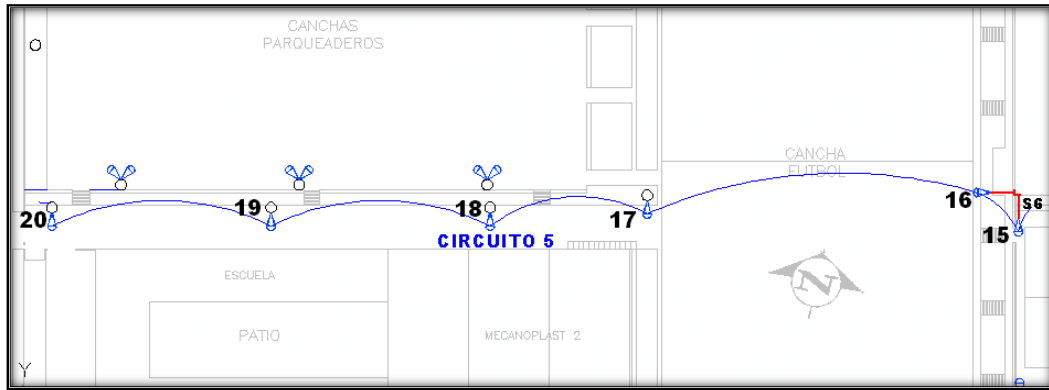


Fig. 2.34 Circuito 5 de Sistema de Iluminación¹⁰⁸

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 5	Unidades
Potencia Instalada	1.500,00	W
Protección	2x16	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	250,00	W
Nº Lámparas	6,00	adim
Longitud	200	m
Cable	2x8	AWG
Sistema de Control	Pulsador	adim

Tabla 2.37. Características del Circuito 5¹⁰⁹

Caída de Tensión

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 4:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \phi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (200) \times (6,81) \times (0,737)}{8,37}$$

$$\Delta V = 4,08 \text{ VAC}$$

¹⁰⁸ Autores

¹⁰⁹ Autores

$$\Delta V = 1,85\%$$

NOTA: Este circuito se encuentra fuera de servicio razón por la cual no se realizaron las pruebas con el equipo FLUKE, en el Anexo C¹¹⁰ se informa a las autoridades la anomalía encontrada por medio de un oficio con fecha 19 de marzo de 2013.

Los datos han sido calculados con valores teóricos. El factor de potencia es un promedio de los circuitos de iluminación recopilados de forma real. La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #8 AWG es 8,37 mm²

Circuito 6

Comprende desde la luminaria 21 hasta la luminaria 26. El circuito es bifásico.

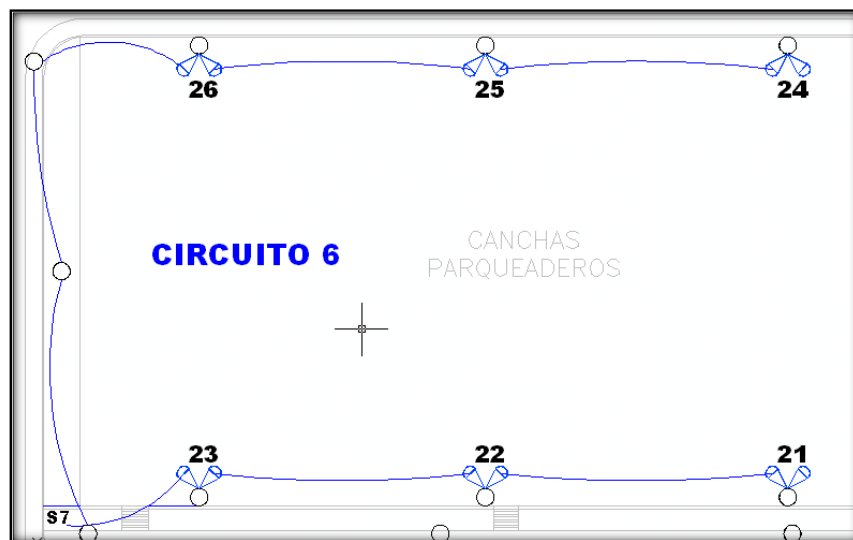


Fig. 2.35 Circuito 6 de Sistema de Iluminación¹¹¹

¹¹⁰ Oficio de Luminarias Averiadadas.

¹¹¹ Autores

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 6	Unidades
Potencia Instalada	4.800,00	W
Protección	1x30	A
Equipo	Luminaria	Adim
Potencia Unitaria	400,00	W
Nº Lámparas	12,00	Adim
Longitud	240	M
Cable	2x8	AWG
Encendido	Breaker	Adim

Tabla 2.38. Características del Circuito 6¹¹²

Recopilación de Datos según Fluke 435

Voltaje	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
L1	119,56	122,11	125,26	V
L2	121,31	124,25	127,22	V
Corriente				
L1	1	19,71	29	A
L2	1	20,63	30	A
Frecuencia	59,91	60,0006	60,076	Hz
Pot. Activa				
L1	-100	1860,71	2100	W
L2	0	2265,39	3200	W
Total	0	4127,21	4600	W
Pot. Reactiva				
L1	0	1394,47	3500	kvar
L2	-1200	-958,67	2000	kvar
Total	0	439,11	5500	kvar
Pot. Aparente				
L1	0	2333,67	3500	VA
L2	0	2487,16	3700	VA
Total	0	4819,81	7200	VA
Fac. de				

¹¹² ídem.

Potencia				
L1	-0,06	0,712	0,82	adim
L2	0	0,84	0,98	adim
Total	-0,07	0,77	0,84	adim
E. Activa				
L1	0	3068,88	6000	Wh
L2	0	3846,94	7000	Wh
Total	0	6915,82	13000	Wh
E. Reactiva				
L1	0	2459,18	5000	VARh
L2	0	3,37E+12	4,29497E+12	VARh
Total	0	847,78	1000	VARh
E. Aparente				
L1	0	3991,5	8000	Vah
L2	0	4210,03	8000	Vah
Total	0	8208,33	16000	Vah
THD				
L1	1,69	2,11	2,4	%
L2	1,79	2,04	2,25	%

Tabla 2.39. Datos recopilados según Fluke 435¹¹³

NOTA: El estudio realizado con el analizador de energía FLUKE 435 se presenta en el Anexo A.¹¹⁴

Caída de Tensión

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 6:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (240) \times (20,17) \times (0,77)}{8,37}$$

$$\Delta V = 15.14 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 7,16\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #8 AWG es 8,37mm², los valores de corriente y factor de potencia son proporcionados por el

¹¹³ Autores

¹¹⁴ Informe realizado con Analizador de Energía FLUKE 435.

analizador de energía, el valor de la distancia por las características enunciadas del circuito.

2.2.2.4 NIVELES DE ILUMINACIÓN

Los niveles de iluminación de una locación dependen de las condiciones físicas y arquitectónicas de la aplicación a la que esté enfocado, esto determinará los niveles óptimos y requeridos según normas y estándares ya establecidos. Para el siguiente estudio de los niveles de iluminación se utilizan las normas: RTE INEN 069 ALUMBRADO PÚBLICO, CIE 140 2000, ITC-EA-07 y la regulación 008/11 del CONELEC.

Clasificación De Iluminación Para El Alumbrado Público Campus Kennedy

Según la Regulación No 008/11 del CONELEC, se clasifica a la UPS Campus Kennedy como un Sistema especial de Iluminación, entendiéndose como una Zona de Conflicto. Se seleccionó ésta categoría ya que es una zona con flujo vehicular y peatonal frecuente. Para la determinación de la clase C, en la zona de conflicto, se lo hace en función de la siguiente relación:

Número de la Clase de Iluminación

$$C = \left(6 - \sum Vps \right) \quad (2)$$

Donde:

C : Clase de iluminación; va de C0 a C5

$\sum Vps$: Sumatorio de los parámetros seleccionados en función de la siguiente tabla:

Parámetro	Opciones	Valor de Ponderación de Vp	Vp seleccionado
Velocidad	Elevado	3	1
	Alto	2	
	Moderado	1	
	Bajo	0	
Volumen del Tráfico	Elevado	1	1
	Alto	0.5	

	Moderado	0	
	Bajo	-0.5	
	Muy Bajo	-1	
Composición de Tráfico	Mezcla: con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	2
	Mezcla	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	1
	Si	0	
Iluminación Ambiental	Alta	1	-1
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías Visuales	Pobre	0.5	0.5
	Moderado o bueno	0	
			4.5

Tabla 2.40. Tabla de parámetros para identificación de zonas de conflicto. [18]

NOTA: Si el resultado no es un número entero, se aproxima al menor valor del sumatorio

Número de la Clase de iluminación C = (6-4)

Número de la Clase de iluminación C = 2 [18]

Clases de Iluminación	Iluminancia Promedio (lux)	Uniformidad de la Iluminancia U _o (E)
C0	50	0.40
C1	30	
C2	20	
C3	15	
C4	10	
C5	7.5	

Tabla 2.41. Niveles de Iluminación para zonas de conflicto. [18]

El análisis de la tabla 2.41. Determina que el alumbrado Público del Campus Kennedy pertenece a la clase C2, en donde debe cumplir una iluminancia promedio E de 20 lux, con una uniformidad de la Iluminancia U_o (E) de 0.40.

Mediciones

En distancias cortas, menores a 60m, no se pueden aplicar los métodos de cálculos de las luminancias y se utiliza el criterio de las iluminancias.

Para realizar las mediciones de iluminancia de la UPS Campus Kennedy, se identificaron 9 sectores principales, en donde existe tráfico vehicular y peatonal:

Sector 1: Parqueadero (Largo: 53.82m, Ancho: 96m)

Sector 2: Corredor Coliseo (Largo: 7.5m, Ancho: 72m)

Sector 3: Canchas Generales (Largo: 30.30m, Ancho: 126m)

Sector 4: Corredor Bar-Edificio Administrativo (Largo: 10.10m, Ancho: 108m)

Sector 5: Entrada Principal (Largo: 16.50m, Ancho: 42m)

Sector 6: Corredor Escuela-Mecanoplast2 (Largo: 6m, Ancho: 114m)

Sector 7: Entrada principal Iglesia. Está dividido en dos zonas debido a que no es uniforme el campo de estudio. Zona A (Largo: 10m, Ancho: 33.88m). Zona B (Largo: 66.00m, Ancho: 16m).

Sector 8: Bar principal (Largo: 18.00, Ancho: 11.80m)

Sector 9: Subsuelo Edificio administrativo. Está dividido en tres zonas debido a que no es uniforme el campo de estudio. Zona A (Largo: 33.54m, Ancho: 3.15m). Zona B (Largo: 5.80, Ancho: 16.09m). Zona C (Largo: 5.80m, Ancho: 16.09m).

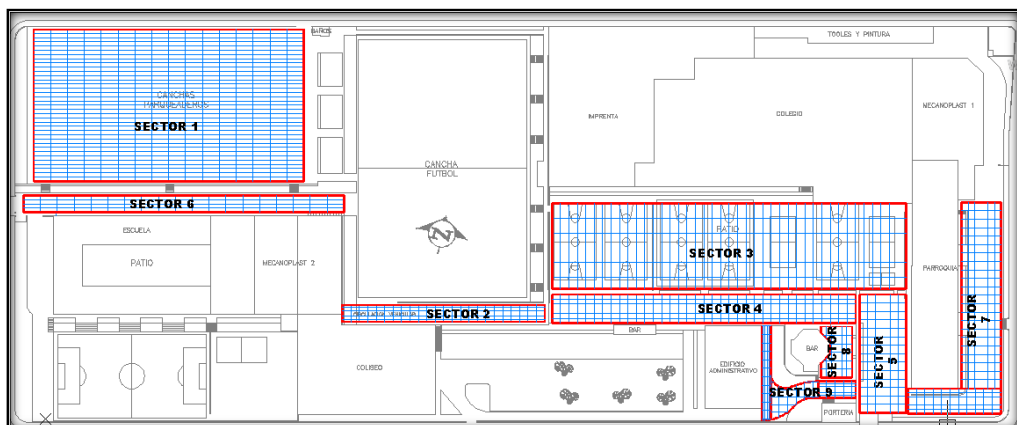


Fig. 2.36 Sectorización de Campos de Medición de Iluminancia¹¹⁵

Procedimiento De Medición

Para el procedimiento de medición de iluminancia se consideró el reglamento RTE INEN 069 “Alumbrado Público”, y la Instrucción Técnica Complementaria EA – 07 “Mediciones luminotécnicas en las instalaciones de alumbrado”, en donde especifican las condiciones de medición.

Medición Sector 1

La medición del sector 1 se llevó a cabo el día viernes 8 de marzo desde las 21:00 hasta las 00:30 con la presencia del Sr. Daniel Tobar y el Sr. Pedro Chantera.



Fig. 2.37 Señalización de Puntos a medir¹¹⁶



Fig. 2.38 Toma de lecturas de Luxómetro¹¹⁷

¹¹⁵ Autores

¹¹⁶ Autores

- El equipo utilizado para la medición de iluminancia fue el Luxómetro AMPROBE LM-120 y para la medición de voltaje y corriente fue el multímetro GREENLEE CM-1550, descritos en el numeral 2.2.1.2.1 Equipos de Medición.
- La temperatura fue de 13 grados Celsius sin presencia de lluvia.
- El voltaje entre bornes del circuito de lámparas fue de 216,3V, con una corriente de 19,8 Amp.
- Las luminarias que intervienen en el sistema de medición son la 21, 22, 23, 24, 25, 26 descritas en el numeral 2.2.1.2.2 Luminarias.
- Las luminarias 25A y 26B no estuvieron funcionando.
- Las mediciones realizadas fueron hechas a nivel de piso.
- Los valores de las mediciones obtenidas en el sector 1 se presentan en el Anexo B.¹¹⁸

Medición Sectores 2, 3, 4, 5

La medición de los sectores 2, 3, 4, 5 se llevó a cabo el día viernes 15 de marzo desde las 21:30 hasta las 01:30 con la presencia del Sr. Daniel Tobar y el Sr. Pedro Chantera.



Fig. 2.39 Toma de lecturas de Luxómetro¹¹⁹

¹¹⁷ Ídem.

¹¹⁸ Registro de Mediciones de Iluminancia

¹¹⁹ Autores



Fig. 2.40 Luxómetro Amprobe LM-120¹²⁰

- El equipo utilizado para la medición de iluminancia fue el Luxómetro AMPROBE LM-120 y para la medición de voltaje y corriente fue el multímetro GREENLEE CM-1550, descritos en el numeral 2.2.1.2.1 Equipos de Medición.
- La temperatura fue de 14 grados Celsius. Hubo presencia de lluvia previo al inicio de las mediciones.
- Las luminarias que intervienen en el sistema de medición comprenden desde la 1 hasta la 16 descritas en el numeral 2.2.1.2.2 Luminarias.
- El voltaje entre bornes del circuito 1 que contiene las luminarias 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 fue de 212.13 VAC, con una corriente de 12,9 Amp.
- El voltaje entre bornes del circuito 2 que contiene las lámparas 8, 9, 10, 11 fue de 223.1 VAC, con una corriente de 5,59 Amp.
- El voltaje entre bornes del circuito 3 que contiene la lámpara 12 fue de 221.1 VAC, con una corriente de 1,98 Amp.
- El voltaje entre bornes del circuito 4 que contiene las lámparas 13, 14 fue de 211.7 VAC con una corriente de 2,96 Amp.
- Las luminarias 15 y 16 no estuvieron funcionando.
- Las mediciones realizadas fueron hechas a nivel de piso.
- Los valores obtenidos de las mediciones se presentan en el Anexo B.¹²¹

Medición Sector 6, 7, 8, 9

¹²⁰ Ídem.

¹²¹ Registro de Mediciones de Iluminancia

El circuito que corresponde al sector 6 no se encuentra operativo y se informó a las autoridades la anomalía que presenta el circuito por medio de un oficio de fecha 19 de marzo de 2013, el cual se presenta en el Anexo C. ¹²²

Los sectores 7, 8, 9 no poseen iluminación por lo que no se consideran para las mediciones.

Campos De Medición.

Para la selección del campo de medición del Sector 1 y Sector 6, se escogió la Instrucción Técnica Complementaria EA – 07, en donde se especifica que los puntos de medición deben cubrir toda el área a tratar y deben estar uniformemente separados.

Para la separación longitudinal D , no debe superar los 3m, y para la separación transversal menor a 1m. Debido a que podría resultar un elevado número de mediciones, y por problemas de tiempo u otras condiciones, la norma UNE-EN 13201-4 considera conveniente efectuar menos mediciones.

En resumen, para la separación longitudinal considera una distancia $D \leq 6$ m, y para la separación transversal distancia $d \leq 1,5$ m. El número mínimo de puntos en la dirección longitudinal (N) o transversal (n) será de 3.

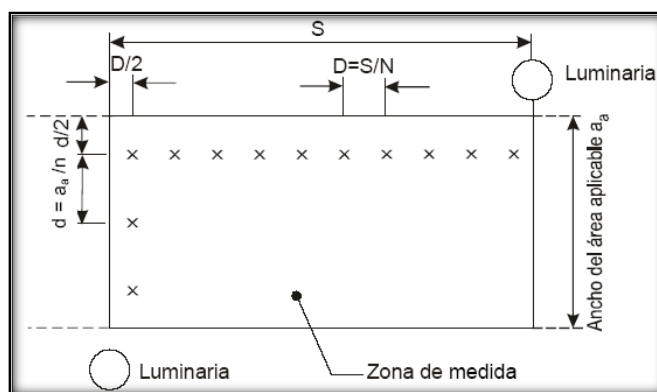


Fig. 2.41 Puntos de medida para la Iluminancia ¹²³

“Donde los parámetros son los siguientes:

S = separación entre dos puntos de luz consecutivos

X = puntos de medida de la iluminación

¹²² Oficio de Luminarias Averiadadas.

¹²³ ITC EA-07, “Mediciones luminotécnicas en las instalaciones de alumbrado”, España: Madrid, pág. 13, 2012.

a_a = ancho del área aplicable

n = número de puntos de medida en la dirección transversal

N = número de puntos de medida en la dirección longitudinal

D = distancia en la dirección longitudinal entre dos puntos de medida contiguos

d = distancia en la dirección transversal entre dos puntos de medida contiguos¹²⁴

Para la selección del campo de medición del Sector 2, Sector 3, Sector 4 y Sector 5, se escogió la RTE INEN 069 “Alumbrado Público”, en donde se especifica que los puntos de medición deben estar uniformemente espaciados, en donde la dirección longitudinal D , se calcula de la siguiente forma:

$$D = S/N \quad (3)$$

“Donde los parámetros son los siguientes:

D = Es el espaciado entre puntos en la dirección longitudinal (m).

S = Es el espaciado entre luminarias (m).

N = Es el número de puntos de cálculo en la dirección longitudinal con los siguientes valores.

Para S menor o igual a 30 m, $N = 10$

Para S mayor de 30 m, el entero más pequeño para que se obtenga D menor o igual a 3 m.

La dirección transversal d , se determina con la siguiente expresión:

$$d = Wr/3$$

d = Es el espaciado entre puntos en la dirección transversal (m)

Wr = Es el ancho de la calzada o del área aplicable (m)¹²⁵

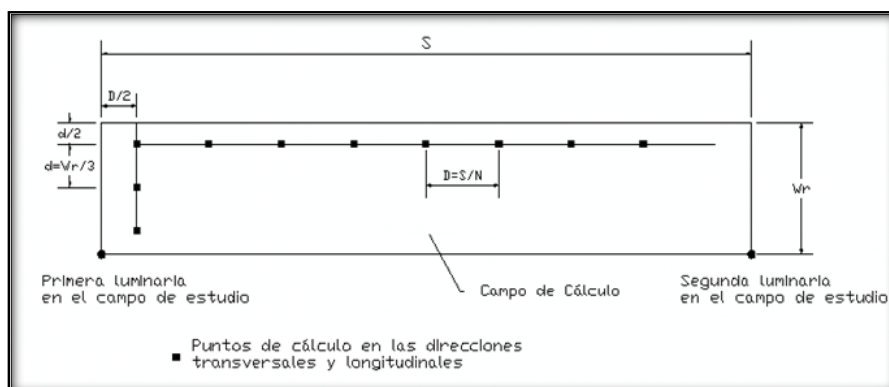


Fig. 2.42 Puntos de cálculo para la Iluminancia¹²⁶

¹²⁴ ITC EA-07, “Mediciones luminotécnicas en las instalaciones de alumbrado”, España: Madrid, pág. 13, 2012.

¹²⁵ RTE INEN 069, “ALUMBRADO PÚBLICO”, Quito, pág. 71, 2011.

SECTOR 1

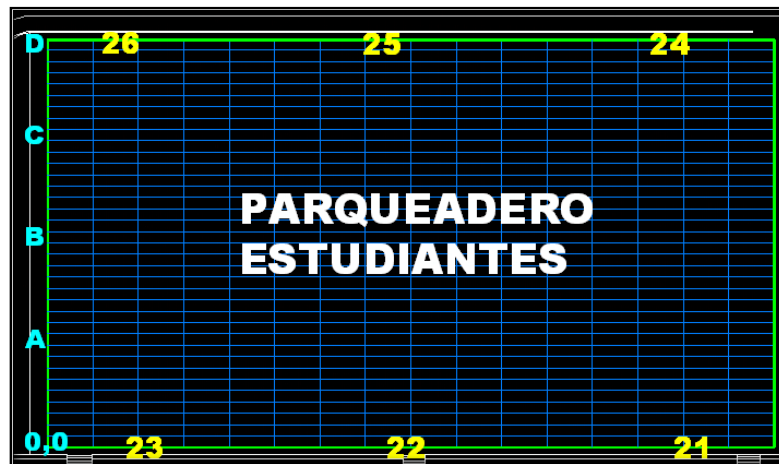
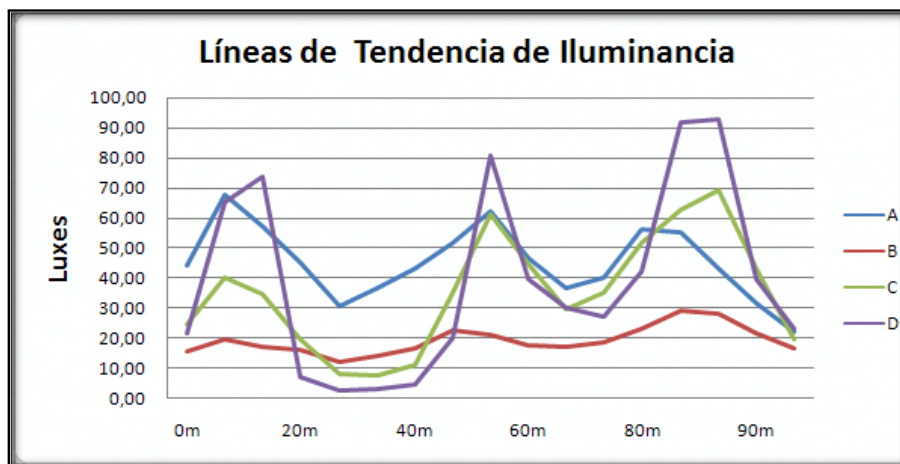


Fig. 2.43 Sector 1¹²⁷

Para el sector 1 se obtuvieron 629 mediciones indicadas en la figura 2.39, 17 columnas longitudinales y 37 filas transversales.

La distancia $D=6m$, $d=1,5m$.

A continuación se realiza las líneas de tendencia de iluminancia realizado con valores reales proporcionados por la medición en campo, detallados en el Anexo B.¹²⁸



¹²⁶ RTE INEN 069, "ALUMBRADO PÚBLICO", Quito, pág. 71, 2011.

¹²⁷ Autores

¹²⁸ Registro de Mediciones de Iluminancia

Fig. 2.44 Tendencia de Iluminancia del Sector 1¹²⁹

Las líneas de tendencia de iluminancia se construyeron a través de las mediciones recopiladas a lo largo de la fila A, B, C, D que se encuentran a una distancia de 13,5 m, 27 m, 40,5 m y 54 m respectivamente, teniendo como referencia el punto 0,0 mostrado en la figura 2.39 . En el eje X de la figura 2.40 se tiene la distancia de ancho del sector y el eje Y representa la escala de luxes.

$$E_{max} = 148,60 \text{ lux}$$

$$E_{min} = 2,40 \text{ lux}$$

$$E_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_i}{n} \quad (4)$$

$$E_{prom} = 39,99 \text{ lux}$$

Con los resultados obtenidos, se procede a calcular el valor de los coeficientes de uniformidad de iluminancia:

$$U_o = \frac{E_{min}}{E_{prom}} \quad (5)$$

$$U_o = 0,6$$

$$U_g = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (6)$$

$$U_g = 0,0162$$

SECTOR 2



¹²⁹ Autores

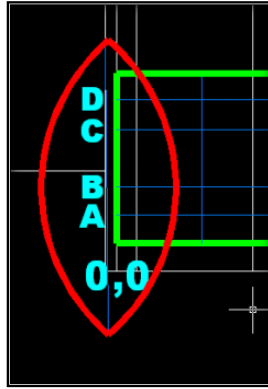


Fig. 2.45 Sector 2¹³⁰

Para el sector 2 se obtuvieron 100 mediciones indicadas en la figura 2.41, 25 columnas longitudinales y 4 filas transversales.

La distancia $D=3\text{m}$, $d=2,58$.

A continuación se realiza las líneas de tendencia de iluminancia realizado con valores reales proporcionados por la medición en campo, detallados en el Anexo B.¹³¹

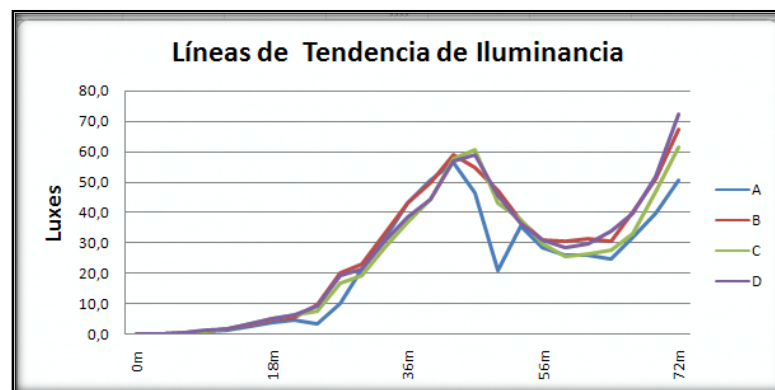


Fig. 2.46 Tendencia de Iluminancia del sector 2¹³²

Las líneas de tendencia de iluminancia se construyeron a través de las mediciones recopiladas a lo largo de la fila A, B, C, D que se encuentran a una distancia de 1.25 m, 2.50 m, 5 m y 6.25 m respectivamente, teniendo como referencia el punto 0,0 mostrado en la figura 2.41. En el eje X de la figura 2.42 se tiene la distancia de ancho del sector y el eje Y representa la escala de luxes.

$$E_{max} = 72,30 \text{ lux}$$

¹³⁰ Autores

¹³¹ Registro de Mediciones de Iluminancia

¹³² Autores

$$E_{min} = 0,30 \text{ lux}$$

Según la fórmula (4), se calcula la iluminancia promedio:

$$E_{prom} = 25,03 \text{ lux}$$

Según las fórmula (5) y (6), se calculan los coeficientes de uniformidad general de iluminancia.

$$U_o = 0,012$$

$$U_g = 0,004$$

SECTOR 3

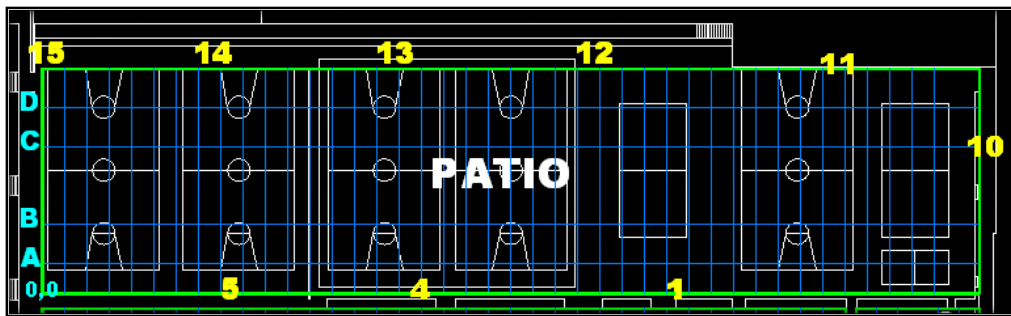
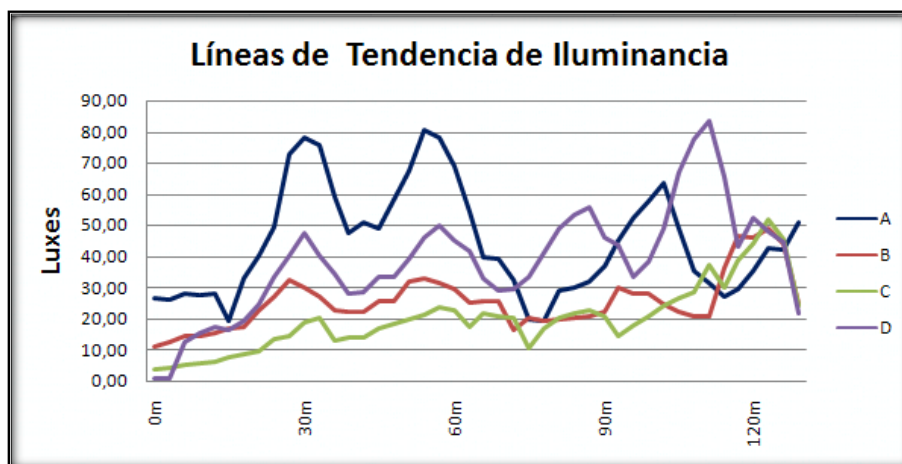


Fig. 2.47 Sector 3¹³³

Para el sector 3 se obtuvieron 176 mediciones indicadas en la figura 2.43, 44 columnas longitudinales y 4 filas transversales.

La distancia D=3m, d=10,10m.



¹³³ Autores

Fig. 2.48 Tendencia de Iluminancia del sector 3¹³⁴

Las líneas de tendencia de iluminancia se construyeron a través de las mediciones recopiladas a lo largo de la fila A, B, C, D que se encuentran a una distancia de 5 m, 10 m, 20 m y 25 m respectivamente, teniendo como referencia el punto 0,0 mostrado en la figura 2.43. En el eje X de la figura 2.44 se tiene la distancia de ancho del sector y el eje Y representa la escala de luxes.

$$E_{max} = 83,40 \text{ lux}$$

$$E_{min} = 0,76 \text{ lux}$$

Según la fórmula (4), se calcula la iluminancia promedio:

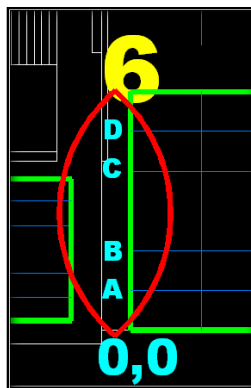
$$E_{prom} = 32 \text{ lux}$$

Según las fórmula (5) y (6), se calculan los coeficientes de uniformidad general de iluminancia.

$$U_o = 0,02$$

$$U_g = 0,0049$$

SECTOR 4



¹³⁴ Ídem.

Fig. 2.49 Sector 4¹³⁵

Para el sector 4 se obtuvieron 148 mediciones indicadas en la figura 2.45, 37 columnas longitudinales y 4 filas transversales.

La distancia $D=3\text{m}$, $d=3,36\text{m}$.

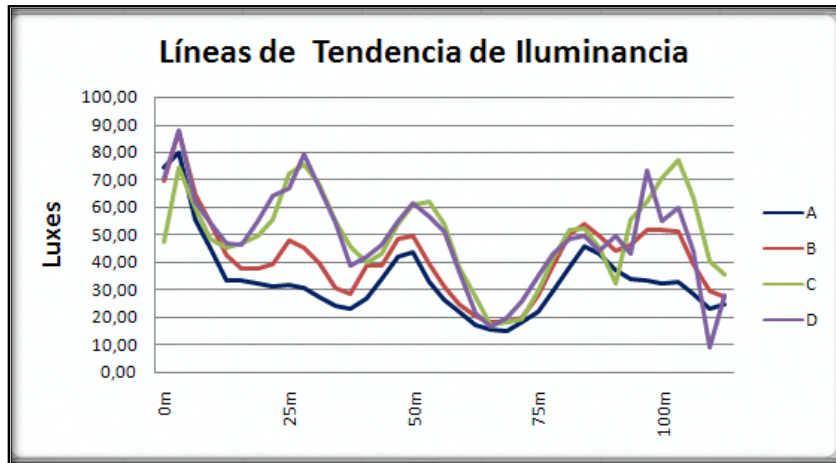


Fig. 2.50 Tendencia de Iluminancia del sector 4¹³⁶

Las líneas de tendencia de iluminancia se construyeron a través de las mediciones recopiladas a lo largo de la fila A, B, C, D que se encuentran a una distancia de 1.6 m, 3.3 m, 6.7 m y 8.4 m respectivamente, teniendo como referencia el punto 0,0 mostrado en la figura 2.45. En el eje X de la figura 2.46 se tiene la distancia de ancho del sector y el eje Y representa la escala de luxes.

$$E_{max} = 88,00 \text{ lux}$$

$$E_{min} = 8,80 \text{ lux}$$

Según la fórmula (4), se calcula la iluminancia promedio:

$$E_{prom} = 43,40 \text{ lux}$$

Según las fórmula (5) y (6), se calculan los coeficientes de uniformidad general de iluminancia.

$$U_o = 0,202$$

$$U_g = 0,1$$

¹³⁵ Autores

¹³⁶ Autores

SECTOR 5

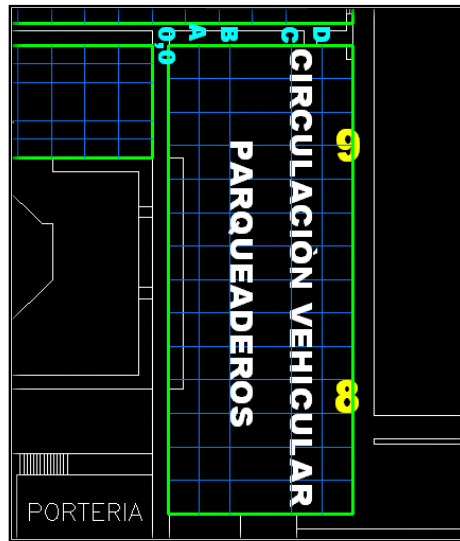


Fig. 2.51 Sector 5¹³⁷

Para el sector 5 se obtuvieron 60 mediciones indicadas en la figura 2.47, 15 columnas longitudinales y 4 filas transversales.

La distancia D=3m, d=5,50m.

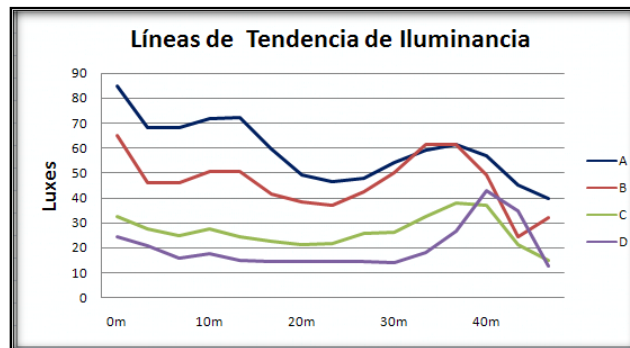


Fig. 2.52 Tendencia de Iluminancia del sector 5¹³⁸

Las líneas de tendencia de iluminancia se construyeron a través de las mediciones recopiladas a lo largo de la fila A, B, C, D que se encuentran a una distancia de 2.75 m, 5.5 m, 11 m y 13.75 m respectivamente, teniendo como referencia el punto 0,0 mostrado en la figura 2.47. En el eje X de la figura 2.48 se tiene la distancia de ancho del sector y el eje Y representa la escala de luxes.

$$E_{max} = 84,70 \text{ lux}$$

¹³⁷ Autores

¹³⁸ Ídem.

$$E_{min} = 12,70 \text{ lux}$$

Según la fórmula (4), se calcula la iluminancia promedio:

$$E_{prom} = 43,40 \text{ lux}$$

Según las fórmulas (5) y (6), se calculan los coeficientes de uniformidad general de iluminancia.

$$U_o = 0,33$$

$$U_g = 0,15$$

Tasa De Falla

Se define a una luminaria en falla si se reporta apagada durante el tiempo que predeterminadamente debería funcionar. [18]

$$Tasa \ de \ Falla = \frac{\sum luminarias \ en \ falla}{\sum luminarias} \quad (7)$$

$$Tasa \ de \ Falla = \frac{8}{36}$$

$$Tasa \ de \ Falla = 22\%$$

2.2.2.5 SIMULACIÓN DE SISTEMA ACTUAL CAMPUS KENNEDY

La simulación del sistema actual de iluminación se la realizó mediante el software Dialux, el cual es un programa especializado en iluminación y utiliza en sus rutinas de cálculo la metodología de la norma CIE 140.

Se simuló el estado actual de la iluminación y se analizaron los mismos sectores para comprobar si las medidas simuladas corresponden a las medidas reales.



Fig. 2.53 Vista superior 3D del campus Kennedy¹³⁹

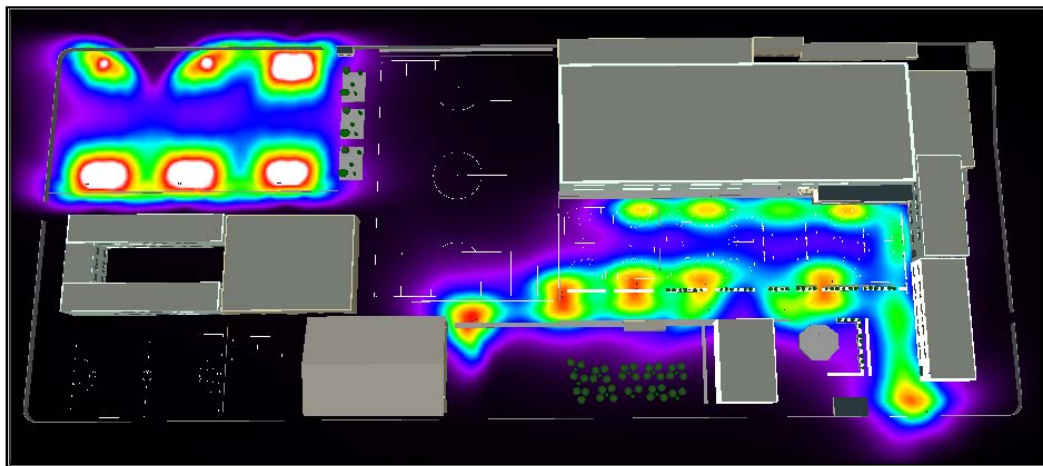


Fig. 2.54 Representación de colores falsos del campus Kennedy¹⁴⁰

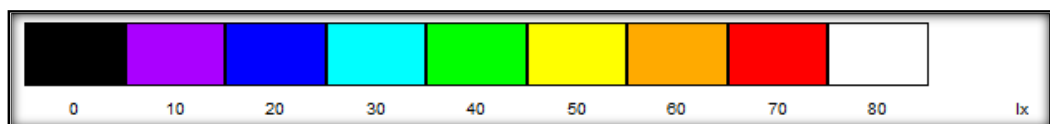


Fig. 2.55 Escala por colores de nivel de luxes¹⁴¹

El informe detallado de la simulación en Dialux del sistema actual de iluminación, se presenta en el Anexo D.¹⁴²

A continuación se resume los valores de niveles de iluminancia obtenidos por simulación y se compara con datos reales.

¹³⁹ Autores

¹⁴⁰ Ídem.

¹⁴¹ Ídem.

¹⁴² Informes de Iluminación Campus Kennedy

	SECTOR1		SECTOR2		SECTOR3	
	Real	Dialux	Real	Dialux	Real	Dialux
	Ts=22%	Ts=22%	Ts=22%	Ts=22%	Ts=22%	Ts=22%
Emin(lux)	2,4	2,12	0,3	0,76	0,76	4,4
Emax(lux)	148,6	131	72,3	69	83,4	66
Eprom(lux)	39,99	39	25,04	26	32	29
Uo	0,06	0,05	0,01	0,03	0,02	0,15
Ug	0,02	0,02	0,004	0,01	0,01	0,07

	SECTOR4		SECTOR5	
	Real	Dialux	Real	Dialux
	Ts=22%	Ts=22%	Ts=22%	Ts=22%
Emin(lux)	8,8	13	12,7	16
Emax(lux)	88	67	84,7	64
Eprom(lux)	43,4	37	38,02	32
Uo	0,2	0,34	0,33	0,49
Ug	0,1	0,19	0,15	0,25

Tabla 2.42. Valores Reales vs Valores Simulados¹⁴³

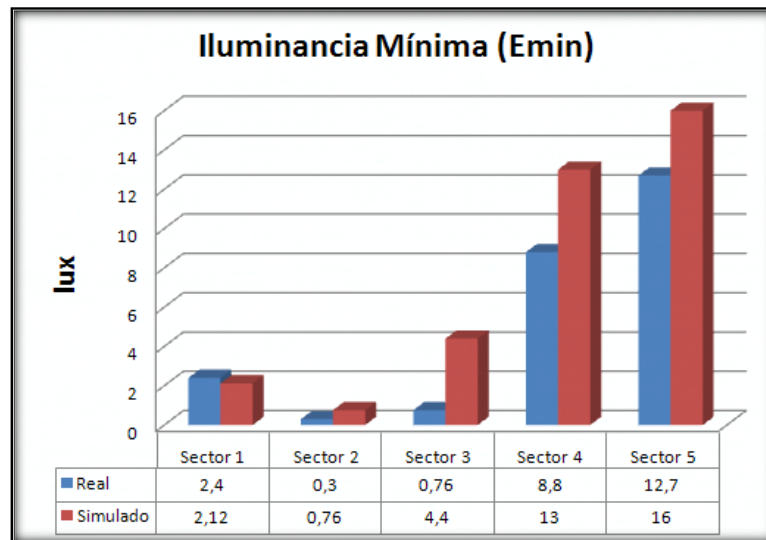


Fig. 2.56 Iluminancia Mínima¹⁴⁴

La figura 2.52 muestra la comparación sector a sector de los valores mínimos de iluminancia de mediciones reales y de mediciones que nos proporciona el software Dialux.

¹⁴³ Autores

¹⁴⁴ Ídem.

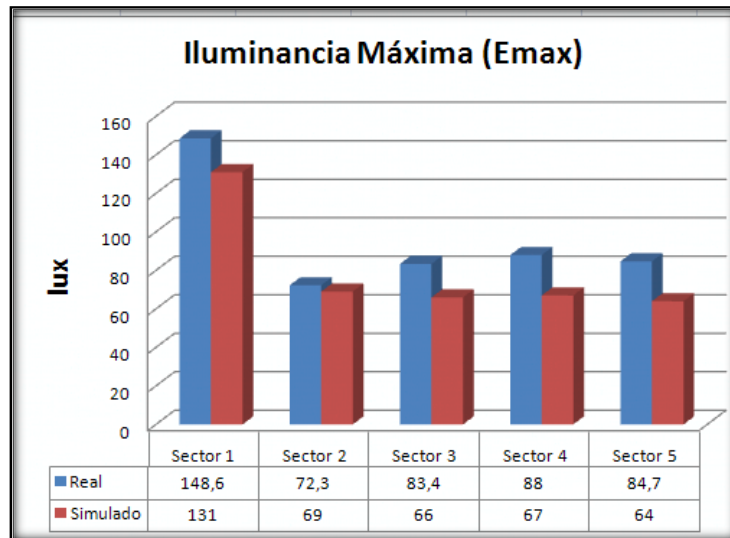


Fig. 2.57 Iluminancia Máxima¹⁴⁵

La figura 2.53 muestra la comparación sector a sector de los valores máximos de iluminancia de mediciones reales y de mediciones que nos proporciona el software Dialux.

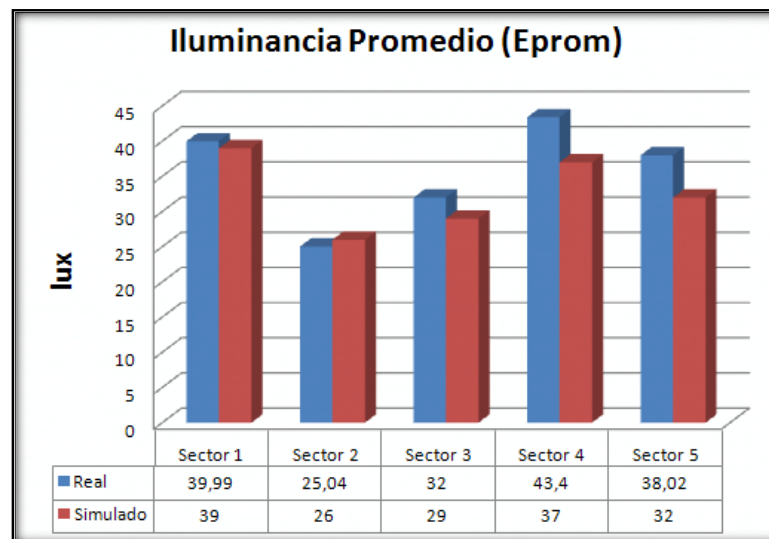


Fig. 2.58 Iluminancia Promedio¹⁴⁶

La figura 2.54 muestra la comparación sector a sector de los valores promedio de iluminancia de mediciones reales y de mediciones que nos proporciona el software Dialux. El valor de iluminancia promedio es uno de los parámetros que determinan si un sector de iluminación cualquiera sea este, se encuentra dentro de los parámetros mínimos de funcionamiento correcto en base a una normativa.

¹⁴⁵ Autores

¹⁴⁶ Ídem.

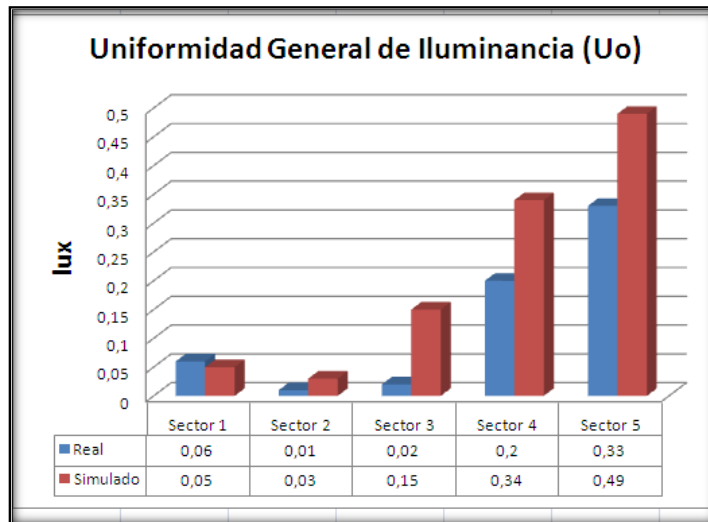


Fig. 2.59 Uniformidad General de Luminancia¹⁴⁷

La figura 2.55 muestra la comparación sector a sector del coeficiente de uniformidad de iluminancia de mediciones reales y de mediciones que nos proporciona el software Dialux. El coeficiente de uniformidad es uno de los parámetros que determinan si un sector de iluminación cualquiera sea este, se encuentra dentro de los parámetros mínimos de funcionamiento correcto en base a una normativa.

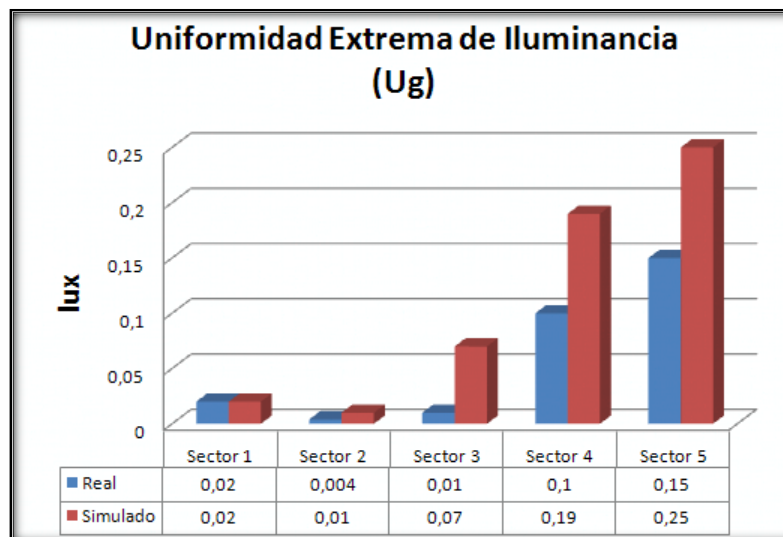


Fig. 2.60 Uniformidad Extrema de Luminancia¹⁴⁸

¹⁴⁷ Autores
¹⁴⁸ Ídem.

La figura 2.56 muestra la comparación sector a sector del coeficiente de uniformidad extrema de iluminancia de mediciones reales y de mediciones que nos proporciona el software Dialux.

2.2.3 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE ILUMINACIÓN

Con toda la información recopilada tanto de forma física así como virtual podemos realizar un diagnóstico técnico del sistema iluminación real del campus Kennedy resaltando los puntos conflictivos encontrados para que sean tomados en cuenta a futuro. Si bien es cierto que el estudio es exclusivo del sistema de iluminación exterior se considera una evaluación de todos los puntos a los cuales se tuvo acceso.

Sistema Eléctrico de Iluminación

Se presenta en resumen el levantamiento de información del sistema eléctrico de iluminación por medio de las inspecciones realizadas a cada uno de los circuitos y las mediciones obtenidas del equipo Fluke 435.

SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS KENNEDY							
LEYENDA: N/A: LA PRUEBA NO APLICA PARA EL CIRCUITO EN MENCIÓN OK: EL CIRCUITO PASA LA PRUEBA CORRECTAMENTE X: EL CIRCUITO NO PASA LA PRUEBA Y DEBE APLICARSE TAREAS CORRECTIVAS		CIRCUITO 1	CIRCUITO 2	CIRCUITO 3	CIRCUITO 4	CIRCUITO 5	CIRCUITO 6
ÍTEM	DESCRIPCIÓN						
1	Inspección física de la instalación correcta	X	X	X	X	X	X
2	Etiquetado de Centros de Carga	X	X	X	X	X	X
3	Etiquetado de Breakers de Centros de carga	X	X	X	X	X	X
4	Etiquetado en Cables en Centros de Carga	X	X	X	X	X	X
5	Conexión a Tierra de Centros de Carga	X	X	X	X	X	X
6	Cableado interno de Centro de Carga	X	X	X	X	X	X
7	Caída de Tensión	X	OK	OK	OK	OK	X
8	Protección correcta para circuito	OK	OK	X	OK	OK	X
9	Distorsión Armónica Total (THD)	OK	OK	OK	OK	OK	OK
10	Sistema de Control	OK	X	X	X	OK	X
11	Frecuencia de Operación	OK	OK	OK	OK	OK	OK
12	Factor de Potencia	X	X	X	X	X	X

Tabla 2.43. Resumen de Diagnóstico del sistema Eléctrico de Iluminación¹⁴⁹

Circuito 1

Por medio de la inspección física de la instalación se determina que no se encuentra operando de manera correcta.

- El centro de carga se encuentra sin identificación, no existe etiquetado alguno para breakers y cables, no existe conexión a tierra, el cableado

¹⁴⁹ Autores

interno no se encuentra organizado, existen equipos auxiliares como relés que no se encuentran anclados correctamente.

- La caída de tensión es del 9% y no cumple la norma ITC-BT-09 donde se especifica que la caída de tensión no debe sobrepasar el 3% para instalaciones de alumbrado público.
- En el breaker para el circuito de iluminación existen conectados derivaciones de circuitos con destino desconocido que no garantizan el correcto funcionamiento de la protección.
- El centro de carga se encuentra en un cuarto de 2m de ancho y 1m de largo el cual también es utilizado como vestidor del personal de limpieza de la parroquia lo cual no es recomendado por seguridad y no posee iluminación.
- Adicional a esto el circuito se encuentra sobrecargado, por lo que se recomienda dividir el número de luminarias conectadas a él.

Circuito 2

Por medio de la inspección física de la instalación se determina que no se encuentra operando de manera correcta.

- El centro de carga se encuentra sin identificación, no existe etiquetado alguno para breakers y cables, no existe conexión a tierra, el cableado interno no se encuentra organizado.
- El sistema de control no es el indicado, el circuito se enciende de forma directa desde los Breakers.

Circuito 3

Por medio de la inspección física de la instalación se determina que no se encuentra operando de manera correcta.

- El centro de carga se encuentra sin identificación, no existe etiquetado alguno para breakers y cables, no existe conexión a tierra, el cableado interno no se encuentra organizado.
- En el breaker para el circuito de iluminación existen conectados derivaciones de circuitos con destino desconocido que no garantizan el correcto funcionamiento de la protección.
- El sistema de control no es el indicado, el circuito se enciende por medio de un interruptor.

- La protección instalada está sobredimensionada, tiene conectado una sola lámpara a un breaker de 30A.

Circuito 4

Por medio de la inspección física de la instalación se determina que no se encuentra operando de manera correcta.

- El centro de carga se encuentra sin identificación, no existe etiquetado alguno para breakers y cables, no existe conexión a tierra, el cableado interno no se encuentra organizado.
- El sistema de control no es el indicado, el circuito se enciende por medio de un interruptor.

Circuito 5

Por medio de la inspección física de la instalación se determina que no se encuentra operando de manera correcta.

- El centro de carga se encuentra sin identificación, no existe etiquetado alguno para breakers y cables, no existe conexión a tierra, el cableado interno no se encuentra organizado, existen equipos auxiliares como relés que no se encuentran anclados correctamente.

Circuito 6

Por medio de inspección la física de la instalación se determina que no se encuentra operando de manera correcta.

- El centro de carga se encuentra sin identificación, no existe etiquetado alguno para breakers y cables, no existe conexión a tierra, el cableado interno no se encuentra organizado, existen equipos auxiliares como relés que no se encuentran anclados correctamente.
- La caída de tensión es del 7% y no cumple la norma ITC-BT-09 donde se especifica que la caída de tensión no debe sobrepasar el 3% para instalaciones de alumbrado público.
- El sistema de control no es el indicado, el circuito se enciende de forma directa desde un Breaker.
- Está protegida una de las dos fases que conforman el circuito. La otra fase va directo a los reflectores sin protección alguna.

- Adicional a esto el circuito se encuentra sobrecargado, por lo que se recomienda dividir el número de luminarias conectadas a él.
- El sistema de iluminación no está funcionando en su totalidad, las luminarias 25 y 26 están funcionando a la mitad de su capacidad. (1 reflector averiado en cada una)



Fig. 2.61 Estado del Sistema Eléctrico de Iluminación¹⁵⁰

En la fig 2.61 se puede observar que tableros y breakers para interiores están colocados en ambientes exteriores, las tapas están oxidadas. El tablero de la figura superior derecha no tiene tapa y se utiliza también como tendedero. Los cables están en el aire, están mal organizados y es un peligro que se mantengan en ese estado. No se observa identificación en los tableros, breakers y cables. El contactor y el control (botonera) para el encendido del alumbrado, están en el aire, sin una correcta sujeción. Los interruptores no son los adecuados para el control de encendido de las luminarias.

Niveles de Iluminación

Se presenta en resumen el levantamiento de información de los niveles de iluminación obtenidos con mediciones reales.

¹⁵⁰ Autores

SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS KENNEDY										
LEYENDA: N/A: LA PRUEBA NO APLICA PARA EL SECTOR EN MENCIÓN OK: EL SECTOR PASA LA PRUEBA CORRECTAMENTE X: EL SECTOR NO PASA LA PRUEBA Y DEBE APLICARSE TAREAS CORRECTIVAS		SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 4	SECTOR 5	SECTOR 6	SECTOR 7	SECTOR 8	SECTOR 9
ÍTEM	DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN									
1	Inspección física de la instalación correcta	X	OK	X	OK	OK	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Iluminancia Promedio (E _{prom})	OK	OK	OK	OK	OK	X	X	X	X
3	Uniformidad General de Iluminancia (U _o)	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 2.44. Resumen de Diagnóstico de Niveles Iluminación¹⁵¹

Sector 1

- Las lámparas 26B y 25A están quemadas. Deben ser reemplazadas por unas nuevas.
- El sector cumple con la iluminancia promedio recomendada de 20 lux.
- No se cumple con la uniformidad general de 0,40 recomendada por lo que se debe realizar tareas correctivas. (Reemplazar lámparas dañadas y aumentar el número de luminarias en el sector).

Sector 2

- El sector cumple con la iluminancia promedio recomendada de 20 lux.
- No se cumple con la uniformidad general de 0,40 recomendada por lo que se debe realizar tareas correctivas como aumentar el número de luminarias en el sector.

Sector 3

- Las lámparas 15 y 16 no están operativas. Se debe realizar un mantenimiento correctivo.
- El sector cumple con la iluminancia promedio recomendada de 20 lux.

¹⁵¹ Autores

- No se cumple con la uniformidad general de 0,40 recomendada por lo que se debe realizar tareas correctivas. (Reemplazar lámparas dañadas y aumentar el número de luminarias en el sector).

Sector 4

- El sector cumple con la iluminancia promedio recomendada de 20 lux.
- No se cumple con la uniformidad general de 0,40 recomendada por lo que se debe realizar tareas correctivas como aumentar el número de luminarias en el sector.

Sector 5

- El sector cumple con la iluminancia promedio recomendada de 20 lux.
- No se cumple con la uniformidad general de 0,40 recomendada por lo que se debe realizar tareas correctivas (Mantenimiento y limpieza).

Sector 6

- Las lámparas que pertenecen a este sector no están operativas por lo tanto, el sector no cumple con la iluminancia promedio recomendada de 20 lux y tampoco con la uniformidad general de 0,40.
- Se recomienda realizar un mantenimiento correctivo.

Sector 7

- El sector no posee iluminación por lo tanto, no se cumple con la iluminancia promedio recomendada de 20 lux y tampoco con la uniformidad general de 0,40.
- Se debe implementar nuevas luminarias en el sector.

Sector 8

- El sector no posee iluminación por lo tanto, no se cumple con la iluminancia promedio recomendada de 20 lux y tampoco con la uniformidad general de 0,40.
- Se debe implementar nuevas luminarias en el sector.

Sector 9

- El sector no posee iluminación por lo tanto, no se cumple con la iluminancia promedio recomendada de 20 lux y tampoco con la uniformidad general de 0,40.
- Se debe implementar nuevas luminarias en el sector.

La uniformidad general de iluminancia no se cumple en ningún sector. Por tal motivo, se vuelve a realizar el análisis bajo el software Dialux simulando todo el sistema de iluminación con una tasa de falla de 0%, con el fin de determinar si cumple con la recomendación del 40% para la uniformidad general de iluminancia.

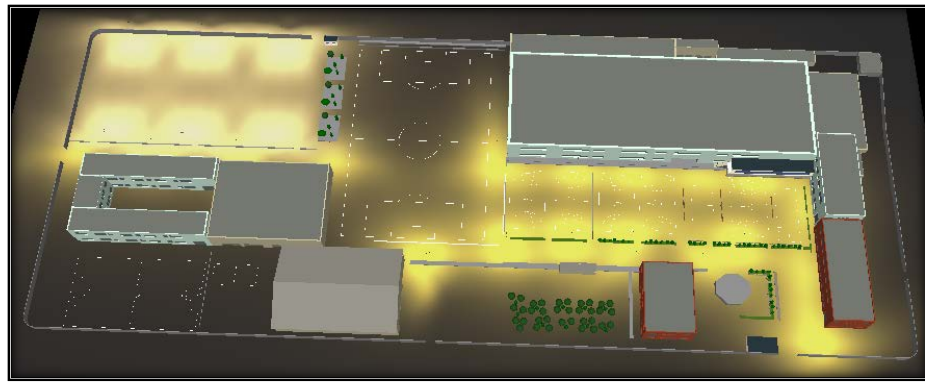


Fig.2.62 Simulación 3D del campus con tasa de falla cero¹⁵²

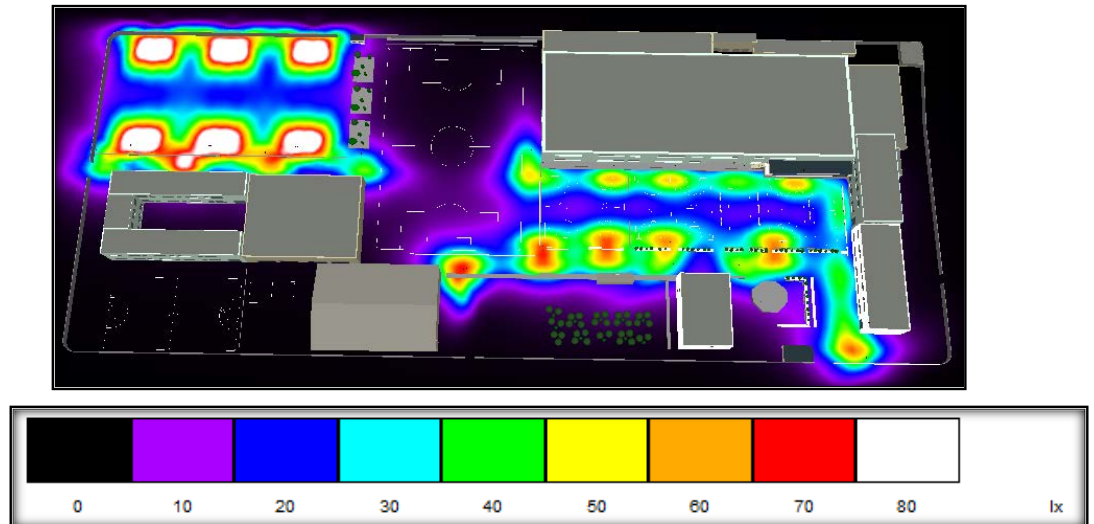


Fig.2.63 Representación de colores falsos del campus con tasa de falla cero¹⁵³

¹⁵² Autores

¹⁵³ Ídem.

	Sector1	Sector2	Sector3	Sector4	Sector5	Sector6
	Dialux Ts=0%	Dialux Ts=0%	Dialux Ts=0%	Dialux Ts=0%	Dialux Ts=0%	Dialux Ts=0%
Emin	14	0,82	13	13	16	14
Emax	138	69	66	68	64	82
Eprom	47	26	31	38	32	33
Uo	0,3	0,03	0,43	0,33	0,49	0,43
Ug	0,1	0,01	0,2	0,18	0,25	0,17

Tabla 2.45. Valores Simulados en Dialux con tasa de falla cero¹⁵⁴

- Con una tasa de falla de 0%, el sistema actual de iluminación no alcanza la exigencia del 40% de uniformidad de iluminancia, excepto en el sector 3 y 5.
- El sector 2 es el más crítico porque sólo existe una luminaria y ésta no abastece todo el sector. El sector 1 y 4 no cumplen con el nivel recomendado para la uniformidad general de iluminancia. Para solucionar este problema se deberá aumentar una o más luminarias que satisfagan los niveles de iluminación deseados.

Corrección de los Niveles de Iluminación Actual

Debido a que el sector 1, 2 y 4 no cumplen con la uniformidad general de iluminancia y en los sectores 7, 8, 9 no existe iluminación, se proyectan luminarias para solucionar el inconveniente. Para el sector 1 se proyectan las luminarias 27, 28 y 29. Para el sector 2 se proyecta la luminaria 30. Para el sector 4 se proyecta la lámpara 4 en posición contraria a la lámpara que se encuentra en este momento. Para el sector 7 se proyectan las luminarias 34, 35 y 36. Para el sector 8 se proyecta la luminaria 33. Para el sector 9 se proyectan las luminarias 31, 32. La siguiente figura muestra cómo queda compuesto el nuevo sistema de iluminación con las correcciones necesarias para el cumplimiento de la norma RTE INEN 069 y CIE 140.

¹⁵⁴ Autores

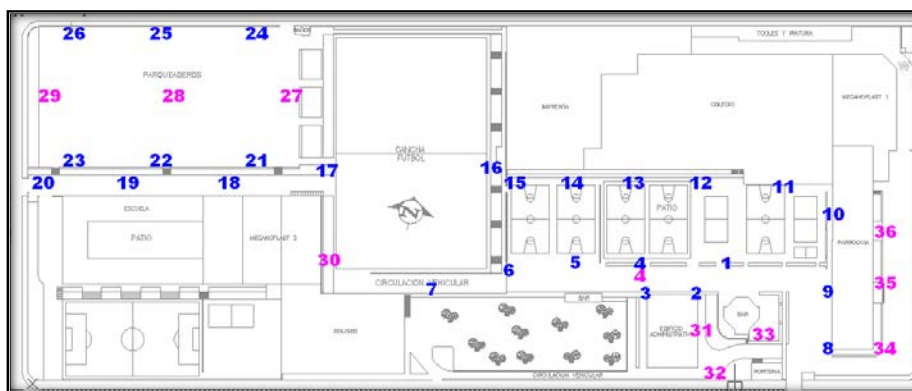


Fig.2.64 Nuevas Luminarias ubicadas en el plano¹⁵⁵

Las características de las nuevas luminarias de la 27, a la 36 se detallan a continuación:

Luminaria 27

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.40 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780736

Tabla .2.46 Descripción de la luminaria 27¹⁵⁶

Luminaria 28

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.40 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780686

Tabla .2.47 Descripción de la luminaria 28¹⁵⁷

¹⁵⁵ Autores

¹⁵⁶ Ídem.

¹⁵⁷ Ídem.

Luminaria 29

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.40 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780635

Tabla .2.48 Descripción de la luminaria 29¹⁵⁸

Luminaria 30

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.40 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780774

Tabla .2.49 Descripción de la luminaria 30¹⁵⁹

Luminaria 31

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (1.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	9.90 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780923

Tabla .2.50 Descripción de la luminaria 31¹⁶⁰

¹⁵⁸ Autores

¹⁵⁹ Ídem.

¹⁶⁰ Ídem.

Luminaria 32

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.90 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780928

Tabla .2.51 Descripción de la luminaria 32¹⁶¹

Luminaria 33

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Poste (11.5m)
	5. Material	Hormigón
	6. Altura de luminaria	9.40 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780945

Tabla .2.52 Descripción de la luminaria 33¹⁶²

Luminaria 34

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (1.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	9.90 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780984

Tabla .2.53 Descripción de la luminaria 34¹⁶³

¹⁶¹ Autores

¹⁶² Ídem.

¹⁶³ Ídem.

Luminaria 35

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (1.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	9.90 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780988

Tabla .2.54 Descripción de la luminaria 35¹⁶⁴

Luminaria 36

Sistema de Alumbrado		
Descripción del sistema de alumbrado	1. Tipo de Lámpara	Vapor de Sodio Alta Presión
	2. Descripción de la lámpara	Schreder Ámbar 3
	3. Número de lámparas por luminaria	1
	4. Poste o Brazo	Brazo (1.5m)
	5. Material	Metálico
	6. Altura de luminaria	9.90 m ($\angle 15^\circ$)
	7. Posición Georeferenciada	X 0780982

Tabla .2.55 Descripción de la luminaria 36¹⁶⁵

Simulación del Sistema de Iluminación Corregido



Fig.2.65 Vista 3D del sistema de iluminación corregido¹⁶⁶

¹⁶⁴ Autores

¹⁶⁵ Ídem.

¹⁶⁶ Ídem.

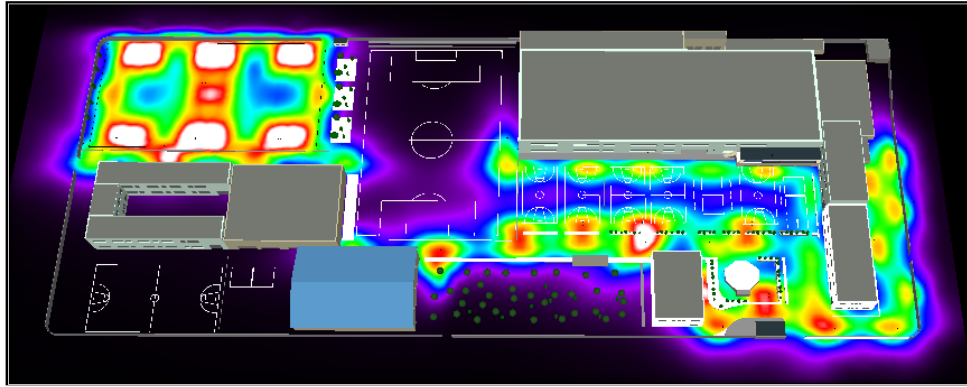


Fig.2.66 Espectro Fotométrico de Sistema Corregido¹⁶⁷

Las tablas siguientes muestran que el valor de coeficiente de uniformidad para todos los sectores ha sido corregido, cumpliendo así con las normas RTE INEN 069 y CIE 140.

	Sector1	Sector2	Sector3	Sector4	Sector5	Sector6
Emin	23	15	13	19	23	15
Emax	145	71	85	92	74	85
Eprom	57	35	33	44	41	34
Uo	0,41	0,42	0,41	0,43	0,55	0,45
Ug	0,16	0,21	0,16	0,21	0,31	0,18

	Sector7		Sector8	Sector9		
	A	B		A	B	C
Emin	27	15	23	27	38	41
Emax	70	61	74	81	67	74
Eprom	44	38	43	54	54	60
Uo	0,61	0,4	0,52	0,49	0,72	0,69
Ug	0,38	0,25	0,3	0,33	0,58	0,56

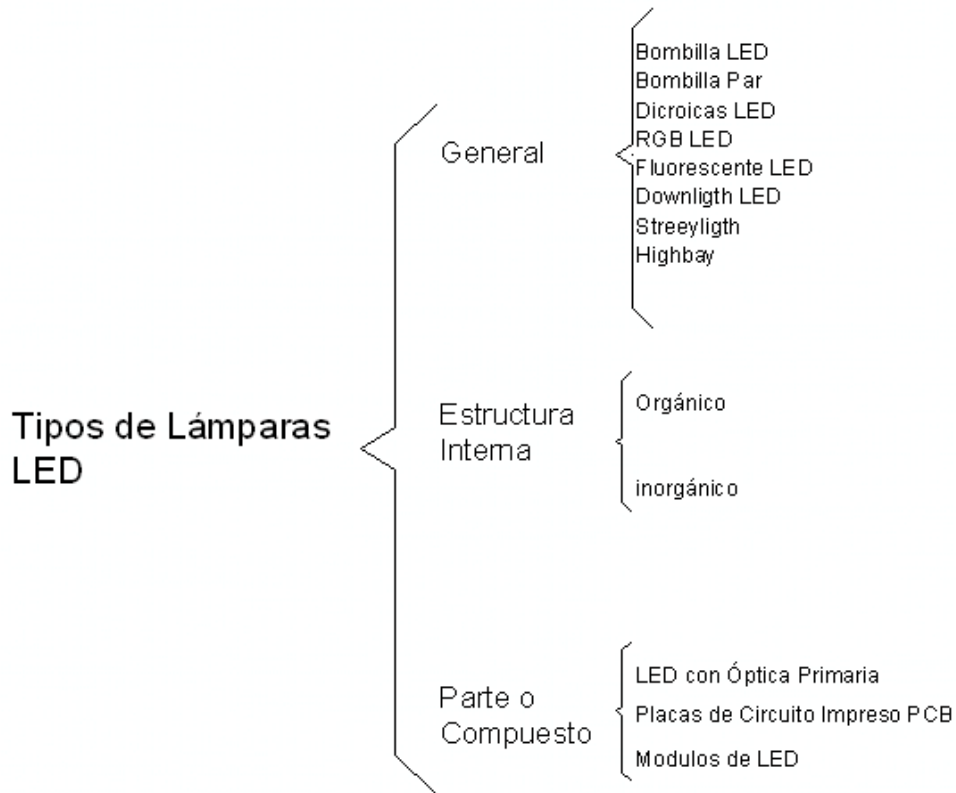
Tabla .2.56 Valores Simulados en Dialux de Sistema Corregido¹⁶⁸

¹⁶⁷ Autores

¹⁶⁸ Ídem.

2.3 TIPOS DE LÁMPARAS LED

Actualmente en el medio no existe una clasificación, división y categorización exacta con respecto a los tipos de lámparas LED. Por medio de investigación en fabricantes, distribuidores y empresas vinculadas a su desarrollo se clasifican así:



2.3.1 DE FORMA GENERAL

La clasificación general hace referencia a los tipos de lámparas LED que se encuentran disponibles en el mercado. [19]

2.3.1.1 BOMBILLAS LED

Las bombillas LED son lámparas de tamaño reducido, compactas tomando en cuenta otros modelos, fueron creadas con el fin de sustituir a lámparas incandescentes de bajo consumo, su potencia varía dependiendo del tipo de LEDs que se utilicen para su composición.

Como todas las fuentes de iluminación LED, ofrece una larga vida útil muy superior a su equivalente incandescente o fluorescente compacta. Se caracterizan por ser amigables con el ambiente, ya que no contienen agentes contaminantes como el mercurio. Por su tamaño es básicamente utilizada en interiores. [20]



Fig. 2.67 Bombilla LED¹⁶⁹

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	50000	Horas
Eficiencia Luminosa	50-60	lm/W

Tabla 2.57. Características Básicas de Bombillas LED [20]

2.3.1.2 BOMBILLAS PAR

Las bombillas PAR (Parabolic Aluminized Reflector) son de gran acogida en el medio LED. Este tipo de lámpara LED fue diseñada para interiores debido a su tamaño y su luz puntual, básicamente son el sustituto de focos empotrables. Están compuestas de LEDs de alta intensidad, con el fin de conseguir alta luminosidad en un producto reducido. Al igual que todas las lámparas compuestas por LEDs son amigables con el ambiente, ya que no contienen agentes contaminantes. Una característica especial es por su codificación, está acompañada de un número que hace referencia a su diámetro, el valor se obtiene en pulgadas al dividir este parámetro para ocho. [20]



Fig. 2.68 Bombilla Par¹⁷⁰

¹⁶⁹ <http://www.ison21.es/2007/02/13/bombillas-con-LEDs/>

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	30000-50000	Horas
Eficiencia Luminosa	50-60	lm/W

Tabla 2.58. Características Básicas de Bombillas Par [20]

2.3.1.3 DICROICAS LED

Las bombillas Dicroicas LED o Halógenas LED, son lámparas de tamaño reducido, fueron creadas con el fin de sustituir a lámparas halógenas equivalentes en luminosidad o lámparas incandescentes.

Como todas las fuentes de iluminación LED, ofrece una larga vida útil muy superior a su equivalente. Se caracterizan por ser amigables con el ambiente, ya que no contienen agentes contaminantes como el mercurio. Por su tamaño es básicamente utilizada en interiores. Existe una gran gama dentro del mercado, categorizándose por su potencia de consumo. [6]

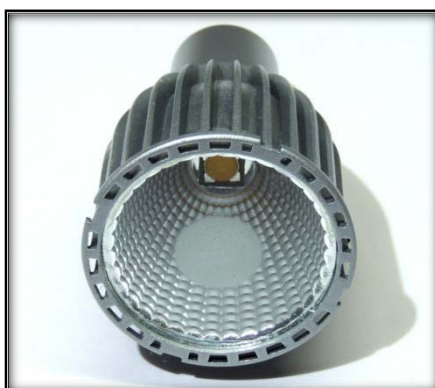


Fig. 2.69 Dicroica LED¹⁷¹

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	25000-50000	Horas
Eficiencia Luminosa	50-60	lm/W

Tabla 2.59. Características Básicas de Dicroicas LED [20]

2.3.1.4 RGB LED

Las lámparas de este tipo son adecuadas para ambientes varios, ya que pueden adaptarse a la ocasión y al sitio donde estén instaladas, las lámparas RGB (red, green, blue) están compuestas de un elemento o grupo de elementos de diferentes

¹⁷⁰ <http://www.ofiLED.com/faq>

¹⁷¹ <http://www.barcelonaLED.com/dicroicas-gu10-220v/309-dicroica-LED-gu10-6-watios-chip-cob.html>

colores, y son regulados de acuerdo a las necesidades del consumidor por medio de un control remoto, puede ser regulado tanto el color como la intensidad de la misma.

Son de simple instalación ya que al igual que otras lámparas LED fueron creadas para adaptarse a la red actual de iluminación, y suplen a sus semejantes ahorradores o halógenos. Básicamente son usadas para decoración, ya que por sus colores llaman mucho la atención, su funcionamiento y características son similares a de una lámpara LED común. [20]



Fig. 2.70 RGB LED¹⁷²

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	30000-50000	Horas
Eficiencia Luminosa	30-40	lm/W

Tabla 2.60. Características Básicas de RGB LED [20]

2.3.1.5 FLUORESCENTES LED

Este tipo de lámparas fue diseñada para sustituir a su equivalente fluorescente, su funcionamiento y composición es similar al de todas las lámparas LED, por ello heredan las mismas características y ventajas. Son adecuadas para iluminación interior.

Están diseñadas de tal manera que no necesitan adicionales para funcionar en la red actual, basta con reemplazar una por otra. [6]

¹⁷² http://www.lightinthebox.com/es/RGB-LED-tapa-de-la-lámpara-a-distancia-E27-220v_p108189.html



Fig. 2.71 Fluorescente LED¹⁷³

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	40000-50000	Horas
Eficiencia Luminosa	60-70	lm/W

Tabla 2.61. Características Básicas de Fluorescente LED [20]

2.3.1.6 DOWNLIGHT LED

Este tipo de lámpara LED emite una luz puntual sobre un determinado sitio, también conocida como ojos de buey tiene su equivalente halógeno, fue creada con el objetivo de reemplazar estas lámparas proporcionando mejores cualidades de funcionamiento.

Por ser una lámpara LED sus características de funcionamiento y de composición son similares, por este motivo cuentan con una larga vida útil y un bajo consumo de energía además de ser amigables con el ambiente por no poseer agentes contaminantes como las lámparas halógenas o de mercurio. [20]



Fig. 2.72 Downlight LED¹⁷⁴

¹⁷³ <http://www.ngxLED.es/1-t5-LED-tube-2.html>

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	30000-50000	Horas
Eficiencia Luminosa	70-80	lm/W

Tabla 2.62. Características Básicas de Downlight LED [20]

2.3.1.7 STREETLIGHT LED

Este tipo de lámpara LED es usada para iluminación exterior, está compuesta por bancos de LEDs de alta luminosidad, empleada en calles y avenidas. Fue creada con el objetivo de sustituir a sus equivalentes en alumbrado público o exterior, como son las lámparas de vapor de sodio y de mercurio. Por ser construida bajo similares condiciones de todas las lámparas LED, posee las mismas características de bajo consumo y de vida útil además de su impacto en el medio ambiente. [20]



Fig. 2.73 Streetlight LED¹⁷⁵

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	30000-50000	Horas
Eficiencia Luminosa	70-120	lm/W

Tabla 2.63. Características Básicas de Streetlight LED [20]

2.3.1.8 HIGHBAY LED

Este tipo de lámpara LED es de uso común en exteriores, utilizada para campos abiertos como son parqueaderos y canchas. Básicamente es un reflector LED, y fue

¹⁷⁴ <http://www.milámparas.net/en/137-LED>

¹⁷⁵ http://www.osram.com/osram_com/applications/street-%26-urban/parking-lots/index.jsp

creado con el objetivo de sustituir a sus semejantes halógenos o incandescentes. Sus características son las mismas que las de todas las lámparas LED, es decir que tienen un bajo consumo (comparada con las fuentes lumínicas no LED), larga vida útil y amigable con el ambiente. [6]



Fig.2.74 Highbay LED¹⁷⁶

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	>50000	Horas
Eficiencia Luminosa	80	lm/W

Tabla 2.64. Características Básicas de Highbay LED [20]

2.3.2 POR SU ESTRUCTURA INTERNA

La clasificación por su estructura interna hace referencia al material de fabricación de los LED, existen diferentes variantes entre los LEDs, pero para la definición de su estructura, solo se enfocan a Orgánicos e Inorgánicos, cada uno tiene diferentes características pero cumplen con la misma función. [6]

2.3.2.1 INORGÁNICO

Los LED Inorgánicos son los más conocidos dentro del medio, son los conocidos como LED (Diodo de Emisión Luminosa), que están contruidos con filamentos de cristal, son semiconductores que emiten luz con el paso de corriente a través de ellos.

¹⁷⁶ <http://www.jcl.com.ar/jclLED/contents/es/d125.html>

La cantidad de luz generada es casi proporcional a la corriente que circula a través del diodo. Los LED crean puntos de luz brillante para la propagación lumínica. [6]



Fig. 2.75 Diodos LED¹⁷⁷

2.3.2.2 ORGÁNICOS

Los LED Orgánicos conocidos como OLED (diodos luminosos orgánicos), son la evolución en iluminación, ya que no utilizan filamentos de cristales como los LED o gases como las lámparas de descarga. Con esta tecnología se abre un nuevo camino hacia la eficiencia energética por los campos de aplicación que esto implica.

Para propagar la luz, los OLED utilizan láminas delgadas que distribuyen de forma uniforme sobre la superficie en cuestión, ofrecen una luz difusa y brillante que no deslumbra a la vista común. La tecnología LED así como la OLED no son sustitutivas unas con otras, ya que los dos campos aún cuentan con desarrollo e investigación, por su rentabilidad a futuro. Por tanto en ningún caso un OLED podría suplantar a un LED ya que ambos tienen aplicaciones específicas y en el mayor de los casos complementarias.

El desarrollo OLED está orientado en su mayor parte a dispositivos de visualización como pantallas, monitores, Televisores, etc.

¹⁷⁷ <http://innovaLEDs.com/historia.html>

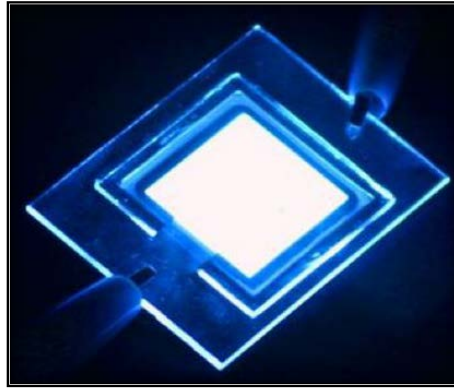


Fig. 2.76 OLED¹⁷⁸

2.3.3 POR ELEMENTO, PARTE O COMPUESTO LED

La clasificación por elemento, parte o compuesto LED se refiere a los componentes que dan forma a las lámparas LED, el fabricante puede darle las características que desee para así orientarla a la aplicación, existe una gran gama de partes para realizar una lámpara LED, los compuestos son los siguientes: [21]

2.3.3.1 LED CON ÓPTICA PRIMARIA

Los LED con óptica primaria son los más básicos dentro del mercado, son los que se encuentran de forma individual en el mercado, estos dispositivos son seleccionados para modelos específicos, es decir que por su individualidad el fabricante tiene campo libre a crear un modelo específico para una aplicación. Normalmente son aplicados en sistemas de iluminación de emergencia. Su rendimiento es óptimo y su gama de potencia (LEDs de baja potencia y alta potencia) los hace importantes por la flexibilidad que esto implica. [21]

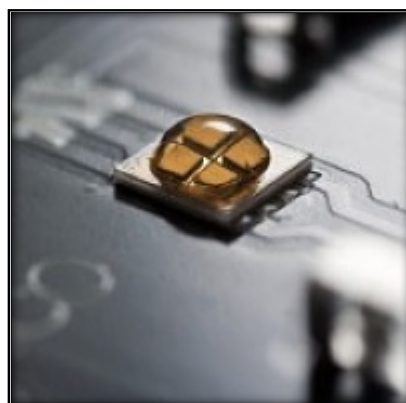


Fig. 2.77 LED de Óptica Primaria¹⁷⁹

¹⁷⁸ <http://innovaLEDs.com/historia.html>

2.3.3.2 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO PCB

Como su nombre lo indica, las placas de circuito impreso son componentes previamente diseñados para diferentes aplicaciones. Consisten en ofrecer al fabricante de lámparas un modelo prediseñado para optimizar tiempo, en función de tener una base estándar para iluminación LED. El fabricante compra el PCB pre ensamblado donde se montan LEDs de acuerdo a la necesidad ya que también cuentan con una variedad en su forma, pueden ser redondas, soportes flexibles, lineales o tiras. A diferencia de los LED de óptica primaria están limitados en su flexibilidad de aplicación, ya que por tener una forma base no están abiertos del todo al requerimiento del fabricante. [21]



Fig. 2.78 PCB LED¹⁸⁰

2.3.3.3 MÓDULOS DE LED (LÁMPARAS)

Los módulos LED son básicamente ya lámparas completas, estas integran PCBs completas en su diseño de forma compacta, ya reemplazan a bombillas comunes y tradicionales. Son construidas ya para comercio general, existen varias empresas que tienen módulos LED autónomos, los cuales son los proveedores para fabricantes pequeños, los utilizan como base para sus diseños. Entre los principales proveedores de módulos LED tenemos las internacionales Philips, Osram, Citizen y Bridgelux. [21]

¹⁷⁹ <http://www.erco.com/products/indoor/swf-3circuit/logotec-3793/es/intro-1.php>

¹⁸⁰ <http://www.multilayerpcbboard.com/>

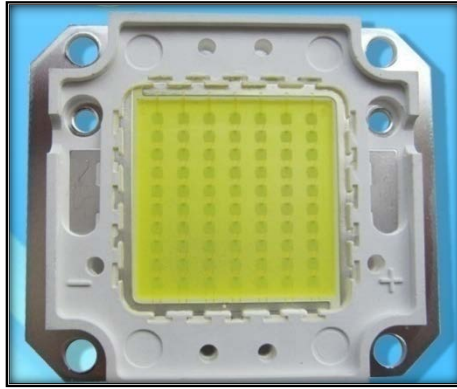


Fig. 2.79 Modulo LED¹⁸¹

2.4 ESTUDIO DE RED DE ALUMBRADO PÚBLICO CON LÁMPARAS LED

Para el estudio de lámparas LED enfocado al campus Kennedy de la universidad se propondrá una selección de lámparas, que cumplan con las características necesarias para poder acoplarse al sistema, realizando esta selección por medio de criterios basados en normas. [22]

2.4.1 LÁMPARAS PROPUESTAS

La propuesta para el sistema de alumbrado LED de la Universidad Politécnica Salesiana campus Kennedy está sustentada en la elección de las fuentes luminosas teniendo en cuenta las características que a cada una rodean como son:

- Eficiencia luminosa
- Flujo lumínico
- Características fotométricas
- Reproducción cromática
- Temperatura del color
- Vida útil
- Consideraciones económicas

En función de estos parámetros se ha propuesto 3 lámparas LED a considerar:

Sylvania Endura Cityliner (S60)

Schreder Teceo 2

BBE LU4

¹⁸¹ http://es.made-in-china.com/co_naiting/product_24V-33V-DC-Bridgelux-LED-Chip-Module-100W_hogshsohg.html

Sylvania Endura Cityliner (S60)



Fig. 2.80 Sylvania Endura Cityliner S60 LED 3¹⁸²

CARACTERÍSTICAS		
Voltaje	85-264	Vac
Frecuencia	50-60	Hertz
Potencia	180	W
Vida Nominal Promedio	>80000	Hrs
Vida Útil (L70)	>50000	Hrs
Temperatura de Color	2700-4500	°K
Tiempo de Encendido	1-2	seg
Tiempo de Reencendido	1-2	seg
Flujo Luminoso	15408	lm
Eficiencia Luminosa	95	lm/W
Índice de Reproducción Cromática (IRC)	>75	adim
Contenido de Mercurio	0	mg
Calor a Disipar	3	%
Factor de Potencia	>0,98	adim
Distorsión Armónica Total (THD)	<20	%

Tabla 2.65. Características Sylvania Endura Cityliner S60. [23]

¹⁸² http://elektrobuzz.com/upload_images/ProffesionalLuminairesPriceListwef15012011.pdf

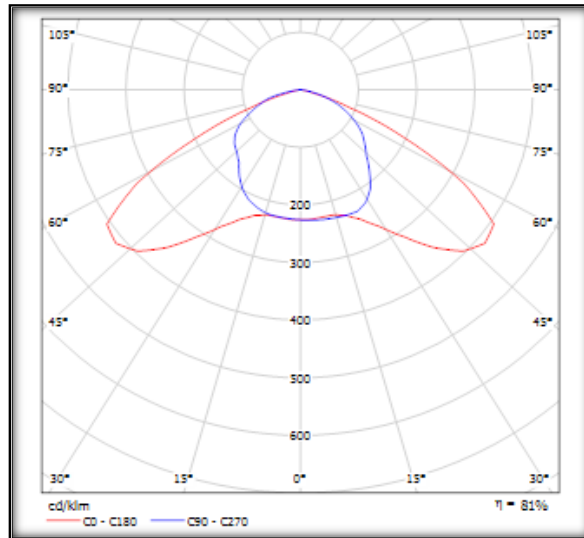


Fig. 2.81 Distribución Fotométrica de lámpara Sylvania Endura Cityliner S60¹⁸³

Schreder Teceo 2



Fig. 2.82. Schreder Teceo 2¹⁸⁴

¹⁸³ http://elektrobuzz.com/upload_images/ProfessionalluminairesPriceListwef15012011.pdf

¹⁸⁴ <http://www.schreder.com/ecs-es/Productos/Pages/Teceo.aspx>

CARACTERÍSTICAS		
Voltaje	90-305	Vac
Frecuencia	50-60	Hertz
Potencia	158	W
Vida Nominal Promedio	100000	Hrs
Vida Útil (L70)	60000	Hrs
Temperatura de Color	2500-4100	°K
Tiempo de Encendido	1	seg
Tiempo de Reencendido	1	seg
Flujo Luminoso	18200	lm
Eficiencia Luminosa	90	lm/W
Índice de Reproducción Cromática (IRC)	80	adim
Contenido de Mercurio	0	mg
Calor a Disipar	3	%
Factor de Potencia	0,98	adim
Distorsión Armónica Total (THD)	<10	%

Tabla 2.66 Características Schreder Teceo 2. [16]

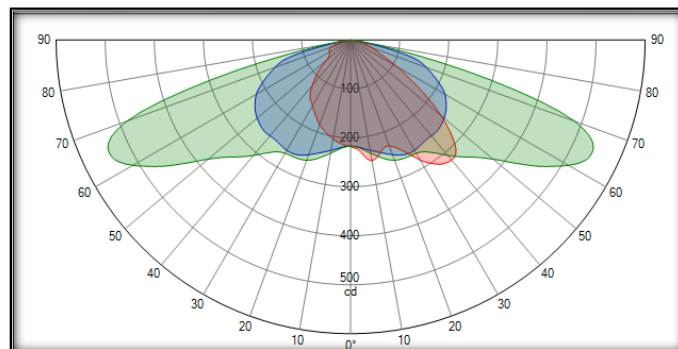


Fig. 2.83 Distribución Fotométrica de lámpara Schreder Teceo 2¹⁸⁵

BBE LU4



Fig. 2.84. BBE LU4¹⁸⁶

¹⁸⁵ <http://www.schreder.com/ecs-es/Productos/Pages/Teceo.aspx>

CARACTERÍSTICAS		
Voltaje	85-254	Vac
Frecuencia	47-63	Hertz
Potencia	145	W
Vida Nominal Promedio	80000	Hrs
Vida Útil (L70)	50000	Hrs
Temperatura de Color	3000-4000	°K
Tiempo de Encendido	1	seg
Tiempo de Reencendido	2	seg
Flujo Luminoso	10000	lm
Eficiencia Luminosa	80	lm/W
Índice de Reproducción Cromática (IRC)	>75	adim
Contenido de Mercurio	0	mg
Calor a Disipar	10	%
Factor de Potencia	>0,9	adim
Distorsión Armónica Total (THD)	<20	%

Tabla .2.67 Características BBE LU4 2 [24]

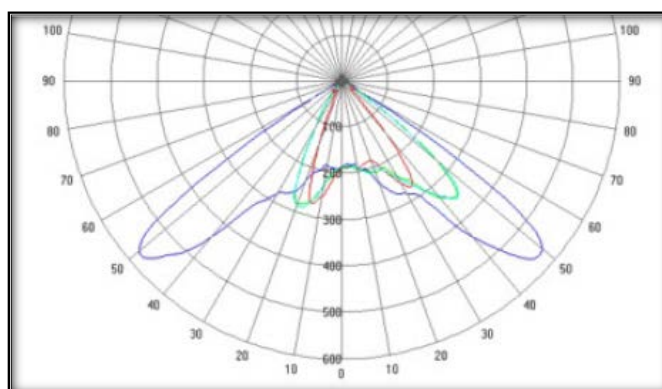


Fig. 2.85 Distribución Fotométrica de lámpara BBE LU4¹⁸⁷

2.4.2 SELECCIÓN DE LÁMPARA

En función de la norma RTE INEN 069 que especifica la forma de selección de lámparas, y evaluando una por una las lámparas propuestas se escogió la lámpara **LED Schreder Teceo 2** para el estudio final de iluminación en función de:

Calidad: Schreder es una multinacional Belga-Alemana con años de trayectoria que respalda todos sus productos con garantía y servicio técnico, a diferencia de BBE que es un producto chino y se está abriendo campo en el país.

¹⁸⁶ <http://www.proviento.com.ec/luminarias.html>

¹⁸⁷ <http://www.proviento.com.ec/luminarias.html>

Operación: las características que presenta Teceo 2 con respecto a LU4 y Endura Cityliner S60, son superiores en casi todos los aspectos mencionados en las tablas de características presentadas con anterioridad entre las que resaltan:

- Tiene un menor impacto frente a la red, su distorsión armónica total es inferior al 10%, comparada con las características de BBE y Sylvania que están por valores del 20%.
- Su vida útil es superior en el factor L_{70} , que está en función del flujo luminoso mínimo de operación de un equipo, supera las 60000h, diez mil más que BBE y Sylvania.
- Su vida útil total también es superior con respecto a sus semejantes, 100000h, 20 mil más que BBE y diez mil más que Sylvania.
- Los niveles de potencia del equipo varía entre marca y marca, pero se ve reflejado su superioridad en su flujo luminoso, 18200 lm, incluso más que Sylvania S60 que posee una potencia superior.
- Su factor de potencia está por sobre los límites que permiten las normas de alumbrado público (ITC-BT-09 y RTE INEN 069).
- Su eficiencia luminosa es aceptable, 90 lm/W a pesar de no ser la más alta en comparación de sus semejantes (Sylvania 95lm/W y BBE 80lm/W).
- Su IRC es de 80, lo cual es satisfactorio, superior a BBE y Sylvania.
- No posee mercurio, al igual que las demás lámparas LED propuestas.

Costo: En precio Schreder es la opción más cara de la propuesta, pero se ve respaldada por todos los beneficios evaluados y mencionados antes, la Universidad con anterioridad ha confiado en esta empresa para su sistema de iluminación, actualmente todo el sistema funciona con lámparas Schreder.

2.4.3 PROYECCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO LED CON SCHREDER TECEO 2

Para la proyección del sistema de Alumbrado en LED se utiliza la solución planteada en sodio y se reemplaza todas las lámparas por TECEO2 de Schreder, manteniéndose las mismas características del sistema de alumbrado (número de lámparas por luminaria, poste o brazo, material, altura de luminaria, posición georeferenciada).

2.4.3.1 SIMULACIÓN EN DIALUX

Para determinar los niveles de iluminación para el sistema de alumbrado público de la UPS campus Kennedy con lámparas LED, se procede hacer la simulación en el programa Dialux. Para la simulación se utiliza la lámpara LED TECEO 2, de 144 LEDs, y se reemplaza todas las luminarias existentes, por las lámparas LED TECEO2. El ángulo de inclinación se establece en 15° para todas las lámparas LED,

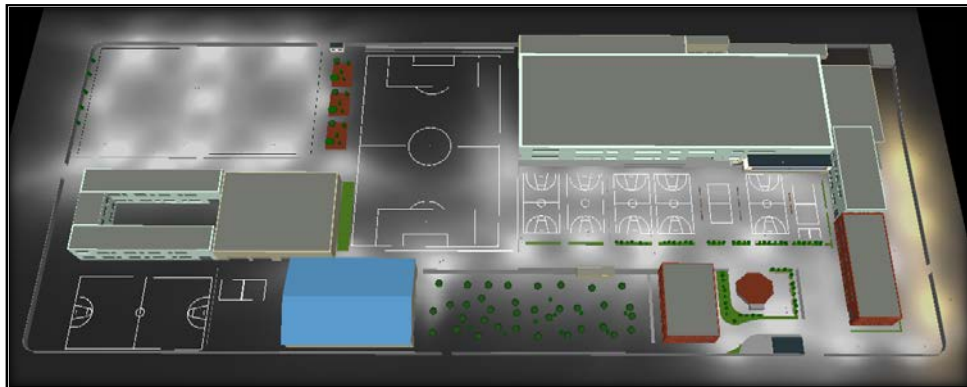


Fig. 2.86 Simulación 3D del campus Kennedy con lámparas LED¹⁸⁸

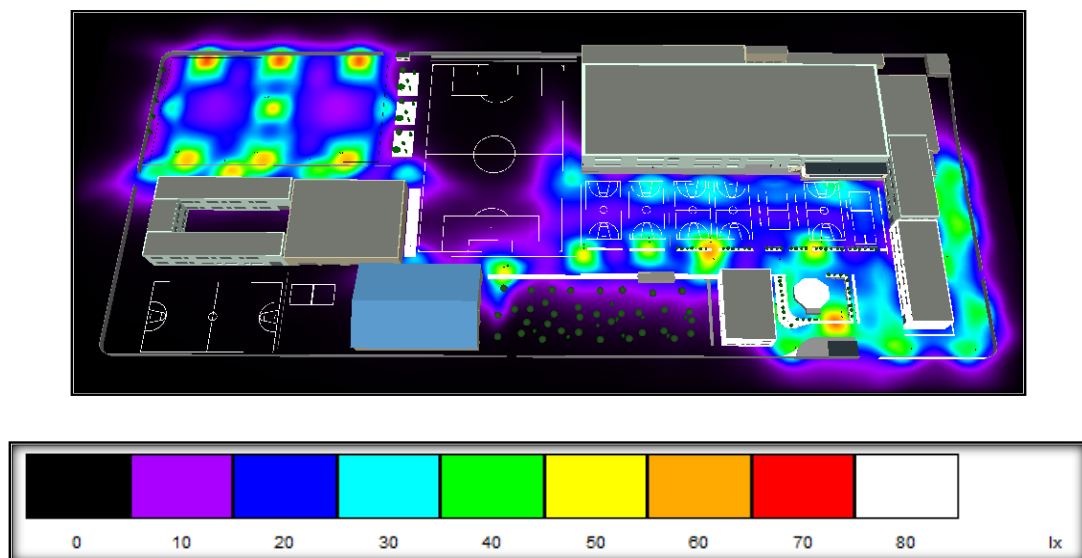


Fig.2.87 Representación de colores falsos del campus con lámparas LED¹⁸⁹

El informe detallado de la simulación en Dialux del sistema de iluminación con Lámparas LED, se presenta en el Anexo D.¹⁹⁰

¹⁸⁸ Autores

¹⁸⁹ Ídem.

¹⁹⁰ Informes de Iluminación Campus Kennedy

Se obtienen los siguientes resultados:

	Sector1	Sector2	Sector3	Sector4	Sector5	Sector6
Emin	9,92	8,49	12	13	12	14
Emax	66	52	58	59	44	53
Eprom	24	21	23	27	27	25
Uo	0,4	0,4	0,53	0,47	0,45	0,55
Ug	0,15	0,16	0,21	0,22	0,28	0,25

	Sector7		Sector8	Sector9		
	A	B		A	B	C
Emin	14	12	22	15	26	31
Emax	42	43	63	41	41	64
Eprom	28	30	35	28	33	45
Uo	0,48	0,4	0,64	0,53	0,79	0,7
Ug	0,33	0,28	0,35	0,36	0,64	0,49

Tabla .2.68 Medidas de Iluminancia y Uniformidad¹⁹¹

Todos los sectores cumplen con los parámetros especificados en la norma CIE 140 y RTE INEN 069.

2.4.3.2 CAÍDA DE TENSIÓN

En función de una posible implementación a futuro, es importante realizar un cálculo de caída de tensión con el nuevo sistema, para verificar que se pueda acoplar al funcionamiento del sistema actual, tomando los correctivos necesarios para brindar un nivel de confiabilidad satisfactorio.

¹⁹¹ Autores

Simbología











	LÁMPARA LED PROYECTADA		POSTE DE HORMIGÓN PROYECTADO
	ANCLAJE		SWITCH PROYECTADO
	POSTE DE HORMIGÓN		ANCLAJE PROYECTADO
	CONEXIÓN SUBTERRANEA		CONEXIÓN AÉREA PROYECTADA
	CONEXIÓN AÉREA		
	SWITCH		

Fig. 2.88 Simbología¹⁹²

Circuito 1

Se ha dividido al circuito en dos para evitar la sobrecarga del mismo. **1A.**

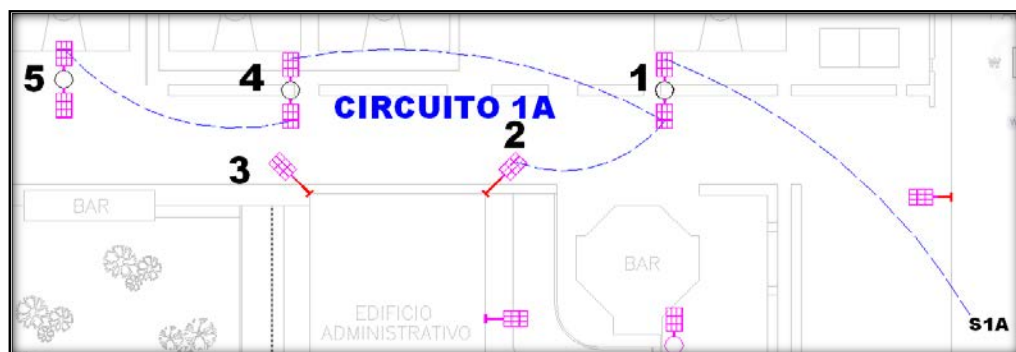


Fig. 2.89 Circuito 1A LED¹⁹³

¹⁹² Autores

¹⁹³ Ídem.

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 1A	Unidades
Potencia Instalada	1106,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	7,00	adim
Longitud	135	m
Cable	2x12	AWG
Factor de Potencia	0,98	Adim

Tabla 2.69 Características del circuito 1A LED ¹⁹⁴

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi} \quad (8)$$

$$I = \frac{1106}{211,12 \times 0,98}$$

$$I = 5,34 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (135) \times (5,34) \times (0,98)}{3,31}$$

$$\Delta V = 7,26 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 3,30\%$$

¹⁹⁴ Autores

1B.

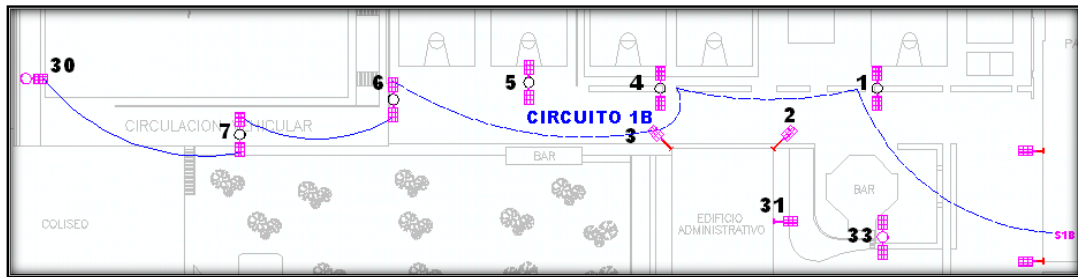


Fig. 2.90 Circuito 1B LED¹⁹⁵

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 1B	Unidades
Potencia Instalada	948,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	6,00	adim
Longitud	200	m
Cable	2x12	AWG
Factor de Potencia	0,98	Adim

Tabla 2.70 Características del circuito 1B LED¹⁹⁶

En función de la fórmula (8) se calcula la corriente.

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{948}{211,12 \times 0,98}$$

$$I = 4,58 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (200) \times (4,58) \times (0,98)}{3,31}$$

¹⁹⁵ Autores

¹⁹⁶ Ídem.

$$\Delta V = 9,22 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 4,19\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #12 AWG es 3,31mm², los datos de voltaje son proporcionados por el analizador de energía, la potencia y el factor de potencia por las características de la lámpara.

Circuito 2

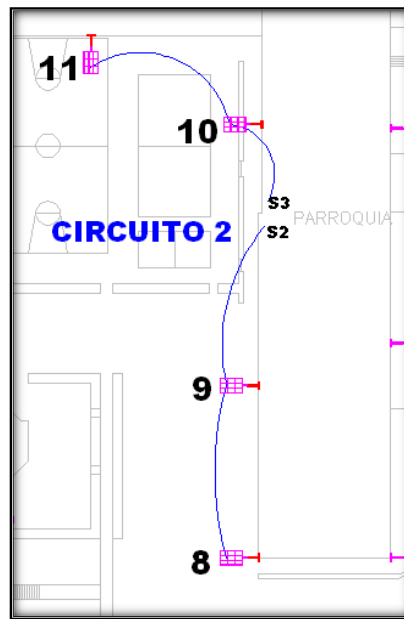


Fig. 2.91 Circuito 2 LED¹⁹⁷

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 2	Unidades
Potencia Instalada	632,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	4,00	adim
Longitud	100	m
Cable	2x8	AWG
Factor de Potencia	0,98	adim

Tabla 2.71 Características del circuito 2 LED¹⁹⁸

En función de la fórmula (8) se calcula la corriente.

¹⁹⁷ Autores

¹⁹⁸ Ídem.

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{632}{222,99 \times 0,98}$$

$$I = 2,89 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (100) \times (2,89) \times (0,98)}{8,37}$$

$$\Delta V = 1.15 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 0,52\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #8 AWG es 8,37mm², los datos de voltaje son proporcionados por el analizador de energía, la potencia y el factor de potencia por las características de la lámpara.

Circuito 3

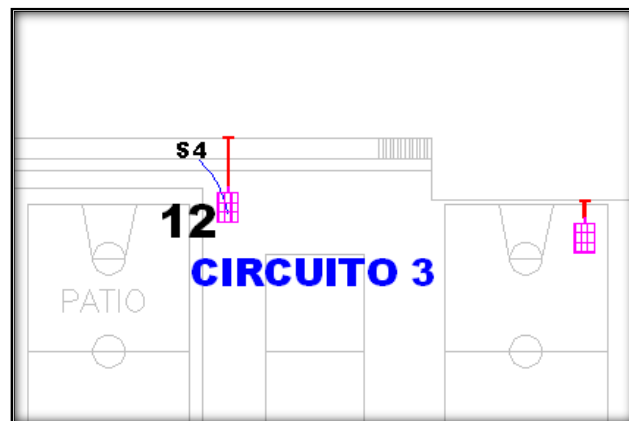


Fig. 2.92 Circuito 3 LED¹⁹⁹

¹⁹⁹ Autores

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 3	Unidades
Potencia Instalada	158,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	LUMINARIA	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	1,00	adim
Longitud	20	m
Cable	2x12	AWG
Factor de Potencia	0,98	adim

Tabla 2.72 Características del circuito 3 LED ²⁰⁰

En función de la fórmula (8) se calcula la corriente.

$$I = \frac{P}{V \times \cos \phi}$$

$$I = \frac{158}{220,20 \times 0,98}$$

$$I = 0,73 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \phi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (20) \times (0,73) \times (0,98)}{3,31}$$

$$\Delta V = 0.15 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 0,07\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #12 AWG es 3,31mm², los datos de voltaje son proporcionados por el analizador de energía, la potencia y el factor de potencia por las características de la lámpara.

²⁰⁰ Autores

Circuito 4

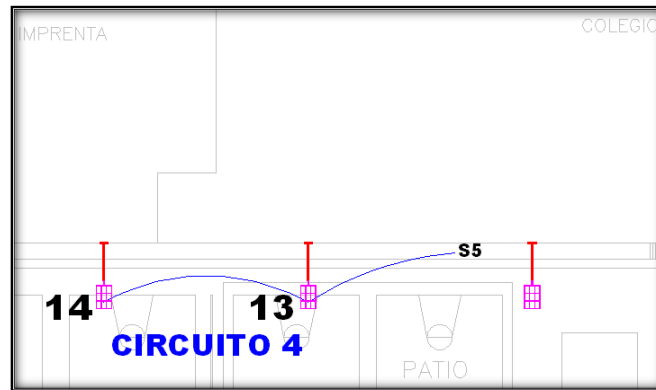


Fig. 2.93 Circuito 4 LED²⁰¹

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 4	Unidades
Potencia Instalada	316,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	LUMINARIA	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	2,00	adim
Longitud	80	m
Cable	2x12	AWG
Factor de Potencia	0,98	adim

Tabla 2.73 Características del circuito 4 LED²⁰²

En función de la fórmula (8) se calcula la corriente.

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{316}{210,81 \times 0,98}$$

$$I = 1,52 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

²⁰¹ Autores

²⁰² Ídem.

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (80) \times (1,52) \times (0,98)}{3,31}$$

$$\Delta V = 1.22 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 0,56\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #12 AWG es 3,31mm², los datos de voltaje son proporcionados por el analizador de energía, la potencia y el factor de potencia por las características de la lámpara.

Circuito 5

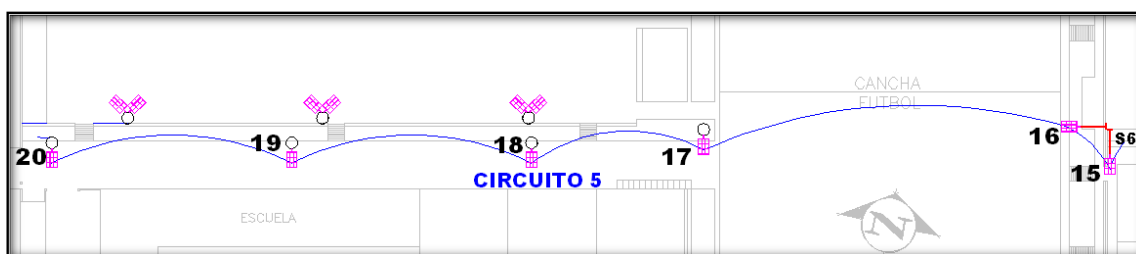


Fig. 2.94 Circuito 5 LED²⁰³

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 5	Unidades
Potencia Instalada	948,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	6,00	adim
Longitud	200	m
Cable	2x8	AWG
Factor de Potencia	0,98	adim

Tabla 2.74 Características del circuito 5 LED ²⁰⁴

En función de la fórmula (8) se calcula la corriente.

$$I = \frac{P}{V \times \cos \phi}$$

²⁰³ Autores

²⁰⁴ Ídem.

$$I = \frac{948}{220 \times 0,98}$$

$$I = 4,40 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (200) \times (4,40) \times (0,98)}{8,37}$$

$$\Delta V = 3,50 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 1,59\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #8 AWG es 8,37mm², los datos para los cálculos están tomados de forma teórica, la potencia y el factor de potencia por las características de la lámpara.

Circuito 6

Se ha dividido al circuito en dos para evitar la sobrecarga del mismo.

6A.

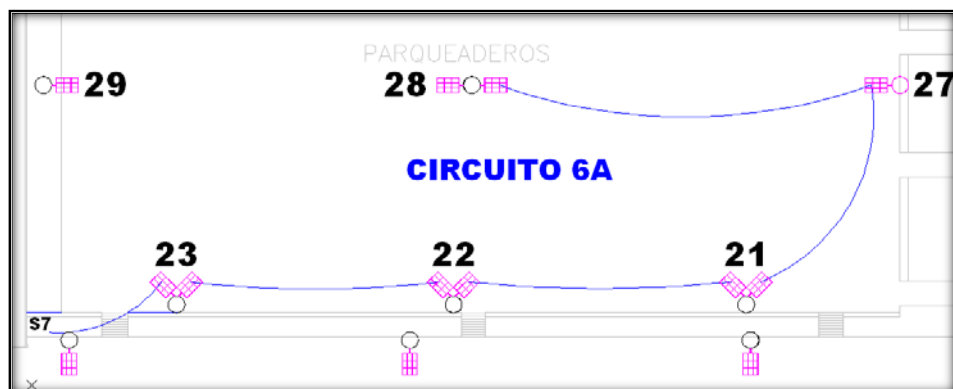


Fig. 2.95 Circuito 6A LED²⁰⁵

²⁰⁵ Autores

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 6A	Unidades
Potencia Instalada	1422,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	9,00	adim
Longitud	180	m
Cable	2x8	AWG
Factor de Potencia	0,98	adim

Tabla 2.75 Características del circuito 6A LED ²⁰⁶

En función de la fórmula (8) se calcula la corriente.

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{1422}{213,10 \times 0,98}$$

$$I = 6,80 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (180) \times (6,80) \times (0,98)}{8,37}$$

$$\Delta V = 4,87 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 2,21\%$$

²⁰⁶ Autores

6B.

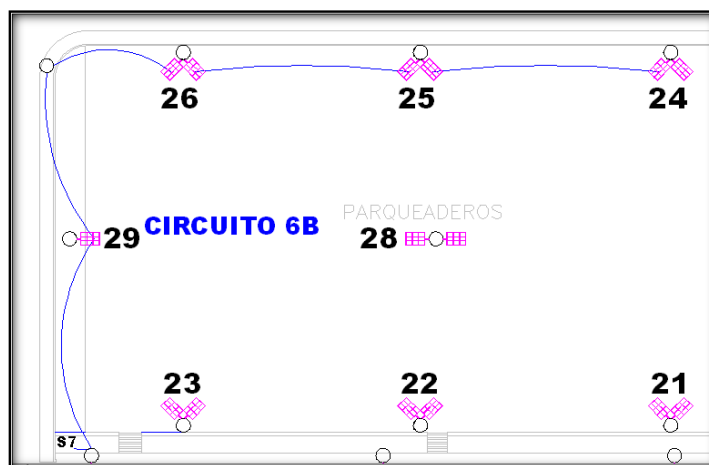


Fig. 2.96 Circuito 6B LED²⁰⁷

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 6B	Unidades
Potencia Instalada	1106,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	7,00	adim
Longitud	145	m
Cable	2x8	AWG
Factor de Potencia	0,98	adim

Tabla 2.76 Características del circuito 6B LED²⁰⁸

En función de la fórmula (8) se calcula la corriente.

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{1106}{213,10 \times 0,98}$$

$$I = 5,29 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

²⁰⁷ Autores

²⁰⁸ Ídem.

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (145) \times (5,29) \times (0,98)}{8,37}$$

$$\Delta V = 3,05 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 1,39\%$$

NOTA: La resistividad del cobre es de 0,017, y la sección del cable #8 AWG es 8,37mm², los datos para los cálculos están tomados de forma teórica, la potencia y el factor de potencia por las características de la lámpara.

Circuito 7

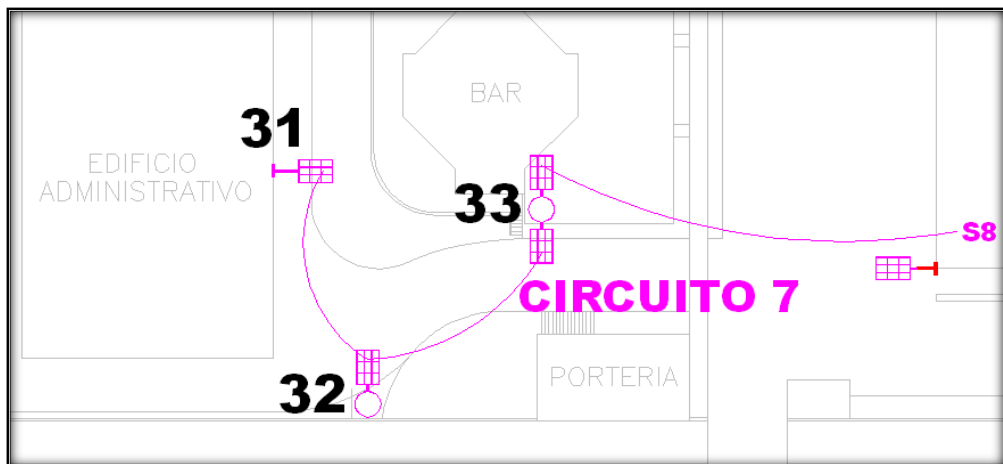


Fig. 2.97 Circuito 7 LED²⁰⁹

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 7	Unidades
Potencia Instalada	632,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	4,00	adim
Longitud	85	m
Cable	2x12	AWG
Factor de Potencia	0,98	adim

Tabla 2.77 Características del circuito 7 LED ²¹⁰

²⁰⁹ Autores

En función de la fórmula (8) se calcula la corriente.

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{632}{220 \times 0,98}$$

$$I = 2,93 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (85) \times (2,93) \times (0,98)}{3,31}$$

$$\Delta V = 2,51 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 1,14\%$$

Circuito 8

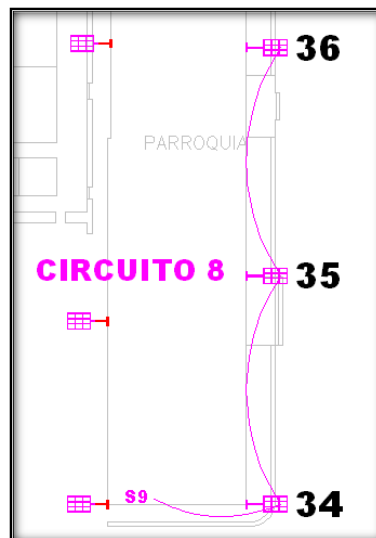


Fig. 2.98 Circuito 8²¹¹

²¹⁰ Autores

²¹¹ Ídem.

Características: (Adaptadas a Lámpara Teceo 2)

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 8	Unidades
Potencia Instalada	474,00	W
Protección	2x10	A
Equipo	Luminaria	adim
Potencia Unitaria	158,00	W
Nº Lámparas	3,00	adim
Longitud	80	m
Cable	2x12	AWG
Factor de Potencia	0,98	adim

Tabla 2.78 Características del circuito 8 LED ²¹²

En función de la fórmula (8) se calcula la corriente.

$$I = \frac{P}{V \times \cos \phi}$$

$$I = \frac{474}{220 \times 0,98}$$

$$I = 2,19 \text{ A}$$

En función de la fórmula (1) se puede calcular la caída de tensión en el Circuito 1:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L \times I \times \cos \phi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{2 \times (0,017) \times (80) \times (2,19) \times (0,98)}{3,31}$$

$$\Delta V = 1,76 \text{ VAC}$$

$$\Delta V = 1,80\%$$

2.4.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS LED

Conocidos ya los tipos de LED es importante mencionar las ventajas e inconvenientes que presenta esta tecnología de una forma más detallada que la abordada con anterioridad, es así que por medio de investigación se recalca lo siguiente: [6] [20] [21] [25] [25] [26]

²¹² Autores

Principales Ventajas de la Iluminación con LED

- El parámetro L_{70} de las lámparas LED es considerablemente largo, es decir su vida útil con un 70% del flujo luminoso inicial se establece como promedio en las 60000 horas.
- El nivel de mantenimiento es mínimo, razón por la cual el costo de manteniendo es reducido.
- El consumo de energía se reduce, tienen una elevada eficiencia.
- No emiten radiación ultravioleta o infrarroja.
- Colores saturados, sin filtros.
- Posee luz puntual, lo que permite iluminar de mejor manera un punto específico.
- Su control óptico es satisfactorio, lo que permite menor luz dispersa.
- Capacidad de elegir tonalidad del color.
- Permite ajustar la iluminación de acuerdo al entorno, permite regulación sin variación de color.
- Encendido instantáneo en todo momento.
- Su temperatura de encendido es baja, menos de 40° C.
- Trabajan con niveles bajos de tensión en corriente continua.
- Satisfactoria eficiencia en ambientes de baja temperatura.
- Las luminarias estancas se encuentran selladas de por vida.
- Son flexibles al diseño, existe gran posibilidad de combinación de elementos para satisfacer la necesidad del consumidor.

Inconvenientes de la Iluminación con LED

- No existe suficiente regulación ni estándar para su construcción.
- La evolución de la tecnología LED avanza rápidamente razón por la cual las instalaciones y equipos adicionales asociadas a su funcionamiento quedan obsoletos antes de su amortización.
- La inversión para un proyecto LED es de largo retorno, fácilmente puede superar los 15 años.
- El control asociado a una lámpara LED no posee la misma capacidad de vida útil, es decir que necesitará remplazo o corrección antes.

- La temperatura de funcionamiento es un factor vital en la vida útil de la lámpara LED, si no funciona a la temperatura adecuada sus componentes se desgastan con mayor velocidad reduciendo el rendimiento y la vida útil de manera considerable. Es indispensable que posea un sistema de refrigeración eficiente para que pueda cumplir los parámetros específicos de funcionamiento que proporciona el fabricante.
- Son vulnerables al aumento de potencia, ya que siempre trabajan a condiciones nominales de este parámetro, la variación en el incremento de potencia puede provocar la destrucción del LED.
- Es necesario que la lámpara conste de un driver de calidad para la alimentación de corriente constante, ya que este parámetro permite que la lámpara no parpadee, si existe variación en la corriente se ve reflejado de forma directa en el comportamiento de la lámpara.
- Posibles riesgos para la salud humana.
- Afectación al medio ambiente por emisión de luz, la longitud de onda que manejan cercanas a los 440 nm afectan a la biodiversidad.

2.4.3.4 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA

Sistema Eléctrico de Iluminación

Partiendo de los cálculos eléctricos de cada uno de los circuitos se puede determinar un diagnóstico del posible funcionamiento eléctrico del sistema con lámparas LED.

Es importante realizar las correcciones necesarias para todos los circuitos que se mencionó en el diagnóstico del sistema actual de iluminación en el numeral 2.2.1.3 para garantizar que el sistema funcione de manera segura y correcta. Con esto como requisito previo a continuación se presenta el análisis circuito a circuito:

Circuito 1

El circuito 1 fue dividido para evitar sobrecarga del mismo, sin embargo presenta inconvenientes para su funcionamiento debido a su caída de tensión. El circuito 1A presenta una caída de tensión de 3,30% lo que sobrepasa el nivel máximo admitido en ITC-BT-09, el circuito 1B de igual manera posee una caída de tensión de

4,19%. Lo recomendable en este caso es aumentar el calibre del conductor de 12 AWG a 8 AWG, para que la caída de tensión cumpla con la norma.

La potencia instalada se reduce en comparación con el sistema de iluminación con lámparas de sodio, razón por la cual el consumo de energía disminuye.

Circuito 2

El circuito 2 se encuentra dentro de los parámetros normales de funcionamiento.

La caída de tensión cumple la norma ITC-BT-09. El calibre del conductor es el adecuado y la protección se encuentra correctamente dimensionada para la corriente que circula por el circuito.

La potencia instalada se reduce en comparación con el sistema de iluminación con lámparas de sodio, razón por la cual el consumo de energía disminuye.

Circuito 3

El circuito 3 se encuentra dentro de los parámetros normales de funcionamiento.

La caída de tensión cumple la norma ITC-BT-09. El calibre del conductor es el adecuado y la protección se encuentra correctamente dimensionada para la corriente que circula por el circuito.

La potencia instalada se reduce en comparación con el sistema de iluminación con lámparas de sodio, razón por la cual el consumo de energía disminuye.

Circuito 4

El circuito 4 se encuentra dentro de los parámetros normales de funcionamiento.

La caída de tensión cumple la norma ITC-BT-09. El calibre del conductor es el adecuado y la protección se encuentra correctamente dimensionada para la corriente que circula por el circuito.

La potencia instalada se reduce en comparación con el sistema de iluminación con lámparas de sodio, razón por la cual el consumo de energía disminuye.

Circuito 5

El circuito 5 se encuentra dentro de los parámetros normales de funcionamiento.

La caída de tensión cumple la norma ITC-BT-09. El calibre del conductor es el adecuado y la protección se encuentra correctamente dimensionada para la corriente que circula por el circuito.

La potencia instalada se reduce en comparación con el sistema de iluminación con lámparas de sodio, razón por la cual el consumo de energía disminuye.

Circuito 6

El circuito 6 se encuentra dentro de los parámetros normales de funcionamiento.

La caída de tensión cumple la norma ITC-BT-09. El calibre del conductor es el adecuado y la protección se encuentra correctamente dimensionada para la corriente que circula por el circuito.

La potencia instalada se reduce en comparación con el sistema de iluminación con lámparas de sodio, razón por la cual el consumo de energía disminuye.

Circuito 7

El circuito 7 se encuentra dentro de los parámetros normales de funcionamiento.

La caída de tensión cumple la norma ITC-BT-09. El calibre del conductor es el adecuado y la protección se encuentra correctamente dimensionada para la corriente que circula por el circuito.

La potencia instalada se reduce en comparación con el sistema de iluminación con lámparas de sodio, razón por la cual el consumo de energía disminuye.

Circuito 8

El circuito 8 se encuentra dentro de los parámetros normales de funcionamiento.

La caída de tensión cumple la norma ITC-BT-09. El calibre del conductor es el adecuado y la protección se encuentra correctamente dimensionada para la corriente que circula por el circuito.

La potencia instalada se reduce en comparación con el sistema de iluminación con lámparas de sodio, razón por la cual el consumo de energía disminuye.

Niveles de Iluminación

Con la proyección del sistema de iluminación realizado en Dialux, se puede determinar un diagnóstico del posible funcionamiento del sistema con lámparas LED enfocado a los niveles de iluminación. En resumen se presenta los resultados para todos los sectores.

SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CAMPUS KENNEDY										
LEYENDA: N/A: LA PRUEBA NO APLICA PARA EL DISPOSITIVO EN MENCIÓN OK: EL DISPOSITIVO PASA LA PRUEBA CORRECTAMENTE X: EL DISPOSITIVO NO PASA LA PRUEBA Y DEBE APLICARSE TAREAS CORRECTIVAS		SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 4	SECTOR 5	SECTOR 6	SECTOR 7	SECTOR 8	SECTOR 9
ÍTEM	DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN									
1	Iluminación Promedio	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
2	Uniformidad General de Iluminancia	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 2.79 Resumen de Niveles de Iluminación con Lámparas LED²¹³

En la tabla 2.79 se muestra que para todos los sectores la iluminación promedio (E_{prom}) está dentro del nivel mínimo de 20 luxes establecido para la zona de conflicto C2 que basa en la norma RTE INEN 069 y CIE 140. El coeficiente de uniformidad general (U_o) tiene a un valor superior al 40% que es el mínimo que establece la norma RTE INEN 069 y CIE 140.

De la solución del sistema en sodio al sistema de iluminación LED no se realizó ningún cambio. Se mantiene el número de luminarias y lámparas

De esta manera la lámpara TECEO 2 cumple con los niveles mínimos planteados para la implementación en el sistema de alumbrado público con lámparas LED.

²¹³ Autores

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE SISTEMA SCADA

3.1 SISTEMA DE CONTROL

El campus Kennedy posee una extensa área de fluidez vehicular y peatonal, y es necesario que en determinadas horas estos espacios tengan una iluminación acorde al tránsito que circula a diario (18:30 a 21:30 horas). Por tal motivo, se requiere saber continuamente el estado del sistema de alumbrado público del campus, esto significa controlar y monitorear cada uno de los circuitos de iluminación, así como las luminarias que las conforman.

Para tal efecto, se ha previsto un sistema de control automático ON/OFF sobre cada luminaria y circuito, con la capacidad de ser operado de forma remota y automática a través de un HMI y que posea opciones de control automatizadas mediante el ingreso de horas de encendido y apagado.

Para el control y monitoreo de forma remota, se utiliza la tecnología ZigBee, la cual es capaz de enviar y recibir información de forma inalámbrica y se ajusta perfectamente al diseño del sistema por la baja tasa de envío de datos.

3.1.1 TARJETA DE CONTROL

La tarjeta de control está constituida principalmente por tres partes:

- Circuito de Control
- Circuito de Potencia
- Circuito de Comunicación

3.1.1.1 CIRCUITO DE CONTROL

Es capaz de controlar y monitorear el estado de la luminaria. Se enlaza directamente con el dispositivo ZigBee para enviar y transmitir datos. Su componente principal es el microcontrolador PIC 16F628A.

Microcontrolador Pic 16F628A

Un microcontrolador permite realizar acciones y simplificar circuitos de acuerdo a la configuración que se le agregue, no realiza operación alguna sin previa configuración, su funcionamiento es como un CPU de una computadora, teniendo

memorias RAM, y EEPROM. Puede estar encargado del control de circuitos tan simples como el encendido de un LED hasta circuitos que controlan procesos completos a nivel industrial. [27]

Los microcontroladores son fundamentales al momento de reducir un circuito y realizar todo un proceso, pueden realizar un sin número de operaciones por medio de la programación aplicada a ellos.

Se seleccionó el microcontrolador PIC 16F628A por sus características ya que posee puerto serial de transmisión y recepción de datos, puertos de entrada y salidas digitales, convertidor digital A/D de varios canales, timers, control de interrupciones.

El puerto serial sirve en este proyecto para comunicarse directamente con el módulo ZigBee. Los puertos de I/O digitales podrán encender/apagar a la luminaria y conocer el estado de la luminaria. El convertidor digital A/D, timers y el control de interrupciones son herramientas que se podrán utilizar para una futura implementación de algún sistema adicional. Los datos técnicos se presentan en el Anexo E.²¹⁴

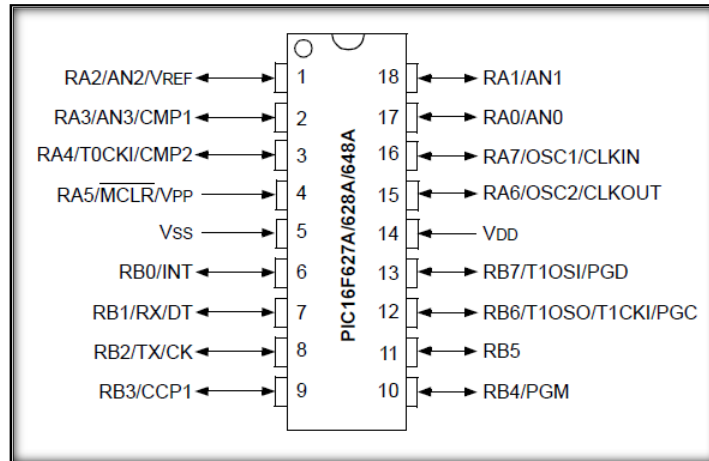


Fig. 3.1 PIC 16F628A.²¹⁵

²¹⁴ Datasheet Microcontrollers PIC 16F62x

²¹⁵ Ídem

		PIC16F628A
Clock	Maximum Frequency of Operation (MHz)	20
Memory	Flash Program Memory (words)	2048
	RAM Data Memory (bytes)	224
	EEPROM Data Memory (bytes)	128
Peripherals	Timer module(s)	TMR0, TMR1, TMR2
	Comparator(s)	2
	Capture/Compare/PWM modules	1
	Serial Communications	USART
	Internal Voltage Reference	Yes
Features	Interrupt Sources	10
	I/O Pins	16
	Voltage Range (Volts)	3.0-5.5
	Brown-out Reset	Yes
	Packages	18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP, 28-pin QFN

Fig. 3.2 Características de Funcionamiento de PIC 16F628A²¹⁶

3.1.1.2 CIRCUITO DE POTENCIA.

Provee alimentación a la luminaria una vez que el circuito de control envíe la señal de encendido. Sus principales componentes son el MOC 3021 y el triac BT136.

MOC3021

Es un optoacoplador que posee un fotoemisor y un fotoreceptor actuando como un interruptor cuando el diodo LED satura el componente optoelectrónico fototriac.

Se utiliza para aislar eléctricamente la parte de control con la parte de potencia del circuito, con el fin de proteger los componentes que funcionan a diferente nivel de tensión como son el microcontrolador y el Xbee entre los más importantes. Los datos técnicos se presentan en el Anexo F.²¹⁷

²¹⁶ Datasheet Microcontrollers PIC 16F62x

²¹⁷ Datasheet Optocouplers MOC3021

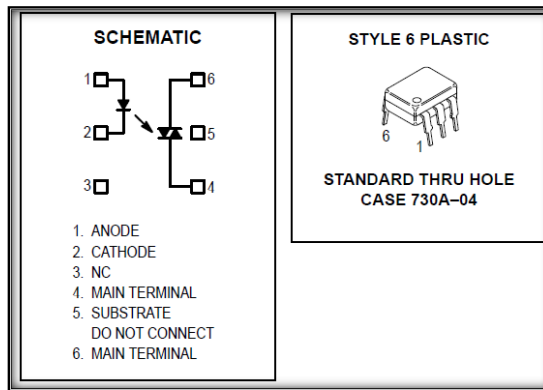


Fig. 3.3 MOC3021²¹⁸

Características:

MAXIMUM RATINGS (T _A = 25°C unless otherwise noted)			
Rating	Symbol	Value	Unit
INFRARED EMITTING DIODE			
Reverse Voltage	V _R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I _F	60	mA
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Negligible Power in Triac Driver Derate above 25°C	P _D	100	mW
		1.33	mW/°C
OUTPUT DRIVER			
Off-State Output Terminal Voltage	V _{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I _{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	300	mW
		4	mW/°C
TOTAL DEVICE			
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V _{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	330	mW
		4.4	mW/°C
Junction Temperature Range	T _J	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T _A	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T _{stg}	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T _L	260	°C

Fig.3.4 Características de Funcionamiento de MOC3021²¹⁹

BT136

Es un dispositivo semiconductor, de la familia de los tiristores (Triacs) diseñado para una conmutación bidireccional y aplicaciones de control de fase, donde se requiere una alta sensibilidad en los cuatro cuadrantes. En este caso se utiliza

²¹⁸ Datasheet Optocouplers MOC3021

²¹⁹ Ídem

como interruptor cuando se energiza el gate del triac. Los datos técnicos se presentan en el Anexo G.²²⁰

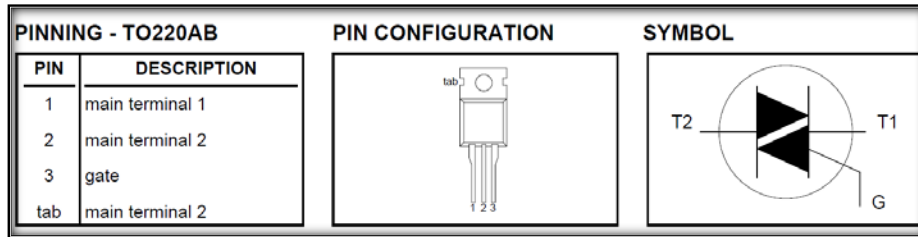


Fig. 3.5 Triac BT136²²¹

Características:

LIMITING VALUES							
Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).							
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.			UNIT
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages		-	-500 500 ¹	-600 600 ¹	-800 800	V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	full sine wave; $T_{mb} \leq 107^\circ\text{C}$	-	4			A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	full sine wave; $T_j = 25^\circ\text{C}$ prior to surge	-	25			A
		$t = 20\text{ ms}$	-	27			A
		$t = 16.7\text{ ms}$	-	3.1			A ² s
I^2t	I^2t for fusing	$t = 10\text{ ms}$	-				
di_T/dt	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	$I_{TM} = 6\text{ A}; I_G = 0.2\text{ A}; di_G/dt = 0.2\text{ A}/\mu\text{s}$					
		T2+ G+	-	50			A/ μs
		T2+ G-	-	50			A/ μs
		T2- G-	-	50			A/ μs
		T2- G+	-	10			A/ μs
I_{GM}	Peak gate current		-	2			A
V_{GM}	Peak gate voltage		-	5			V
P_{GM}	Peak gate power		-	5			W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	over any 20 ms period	-	0.5			W
T_{stg}	Storage temperature		-40	150			$^\circ\text{C}$
T_j	Operating junction temperature		-	125			$^\circ\text{C}$

Fig. 3.6 Características de Funcionamiento de BT 136²²²

El Triac se selecciona de acuerdo a la corriente específica que circula por el dispositivo y esta dependerá directamente del número de lámparas que controlará.

Por medio de la fórmula (10), se calcula la corriente de funcionamiento de la lámpara: [28]

$$I = \frac{W}{V \times \cos \varphi} \quad (10)$$

²²⁰ Datasheet Triac BT136

²²¹ Ídem

²²² Ídem

Donde:

I es la corriente de funcionamiento de la lámpara

W es la potencia de la lámpara

V es el voltaje de alimentación de la lámpara.

$\text{COS } \varphi$ es el factor de potencia de la lámpara.

De la fórmula (10) tenemos que:

$$I = \frac{158 \text{ W}}{220 * 0.98}$$

$$I = 0,73 \text{ A}$$

Este es el valor de corriente de cada lámpara, ahora es necesario multiplicar por el número de lámparas y agregarle el 30% por seguridad, ya que no se debe operar cerca de los límites máximos de operación del triac.

$$I' = I x N x 1.3 \quad (11)$$

Donde:

I' es la corriente específica del triac

I es la corriente de la lámpara

N es el número de lámparas

De la fórmula (11) tenemos que:

$$I' = I x N x 1.3$$

$$I' = 0.73 x 1 x 1.3$$

$$I' = 0.95 \text{ A}$$

Para la determinación del disipador del triac BT136 partimos de la fórmula siguiente: [28]

$$Rd = \left[\frac{k \times Tj - Ta}{W} \right] - Rc - Rcd \quad (12)$$

Donde:

Rd es el valor del disipador que se necesita.

k es el valor del coeficiente de seguridad (0,7 mayor temperatura).

Tj es el valor de la temperatura de unión.

Ta es el valor de la temperatura ambiente.

W es el valor de la potencia a disipar.

Rc es el valor de la resistencia térmica entre la unión y la capsula.

Rcd es el valor de la resistencia térmica entre la capsula y el disipador.

En función de la fórmula (9) tenemos que:

$$Rd = \left[\frac{0,7 \times 125 - 25}{5} \right] - 5 - 1$$

$$Rd = 5,38 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Con el valor de Rd en la curva de disipadores nos da el siguiente disipador base.

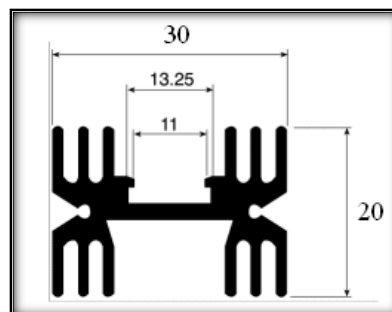


Fig. 3.7 Disipador Calculado para BT136²²³

3.1.1.3 CIRCUITO DE COMUNICACIÓN.

Dispositivo ZigBee

El dispositivo a utilizar en este diseño es el Xbee PRO S2 wire. Su comunicación es serial con otros dispositivos (PC, un microcontrolador, etc). Una vez creada la red, se puede establecer una comunicación bidireccional entre una PC y varios módulos XBee.

²²³ Datasheet Phillips Semiconductors Triacs BT136 series

Los módulos pueden estar asociados con microcontroladores para proporcionar mayor cantidad de variantes para la aplicación. La velocidad de transmisión es variable, se puede configurar de acuerdo a las necesidades de la red o el operador, por defecto está configurado a 9600Bps de 8bits para la comunicación.

Los módulos permiten realizar una comunicación punto-punto, malla o multipunto. Esta característica no es propia de todos los XBee y depende del tipo de serie. Para el caso del XBee PRO S2 soporta red en malla sin ningún inconveniente. Todos los dispositivos trabajan bajo el estándar Zigbee IEEE 802.15.4, los datos técnicos se presentan en el Anexo H.²²⁴

Características:

DESCRIPCIÓN	RANGO DE VALORES
Alcance en ambientes cerrados	Sobre los 100 mts.
Alcance en espacios abiertos (con línea de vista)	Sobre los 1500 mts.
Potencia de Transmisión	100 mW (20 dBm) EIRP
Sensibilidad del Receptor	-100 dBm
Velocidad de Tx. de RF	250,000 bps
Consumo de energía en Tx.	45 mA con 3.3V
Consumo de corriente en Rx	50 mA con 3.3V
Velocidad de Interfaze Serial	1.200 a 115.200 bps
Voltaje de polarización	De 2,8 a 3,4 VDC
Dimensiones	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Temperatura de Operación	Desde -40 a 85 °C
Topologías de Red soportadas	Punto a punto, punto a multipunto y malla
Número de Canales	12 <i>Direct Sequence Channels</i>
Opciones de Direccionamiento	PAN ID, canales y direcciones
Potencia en modo de "sueño"	< 10 µA
Frecuencia de operación	ISM 2.4 GHz
Agencias que lo aprueban	FCC (Estados Unidos) IC (Canadá) ETSI (Europa)

Fig. 3.8 Características de Funcionamiento de Xbee Pro S2²²⁵

²²⁴ Datasheet Xbee Pro S2

²²⁵ Ídem

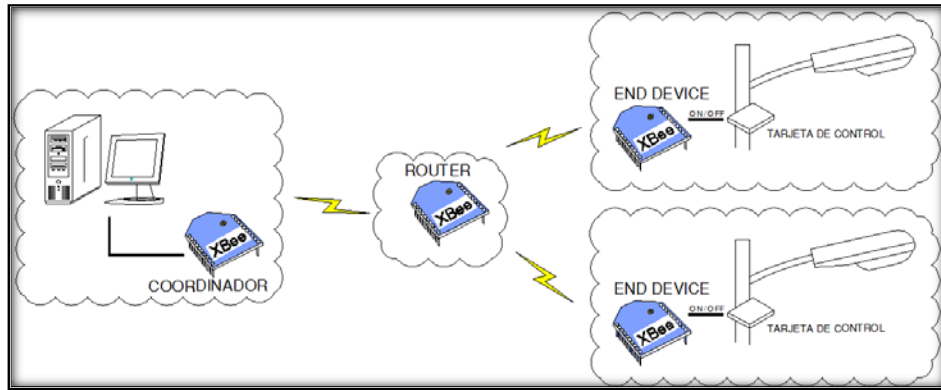


Fig. 3.9 Esquema General de la red ZigBee.²²⁶

3.1.2 CIRCUITO DE CONTROL ON/OFF DE LUMINARIAS

En la figura 3.10 se muestra el diseño del circuito de control que se colocará en cada lámpara. [29]

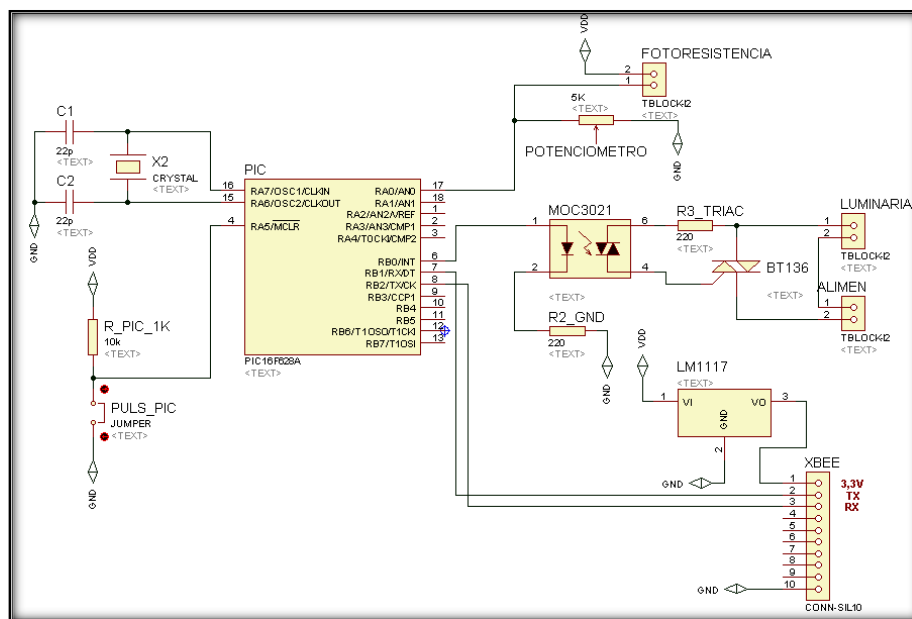


Fig. 3.10 Circuito de control para luminarias²²⁷

En la figura 3.11 se muestra el diseño de la placa de control que se colocará en cada lámpara.

²²⁶ Autores
²²⁷ Ídem

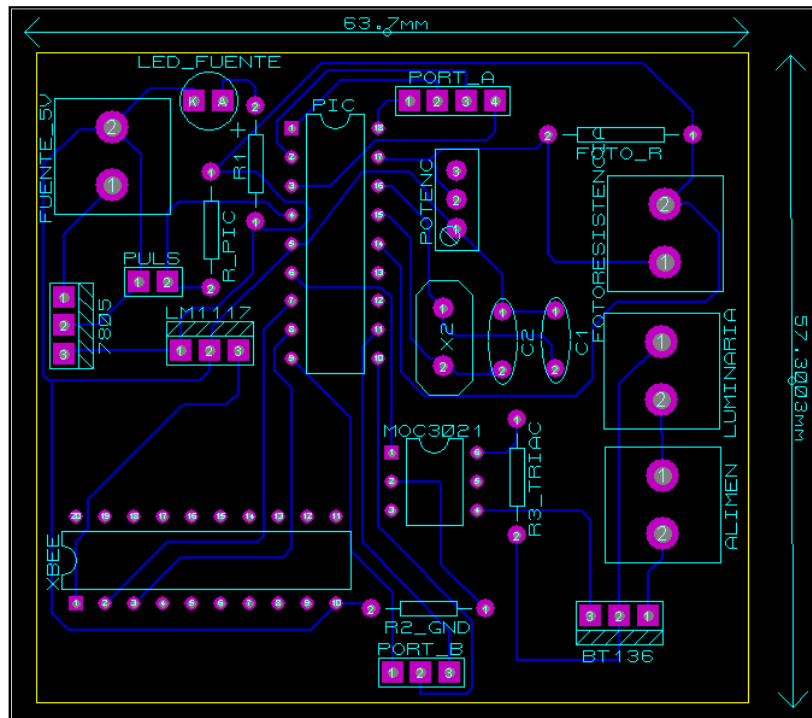


Fig. 3.11 Placa impresa de la tarjeta de control para luminarias.²²⁸

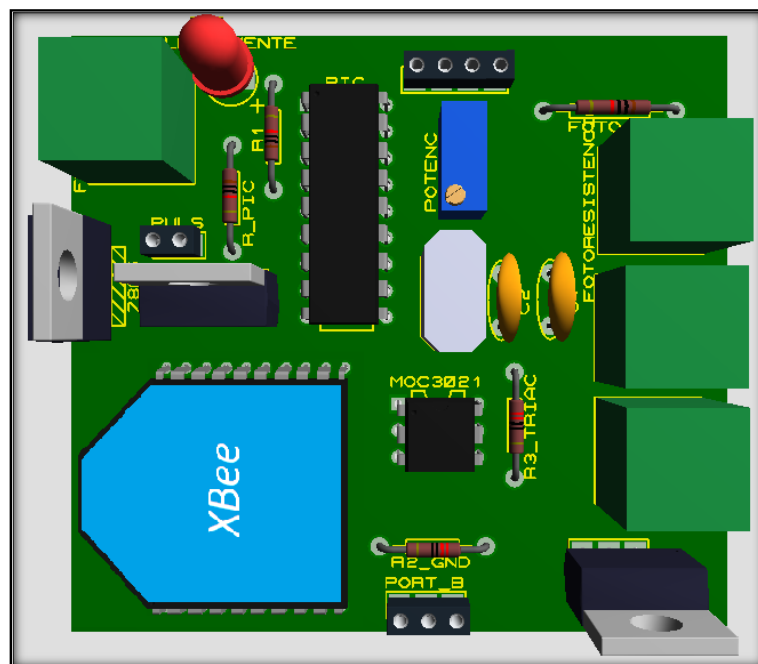


Fig. 3.12 Vista 3D de Tarjeta de control²²⁹

Para el circuito de control, se necesita efectuar y cargar la programación al microcontrolador, la cual se detalla a continuación. La programación fue realizada en mickobasic.

²²⁸ Autores

²²⁹ Ídem

```

dim uart_rd as byte
dim flag as byte
main:
  UART1_Init(9600)           ' Initialize UART module at 9600 bps
  Delay_ms(100)             ' Wait for UART module to stabilize
  TRISB.0= 0
  PORTB.0 = 0
  UART1_Write_Text("Ready")
  UART1_Write(10)           ' Line Feed
  UART1_Write(13)          ' Carriage Return
  while (TRUE)              ' Endless loop
    if (UART1_Data_Ready() <> 0) then ' If data is received,
      uart_rd = UART1_Read() ' read the received data
      if (uart_rd = "A") then
        PORTB.0 = 1
        flag=1
      end if
      if (uart_rd = "C") then
        PORTB.0 = 0
        flag=0
      end if
    end if
    if (flag=1) then
      UART1_Write("A")      ' and send data via UART
    else
      UART1_Write("C")      ' and send data via UART
    end if
    delay_ms(250)
  wend
end.

```

3.2 SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo permite verificar los variables dentro de un sistema en tiempo real, es decir que está constantemente recibiendo datos del campo para procesarlos y dar a relucir un estado de una determinada variable.

3.2.1 LABVIEW

Labview es una plataforma de desarrollo de procesos que permite realizar opciones de control y diseño por medio de un lenguaje de programación gráfico, brinda una aplicación de forma real en la industria y además se utiliza como simulador para pruebas de sistemas o diseños proyectados. Es flexible con la asociación a varios software y hardware independientemente del tipo de marca a la que pertenezcan.

Para la aplicación del SCADA de iluminación propuesto para el alumbrado público del campus Kennedy se ha seleccionado Labview por su versatilidad en la programación gráfica de aplicaciones, a diferencia de Visual Basic que no es tan práctico a la hora de estructurar y realizar una programación para una aplicación de procesos industriales por lo largo y complejo que se puede tornar. El manejo del puerto serial es otro punto a favor que se ha considerado, que es indispensable para la comunicación por medio de ZigBee, del cual carece InTouch que podría haber sido otra opción pero por poseer ese limitante no ha sido tomado en cuenta.

Labview es donde se va a reflejar el estado del sistema de iluminación del campus. Todo esto se puede lograr gracias a la comunicación continua entre el centro de control y los dispositivos que están asociados a este. Se encuentra en la capacidad de resolver problemas hoy en día de toda índole, para promover dicha dificultad a niveles manejables y eficientes.

Todo sistema se encuentra compuesto por un programa maestro que permite realizar las acciones requeridas.

3.2.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

El sistema está compuesto por un menú predeterminado que consta de:

- Bienvenida y acceso
- Identificación de Usuario
- Menú Principal
 - Control de Iluminación
 - Sector 1
 - Sector 2
 - Sector 3
 - Sector 4
 - Sector 5
 - Sector 6
 - Sector 7
 - Sector 8
 - Históricos
 - Reporte Excel

Se presenta un diagrama de flujo que representa las subrutinas que presenta el SCADA. [30]

Diagrama de flujo del SCADA

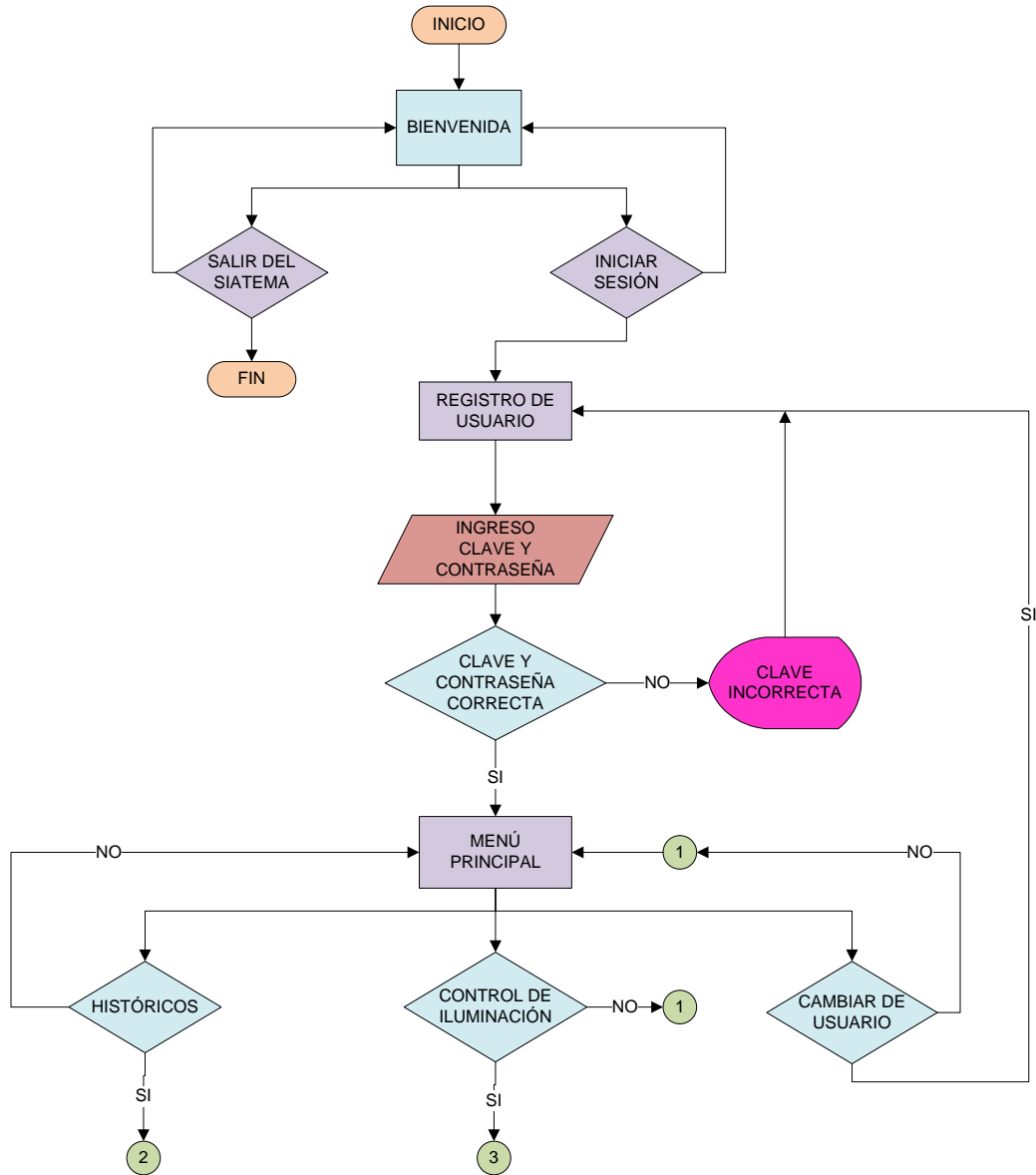


Fig. 3.13. Diagrama de flujo de subrutina “Carátula” y “Menú Principal”.²³⁰

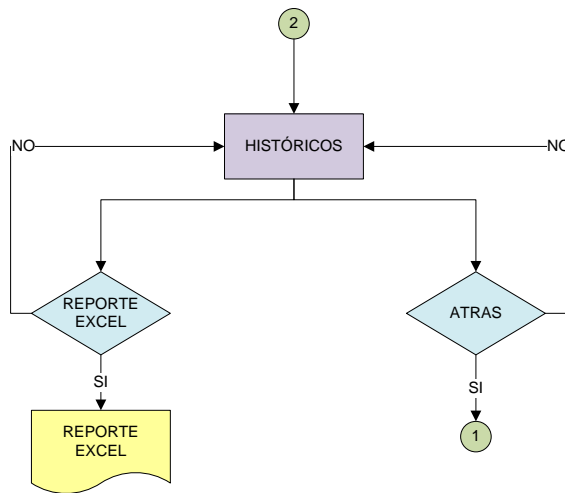


Fig. 3.14. Diagrama de flujo de subrutina "Históricos".

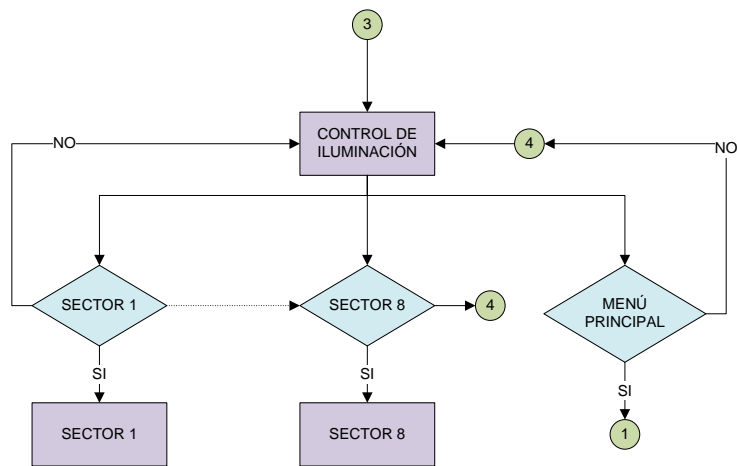


Fig. 3.15. Diagrama de flujo de subrutina "Control de Iluminación".²³¹

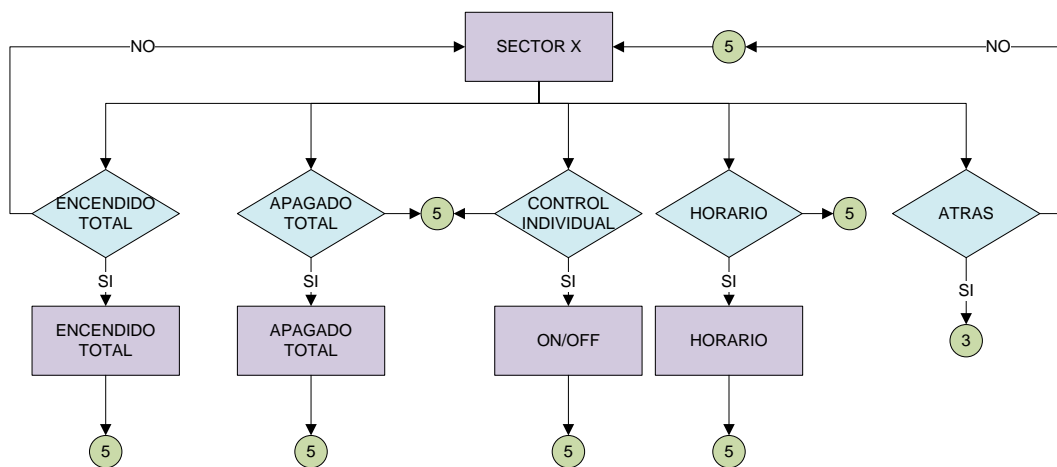


Fig. 3.16. Diagrama de flujo de subrutina "Sector 1".²³²

²³¹ Autores
²³² Ídem

3.2.3 DESCRIPCIÓN DEL HMI

El HMI del sistema de control y monitoreo del Alumbrado Público, se lo realizó en el programa LabView. Todas las pantallas del HMI están configuradas con la opción “Dialog”. Ésta es una propiedad que se puede seleccionar desde las propiedades de VI, Menú “Windows Appearance”. [31]

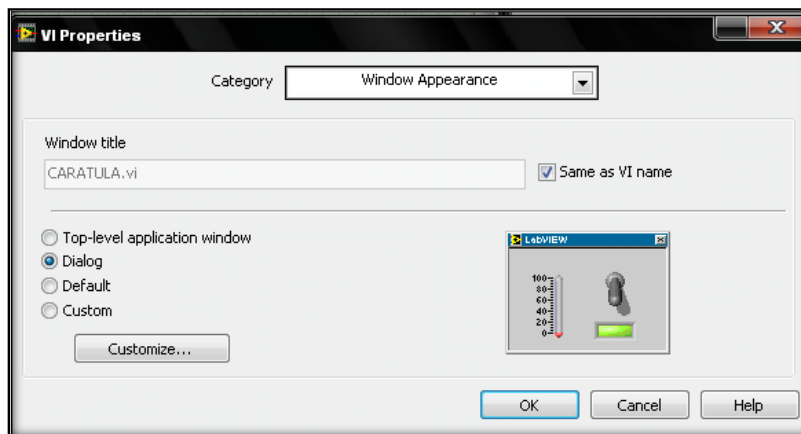


Fig. 3.17 Configuración propiedades para todas las pantallas.²³³

Bienvenida y acceso

Al iniciar el sistema de control y monitoreo del alumbrado público de la Universidad, se ejecuta la pantalla de bienvenida y acceso.



Fig. 3.18. Carátula del Sistema de Iluminación.²³⁴

²³³ Autores

²³⁴ Ídem.

La configuración de las pantallas están divididas por subVIs, teniendo dependencia secuencial tal como se describe en los diagramas de flujo de las figuras 3.14, 3.15, 3.16, 3.17. En la figura 3.19 se muestra la programación efectuada para la pantalla “Bienvenida”.

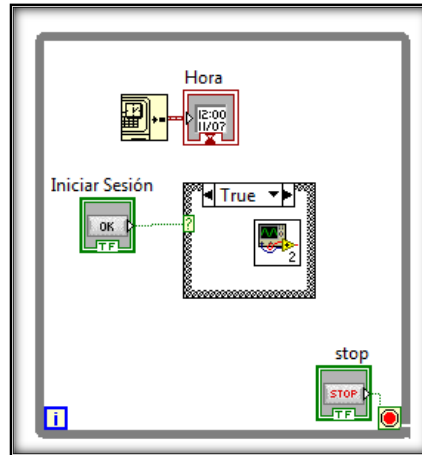


Fig. 3.19 Programación de la pantalla “Bienvenida”.²³⁵

El lazo while ejecuta todas las tareas programadas hasta que se finalice la rutina con el botón “Stop”. Para acceder a la siguiente pantalla, se necesita activar el botón “Iniciar Sesión” el cual llama al subVI “Registro de Usuario” que está dentro del Case True. Esta es la manera de vincular una pantalla con otra por medio de un botón de control. La hora se obtiene mediante el comando “Get Time in Seconds”.

Identificación de Usuario

En la identificación del usuario se registra el operador que va hacer uso del sistema de iluminación. Por medio de este sistema de seguridad se previene que personal no autorizado tenga acceso al control y monitoreo del sistema.

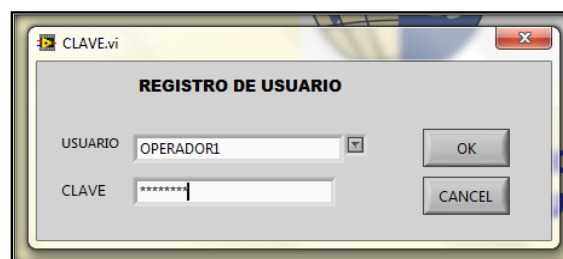


Fig. 3.20 Control de Usuario.²³⁶

²³⁵ Autores

²³⁶ Ídem.

El sistema está predeterminado y configurado con tres tipos de acceso, los cuales están registrados en un archivo txt. con el fin de restringir el acceso. En la figura 3.21 se muestra la programación realizada.

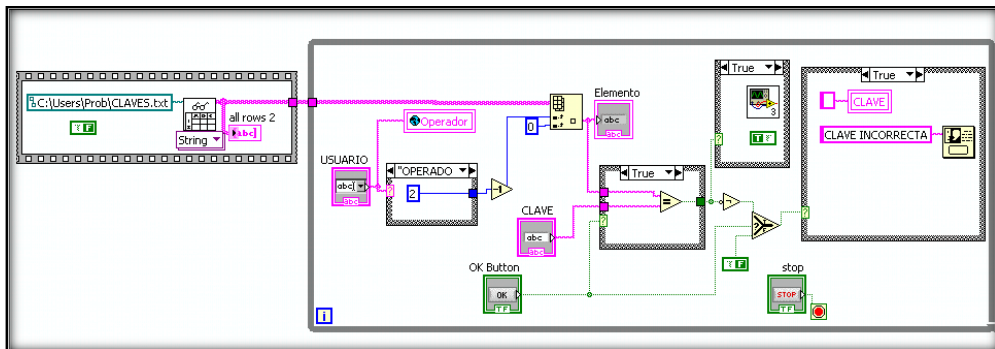


Fig. 3.21 Programación de Identificación de Usuario.²³⁷

En un archivo de texto txt se guarda las contraseñas de los diferentes usuarios que vayan a operar el sistema. Con el comando “Read From Spreadsheet File.vi” se lee las claves guardadas del archivo de texto y convierte el dato en un array de strings.

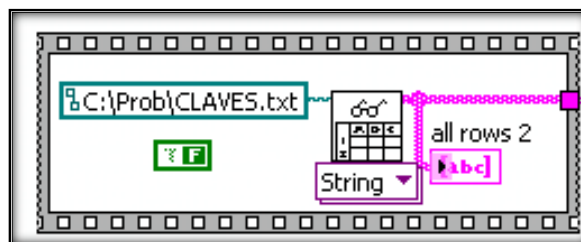


Fig. 3.22 Bloque de programación de claves.²³⁸

Este dato permite hacer la comparación con la clave ingresada por pantalla para permitir pasar a la siguiente pantalla. En caso de ser falso se presenta un mensaje “Clave incorrecta” y lo reenvía a escribir de nuevo la clave.

La selección del usuario se debe ingresar en la pantalla. Cada usuario posee un clave de acceso diferente, si la clave no es la correcta el sistema no permite el ingreso al control.

²³⁷ Autores
²³⁸ Ídem

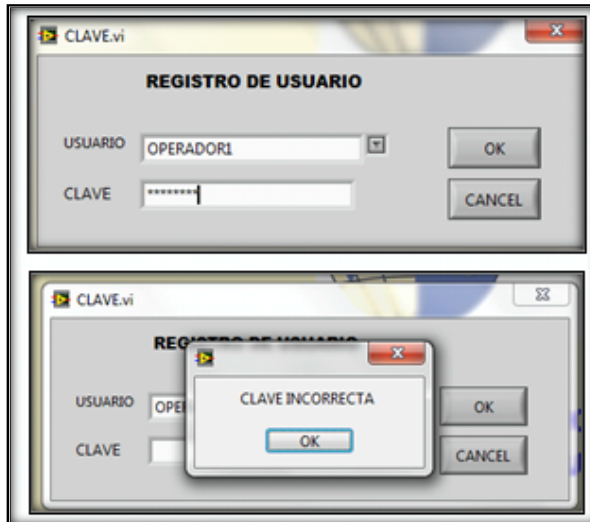


Fig. 3.23 Error en Clave de Ingreso.²³⁹



Fig. 3.24 Archivo de de texto txt para almacenamiento de Clave.²⁴⁰

Menú Principal

Cuando el sistema permite el acceso se despliega la pantalla de “Menú Principal” del sistema de iluminación. En la figura 3.25 se muestra tres opciones a las que se puede ingresar para realizar las operaciones requeridas.

Existe dentro del Menú Principal la opción de “Control de Iluminación”, “Históricos” y “Cambio de Usuario”.

²³⁹ Autores

²⁴⁰ Ídem



Fig. 3.25 Menú Principal del Sistema de Iluminación.²⁴¹

En la figura 3.25 se muestra la programación realizada.

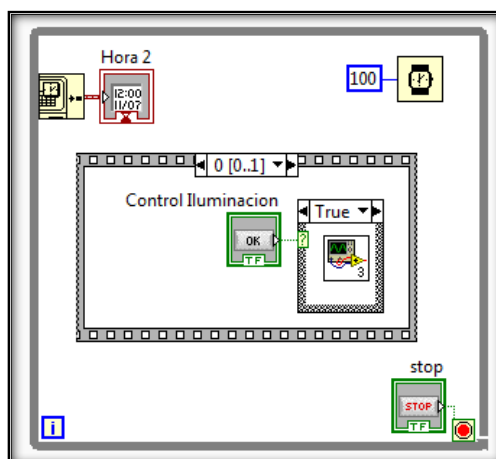


Fig. 3.26 Programación de Menú Principal.²⁴²

En el caso 1 de la estructura “Stacked Sequence”, se programa la activación de la siguiente pantalla “Control de iluminación”. Se realiza el mismo procedimiento para el caso de “Históricos”.

Control de Iluminación

Al acceder a control de iluminación desde la pantalla de “Menú Principal”, se puede realizar el control por zonas de todo el campus Kennedy.

²⁴¹ Autores

²⁴² Ídem.

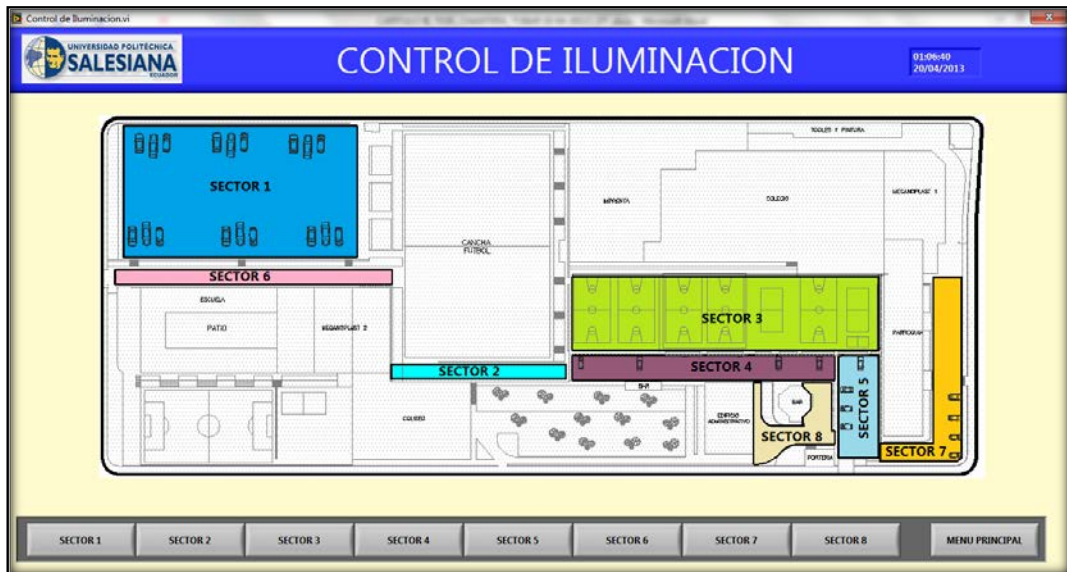


Fig. 3.27 Control de Iluminación²⁴³

Dentro de la pantalla “Control de Iluminación” se encuentra dividido por sectores los sitios a iluminar. En la figura 3.28 se muestra la programación realizada.

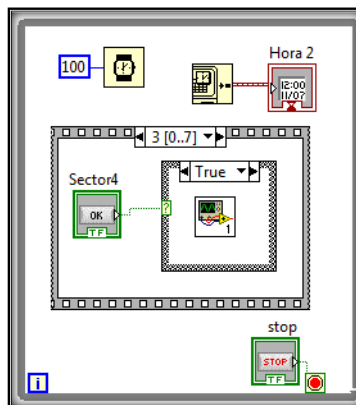


Fig. 3.28 Programación de Control de Iluminación.²⁴⁴

En cada caso del Stacked Sequence Structure se encuentra la programación de los 8 sectores, todos por medio de subVI, llamados con la selección del pulsador con el nombre del sector.

Sectores de iluminación

El área de iluminación de alumbrado público se ha dividido en 8 sectores. En cada uno de ellos se podrá controlar y monitorear de manera gráfica todas las lámparas que pertenezcan a cada sector.

²⁴³ Autores

²⁴⁴ Ídem

Todos los sectores de iluminación tienen la capacidad de ser controlados por 3 formas distintas:

- Control de encendido y apagado total del sector.
- Control individual de encendido y apagado de cada lámpara del sector.
- Control de encendido y apagado por horario definido por el usuario para que funcione de forma automática.

Sector 1

El sector 1 representa el área del parqueadero de estudiantes ubicado al noroeste del campus. Posee 9 luminarias distribuidas en el sector (L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29). Para el control del sector se debe escoger entre las opciones de control por horario, individual, encendido total y apagado total. Con el botón “ATRÁS”, se regresa a la pantalla “Control de Iluminación”.



Fig. 3.29 Sector 1 “Parqueadero de Estudiantes”²⁴⁵

Sector 2

El sector 2 representa el área de circulación vehicular ubicada al oeste del campus entre la cancha principal de futbol y el coliseo. Posee 4 luminarias en el del sector (L7, L30). Para el control del sector se debe escoger entre las opciones de control por horario, individual, encendido total y apagado total. Con el botón “ATRÁS”, se regresa a la pantalla “Control de Iluminación”.

²⁴⁵ Autores



Fig. 3.30 Sector 2 “Calle lateral al Coliseo”²⁴⁶

Sector 3

El sector 3 representa el patio principal y las canchas deportivas de básquet y vóley. Posee 11 luminarias abarcando toda el área del sector (L1, L4, L5, L6, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16). Para el control del sector se debe escoger entre las opciones de control por horario, individual, encendido total y apagado total. Con el botón “ATRÁS”, se regresa a la pantalla “Control de Iluminación”.



Fig. 3.31 Sector 3 “Patio Principal”²⁴⁷

²⁴⁶ Autores
²⁴⁷ Ídem

Sector 4

El sector 4 representa la circulación vehicular ubicada entre el patio principal y el edificio administrativo. Posee 6 luminarias abarcando toda el área del sector (L1, L2, L3, L4, L5, L6).

Para el control del sector se debe escoger entre las opciones de control por horario, individual, encendido total y apagado total. Con el botón “ATRÁS”, se regresa a la pantalla “Control de Iluminación”.

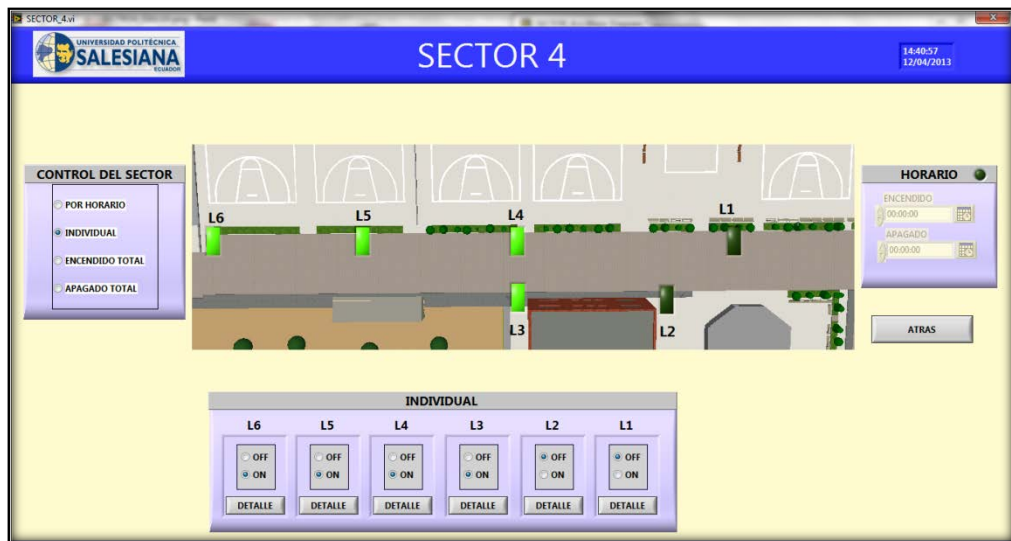


Fig. 3.32 Sector 4 “Calle lateral al Edificio Administrativo”²⁴⁸

Sector 5

El sector 5 representa la entrada principal al campus y está ubicada en la parte lateral de la iglesia. Posee 2 luminarias que están sujetadas a la pared (L8, L9).

Para el control del sector se debe escoger entre las opciones de control por horario, individual, encendido total y apagado total. Con el botón “ATRÁS”, se regresa a la pantalla “Control de Iluminación”.

²⁴⁸ Autores



Fig. 3.32 Sector 5 “Entrada Principal”²⁴⁹

Sector 6

El sector 6 representa la calle que está ubicada entre el parqueadero de estudiantes y la escuela. Posee 4 luminarias distribuidas en el área de circulación vehicular (L17, L18, L19, L20).

Para el control del sector se debe escoger entre las opciones de control por horario, individual, encendido total y apagado total. Con el botón “ATRÁS”, se regresa a la pantalla “Control de Iluminación”.

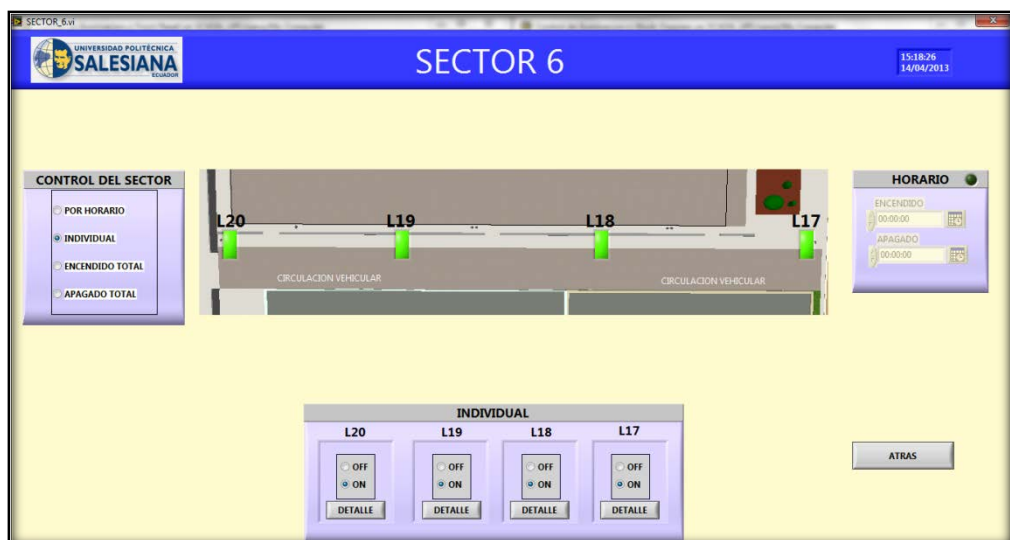


Fig. 3.34 Sector 6 “Calle lateral a la Escuela y Mecanoplast”²⁵⁰

²⁴⁹ Autores

Sector 7

El sector 7 representa el callejón de la entrada principal de la iglesia. Posee 4 luminarias distribuidas en el área (L34, L35, L36).

Para el control del sector se debe escoger entre las opciones de control por horario, individual, encendido total y apagado total. Con el botón “ATRÁS”, se regresa a la pantalla “Control de Iluminación”.

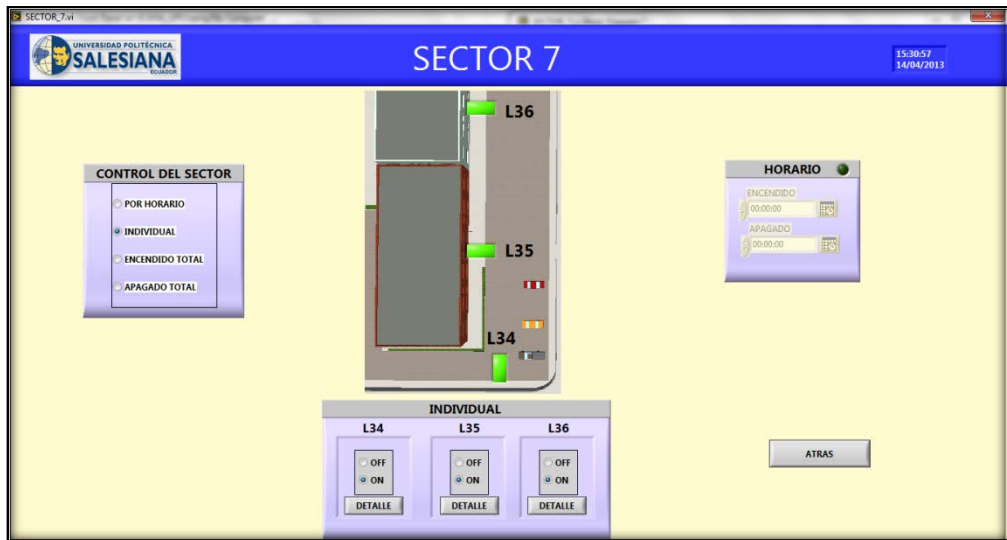


Fig. 3.35 Sector 7 “Entrada Principal a la Iglesia”²⁵¹

Sector 8

El sector 8 representa el callejón del subsuelo del edificio principal y el acceso desde la portería. Posee 4 luminarias distribuidas en el área (L31, L32, L33).

Para el control del sector se debe escoger entre las opciones de control por horario, individual, encendido total y apagado total. Con el botón “ATRÁS”, se regresa a la pantalla “Control de Iluminación”.

²⁵⁰ Autores
²⁵¹ Ídem

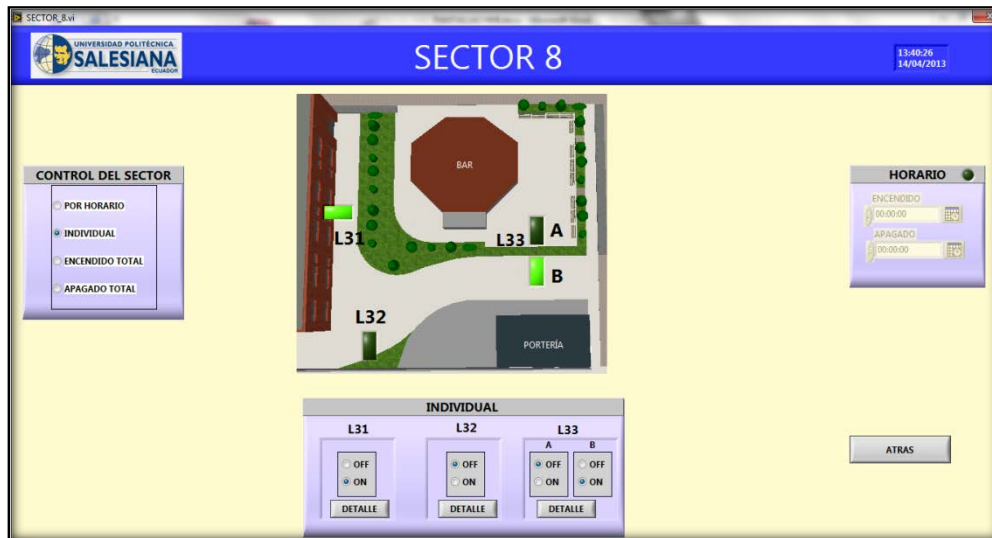


Fig. 3.36 Sector 8 “Subsuelo Edificio Administrativo”²⁵²

Para detallar la programación de los sectores se toma como referencia al Sector 5 que es el de Ingreso al Campus. Dentro del proceso de cada luminaria encontramos la configuración para la comunicación del centro de control con cada dispositivo de la red.

La comunicación es del tipo serial, transmitida por medio del emisor inalámbrico al receptor. Con esto se puede realizar el encendido y apagado de la lámpara de forma inalámbrica.

Por medio de la selección en el menú de control de la lámpara se emite la señal que se transmite a través del puerto serial COMM23 enviando el dato hacia la tarjeta de control, la cual realiza la acción de encendido y apagado, independiente a esto, regresa un dato que es receptado por el serial del estado en el que se encuentra la lámpara para poder realizar el monitoreo.

A todo momento se recibe información del estado de las lámparas para conseguir un monitoreo en tiempo real.

En la figura 3.34 se muestra la programación del control una lámpara.

²⁵² Autores

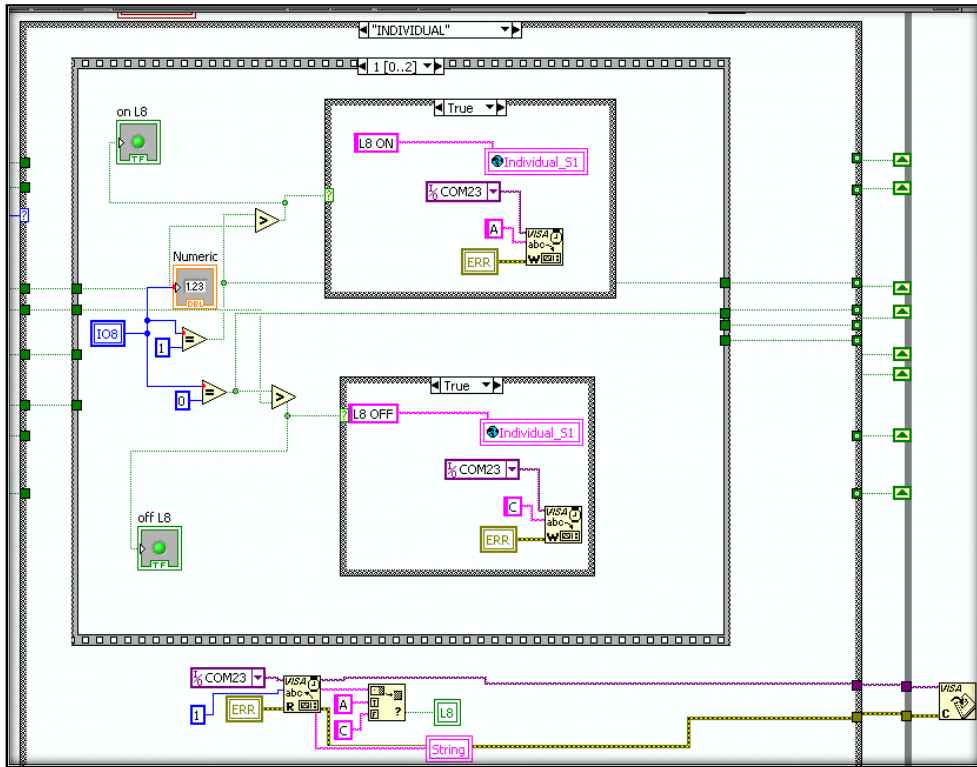


Fig. 3.37 Programación de Control de Iluminación una lámpara²⁵³

Para verificar registrar las acciones de la lámpara se almacena los estados en una base de datos. Todos los eventos realizados en el proceso del control son registrados por medio de variables locales hacia la base de datos, registrando así todo lo realizado. En la figura 3.35 se muestra la programación para la escritura y lectura de las variables del comportamiento de la lámpara en la base de datos.

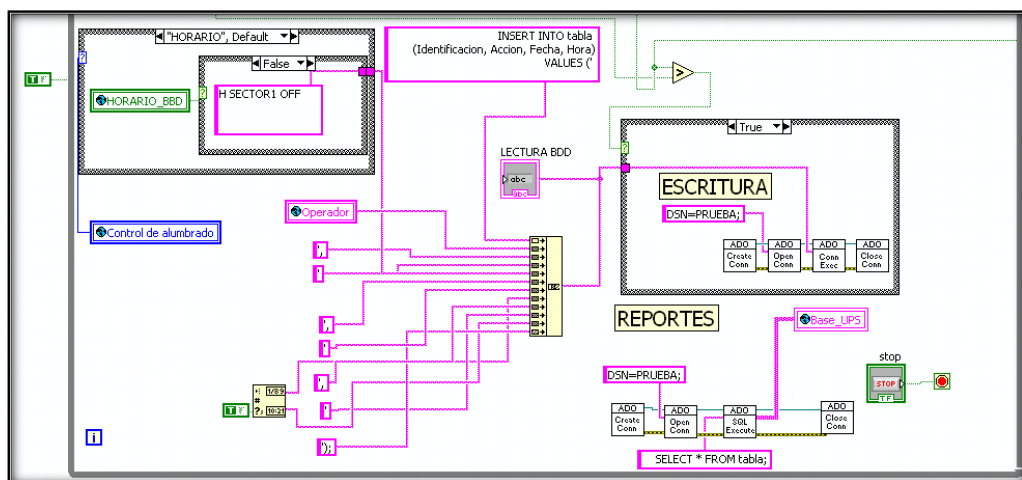


Fig. 3.38 Programación de Registro de estados de lámpara 8 en Base de Datos.²⁵⁴

La escritura se realiza cuando existe un nuevo evento, ya sea cuando se enciende o se apaga una luminaria y envía un conjunto de strings a la base de datos (Identificación, Acción, Fecha, Hora).

NOTA: La programación es la misma para todos los sectores.

3.3 BASE DE DATOS

Todo sistema SCADA debe estar orientado a tener respaldos de los eventos que suceden dentro de un proceso de automatización. La base de datos nos va a permitir almacenar todos los acontecimientos de encendido y apagado realizados dentro del sistema de iluminación, teniendo un registro de actividades de lo ocurrido, con fecha, hora y persona encargada del manejo del sistema. [32]

3.3.1 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para la realización de la base de datos se debe crear un archivo donde se almacenen los estados de las variables a controlar en Microsoft Access. En este archivo se almacenará toda la información proporcionada por el SCADA para constar con el registro de actividades.

En Access se crea la base de datos con el nombre “BASE1”, y se guarda la tabla a utilizar la cual registrará todos los eventos que envíe Labview.

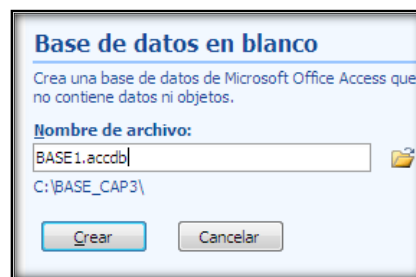


Fig. 3.39 Creación de Base de Datos. ²⁵⁵

Dentro de la tabla se crean los campos de “Identificación”, “Acción”, “Fecha” y “Hora”, donde se almacenan los estados de las variables.

²⁵⁴ Autores
²⁵⁵ Ídem

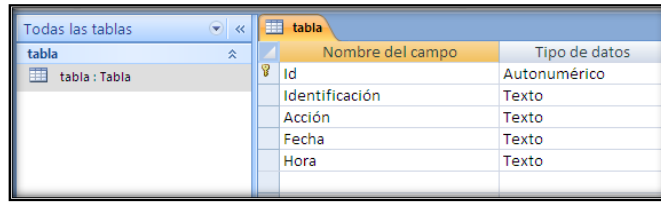


Fig. 3.40 Creación de Campos dentro de la Base de Datos.²⁵⁶

Para la interface de Labview -Base de datos Access, se necesita un enlace que se debe configurar en Orígenes de Datos ODBC.

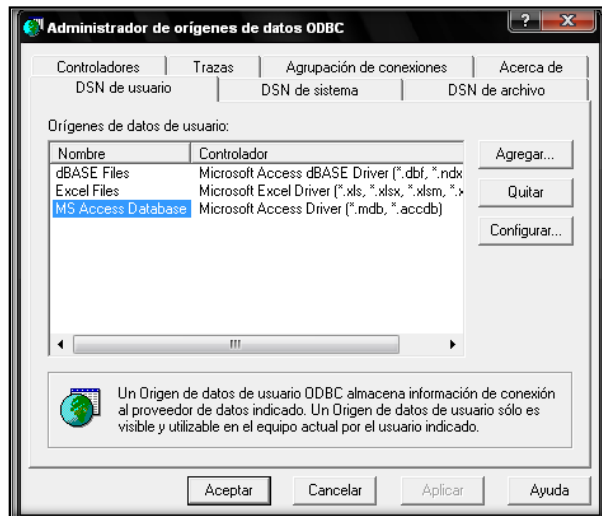


Fig. 3.41 Creación de enlace Labview-Base de Datos.²⁵⁷

Se selecciona la opción MS Access Database y se da un click en agregar. En la figura 3.41 se muestra el menú completo de origen de datos.

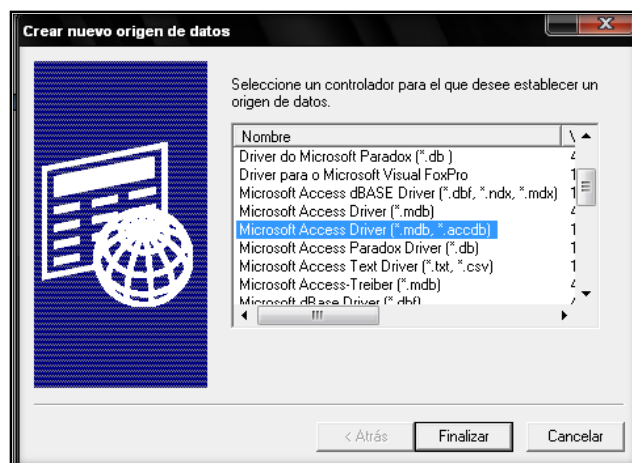


Fig. 3.42 Listado de Origen de datos.²⁵⁸

²⁵⁶ Autores

²⁵⁷ Ídem

Dentro del listado de orígenes de datos se selecciona Microsoft Access Driver (*.mdb, *.accdb) y se da un click en finalizar.

Aparece enseguida el menú de Configuración de ODBC Microsoft Access, donde se asigna el nombre al enlace.

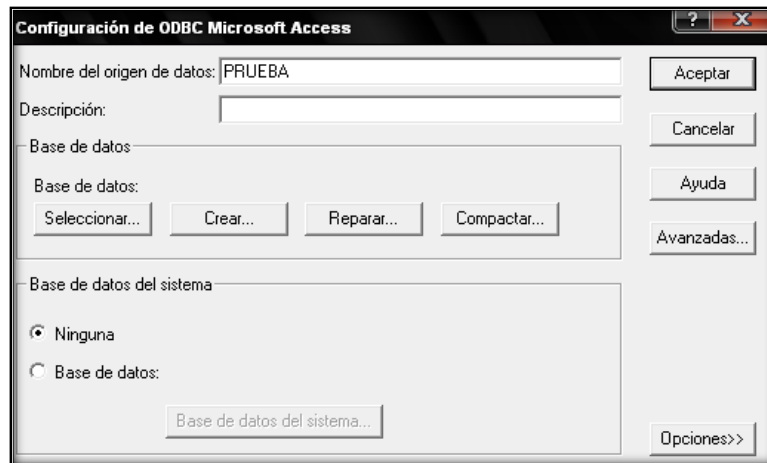


Fig. 3.43 Creación del nombre de Enlace y direccionamiento de Base de Datos.²⁵⁹

En la figura 3.42 en el sub menú Base de Datos se da un click en el botón Seleccionar para realizar el direccionamiento del archivo creado para la base de datos.

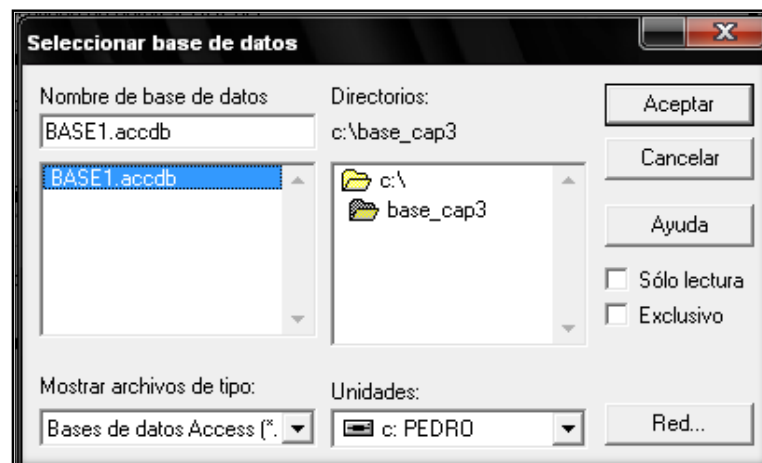


Fig. 3.44 Selección de la ubicación del archivo para la Base de Datos.²⁶⁰

²⁵⁸ Autores
²⁵⁹ Ídem
²⁶⁰ Ídem

3.3.2 BASE DE DATOS EN LABVIEW

La opción Históricos en el Menú Principal del sistema nos dirige a la base de datos creada para el SCADA.

Nro	Usuario	Acción	Fecha	Hora
254	OPERADOR2	HOR SI OFF	10/04/2013	20:24:10
255	OPERADOR2	HOR SI ON	10/04/2013	20:24:26
256	OPERADOR2	HOR SI OFF	10/04/2013	20:24:35
257	OPERADOR2	L26B OFF	10/04/2013	20:26:58
258	OPERADOR2	L26A ON	10/04/2013	20:27:14
259	OPERADOR2	L26A OFF	10/04/2013	20:27:22
260	OPERADOR2	L26A ON	10/04/2013	20:27:25
261	OPERADOR2	L26A OFF	10/04/2013	20:27:28
262	OPERADOR2	L26B ON	10/04/2013	20:27:29
263	OPERADOR2	L26B OFF	10/04/2013	20:27:31
264	OPERADOR2	SI ON	10/04/2013	20:27:37
265	OPERADOR2	SI OFF	10/04/2013	20:27:40
266	OPERADOR1	SI ON	10/04/2013	20:29:32
267	OPERADOR1	SI OFF	10/04/2013	20:29:34
268	OPERADOR1	L26B OFF	11/04/2013	22:01:22
269	OPERADOR1	SECTOR1 ON	11/04/2013	22:01:26
270	OPERADOR1	H SECTOR1	11/04/2013	22:01:32
271	OPERADOR1	SECTOR1 ON	12/04/2013	2:29:32
272	OPERADOR1	L26B OFF	12/04/2013	2:30:02

SIMBOLOGÍA	
L26A ON	LUMINARIA 26A ENCENDIDA
L26A OFF	LUMINARIA 26A APAGADA
SECTOR1 ON	SECTOR 1 ENCENDIDO
SECTOR1 OFF	SECTOR 2 APAGADO
H SECTOR1 ON	SECTOR 1 ENCENDIDO POR HORARIO
H SECTOR1 OFF	SECTOR 1 APAGADO POR HORARIO

Fig. 3.45 Históricos. ²⁶¹

En la figura 3.44 se muestra la base de datos del sistema, con el registro de las variables a controlar.

El registro de históricos lee todas las acciones provenientes de la base creada en Access mediante la programación de cada luminaria que se muestra en la figura 3.37.

Es decir, todas las acciones o eventos que se realizan en el control de iluminación del SCADA se escriben en la Base de Datos creada en Access, y a la vez se actualiza el reporte en la pantalla de Históricos.

La variable global Base_UPS es la que adquiere todos los datos desde las luminarias, y escribe dentro de la tabla de la pantalla de Históricos. Por medio de la opción Excel Report, se puede generar un archivo de respaldo que las personas encargadas del sistema tienen acceso para verificar la correcta operación o posibles problemas detectados en función del operador. [33]

En la figura 3.45 se muestra la programación realizada.

²⁶¹ Autores

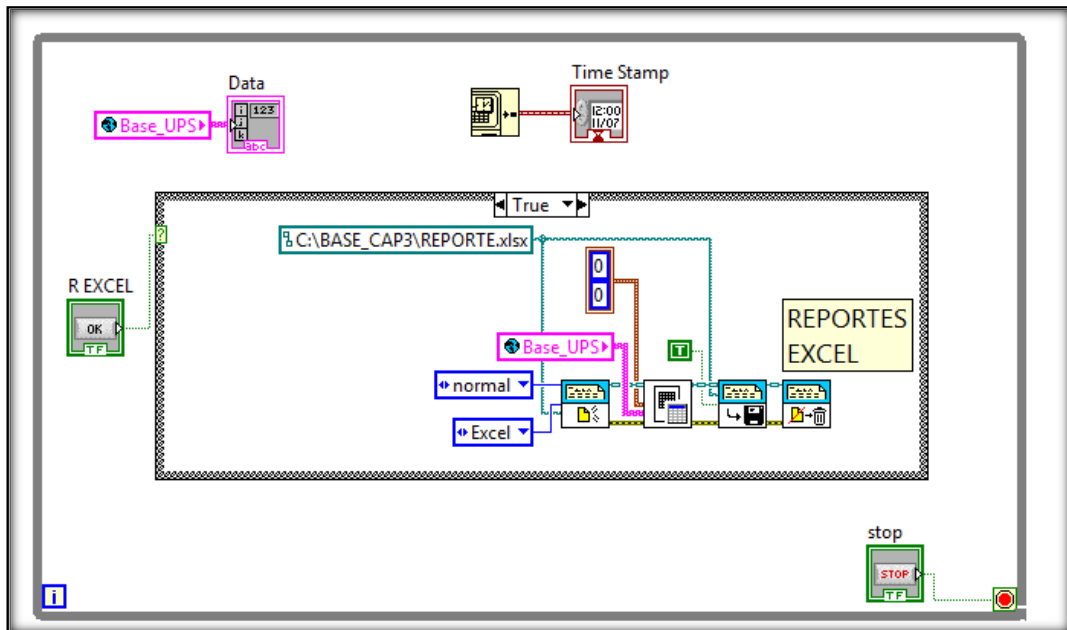


Fig. 3.46 Programación de pantalla Históricos.²⁶²

Por medio del botón “REPORTE EXCEL” en la pantalla de Históricos se puede acceder al archivo de registro.xlsx.

3.4 COMUNICACIÓN

El sistema de comunicación es el que permite enlazar los dispositivos de una red al centro de control de la misma. Para este caso el sistema de comunicación está dado por ZigBee.

Los módulos XBee permiten realizar un enlace inalámbrico entre cada punto de la red y el control maestro. Se necesita realizar la configuración de los equipos por medio del software propio de XBee antes de armar la red.

3.4.1 ARQUITECTURA DE ZIGBEE

Zigbee está basado en el Sistema de Interconexión Abierta, modelo OSI, el cual es una normativa creada por la organización internacional de estándares que define las diferentes etapas por las que debe pasar un banco de datos para viajar de un elemento de comunicaciones a otro en una red establecida, fundamentada en siete capas, con el objetivo de garantizar que un sistema basado en él cumpla con niveles de funcionalidad y eficiencia para el enlace entre dispositivos.

²⁶² Autores



Fig. 3.47 Capas del Modelo OSI²⁶³

Las capas del modelo OSI simplificado con las que ZigBee cumple son las siguientes:

- Capa Física
- Capa de Enlace de Datos
- Capa de Red
- Capa de Perfil de Aplicación
- Capa de Aplicación

La Capa Física y la Capa de Enlace están definidas por el protocolo IEEE 802.15.4 propia de ZigBee, y son las que realizan la función de transmisión de datos utilizando el aire como el medio físico.

Tiene 16 canales disponibles y trabaja en un rango de 2,4 Ghz, la transmisión por el aire llega hasta los 250 kbps en rangos de distancia variados que van desde pocos metros hasta grandes extensiones, todo esto dependiendo el equipo y del entorno donde se utilice.

La parte de la capa de enlace de datos permite además realizar un barrido de posibles errores en la capa física, y permite la interfaz con el nivel de red, proporcionándole un enlace libre de errores. Esta capa se encuentra dividida en la subcapa MAC (Control de Acceso al Medio) y la subcapa LLC (Control de Enlace

²⁶³ <http://aprendiendo-informatica-elizabethruiz.blogspot.com/2012/11/modelo-ositcp.html>

Lógico), las que permiten que el envío de datos sea el correcto, evitando que exista un choque de datos ya que verifica primero el punto a donde va a transmitir determinando el canal libre antes de realizar el envío.

La capa de red es la que define la estructura y funcionamiento de la misma, enruta y controla los paquetes de datos hacia otros puntos de la red, envía de forma direccionada las instrucciones en forma de paquetes a la parte de enlace o al transporte incluido en la capa de perfil de aplicación. Determina la topología de la red que puede ser de tipo árbol, estrella o malla que es lo que soporta ZigBee,

La capa de soporte de aplicación es la encargada de gestionar las aplicaciones y la función de cada dispositivo que forma parte de la red, filtra paquetes de datos, mantiene el enlace entre dispositivos fundamentales de la red, gestiona el vicio de datos al simplificar el trayecto de transmisión por los nodos. La capa de soporte de aplicación y la capa de red están definidas bajo ZigBee Alliance.

La capa de aplicación se refiere directamente a la aplicación del ZigBee en el proceso y la cual está definida por los fabricantes de la red. En la capa de aplicación se define el rol de los dispositivos, es decir quién actuará como Coordinador, Router o End Device, cada uno de estos dispositivos tienen el nombre de ZigBee Device Objects (ZDO), los cuales están distribuidos a lo largo de la red creada.

Todo el sistema se encuentra conectado por medio de interfaces tanto de control como de datos. Desde el nivel más alto al más bajo se solicitan requerimientos de servicios y la respuesta son los resultados aplicados.

3.4.2 X-CTU

El software X-CTU es un programa desarrollado por la empresa Digi de forma gratuita, con el objetivo de difundir el uso de dispositivos XBee así como su manejo y operación. Este programa permite la configuración de los dispositivos de una red asignando los parámetros adecuados que posibiliten el funcionamiento de acuerdo a los requerimientos del programador o del operador. El programa permite realizar varias pruebas por medio de sus aplicaciones para verificar los dispositivos asociados a la red que se ha creado. Trabaja bajo el sistema operativo de Windows.

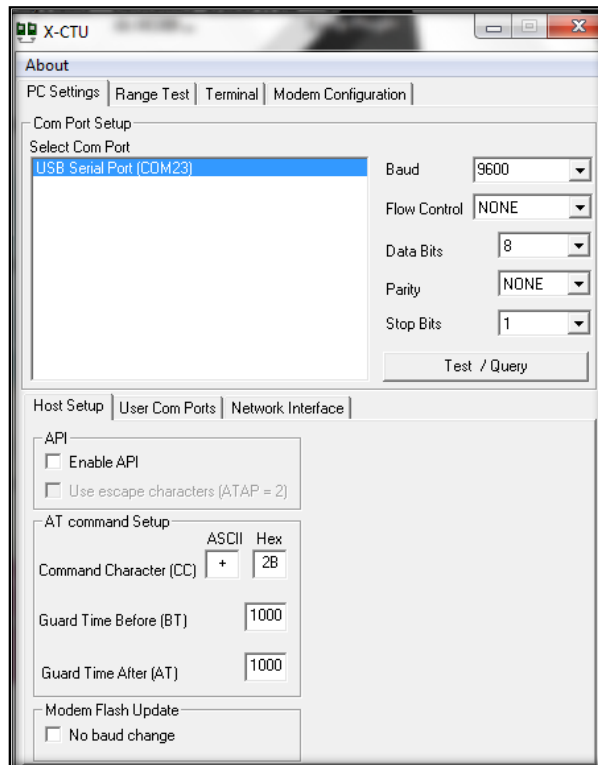


Fig. 3.48 Pantalla Inicial del Software²⁶⁴

En la pantalla principal que aparece al iniciar el programa se puede destacar 4 pestañas importantes.

- PC Settings
- Range Test
- Terminal
- Modem Configuration

PC Settings

Esta pantalla es la que aparece por defecto al inicio del programa. En el menú PC Settings se selecciona el puerto de comunicaciones para la aplicación además de la velocidad de transmisión que viene dada por defecto. También se puede realizar una prueba de verificación del equipo conectado por medio del botón Test/Query.

²⁶⁴ Software X-CTU 5.1.41

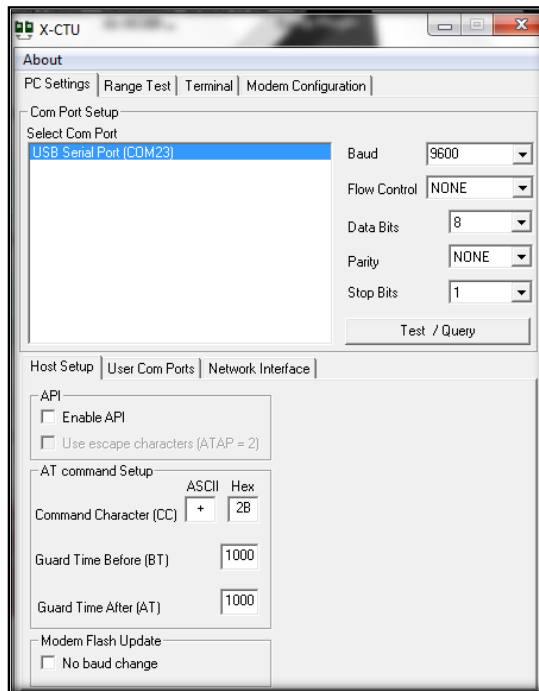


Fig. 3.49 Menú PC Settings²⁶⁵

Si el dispositivo se encuentra conectado, se informa al usuario comunicación correcta e indica el tipo de equipo enlazado al sistema y la versión que utiliza.

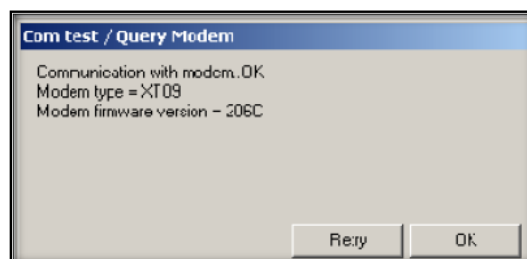


Fig. 3.50 Com Test, Prueba de Conexión²⁶⁶

Range Test

Esta opción es exclusiva para realizar pruebas de comunicación de los dispositivos. En el menú Range Test se muestra el valor RSSI (*Receive Signal Strength Indication*), que es un valor que muestra la potencia de la señal recibida, con este parámetro se puede realizar pruebas de posicionamiento de los dispositivos asociados a la red.

²⁶⁵ Software X-CTU 5.1.41

²⁶⁶ Ídem

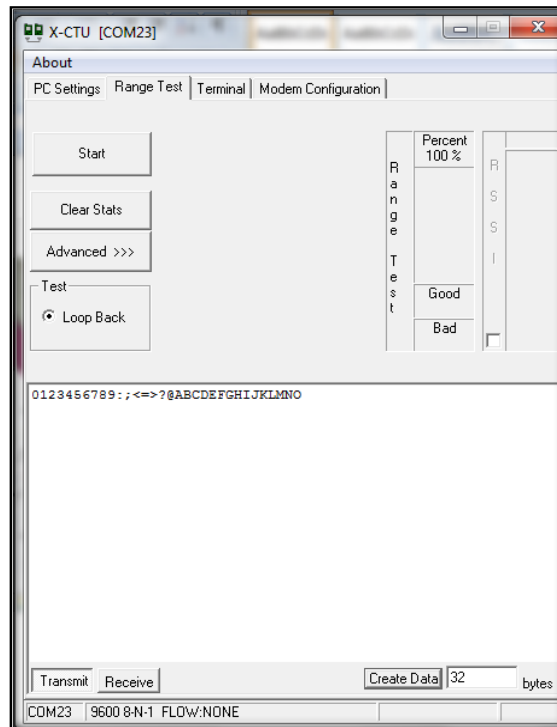


Fig. 3.51 Menú Range Test²⁶⁷

Terminal

Como su nombre lo indica, esta es una terminal de donde se puede enviar datos al dispositivo y viceversa, se puede realizar configuraciones y pruebas por medio del envío y recepción de datos. La comunicación con otros dispositivos ZigBee es por medio del aire. Los datos enviados y recibidos se verán reflejados en la pantalla del terminal.

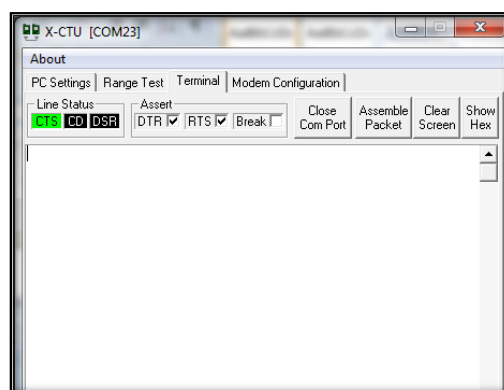


Fig. 3.52 Menú Terminal²⁶⁸

²⁶⁷ Software X-CTU 5.1.41

²⁶⁸ Ídem

En la Figura 3.49 se puede observar los dispositivos conectados en la red por medio de comandos de confirmación.

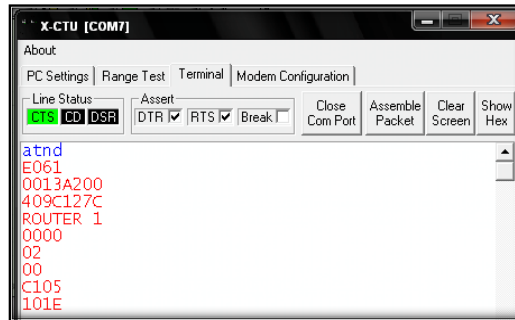


Fig. 3.53 Prueba de Terminal, Dispositivos conectados a la Red²⁶⁹

Mediante la instrucción “atnd” se observa todos los elementos que están conformando la red. Es una manera de verificar que los dispositivos estén enlazados.

Modem Configuration

Se utiliza para configurar el dispositivo de una forma directa y fácil de acuerdo a los requerimientos de la red. Permite también observar la configuración de algún dispositivo que haya sido configurado con anterioridad. La opción Read permite la lectura del dispositivo conectado a la PC por medio del USB/Serial.

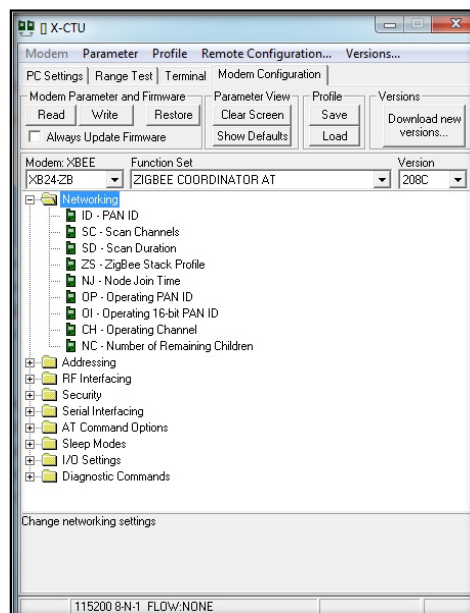


Fig. 3.54 Menú Modem Configuration²⁷⁰

²⁶⁹ Software X-CTU 5.1.41

3.4.3 CONFIGURACIÓN DE LA RED

Por medio del X-CTU se procede a realizar la configuración de la red. El funcionamiento del sistema del campus va a estar en topología árbol. En toda red ZigBee existen 3 tipos de dispositivos estándar definidos por la misma red que son: Coordinador, Router y End Device. [7]

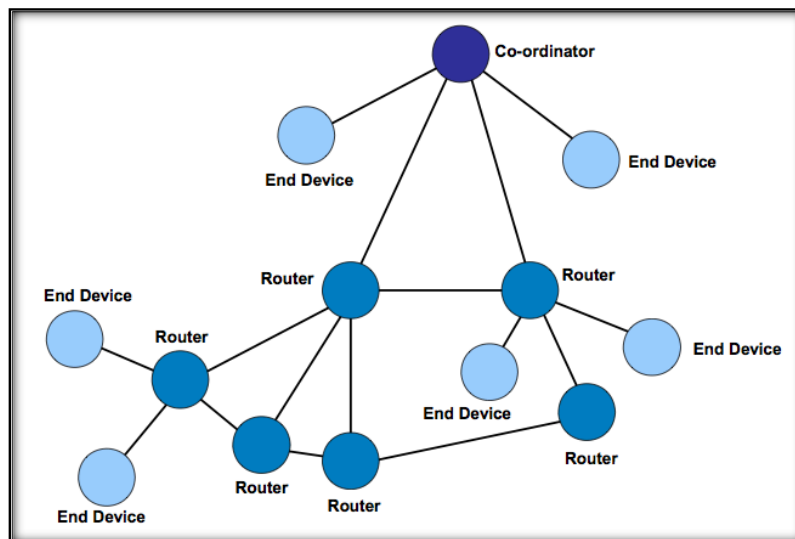


Fig.3.55 Distribución de dispositivos en una red ZigBee común²⁷¹

Para que la red sea funcional necesita tener la configuración adecuada como se detalla a continuación:

- Designar la función a los dispositivos, es decir quién va actuar como Coordinador, quien como Router o End Point. Cada uno de los dispositivos debe estar configurado entonces de una u otra forma.
- El coordinador es el dispositivo que se enlaza vía comunicación serial con el servidor para transmitir y recibir datos inalámbricamente de los routers o End Devices. Debe existir al menos uno por red. Inicia la configuración de la red y selecciona la frecuencia del canal a ser usado.
- El router es el elemento de campo el cual recepta y transmite información y puede comunicarse inalámbricamente con un coordinador, router o un End Device. Enruta mensajes entre dispositivos y soporta asociaciones. No puede permanecer en estado sleep.

²⁷⁰ Software X-CTU 5.1.41

²⁷¹ <http://blog.cilab.es/2011/04/prototipado-rapido-con-arduino-y-redes-zigbee-pro/>

- El End Device es el dispositivo que se puede comunicar con un coordinador o un router, pero no con otro dispositivo End Device. Se encuentra al final de la cadena o a los extremos de la red. Puede estar dormido la mayor parte del tiempo. En la figura 3.52 se designa el Coordinador, Router y el End Device.

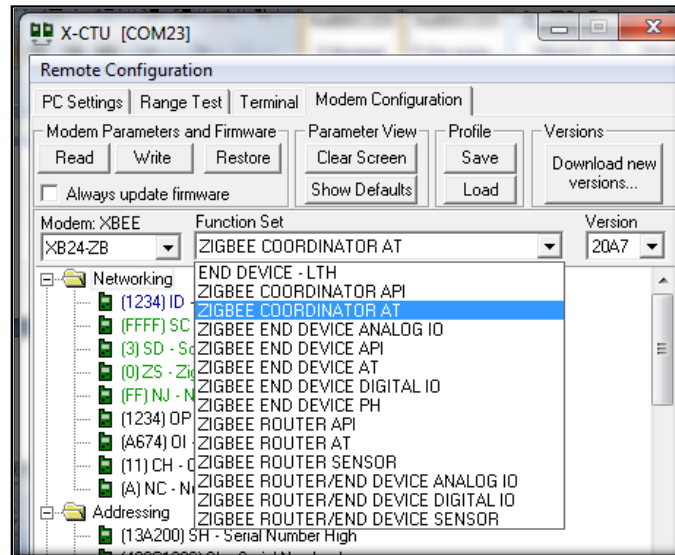


Fig. 3.56 Configuración de Dispositivos²⁷²

- Agregar un nombre a la red. Es importante que todos los dispositivos tengan el mismo identificador de red para que se puedan comunicar entre sí, el **PAN ID**, en nuestro caso es “1234” para todos los dispositivos.

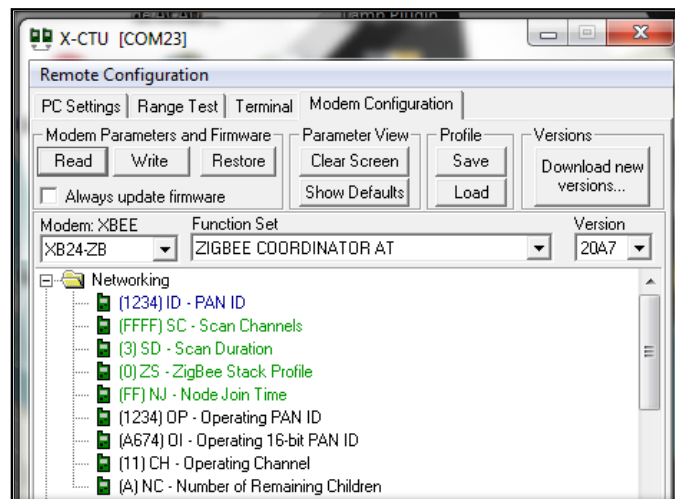


Fig. 3.57 Configuración de Red²⁷³

²⁷² Software X-CTU 5.1.41

- Dar un nombre a cada dispositivo por medio del **NI**, el Node Identifier, que es el que permite asignar un nombre para poder realizar envío de datos específicos a cada dispositivo.

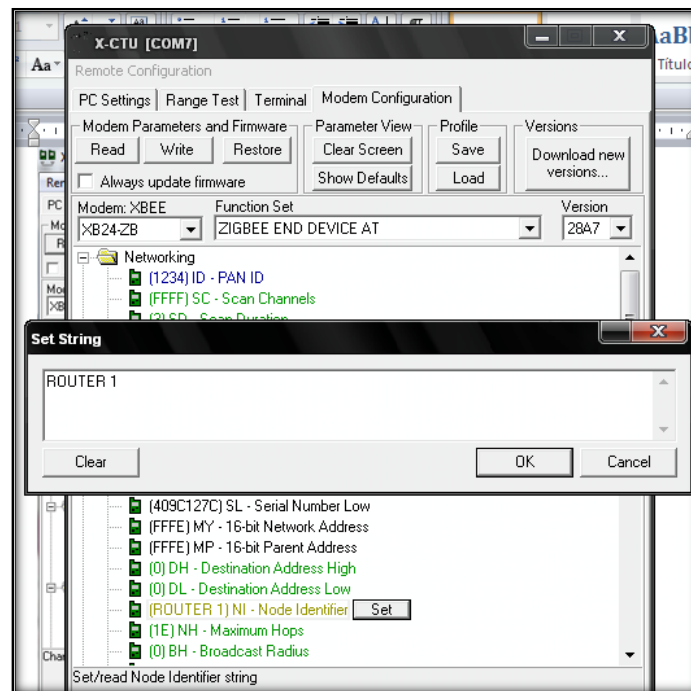


Fig. 3.58 Identificación de Dispositivo NI²⁷⁴

3.4.3 .1 RED DEL SISTEMA DE ALUMBRADO DEL CAMPUS KENNEDY

Para el sistema del Campus Kennedy se utilizará 50 módulos XBee Pro, de los cuales uno será el COORDINADOR conectado al computador del centro de control por medio del explorador XBee, que estará ubicado en la garita de seguridad del acceso principal. Todos los demás módulos se comunicarán serialmente con las tarjetas de control.

Además existirán tres módulos que serán ROUTERS ubicados en la luminaria 9 y 15 y 34, el resto serán End Device ubicados en cada lámpara del sistema de alumbrado.

Los routers y los End Devices enviarán y recibirán información tanto de la red establecida, como de la tarjeta de control para que el sistema de control cumpla con las instrucciones de encendido y apagado de las luminarias.

²⁷³ Software X-CTU 5.1.41

²⁷⁴ Ídem

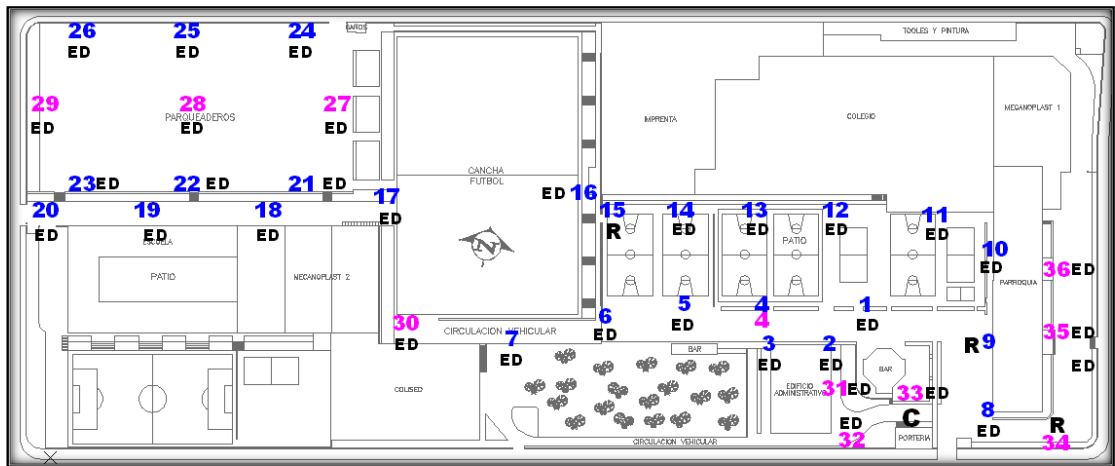


Fig. 3.59 Distribución de dispositivos ZigBee en el Campus Kennedy²⁷⁵

C: Coordinador

R: Router

ED: End Device

²⁷⁵ Autores

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ESTUDIO TÉCNICO

Resumen Ejecutivo

La Universidad Politécnica Salesiana en la actualidad cuenta con alumbrado público que funciona con tecnología de sodio. Existen 24 lámparas de 250W y 12 de 400W sumando un total de 36 lámparas distribuidas en todo el campus Kennedy.

De lunes a viernes el encendido de todo el conjunto de lámparas es de 18:30 a 21:30 horas, mientras que los fines de semana se encienden ciertos sectores 18:30 a 20:30 horas.

Para un futuro cambio a tecnología LED no existen indicadores que detallen una posible aplicación al campus de forma beneficiosa.

Es indispensable que la universidad cuente con un sistema de iluminación eficiente, que cumpla con estándares nacionales e internacionales, razón por la cual es necesario evaluar el sistema actual para corroborar estos requerimientos antes de pensar en un sistema que cuente con nueva tecnología.

Es necesario realizar un estudio de todo el sistema de alumbrado público enfocado a dos partes fundamentales: sistema eléctrico y niveles de iluminación.

En el sistema eléctrico se analizará que los parámetros eléctricos estén dentro del rango de operación normal establecidos por normas y se realizará una inspección física de la infraestructura de las instalaciones eléctricas.

En cuanto a los niveles de iluminación se analizará si se cumple con los niveles mínimos requeridos en áreas de circulación peatonal y vehicular. Para ello, se realizará mediciones de iluminancia bajo normativas como la CIE140-2000 y RTE INEN 069.

Si el sistema de alumbrado cumple con todos los requerimientos, se estudiará la opción de implementar lámparas LED para el alumbrado público del campus, caso contrario se propondrá correctivos al sistema actual.

Para la proyección de lámparas LED en el campus, se utilizará el software Dialux para determinar si cumple con los niveles de iluminación mínimos requeridos. [34]

Problema

El sistema eléctrico de iluminación actual del campus Kennedy tiene limitaciones en el funcionamiento, lo cual hace necesario un correctivo para que trabaje y opere adecuadamente. [35]

Se han identificado puntos críticos que se mencionan a continuación:

- ✓ De 36 lámparas existentes sólo funcionan 28.
- ✓ El encendido de las luminarias no está sujeto a un horario definido y programado.
- ✓ El sistema de alumbrado no posee un control basado en el ahorro, seguridad, guías visuales, optimización de recursos.
- ✓ Existen sectores de circulación vehicular y peatonal que poseen poca iluminación infringiendo los niveles de iluminación mínimos requeridos.
- ✓ La uniformidad general de iluminancia no se cumple en ningún sector.
- ✓ No existe identificación de tableros, breakers, cables.
- ✓ El cableado está desorganizado y maltratado.
- ✓ No existe un plan de mantenimiento preventivo para las instalaciones eléctricas de todo el campus en general.
- ✓ Existen circuitos sobrecargados en cantidad de lámparas
- ✓ La caída de tensión supera el 7% en los circuitos 1 y 6 lo que está fuera de los parámetros según la norma RTE INEN 069 y CIE 140.

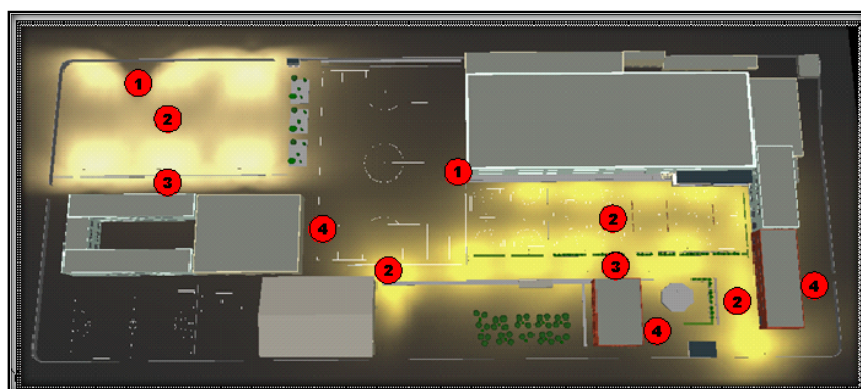


Fig. 4.1 Observaciones del sistema de iluminación actual. ²⁷⁶

²⁷⁶ Autores

Donde:

- 1.- Lámpara fuera de servicio
- 2.- No cumple uniformidad
- 3.- Iluminación deficiente
- 4.- No existe iluminación

Si se quiere observar con detalle los inconvenientes mencionados con anterioridad referirse al Capítulo II numeral 2.2.3 Diagnóstico del Sistema Actual de Iluminación.

Solución

Es necesario que el alumbrado público opere en buenas condiciones para que se garantice un buen servicio a todos los usuarios. A continuación se propone soluciones que beneficiarán al sistema para que el alumbrado preste un servicio de calidad y eficiencia.

- ✓ Mantenimiento preventivo de todos los circuitos y tableros de distribución.
- ✓ Puesta a tierra de estructuras metálicas.
- ✓ División de circuitos sobrecargados considerando el número de lámparas y caída de tensión.
- ✓ Aumento de luminarias en sectores donde no se cumple los niveles adecuados de iluminación tal como se detalla en el capítulo II.
- ✓ Implementación de un sistema de control y monitoreo para conseguir un control centralizado por horario basado en necesidades de seguridad y optimización de recursos. Además deberá tener un control individual de cada lámpara y por sector e informará si una lámpara no está normal funcionamiento. Todos los eventos deberán ser almacenados en una base de datos.

Proyección LED

Para la proyección del sistema de Alumbrado en LED se utiliza la solución planteada en sodio y se reemplaza todas las lámparas por TECEO2 de Schreder, manteniéndose las mismas características del sistema de alumbrado (número de lámparas por luminaria, poste o brazo, material, altura de luminaria, posición georeferenciada). La selección del equipo se realizó en función de criterios para la

selección de una fuente luminosa especificados en RTE INEN 069. Si se quiere observar con detalle la proyección LED referirse al Capítulo II numeral 2.4 Estudio de Red de Alumbrado Público con Lámparas LED.

Para determinar los niveles de iluminación para el sistema de alumbrado público de la UPS campus Kennedy con lámparas LED, se procede hacer la simulación en el programa Dialux.

La aplicación de lámparas LED en el Campus Kennedy cumple los niveles de iluminación requeridos y establecidos por normas y estándares nacionales e internacionales.

	Niveles mínimos requeridos	Niveles alcanzados con LED
Iluminancia (lux)	20	26,67
Uniformidad	40%	48%

*Tabla 4.1 Niveles de Iluminación. Requeridos Vs. Alcanzados con LED.*²⁷⁷

Alumbrado Público en Sodio Vs. LED

El alumbrado público con tecnología LED presenta ventajas y desventajas respecto a la tecnología de Sodio. Se presenta a continuación tres temas de comparación: a) niveles de iluminación, b) Consumo de energía, c) Tecnología de Lámparas

a) Niveles de Iluminación

La iluminación en base a LED presenta una mejor uniformidad de iluminancia que la de sodio en un 8%.

La iluminancia promedio a base de sodio es mayor en un 60% que la iluminación a base de LED.

²⁷⁷ Autores

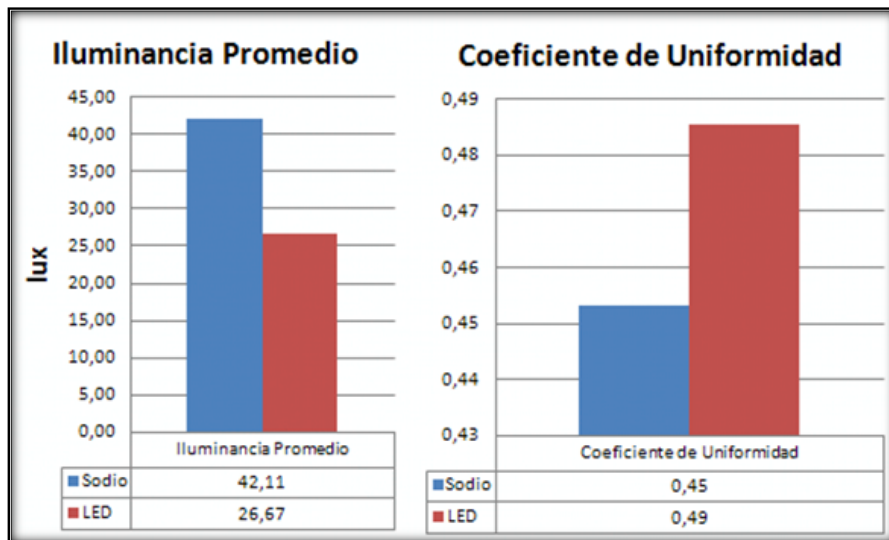


Fig. 4.2 Comparación Niveles de iluminación SodioVs. LED.²⁷⁸

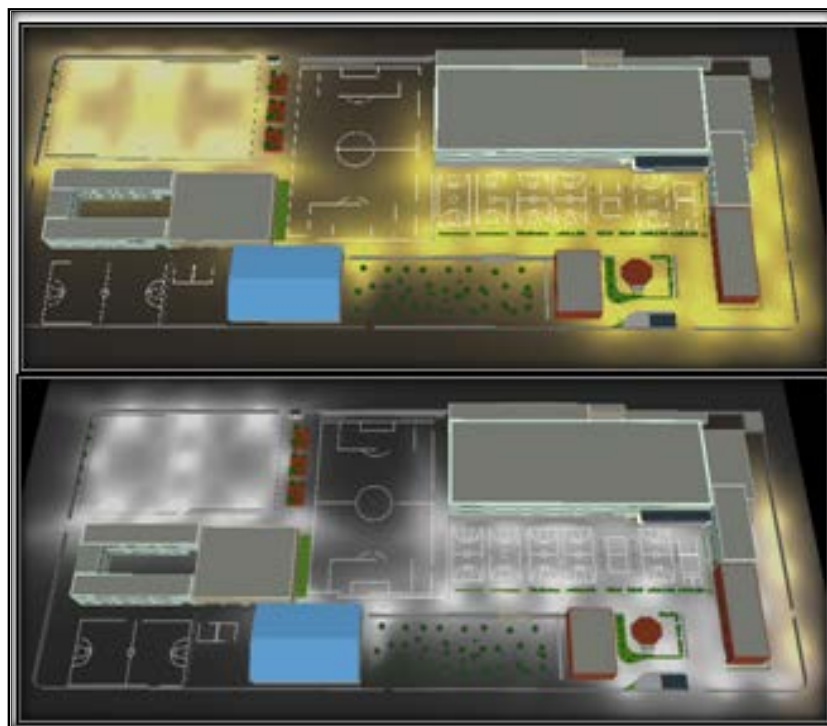


Fig. 4.3 Comparación de Vistas SodioVs. LED.²⁷⁹

b) Consumo de Energía

²⁷⁸ Autores
²⁷⁹ Ídem

El sistema actual de lámparas de sodio adaptado a lámparas LED presenta un ahorro de energía del 45%.

El patrón de funcionamiento actual del encendido de la iluminación es el siguiente (L-V= lunes a viernes, S=sábado, D=domingo):

SODIO							
Descripción	POTENCIA INSTALADA(KW)	HORAS DE CONSUMO					ENERGÍA POR MES CONSUMIDA
		L-V	S	D	SEMANA	MES	
Circuito 1	3,25	15,00	1,50	2,00	18,50	79,55	258,54
Circuito 2	1,00	15,00	1,50	2,00	18,50	79,55	79,55
Circuito 3	0,25	15,00	0,00	0,00	15,00	64,50	16,13
Circuito 4	0,50	15,00	0,00	0,00	15,00	64,50	32,25
Circuito 5	1,50	15,00	0,00	0,00	15,00	64,50	96,75
Circuito 6	5,80	15,00	0,00	0,00	15,00	64,50	374,10
Circuito 7	1,00	15,00	0,00	0,00	15,00	64,50	64,50
Circuito 8	0,75	15,00	1,50	2,00	18,50	79,55	59,66
TOTAL	14,05						981,48

Tabla 4.2 Cálculo de Energía en función de horas de consumo del Campus Kennedy en sodio.²⁸⁰

LED							
Descripción	POTENCIA INSTALADA(KW)	HORAS DE CONSUMO					ENERGÍA POR MES CONSUMIDA
		L-V	S	D	SEMANA	MES	
Circuito 1A	1,11	15,00	1,50	2,00	18,50	79,55	87,98
Circuito 1B	0,95	15,00	0,00	0,00	15,00	64,50	61,15
Circuito 2	0,63	15,00	1,50	2,00	18,50	79,55	50,28
Circuito 3	0,16	15,00	0,00	0,00	15,00	64,50	10,19
Circuito 4	0,32	15,00	0,00	0,00	15,00	64,50	20,38

²⁸⁰ Autores

		0	0	0		0	
Circuito 5	0,95	15,0	0,0	0,0	15,00	64,5	61,15
		0	0	0		0	
Circuito 6A	1,42	15,0	0,0	0,0	15,00	64,5	91,72
		0	0	0		0	
Circuito 6B	1,11	15,0	0,0	0,0	15,00	64,5	71,34
		0	0	0		0	
Circuito 7	0,63	15,0	0,0	0,0	15,00	64,5	40,76
		0	0	0		0	
Circuito 8	0,47	15,0	1,5	2,0	18,50	79,5	37,71
		0	0	0		5	
TOTAL	7,74						532,65

Tabla 4.3 Cálculo de Energía en función de horas de consumo del Campus Kennedy en LED.²⁸¹

El consumo de energía en sodio de un mes en base a la tabla 4.2 y 4.3 está alrededor de 981,48 KWh mientras que en LED es de 532,65 KWh teniendo un ahorro mensual de 448,83 KWh lo que equivale al consumo de energía de 3 casas en un mes.

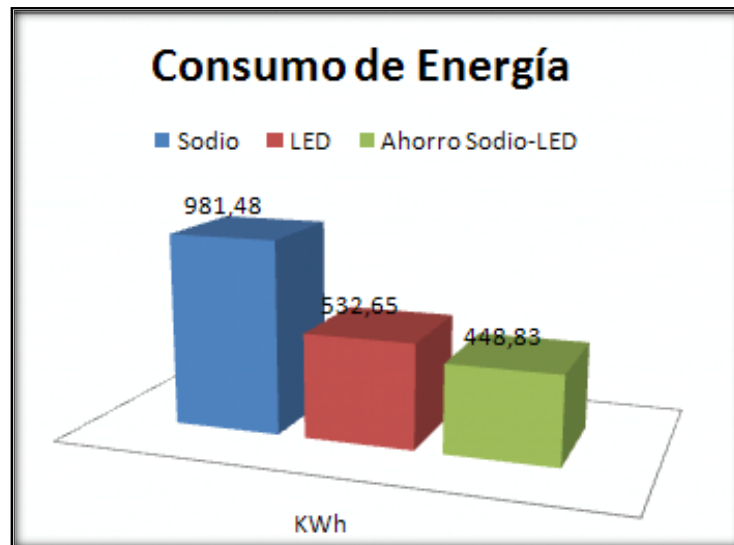


Fig. 4.4 Comparación de Consumo de energía SodioVs. LED.²⁸²

c) Tecnología de Lámparas

Para la selección de lámparas se realizó la evaluación de 3 marcas diferentes que presentaban las características adecuadas para la posible implementación. La selección se determinó según la norma RTE INEN 069, donde se especifica los

²⁸¹ Ídem

²⁸² Autores

puntos a considerar al momento de realizar esta acción, el detalle se muestra en 2.4.1 y 2.4.2.

CARACTERÍSTICAS	LED	SODIO	
Voltaje	90-305	210- 220	VAC
Frecuencia	50-60	60	Hertz
Potencia	158	250	W
Vida Útil (L70)	100000	24000	Hrs
Temperatura de Color	2500- 4100	1900-2200	°K
Tiempo de Encendido	1	180-300	seg
Tiempo de Reencendido	1	30-60	seg
Flujo Luminoso	18200	40000-48000	lm
Eficiencia Luminosa	90	70-130	lm/W
Índice de Reproducción Cromática (IRC)	80	20-25	adim
Contenido de Mercurio	0	reducido	adim
Calor a Disipar	3	37	%
Factor de Potencia	0,98	0,90	adim
Distorsión Armónica Total(THD)	<10	<20	%

*Tabla 4.4 Lámpara Teceo 2 LED vs Lámparas Ámbar Sodio.*²⁸³

Evaluando las características presentadas en la tabla 4.4 se puede decir que:

El rango de voltaje de operación de la lámpara LED es más flexible, garantizando el mismo resultado con variaciones de tensión en la red, sin afectar sus componentes.

El rango de frecuencia de operación de igual manera es más flexible para el caso de la lámpara LED, permitiendo así una mejor operación sin desgaste de componentes de forma prematura.

Existe una reducción de un 37% entre la potencia de la lámpara LED con respecto a la de Sodio, esto se ve reflejado en un menor consumo de energía.

La vida útil de la lámpara LED es ampliamente superior a la lámpara de Sodio. En sodio se tendría una vida útil de 6 años mientras que en LED sería de 25 años.

La temperatura del color es superior en la lámpara LED en comparación con la de Sodio, lo que refleja el tipo de emisión de luz (cálida o fría).

²⁸³ Ídem.

El tiempo de encendido y reencendido de la lámpara LED es inmediato a diferencia de la lámpara de sodio que necesita de un tiempo referencial para poder llegar al punto de operación normal.

El flujo luminoso para la lámpara LED es menor, lo que representa una desventaja importante frente a la lámpara de Sodio, esto se ve reflejado en los niveles de iluminación.

La eficiencia luminosa de la lámpara LED es menor que la eficiencia de la lámpara de Sodio, ya que depende directamente del flujo luminoso.

El índice de reproducción cromática es ampliamente superior para la lámpara LED, lo que permite una mejor definición de colores reales de los objetos.

El contenido de mercurio es nulo para lámparas de LED a diferencia de lámparas de Sodio que poseen este elemento contaminante en su composición.

El calor a disipar es casi nulo para lámparas LED, no así para la lámpara de Sodio que si presenta este inconveniente de manera elevada.

El factor de potencia que proporciona el fabricante para ambos casos se encuentra dentro de los parámetros mínimos exigidos por la norma ITC-BT-09. Se puede notar que la lámpara LED tiene mejor factor de potencia.

El impacto a la red que proporciona el fabricante (THD) es menor para la lámpara LED en comparación con la de Sodio.

El análisis comparativo realizado para los dos tipos de lámparas ha sido evaluado bajo una misma marca que es Schreder.

Sistema SCADA

El SCADA del alumbrado público del campus Kennedy permite controlar y monitorear el estado de encendido y apagado de todas las lámparas que conforman el sistema de iluminación de la universidad, con lo cual se podrá pensar en un ahorro energético interviniendo en los horarios de consumo y en la sectorización de los encendidos.

El sistema de control automático ON/OFF actúa sobre cada luminaria y sector, con la capacidad de ser operado de forma remota y automática a través de un HMI en donde se presenta las opciones de control individual de cada lámpara o sector y

además permite el ingreso de un horario de encendido y apagado establecido por el usuario.

Para el control y monitoreo de forma remota, se utiliza la tecnología ZigBee, la cual es capaz de enviar y recibir información de forma inalámbrica y se ajusta perfectamente al diseño del sistema por la baja tasa de envío de datos. Además ahorra la inversión en cable y lo que significaría los costos de mano de obra en la construcción de la red de datos.

Éste sistema además permite almacenar eventos de encendido y apagado de cada luminaria en una base de datos, teniendo un respaldo de información en un archivo de Excel.

Características

- ✓ Control y monitoreo inalámbrico.
- ✓ Acceso al sistema por identificación de usuario y contraseña.
- ✓ Control individual de cada luminaria y sector.
- ✓ Detalle de cada luminaria (espectro fotométrico, ficha técnica, altura, posición georeferenciada).
- ✓ Almacenamiento de eventos de cada luminaria o sector, informando usuario, fecha y hora del evento.
- ✓ Encendido y apagado automático por control de horario.
- ✓ Reportes de eventos presentados en un archivo de Excel.

Descripción	LUTRON GRAFIX 7000	LEVITON LUMAGRAPHERICS	SCADA AP UPS
Sistema	eLumen Manager	Lumagraphics	Labview
Acceso	Personalizado con contraseña	Personalizado con contraseña	Personalizado con contraseña
Control	Por Circuito	Por Lámpara y Sector	Por Lámpara y Sector
Comunicación	Alámbrica	Inalámbrica RF	Inalámbrica RF ZigBee
Control Automático	Por Horario	Por Horario	Por Horario
Paneles de Control	Interruptores (12-24-36)	Relés (8-12-24-36)	Tarjeta de control (1)
Registros de Eventos	Si	Si	Si

Tabla 4.5 Comparación del Sistema Propuesto vs Marcas Comerciales.²⁸⁴

Sistema de Comunicación

Por las condiciones del sistema y por la aplicación, la comunicación se ha realizado mediante protocolo de comunicación ZigBee, los módulos utilizados son los XBee PRO S2, por su bajo costo, su distancia de operación además de su apertura en el mercado y su bajo consumo de energía, poseen un software propio que permite realizar las configuraciones necesarias para la red y es de acceso libre.

No requiere de muchos componentes externos para su funcionamiento y no requiere demasiado espacio físico, además de su facilidad de integración a un sistema. Se puede adaptar a modificaciones futuras en el caso de ser requerido. Los módulos XBee cumplen con el nivel de datos manejados en el sistema de forma satisfactoria y cumplen con el estándar IEEE 802.15.4.

Descripción	PLC (Power Line Communication)	ZigBee
Medio de Transmisión	Red Eléctrica	Aire
Alcance	100 m	1500m
Estándar	No posee	IEEE 802.15.4
Consumo de Energía	medio	mínimo
Autonomía de Red	Depende de red eléctrica	si
Complementos	adaptadores de red	no

Tabla 4.6 Comparación de ZigBee vs PLC.²⁸⁵

4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

En este punto se verificará los costos de inversión y la rentabilidad que presentaría la implementación de un sistema de alumbrado con lámparas LED y un sistema SCADA para la Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy. [36]

Para un mayor campo de análisis, se comparará dos tipos de lámparas LED que difieran en precio.

Ahorro de Consumo

²⁸⁴ Autores

²⁸⁵ Autores

Para el cálculo del ahorro de consumo entre las lámparas de VSAP y LED, se considera un consumo de 12 horas diarias de todas las lámparas que conforman el alumbrado público.

SODIO	N° Lámparas	Potencia total (kW)	Energía al día consumida Ed (kWh)	Energía al mes consumida Em (kWh)
SODIO 400W	12	4,8	57,6	1733,76
SODIO 250W	37	9,25	111	3341,10
TOTAL	49	14,05	168,60	5074,86

Tabla 4.7 Potencia y energía de Lámparas de Sodio. ²⁸⁶

Para el caso LED se tiene 49 lámparas de 158W, las cuales equivalen a las 49 lámparas de sodio en términos de niveles de iluminación.

LED	N° Lámparas	Potencia total (kW)	Energía al día consumida Ed (kWh)	Energía al mes consumida Em (kWh)
TOTAL	49	7,742	92,90	2796,41

Tabla 4.8 Potencia y energía de Lámparas LED. ²⁸⁷

$$\text{Ahorro}[kWh] = Em \text{ Sodio} - Em \text{ LED}$$

$$\text{Ahorro}[kWh] = 5074,86 [kWh] - 2796,41[kWh]$$

$$\text{Ahorro}[kWh] = 2278,45 [kWh]$$

Para calcular el ahorro monetario mensual se considera el Pliego Tarifario Vigente de la Empresa Eléctrica Quito. En este documento se especifica el cálculo de la tarifa de pago.

Se ignoran los ítems de demanda, comercialización y bomberos porque el consumo de energía no interviene en estos rubros.

RUBROS	VALOR UNITARIO	CANTIDAD [kWh]		TOTAL [\$]	
		SODIO	LED	SODIO	LED
CONSUMO	0,058	5074,86	2796,41	294,34	162,19

²⁸⁶ ídem.

²⁸⁷ ídem.

ALUMBRADO 10,5%	30,91	17,03
RECOL. BASURA 10%	29,43	16,22
TOTAL	354,68	195,44

Tabla 4.9 Precio de consumo de tecnología Sodio y LED. ²⁸⁸

Restando el consumo de sodio menos el consumo de LED, el ahorro mensual es de \$159,24.

Indicadores de proyecto

Definen la rentabilidad del proyecto respecto a índices económicos como el VAN (valor actual neto), TIR (tasa interna de retorno) y el C/B (Costo beneficio).

VAN

Indica el valor presente de los flujos de caja proyectados a n períodos. Se acepta cuando es mayor a 0. [37] [38]

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (12)$$

V_t= Flujos de caja en cada período

I₀= Inversión inicial

n= Número de períodos proyectados.

TIR

Es la tasa interna de retorno la cual mide la rentabilidad de un proyecto como un porcentaje y corresponde a la tasa que hace al VAN = 0. [38]

B/C

La relación beneficio / costo es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar, con el fin de evaluar su rentabilidad. [38]

Propuesta 1. TECEO 2 SCHREDER

²⁸⁸ Autores

Para los costos de inversión se considera los materiales, equipos y mano de obra requerida para la implementación del proyecto. El costo de la lámpara se obtiene del ANEXO I²⁸⁹.

COSTOS DE INVERSIÓN			
Cant.	DETALLE	Precio \$	Total
	MATERIALES (M)		
49	Lámpara TECEO 2	2.500,00	122.500,00
49	Tarjeta de Control	55,00	2.695,00
50	Xbee Pro S2	75,00	3.750,00
1	Explorer Xbee	25,00	25,00
49	Fuente 5VDC	10,00	490,00
1	Computador	750,00	750,00
6	Postes Hormigón	250,00	1.500,00
380	Cable 2x#8 (m)	2,50	950,00
8	Breaker 10A, 2P	21,50	172,00
	MANO DE OBRA (N)		6.320,00
	EQUIPOS(E)		850,00
	Total (M+N+E)		140.002,00

Tabla 4.10 Costos de Inversión.²⁹⁰

Los índices de evaluación determinan lo siguiente para 87 años.

VALOR ACTUAL NETO	1.738
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C)	1,24%
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	3,70%

Tabla 4.11 Indicadores del proyecto.²⁹¹

²⁸⁹ Cotización de Lámparas

²⁹⁰ Autores

²⁹¹ Ídem

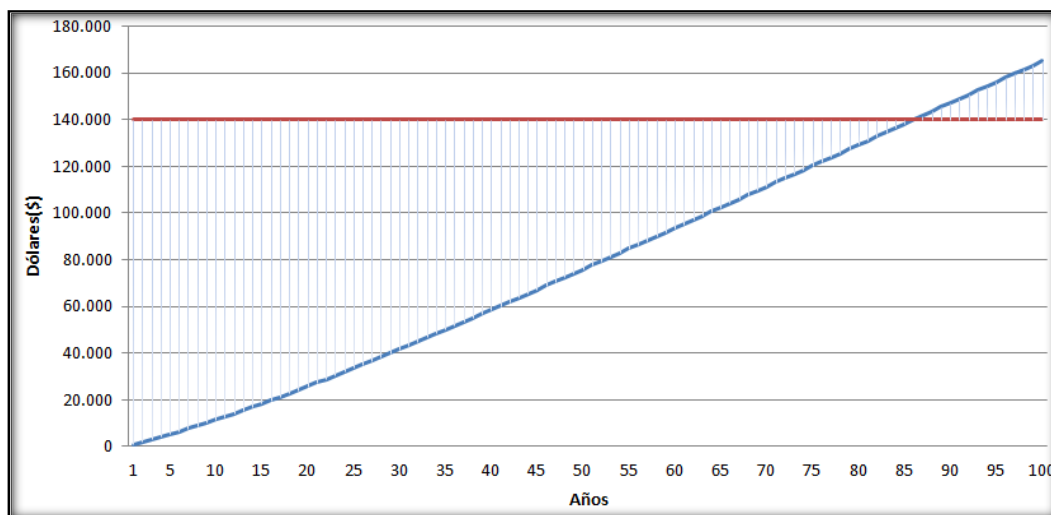


Fig. 4.5 Línea de recuperación de la inversión.²⁹²

La fig. 4.5 muestra el comportamiento de la recuperación de inversión en el tiempo, se puede notar que la recuperación se realiza en 87 años. Es un período realmente extenso para un proyecto. Incluso superando la vida útil de la lámpara que es de 25 años.

Propuesta 2. Sylvania Enduro S60

Los materiales, mano de obra y equipos se mantienen iguales excepto en la lámpara LED que cambia a un valor de \$ 1051,64 obtenido del Anexo I²⁹³. Las características técnicas de esta lámpara se muestran en la fig. 2.65 del capítulo II y es una lámpara con características similares a la Teceo2.

COSTOS DE INVERSIÓN			
Cant.	DETALLE	Precio	Total

²⁹² Autores

²⁹³ Cotización de Lámparas

		\$	
	MATERIALES (M)		
49	Sylvania S60	1051,64	51.530,
49	Tarjeta de Control	55,00	2.695,00
50	Xbee Pro S2	75,00	3.750,00
1	Explorer Xbee	25,00	25,00
49	Fuente 5VDC	10,00	490,00
1	Computador	750,00	750,00
6	Postes Hormigón	250,00	1.500,00
380	Cable 2x#8	2,50	950,00
8	Breaker 10A, 2P	21,50	172,00
	MANO DE OBRA (N)		6.320,00
	EQUIPOS(E)		850,00
	Total (M+N+E)		66.502,00

Tabla 4.12 Costos de inversión con Sylvania Enduro S60. ²⁹⁴

Los índices de evaluación determinan lo siguiente para 43 años.

VALOR ACTUAL NETO	192
RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)	0,28%
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	6,56%

Tabla 4.13 Indicadores del Proyecto. ²⁹⁵

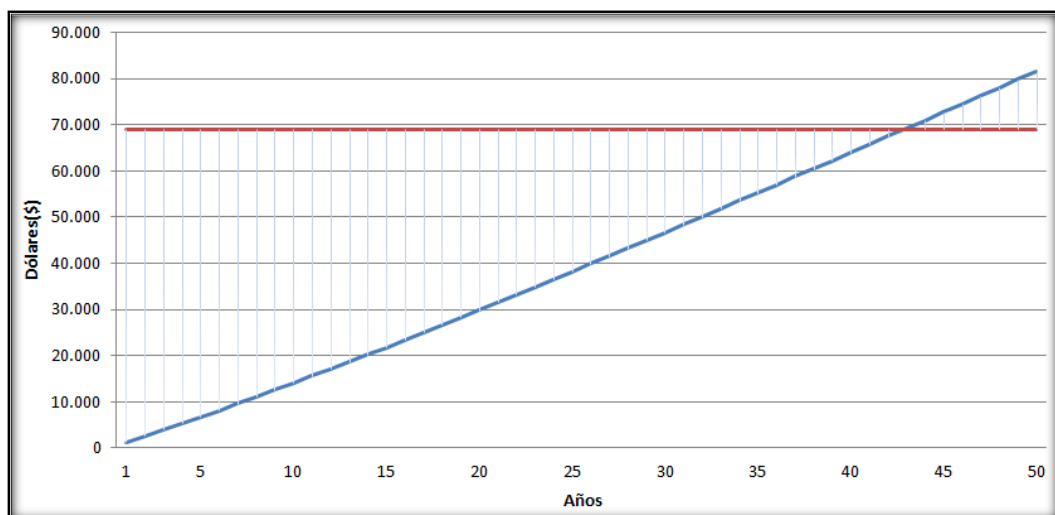


Fig. 4.6 Línea de recuperación de la inversión. ²⁹⁶

La fig. 4.6 muestra el comportamiento de la recuperación de inversión en el tiempo, se puede notar que la recuperación se realiza en 43 años. Es un período realmente

²⁹⁴ Autores

²⁹⁵ Ídem

²⁹⁶ Ídem

extenso para un proyecto. Incluso superando la vida útil de la lámpara que es de 25 años.

En ninguna de las 2 propuestas se logra recuperar la inversión antes de que termine la vida útil de las lámparas. Económicamente no es un proyecto rentable pero los beneficios que presentan ante el ahorro energético y a la conservación del medio ambiente, pueden justificar la inversión.

4.3 FACTIBILIDAD

La investigación va de la mano con el desarrollo, un proyecto que promueve y fomenta la innovación y la aplicación de tecnología de punta con respaldo de estudios científicos, habla muy bien de los desarrolladores pero mucho más de la empresa o institución que promueve y apoya la investigación. La Universidad Politécnica Salesiana sería pionera en iluminación LED en instituciones educativas, resaltando así el prestigio de la Universidad a nivel nacional en innovación y desarrollo de proyectos.

La Universidad Politécnica Salesiana promovería la cultura del ahorro de energía, y la conservación del medio ambiente, por la reducción de emisiones de CO₂ por motivos de generación, y por una reducción en tratamiento de desechos generados por reemplazo de lámparas que han cumplido su vida útil, ya que en 25 años se desearía una sola lámpara LED, mientras que en sodio en el mismo tiempo se desearían 5, tomando en cuenta que las lámparas de sodio contienen un nivel de mercurio en su composición, elemento que es altamente contaminante, ayudando así a reducir el impacto ambiental, requisito que hoy en día es una obligación impuesta por la constitución para cualquier proyecto.

Los beneficios energéticos son altamente considerables, el reemplazo de tecnología en iluminación de sodio a LED reduciría en un 45% la carga instalada para el caso de la Universidad Politécnica Salesiana, manteniendo los niveles de iluminación impuestos por normas nacionales e internacionales que son indispensables para el desarrollo normal de actividades educativas y administrativas, y proyectando a una futura aprobación de ampliación de infraestructura institucional por el cumplimiento de estos estándares.

El ahorro energético no se ve reflejado solo para la Universidad, es también un aporte para el sistema de distribución y generación eléctrica, es un proyecto piloto que puede ser adoptado como base y referencia para ser aplicado a gran escala,

con el aval y prestigio de la Universidad Politécnica Salesiana convirtiéndose en aporte directo del desarrollo de proyectos conjuntos.

La creación de una red inteligente que represente las necesidades reales de iluminación hace que el sistema de control y monitoreo en tiempo real SCADA sea viable, garantizando beneficios al contar con un sistema moderno que permite control centralizado de todos los puntos del sistema de alumbrado público de la Universidad, encendido individual o sectorizado de todos los dispositivos, independientemente del circuito al que pertenezcan, pudiendo realizar una iluminación rotativa evitando encender luminarias innecesarias, garantizando seguridad contra delitos al establecimiento y mejorando tareas de mantenimiento.

El tiempo de recuperación de la inversión es largo, lo cual no es una novedad en proyectos de iluminación con tecnología LED, sin embargo, la inversión se justifica por innovación, ahorro de energía, impacto ambiental, y automatización del sistema de iluminación. En el futuro es probable que los costos en la inversión se reduzcan y se haga rentable la inversión a mediano y largo plazo.

4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

El proyecto de lámparas LED para alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con control automático on/off de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Kennedy, reduciría el consumo de energía por el cambio de tecnología en iluminación, pasando de sodio a LED, obteniendo una reducción del 45%.

Provee a la Universidad de un sistema moderno pionero en iluminación LED, que permite realizar monitoreo y control sobre las lámparas en tiempo real y que cumpla con los niveles de iluminación mínimos requeridos bajo normas.

Por medio del sistema Scada se puede detectar anomalías en el sistema, facilitando así el mantenimiento de puntos conflictivos que no necesariamente están asociados al funcionamiento de la lámpara. Se puede realizar mantenimiento sin desconectar los circuitos de alimentación.

CONCLUSIONES

- El levantamiento de información determinó que el sistema de alumbrado público actual del Campus Kennedy no cumple los niveles de iluminación exigidos por normas (CIE 140, RTE INEN 069) y es necesario que se aumente luminarias en puntos específicos para solucionar este problema.
- Al no existir información sobre las instalaciones eléctricas del alumbrado público actual, fue necesario realizar planos y documentos que indiquen el estado actual de las instalaciones.
- Las instalaciones eléctricas del alumbrado público del campus Kennedy no están construidas bajo normas (NEC), existe cables desorganizados y mal dimensionados, tableros sin identificación, lámparas dañadas, estructuras sin puesta a tierra, tableros para interiores usados en exteriores. Todos estos puntos no garantizan un buen servicio de alumbrado público.
- Se da a notar que no existe un plan de mantenimiento preventivo ni predictivo para las instalaciones eléctricas de todo el campus en general.
- El THD (Distorsión Armónica Total), proporcionado por las mediciones realizadas a los circuitos de iluminación mediante el analizador de energía Fluke 435, están dentro de lo permitido en todos los circuitos, con un valor menor al 5% según establece la IEEE 519 "Harmonic Limits".
- La frecuencia se encuentra dentro de los parámetros de funcionamiento según el Reglamento del CONELEC 006/00 que permite un rango de operación en condiciones normales del 0,15 en la variación de la frecuencia.
- El factor de potencia de funcionamiento de los circuitos de iluminación para todos los casos no cumple los parámetros de operación según RTE INEN 069 "Alumbrado Público" que permite un mínimo de 0,92 en el valor del factor de potencia.
- Todos los sectores de análisis en el sistema actual cumplen con la iluminación promedio (Eprom) de 20 luxes recomendada para el caso de zonas de conflicto C2, pero tienen un problema con la uniformidad ya que hay zonas muy iluminadas y otras que carecen de iluminación.
- Se determinó una solución para el sistema de iluminación actual con el software Dialux, en donde se obtiene una conformidad en los niveles de iluminación, cumpliendo así la iluminancia promedio y el coeficiente de Uniformidad (Uo) exigidos.
- En base a la solución planteada, se realizó un estudio de lámparas LED aplicado al alumbrado público del Campus Kennedy, con el cual se logró

cumplir con los niveles de iluminación deseados así como los parámetros eléctricos conforme a la norma CIE 140, RTE INEN 069, ITC-BT-09.

- Comparando al alumbrado público con lámparas LED frente a lámparas de sodio, se obtiene una mejor uniformidad y distribución de iluminación, pero se reduce los niveles de iluminancia promedio.
- No se consigue una recuperación de la inversión a corto plazo del uso de lámparas LED en el alumbrado público pero se obtiene un ahorro de energía del 45% sobre el sistema actual de iluminación. Además la vida útil de la lámpara de LED supera 5 veces a la vida útil de una lámpara de sodio
- Se ha logrado diseñar un sistema SCADA que cumpla con los requerimientos del sistema de iluminación con control on/off, teniendo un control automático individual y por sectores.
- Por medio de la automatización del proyecto se contribuye a minimizar posibles problemas de seguridad dentro del establecimiento, esto se puede lograr con una secuencia de encendido programada por control individual de lámparas y por sectores.
- Con el control automático de la iluminación, se reduce aún más el consumo de energía, debido a que en ciertas circunstancias no es necesario que todos los puntos de iluminación estén operando.
- Para el control del alumbrado Público del Campus Kennedy, se diseñó un sistema de comunicación basado en tecnología ZigBee, seleccionado en función de criterios y fundamentos técnicos, el cual brinda un servicio de comunicación inalámbrica confiable.
- El protocolo ZigBee se adapta perfectamente a las necesidades del proyecto, tanto en el envío y recepción de datos como en la parte económica al ser una tecnología de bajo costo.
- La base de datos se implementó para almacenar las actividades realizadas por el operador o persona designada para el control del sistema de iluminación, registrándose la fecha y hora del encendido o apagado.
- El SCADA propuesto no depende del tipo de tecnología que se utilice y puede funcionar para el sistema de alumbrado público actual, como para un posible alumbrado público en base a lámparas LED.

RECOMENDACIONES

- Aumentar luminarias según la propuesta planteada en sitios donde no se alcance los niveles de iluminación requeridos.
- Se debe realizar correctivos en todas las instalaciones eléctricas de acuerdo a normativas y criterios técnicos que aseguren la normal y correcta operación del alumbrado público sin poner en riesgo vidas y elementos materiales.
- Planificar un mantenimiento preventivo y predictivo programado del sistema de alumbrado público del campus Kennedy en donde se lleve registros del estado de cada luminaria, tableros, breakers, postes, estructuras, etc.
- Conectar a tierra todas las estructuras metálicas.
- Realizar mediciones anuales de iluminancia al pie de cada lámpara para revisar la pérdida del flujo luminoso. Si baja del 70%, se debería cambiar de lámpara.
- Es importante conservar un control dual manual/automático sobre las luminarias como respaldo ante un desperfecto del sistema o por efectos de mantenimiento.
- Por seguridad se debería mantener iluminación encendida en ciertos sectores del establecimiento que representen posibles puntos de riesgo delincriminal.
- Implementar un sistema de control y monitoreo al alumbrado público que contribuya con el mejoramiento del servicio y la modernización de la Universidad.
- Al momento de seleccionar una lámpara LED, se debe considerar el flujo luminoso, temperatura de color, rendimiento luminoso, índice de reproducción cromática, potencia, precio, vida útil.
- Para la posible implementación de lámparas LED en el alumbrado público del campus Kennedy, se debe considerar las propuestas establecidas en el Capítulo II. Para la instalación de las lámparas, se deberá tener en cuenta la ubicación, altura de montaje, ángulo de inclinación y orientación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G.W. Denardin, C.H. Barriquello, A. Campos, and R.A. Pinto, "*Control network for modern street lighting systems*". Pittsburgh, USA: IEEE International Symposium on, 2011, vol. 18.
- [2] Enriquez Harper, "*El ABC del alumbrado y las instalaciones electricas en baja tension*", 2nd ed. Mexico DF: Limusa, 2002.
- [3] Rufino Manuel Madrid, "*Vencer la noche, la Sevilla Iluminada*", 2nd ed. Salamanca: KADMOS, 2007.
- [4] Obralux, "*Luminotecnia*", 1st ed. Caracas, Venezuela, 2010.
- [5] Fernando Martinez Dominguez, *INSTALACIONES ELECTRICAS de Alumbrado*, 2nd ed. Mexico DF, Mexico: Paraninfo, 2003.
- [6] OSRAM, *Libro del LED 2011*, 1st ed. Madrid, España: Osram S.A, 2011.
- [7] Aquilino Rodríguez, "*Comunicaciones industriales*", 2nd ed. Barcelona, España: Marcombo, 2008.
- [8] Antonio Rodriguez, "*Sistemas SCADA*", 2nd ed. Barcelona, España: Marcombo, 2007.
- [9] Raimond Pigan and Mark Metter, "*Automating whit PROFINET: Industrial Communication based on Industrial Ethernet*", 2nd ed. Berlin, Alemania: Siemens Aktiengesellschaft, 2008.
- [10] Jose Briceño, "*TRANSMISION DE DATOS*", 3rd ed. Merida, Venezuela: ULA, 2010.
- [11] SMAR International Corp. (2011, Enero) SMAR Industrial Automation. [Online]. <http://www.smar.com>
- [12] José A. Carballar, "*WI-FI Instalación, Seguridad y Aplicaciones*", 2nd ed. Madrid, España: RA-MA, 2007.
- [13] Siemens, "*Industrial Wireless Communication*", 1st ed. Nurngber, Alemania: Siemens AG, 2012.
- [14] Katsuhico Ogata, "*Ingeniería de control moderna*", 3rd ed. México DF, México : Prentice-Hall, 2008.
- [15] J Schonek and M Vemay, "*Alimentacion de Circuitos de Alumbrado*", 3rd ed. Madrid, Espana: Scheneider Electric S.A, 2010.
- [16] Schreader, "*Catalogo de Equipos de Iluminacion*", 1st ed. Mexico D.F, Mexico: Schreader Group GIE, 2012.
- [17] Enriquez Harper, "*Guia Practica para el Calculo de Instalaciones Electricas*", 3rd ed. Mexico DF, Mexico: Limusa, 2010.
- [18] CONELEC, "*Regulacion No. CONELEC 008/11*". Quito, Ecuador, 2011.
- [19] Huang-Jen Chiu, Yu-Kang Lo, and Jun-Ting Chen, "*A High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications*". Taipei, Taiwan: IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 2010, vol. 57.
- [20] Alfonso Gago and Jorge Fraile, "*Iluminacion con tecnología LED*" , 1st ed. Madrid, España: Paraninfo, 2012.
- [21] ETAP, "*Dossier de Iluminacion*", 3rd ed. Madrid, España: Etap, 2012.
- [22] Daniel Steigerwald, Jerome Bhat, Dave Collins, Fletcher Robert M., and Mari Ochiai Holcomb, "*Illumination With Solid State Lighting Technology*". San

- Jose, USA: IEEE JOURNAL ON SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, 2002, vol. 8.
- [23] Sylvania, "*Productos y Servicios Sylvania*", 1st ed. Bogota, Colombia: Ides, 2011.
- [24] BBE, "*Alumbrado Pùblico con Làmparas LED de Alta INTensidad*", 1st ed. Mexico DF., Mexico: LED light, 2010.
- [25] Carlos Herranz, Josep Olle, and Fernando Jauregui, ""LA ILUMINACIÓN CON LED Y EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA", "*ASTRONOMIA*, vol. II, no. 144, p. 42, Junio 2011.
- [26] Arnold Wilkins, Jennifer Veitch, and Brad Lehman, "*LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns*". Boston, USA: IEEE JOURNAL ON SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, 2010, vol. 23.
- [27] Carlos Reyes, "*Microcontroladores PIC Programación en Basic*", 2nd ed. Quito, Ecuador: RISPERGRAF, 2006.
- [28] Robert L. Boylestad, "*Introducción al análisis de circuitos*", 10th ed. Mexico DF, México : Pearson , 2004.
- [29] Germán Tojeiro Calaza, "*PROTEUS, Simulación de circuitos electrónicos y microcontroladores a través de ejemplos*", 1st ed. Madrid , España : Marcombo S.A , 2009.
- [30] Sergio Augusto Cardona Torres, Sonia Jaramillo Valbuena, and Villegas Ramírez María Lili, "*Introducción a la programación en Java*", 1st ed. Armenia , Colombia: Elizcom , 2008.
- [31] José Rafael Lajara Vizcaíno and José Pelegrí Sebastián, "*LabVIEW Entorno gráfico de programación*", 1st ed. Barcelona , España : Marcombo S.A , 2008.
- [32] Ana María Villar Varela and Carlos Fernández Pérez, "*Base de datos Access: Aplicaciones fundamentales y manejo básico de una base de datos*", 1st ed. Vigo, España : Ideaspropias, 2010.
- [33] Ian Fairweather and Brumfield Anne, "*LabVIEW: A Developer's Guide to Real World Integration*", 1st ed. Boca Ratón , USA: Taylor & Francis Group , 2012.
- [34] Seigel Eric, Schultz Loren, Ford Brian, and Carney David, "*El plan empresarial: la guía de Ernst & Young*", 4th ed. Madrid , España : Díaz de Santos S.A , 2004.
- [35] Juan José Miranda Miranda, "*Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera*", 5th ed. Bogotá, Colombia : MM , 2005.
- [36] Brigham Eugene F. and Houston Joel F., "*Fundamentos de administración financiera*", 10th ed. L.A, USA: Cengage Learning, 2005.
- [37] Jhonny de Jesus Meza Orozco, "*Matematicas Financieras Aplicadas*", 3rd ed. Bogota , Colombia : ECOE , 2008.
- [38] Xavier Brun, Oscar Elvira, and Xavier Puig, "*MATEMÁTICA FINANCIERA Y ESTADÍSTICA BÁSICA: Cálculos financieros y conocimientos estadísticos básicos*", 1st ed. Barcelona, España: Bresca , 2008.