

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO



TEMA:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACION EXTERIOR EN ZONAS RURALES LEJANAS”

**Plan de trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en
Mantenimiento Eléctrico**

Autor: CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO

Director: ING. CLAUDIO OTERO

Ibarra, 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	1002819058
Apellidos y Nombres	CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO
Dirección	SAN ANTONIO DE IBARRA
E-mail	jfcr15@yahoo.es
Teléfono Fijo	062932663
Teléfono Móvil	0996814755
DATOS DE LA OBRA	
Título	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACION EXTERIOR EN ZONAS RURALES LEJANAS”
Autor	CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO
Fecha	JUNIO 2018
Programa	PREGRADO
Título por el que se aspira:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
Director	Ingeniero Claudio Otero

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO, con cédula de identidad Nro. 100281905-8, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, julio 2018



CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO
C.I. 100281905-8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR
DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL
NORTE

Yo, CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO, con cédula de identidad Nro. 100281905-8, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACION EXTERIOR EN ZONAS RURALES LEJANAS”, que ha sido desarrollado para optar el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos concedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, julio 2018

CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO
C.I. 100281905-8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que éste no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, julio 2018

CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO

C.I. 100281905-8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Tesis “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACION EXTERIOR EN ZONAS RURALES LEJANAS” ha sido realizada en su totalidad por el Sr: CEVALLOS ROJAS JOSE FERNANDO portador de la cédula de identidad número: 100281905-8

.....
Ing. Claudio Otero M.Sc.

Director de Tesis

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado se lo dedico a Dios, que nunca me abandonó, aun en los momentos más difíciles de mi vida, por su infinita misericordia y amor, por darme cada día que pasa vida y salud para lograr mis objetivos, a mis padres quienes me supieron guiar por el camino correcto, a mi querida novia que es parte fundamental e incondicional de mí felicidad, a mis hermanos que siempre han estado presentes en cada logro alcanzado, y a todas las personas que estuvieron dispuestas a extenderme su mano con la finalidad de ayudarme.

CEVALLOS R. JOSE F.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte por haberme permitido realizar y culminar mi formación personal, cultural y profesional, a todos los ingenieros de la carrera por haber compartido sus conocimientos necesarios para desempeñarme en mis funciones laborales.

Un agradecimiento especial al Ing. CLAUDIO OTERO M.Sc. director del Trabajo de Grado, y al Ing. FRANCISCO NARANJO M.Sc., quienes guiaron y contribuyeron permanentemente en este Trabajo de Grado para su elaboración y por la amistad y confianza otorgada.

CEVALLOS R. JOSE F.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

INEN.- Instituto Ecuatoriano de normalización.

CONELEC.- Consejo Nacional de Electricidad.

RTE.- Reglamento Técnico Ecuatoriano.

MEER.- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

LED.- Light Emitting Diode.

LPS.- Lámparas de Baja Presión de Sodio.

HPS.- Lámparas de Alta Presión de Sodio.

lm.- lumen.

w.- vatio.

F.- Flujo Luminoso.

E.- Iluminancia.

lx.- lux.

E_H- Iluminación Horizontal.

CIE.- Comisión Internacional de Iluminación.

CELEC.- Corporación Eléctrica del Ecuador.

Kv.- Kilo Vatio.

Kvh.- Kilo Vatio Hora.

Tep.- Tonelada Equivalente de Petróleo.

Bep.- Barril Equivalente de Petróleo.

CO₂- Dióxido de Carbono.

IPCC.- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático.

SRAM.- Memoria Estática de Acceso Aleatorio.

EEPROM.- Programable y Borrable Eléctricamente.

DAC.- Conversión Digital Analógica.

ADC.- Conversión Analógica Digital.

RESUMEN

El presente proyecto se ha realizado con el propósito de realizar un sistema de control de iluminación de alumbrado público el cual permita optimizar el consumo de energía eléctrica en sectores rurales de difícil acceso de combustible para la generación de la energía eléctrica. Ahorro que podrían aprovecharlo para otro tipo de necesidades como por ejemplo la demanda de energía de sus hogares.

El sistema consiste en realizar un control óptimo de la iluminación de acuerdo a las diferentes condiciones ambientales y climáticas que se presenten en el sector como:

- Solsticio de verano
- Luna llena
- Lluvia
- Neblinas y,
- Un control manual de acuerdo a las necesidades.

Para esto, se realizan las mediciones de campo con instrumentos de medida como el Luxómetro y Fotómetro los cuales nos permiten a través de los datos obtenidos calibrar los fotosensores y empezar con la programación de Arduino tomando en cuenta todas las variables antes mencionadas.

Además, se creará e instalará una aplicación Android para realizar un control remoto manual desde un Smartphone o Tablet de los siguientes parámetros:

- Encendido y apagado del sistema de control
- Atenuación del flujo luminoso emitido por las lámparas led según su necesidad.
- Encendido al 100% del flujo luminoso de las lámparas instaladas
- Intercalado del encendido de las lámparas
- Atenuación del flujo luminoso intercalado de las lámparas.

SUMMARY

The present Project has been carried out with the purpose of realizing a control system of public lighting which allows us to optimize the consumption of electric power in rural sectors of difficult Access of fuel for the generation of electric energy.

Savings that could be used for other types of needs, such as the demand energy in their homes.

The system consists in an optimal control of the lighting according to the different environmental and climatic conditions that arise in the sector, such as:

- Summer Solstice.
- Full and bright moons.
- Thick fog and,
- Manual control according to the needs.

For this, field measurements are made with measurement instruments such as the photometer luxometer, which will allow us, through the data obtained, to calibrate the photosensors and start programming the Arduino, taking into account all the aforementioned variables.

In addition, an android application will be created and installed to perform a remote control from a Smartphone or Tablet of:

- On and off of the control system.
- Attenuation of the luminous flux emitted by the led lamps according to your need.
- Switching on 100% of the luminous flux of the installed lamps.
- Interleaving the lighting of the lamps.
- Attenuation of the interspersed luminous flux of the lamps.

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se estudia el aprovechamiento eficiente de la energía enfocado en el control inteligente de un sistema de iluminación de alta eficiencia, versus, los sistemas de alumbrado público convencionales (lámparas de vapor de sodio a alta presión) en sectores rurales lejanos donde la generación de energía es escasa y costosa, puesto, que la generación de energía es a través de la combustión de combustibles, obteniendo de esta manera un ahorro de energía de hasta un 70%.

El sistema de control de iluminación está diseñado para leer e interpretar las condiciones físicas, medio ambientales y además, se regulara el flujo luminoso de forma continua a lo largo de su vida del alumbrado presencial, que consiste en disminuir o atenuar drásticamente el nivel de iluminación en horarios de la madrugada (01:00 a 04:00 am) en cada calle en donde existe un tráfico nulo de personas y vehículos, obteniendo de esta manera un ahorro significativo de energía el mismo que podría ser utilizado o destinado para el consumo del hogar o a su vez para almacenarla.

El sistema diseñado en este proyecto también sin duda ayuda al ahorro de energía ante la presencia de iluminación natural como lo es el de la luna llena, en donde nuestro sistema percibirá el flujo luminoso natural para atenuar el flujo luminoso de las lámparas y así de esta manera aprovechar la luminosidad que esta nos brinda para obtener un ahorro de energía ante esta circunstancia.

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	iv
DECLARACIÓN	v
CERTIFICACIÓN.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
GLOSARIO DE TÉRMINOS	ix
RESUMEN.....	x
ÍNDICE GENERAL.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Formulación del problema.....	2
1.4. Delimitación del problema.....	2
1.4.1. Delimitación Temporal.....	2
1.4.2. Delimitación Espacial.....	2
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo General.....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
1.6. Justificación.....	3
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Energía.....	5

2.1.1.	Conservación de la Energía.....	5
2.2.	Eficiencia energética.	5
2.2.1.	Factores Para Demandar Eficiencia Energética	6
2.2.1.1.	<i>Incremento de la población mundial.....</i>	6
2.2.1.2.	<i>El aumento del nivel de vida y el confort.....</i>	6
2.2.1.3.	<i>El desarrollo y el aumento de la conciencia ambiental en la sociedad.....</i>	7
2.2.2.	Fuentes de Energías Renovables y no Renovables.	7
2.2.2.1.	<i>Energía hidráulica.</i>	7
2.2.2.2.	<i>Energía solar.....</i>	7
2.2.2.3.	<i>Energía eólica.</i>	7
2.2.2.4.	<i>Energía luminosa.</i>	8
2.2.2.5.	<i>Energía eléctrica.</i>	8
2.3.	Alumbrado Público Ecuador	8
2.4.	Definiciones Básicas.	9
2.4.1.	Luminaria.	9
2.4.1.1.	<i>Luminarias LED.....</i>	9
2.4.1.2.	<i>Lámparas de vapor de sodio.</i>	10
2.4.1.3.	<i>Lámparas de vapor de mercurio.</i>	11
2.4.1.4.	<i>Usos, ventajas y desventajas de las lámparas LED, de vapor de sodio y vapor de mercurio.....</i>	12
2.4.2.	Balasto electromagnético.	14
2.4.3.	Balasto electrónico.	14
2.4.4.	Flujo Luminoso.	15
2.4.4.1.	<i>Intensidad luminosa.</i>	15
2.4.5.	Iluminancia.....	16
2.4.6.	Luminancia.....	16
2.4.7.	Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa.	17

2.4.8.	Deslumbramiento.	17
2.4.9.	Iluminación y uniformidad.	17
2.4.10.	Control de deslumbramiento.	18
2.4.11.	Modelado y sombras.	19
2.4.12.	Ciclos Lunares.	19
2.4.13.	Color en el espacio visual.	21
2.4.14.	Aprovechamiento de la luz natural.	21
2.5.	La Luz	22
2.5.1.	Alumbrado para vías de tráfico rodado.	22
2.5.2.	Luminarias.	23
2.5.2.1.	<i>En un nivel técnico:</i>	23
2.5.2.2.	<i>Desde el punto de vista óptico.</i>	24
2.5.3.	Lámpara.	25
2.5.4.	Visibilidad e intensidad de luz todo en alumbrado público.	25
2.5.5.	Espectro electromagnético.	26
2.5.6.	Propiedades de la luz.	28
2.5.6.1.	Reflexión.	28
2.5.6.2.	<i>Refracción.</i>	29
2.5.6.3.	Absorción.	30
2.5.7.	Sensores de Fotocelda.	30
2.6.	Fundamentación legal	31
2.6.1.	Sistema de ubicación de alumbrado público.	31
CAPÍTULO III		33
3.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL ESTUDIO ..	33
3.1.	Tipos de Investigación.	33
3.1.1.	Investigación documental o bibliográfica.	33
3.1.2.	Investigación de campo.	33

3.1.3.	Investigación aplicada.....	33
3.2.	Métodos.....	34
3.2.1.	Método deductivo.....	34
3.2.2.	Método inductivo.....	34
3.2.3.	Método analítico.....	34
3.2.4.	Método sintético.....	34
3.2.5.	Método experimental.....	35
3.3.	Técnicas e instrumentos	35
CAPÍTULO IV		36
4.	DESARROLLO	36
4.1.	Introducción	36
4.2.	Mediciones de la iluminancia.....	36
4.2.1.	Equipo de medición.....	37
4.2.1.1.	<i>Luxómetro</i>	37
4.2.2.	Mediciones.....	38
4.2.2.1.	<i>Auditoria Energética</i>	42
4.2.2.1.1.	Costo Ambiental.....	43
4.2.2.1.2.	Determinación de la Huella de Carbono.....	44
4.2.2.2.	Consumo de Energía usando Lámparas con tecnología Led.....	44
4.2.3.	Análisis.....	45
4.2.4.	Coefficiente de Luminancia medio o Factor de Escala (Qo) normalizado.....	45
4.3.	Programación Arduino.....	46
4.3.1.	Arduino Yún.....	46
4.4.	Implementación	47
4.4.1.	Programación Arduino.....	47
4.4.2.	Configuración inicial.....	47
4.4.3.	Ciclo principal.....	48

4.4.4.	Control manual.....	52
4.4.5.	Control automático.....	52
4.4.6.	Código de Programación Arduino.....	53
4.4.7.	Programación aplicación Android.....	60
4.4.8.	Inicialización del sistema.	62
4.4.9.	Modo de funcionamiento.	62
4.4.10.	Adquisición de los valores de iluminación.	63
4.4.11.	Envío de nivel de iluminación.....	64
4.4.12.	Diseño del sistema electrónico de control y potencia.	64
4.4.12.1.	<i>Sistema electrónico de potencia.</i>	64
4.4.11.3.	<i>Diseño de las placas de control y potencia.</i>	68
4.4.12.	Implementación.....	69
4.4.13.	Análisis del sistema de control.....	69
4.4.13.3.	<i>Atenuación de iluminación desde 01H00 a 4H00.</i>	70
4.4.13.4.	<i>Atenuación de la iluminación ante la presencia de la luna llena.</i>	72
CAPÍTULO V		75
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1.	CONCLUSIONES.	75
5.2.	RECOMEDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA		77
ANEXO 1 MANUAL DE USUARIO		83
ANEXO 2. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA.....		130
ANEXO 3. REGISTRO DE MEDICIONES TOMADOS CON EL APARATO DE MEDIDA LUXOMETRO.		131
ANEXO 4. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE MEDICIONES Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....		134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Usos, ventajas, desventajas	13
Tabla N° 2 Comparación entre lámparas.....	14
Tabla N° 3 Toma de medidas	41
Tabla N° 4 Toma de medidas	42
Tabla N° 5 Consumo de energía lámparas vapor de sodio.....	43
Tabla N° 6 Consumo de energía lámparas led	44
Tabla N° 7 Intervalos de tiempo.....	51
Tabla N° 8 Valor de resistencia.....	67
Tabla N° 9 Datos de iluminación	68
Tabla N° 10 Adquisición de datos del sistema.....	71
Tabla N° 11 Consumo del sistema de 01H00 a 04H00	71
Tabla N° 12 Ahorro de energía mediante la atenuación de iluminación del 25%	71
Tabla N° 13 Toma de medidas del sistema.	73
Tabla N° 14 Consumo de energía con la presencia de la Luna Llena.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Lámpara LED	10
Figura N° 2 Lámpara de vapor de Sodio	11
Figura N° 3 Lámpara de vapor de Mercurio	11
Figura N° 4 Lámpara de vapor de Sodio	12
Figura N° 5 Representación del flujo luminoso	15
Figura N° 6 Fases Lunares	20
Figura N° 7 Clasificación de alumbrado para vías de tráfico rodado.....	23
Figura N° 8 Iluminación Horizontal.....	25
Figura N° 9 Espectro electromagnético.....	26
Figura N° 10 curvas de sensibilidad espectral para V_λ el observador CIE en condiciones fototópicas; V'_λ el observador en condiciones escotópicas (CIE 1970, 1978).....	27
Figura N° 11 Reflexión	28
Figura N° 12 Clases de iluminación para vías vehiculares.	29
Figura N° 13 Refracción,	29
Figura N° 14 Absorción.....	30
Figura N° 15 Fotómetro.....	37
Figura N° 16 Zonas de iluminación.....	37
Figura N° 17 Luxómetro	38
Figura N° 18 Luminaria de descarga de vapor de sodio	38
Figura N° 19 Lámpara Led de 110w sector Atuntaqui.....	39
Figura N° 20 Lámpara Led de 110w sector Atuntaqui.....	40
Figura N° 21 Medición Luxómetro lámpara led con escala de 2000	40
Figura N° 22 Medición luxómetro lámpara vapor de sodio escala 2000	41
Figura N° 23 Parroquia García Moreno-Cantón Cotacachi-Zona de Intag.....	42
Figura N° 24 Microcontrolador	46
Figura N° 25 Memoria.....	47
Figura N° 26 Inicialización del sistema.....	48
Figura N° 27 Recepción de datos Wifi.....	48
Figura N° 28 Recepción y selección de comandos	49
Figura N° 29 Subfunción de la recepción del nivel de iluminación.....	49
Figura N° 30 Subfunción de la recepción del modo de funcionamiento.....	50

Figura N° 31 Lectura de hora y fecha	50
Figura N° 32 Lectura de sensores de iluminación.....	51
Figura N° 33 Asignación de intervalos de tiempo.....	51
Figura N° 34 Control manual	52
Figura N° 35 Control automático	52
Figura N° 36 Programación Android	60
Figura N° 37 Interfaz App Inventor.	61
Figura N° 38 Programación Android	62
Figura N° 39 Inicialización del sistema.....	62
Figura N° 40 Envío del modo de funcionamiento.....	63
Figura N° 41 Adquisición del nivel de iluminación.....	63
Figura N° 42 Envío del nivel de iluminación	64
Figura N° 43 Diseño electrónico de potencia.....	65
Figura N° 44 Medición en arduino	66
Figura N° 45 Comportamiento exponencial decreciente.....	67
Figura N° 46 Placa electrónica de potencia.....	68
Figura N° 47 Placa electrónica de control	69
Figura N° 48 Placa de la fuente de alimentación	69
Figura N° 49 Sistema de control de iluminación implementado.....	69
Figura N° 50 Sistema de control de iluminación.....	70
Figura N° 51 Sistema de iluminación.....	73
Figura N° 52 Calendario lunar	73

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes.

La eficiencia energética es una práctica que tiene como objeto reducir el consumo de energía.

La eficiencia energética consiste en el ahorro y uso inteligente de la energía sin pérdidas ni desperdicios, utilizando la mínima energía, pero manteniendo la producción, calidad de los procesos, bienes y servicios, para conservar el confort.

La eficiencia energética a nivel mundial se ha convertido en una de las principales preocupaciones, por lo que en diferentes ámbitos se toman cartas sobre el asunto. En este proyecto se aborda el tema de la eficiencia energética desde el punto de vista de la iluminación de exteriores.

La iluminación está presente prácticamente en todos los ambientes que interactúan los seres humanos, ya sea dentro de lo residencial, comercial o industrial. Por lo que la iluminación ofrece una gran oportunidad para pensar en eficiencia energética y ahorro en sí.

Al hacer una analogía de la realidad de nuestro medio en el uso de energía de la red de alumbrado público del país podemos decir que es uno de los servicios fundamentales, en cuanto a movilidad, ornamentación y seguridad para la ciudadanía. Sin embargo, constituye uno de los rubros de consumo energético más importante, según datos obtenidos por el Ministerio Coordinador de la Sectores Estratégicos (MISCSE): el consumo eléctrico en alumbrado público constituyó el 5,68% (189 MW) de la demanda máxima del Sistema Nacional Interconectado y el 4,95% (964 GWh) del total de la energía de los diferentes sectores de consumo (residencial, comercial, industrial y otros).

1.2. Planteamiento del problema.

En locaciones en donde la generación de energía se realiza con grupos electrógenos u otra energía alternativa como en zonas aisladas de la Amazonia Ecuatoriana, cada vatio de energía que se ahorre es importante.

Este proyecto trata de crear un sistema de control de iluminación de exteriores cuyas variables permitan manejar de manera precisa los horarios de iluminación, así como la cantidad de luminarias encendidas por circuito dependiendo de la lectura que tomen los sensores en relación de la cantidad de niebla, lluvia o reflejo lunar.

1.3. Formulación del problema.

¿Cómo diseñar un sistema de control de iluminación exterior en zonas rurales lejanas que permita optimizar el consumo de energía eléctrica sin afectar las variables y beneficios que esta representa en dichas zonas?

1.4. Delimitación del problema.

El trabajo se limita al diseño de un sistema de control de iluminación exterior en zonas rurales lejanas.

1.4.1. Delimitación Temporal.

Este proyecto tendrá una duración de 9 meses iniciando el 2 de octubre de 2017 hasta el 15 de julio de 2018.

1.4.2. Delimitación Espacial.

Este proyecto se llevará a cabo en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General.

Diseñar un sistema de control de iluminación exterior que permita optimizar el consumo de energía eléctrica contribuyendo a la eficiencia energética.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Conocer y comprender las normas técnicas para iluminación de exteriores.
- Diseñar el sistema de control, basado en micro controladores, sensores y actuadores acorde a las necesidades descritas.
- Estudiar las variables que presenta el lugar en donde se realizaran las pruebas.

1.6. Justificación.

Los aspectos antes mencionados conllevan a señalar lo importante que resulta tener una conciencia dirigida al ahorro y eficiencia energética, la que permitiría ahorrar una cierta cantidad de energía, la misma que podría ser aprovechada o dirigida hacia otros sectores que tienen las mismas necesidades.

La propuesta, el estudio permitirá el establecimiento de objetivos, definiciones de políticas, guías, procedimientos y normas, la evaluación del sistema de organización, las limitaciones y responsabilidad, las normas de protección y utilización de recursos, la generación de recomendaciones, evaluación de gestión, establecimiento de programas de inducción y capacitación de personal.

En síntesis, este proyecto de investigación tiene la finalidad de aportar científicamente a las políticas del INER (Instituto Nacional de Energías Renovables) con respecto a la eficiencia energética que no es responsabilidad exclusiva de la entidad sino también de todos los ciudadanos.

Se realizará como trabajo de grado y estará en concordancia con todas las exigencias que para su desarrollo propone la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA), de la Universidad Técnica del Norte.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Energía.

La energía es parte fundamental de la mayoría de los aspectos habituales de la vida de cada una de las personas; es la capacidad que tiene un cuerpo para producir un trabajo o estimular un cambio, sin energía no habría sol, plantas, animales, la vida no sería posible, no habría nada. (Cengel & Boles, 2011).

2.1.1. Conservación de la Energía.

(Schaum, Merwe, & Carel, 2001) afirman: “La energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma, cambia de forma cuando ocurre algún acontecimiento físico o químico” (p.90).

El principio de la conservación de la energía es válido en cualquier tipo de fenómeno existente. Este principio es realmente importante, y los científicos lo utilizan mucho con gran éxito en la resolución de numerosos problemas.

2.2. Eficiencia energética.

(Celi & Chica, 2011) mencionan: “La eficiencia energética, es el resultado obtenido de aprovechar al máximo un determinado recurso, como el agua, la electricidad, el gas, etc” (p,1).

(Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2013)

El concepto que se puede asociar es que la Eficiencia Energética consiste en el ahorro y uso inteligente de la energía sin pérdidas ni desperdicios, utilizando la mínima energía y manteniendo la calidad de bienes y servicios para conservar el confort. (p.1).

Se puede decir con seguridad que la eficiencia energética es una práctica que tiene como objeto reducir al máximo el consumo de energía. La eficiencia energética es el uso eficiente de la energía, de esta manera se puede llegar a optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios; Dicho de otra manera, se trata de producir más con menos energía como por ejemplo no se trata de ahorrar luz, sino iluminar mejor consumiendo menos energía eléctrica. (Salcedo, 2014, pág. 1)

2.2.1. Factores Para Demandar Eficiencia Energética

Se puede mencionar que varios factores han determinado una alta demanda de eficiencia energética, la cual se encuentra inmiscuida dentro de toda la sociedad mundial. Para citar algunos ejemplos, se tiene:

2.2.1.1. Incremento de la población mundial.

Está claro, que en países subdesarrollados el consumo es menor que en los países de primer mundo. En países de la comunidad europea ya se están implantando planes activos de ahorro en el sector de vivienda y servicios, con el objetivo de que en el año 2020 se disminuya el consumo de energía primaria en un 20%. (Parlamento Europeo, 2017).

2.2.1.2. El aumento del nivel de vida y el confort.

Es indudable que la calidad de vida se encuentra asociada directamente a una mayor demanda energética. El aspecto social de una persona aumenta su nivel de vida y confort por medio de la adquisición de bienes, los cuales requieren consumo energético en la mayoría de casos, y al no contar con una correcta distribución, provocada por ignorancia o falta de interés, es imprescindible tener en cuenta un sistema de eficiencia energética para mejorar esta situación. (Celi & Chica, 2011, pág. 2)

2.2.1.3. *El desarrollo y el aumento de la conciencia ambiental en la sociedad.*

En los últimos años se ha incrementado la preocupación por el cuidado del medio ambiente a nivel mundial, los factores son que el planeta está agotando los posibles elementos fósiles los cuales generan la mayor parte de energía que se consume, por lo tanto el gasto de energía eléctrica no podía quedar al margen de esta concientización ambiental, demandando así cambios que tengan que ver con una mejor y mayor eficiencia energética. (Celi & Chica, 2011, pág. 2).

2.2.2. Fuentes de Energías Renovables y no Renovables.

La energía puede provenir de muchas formas o situaciones como, por ejemplo:

2.2.2.1. *Energía hidráulica.*

Se basa en aprovechar la caída o fuerza del agua, un ejemplo de esto son los generadores instalados en los océanos, los cuales funcionan con la fuerza del choque de las olas para generar energía mareomotriz. (González V. J., 2009)

2.2.2.2. *Energía solar.*

Es la energía que se obtiene a partir de la luz proveniente del sol, la misma puede almacenarse en paneles solares o fotovoltaicos para así ser transformada en energía eléctrica. (Valera, 2005).

2.2.2.3. *Energía eólica.*

Es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes del aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. (Villarubia, 2012).

2.2.2.4. *Energía luminosa.*

Es la energía que transporta la luz y que puede ser aprovechada por las plantas para llevar a cabo la fotosíntesis y formar de esta manera compuestos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos. (Lévy, 2008)

2.2.2.5. *Energía eléctrica.*

Es causada por el movimiento de las cargas eléctricas en el interior de un material conductor. Esta energía produce, fundamentalmente, tres efectos: lumínico, magnético y térmico. (recursostic.educacion.es, 2008).

2.2.2.6. *Grupos Electrógenos.*

Son dispositivos que operan mediante un motor de combustión interna que se encarga de mover al generador eléctrico, en este sentido los grupos electrógenos están formados por diversos elementos: el motor, que proporciona la fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere la electricidad, el regulador del motor, que mantiene la velocidad del motor con relación de los requisitos de carga. (Ventageneradores, 2016)

2.3. *Alumbrado Público Ecuador*

(Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2007)

“Actualmente en el país alrededor del 6% de la energía eléctrica es destinado al sistema de alumbrado público de vías, ornamental e intervenida. Esto indica que se debe considerar el uso de tecnologías de eficiencia energética en Sector de Alumbrado Público” (p.1).

“En el Ecuador, el sector de alumbrado público se administra bajo las normas de: El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), que emite el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) INEN 069” (Ministerio de industrias y productividad, 2015), estableciendo requisitos para la iluminación pública; el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), con la regulación 008/11 de Prestación de Servicio de Alumbrado Público

(Concejo Nacional de Electricidad (CONELEC), 2011), ambas bajo la supervisión del MEER, pero no abarcan con todo lo necesario para un alumbrado público eficiente.

Actualmente los dispositivos que funcionan con baja eficiencia energética pueden ser mejorados en tres aspectos fundamentales y sin destruir nuestro entorno, entre ellos; la optimización de la energía, la reutilización de la energía circundante y preservación del ambiente en su estado natural.

2.4. Definiciones Básicas.

2.4.1. Luminaria.

Para (Assaf, Colombo, & O'donnell, 2014):“Es un aparato que distribuye, filtra o transforma la luz transmitida desde una o varias lámparas y que incluye todas las piezas necesarias para fijar y proteger las mismas” (pág.2).

2.4.1.1. Luminarias LED.

Fue inventado por Nick Holonyak en 1962, asesor de General Electric. Un LED (light emitting diode) es un dispositivo semiconductor, el cual emite luz semi monocromática cuando se polariza de forma directa y es atravesado por una corriente eléctrica.

Básicamente es un semiconductor unido a dos terminales (ánodo y cátodo), los cuales producen un efecto llamado electroluminiscencia al circular por ellos energía eléctrica, fenómeno que transforma la energía eléctrica en radiación visible. Por lo tanto, son fuentes de luz en estado sólido, es decir, sin filamento o gas inerte que lo rodee, ni cápsula de vidrio que lo recubra como las tecnologías tradicionales. (Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, ANFALUM, Consejería de Economía y Hacienda, 2015).

Existen tres tipos de LED, para aplicaciones específicas y con características particulares para cada una de ellas.

- LED de 3 mm y 5mm: Es de voltaje constante (conexión en paralelo). Se usa en señales publicitarias, indicadores, retroiluminación (frigorífico, TV, etc.)
- LED SMD (Surface mount LED): Utiliza voltaje constante 12 V/24 V (conexión en paralelo); temperatura baja (sin reductor de calor). Se usa en la zona inferior de armarios, pasos de peatones, luz decorativa.
- LED de alta potencia (LED > 1 W): Voltaje constante 350 mA/700 mA (conexión en serie), es la última tecnología disponible en el mercado. Se usa en efectos de iluminación con lente, idóneos para una variedad de aplicaciones.

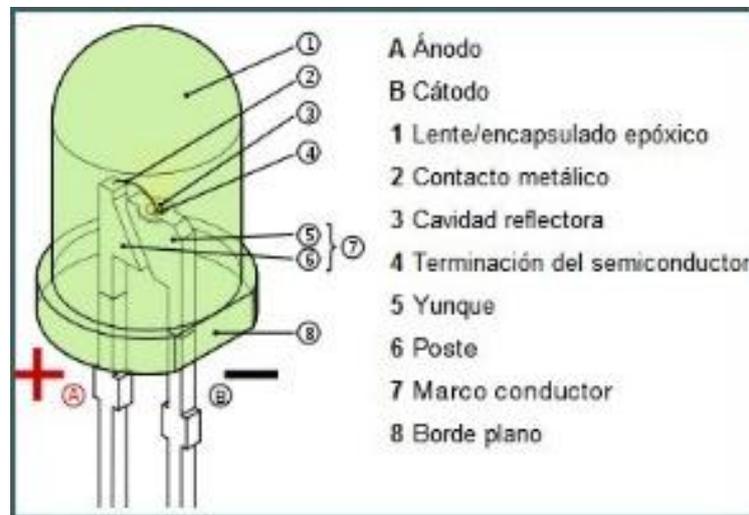


Figura N° 1 Lámpara LED

Fuente: (Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, ANFALUM, Consejería de Economía y Hacienda, 2015)

2.4.1.2. Lámparas de vapor de sodio.

Fueron producidas comercialmente en Holanda en 1932 por Philip y son una de las fuentes de iluminación más comunes dentro del alumbrado público y ornamental. Utiliza toda la corriente que llega para crear la luz en el color más sensible (frecuencia) para el ojo humano; además producen gran cantidad de lúmenes por vatio. El color de la luz que emiten es amarillo brillante. Hay dos tipos de lámparas de sodio de baja presión: (LPS o también lámpara SOX) y alta presión (HPS). Una lámpara incandescente en contraste crea la luz en todas las frecuencias de infrarrojos (no visible) a los rayos UV en el otro lado del espectro. (EFIMARKET, 2017)

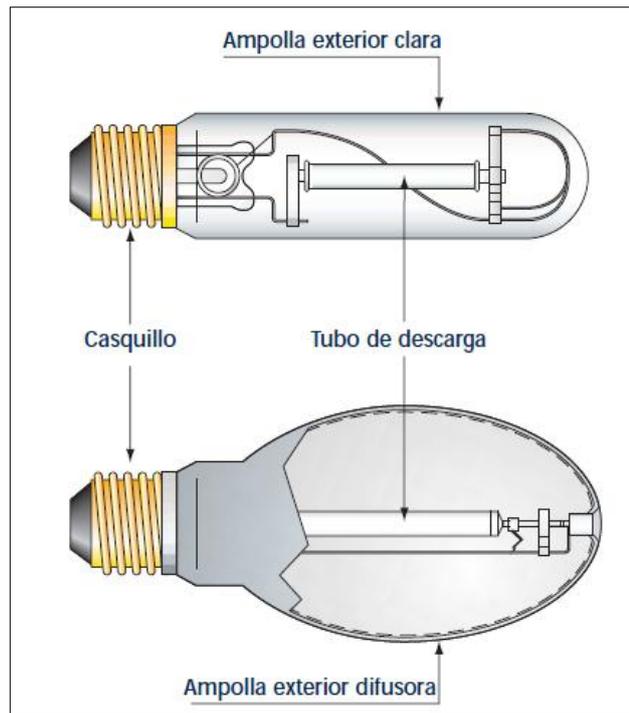


Figura N° 2 Lámpara de vapor de Sodio
Fuente: (EFIMARKET, 2017)

2.4.1.3. Lámparas de vapor de mercurio.

Este tipo de lámpara consiste en un tubo de descarga de cuarzo relleno de vapor de mercurio, compuesto de dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el arranque. Se dividen en dos tipos: fluorescentes y de vapor de mercurio de alta presión. Las fluorescentes o lámparas de vapor de mercurio de baja presión (0.8 Pa). En el espectro de emisión del mercurio predominan las radiaciones ultravioletas en la banda de 253.7nm. Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles. (Ecu Red, 2016)

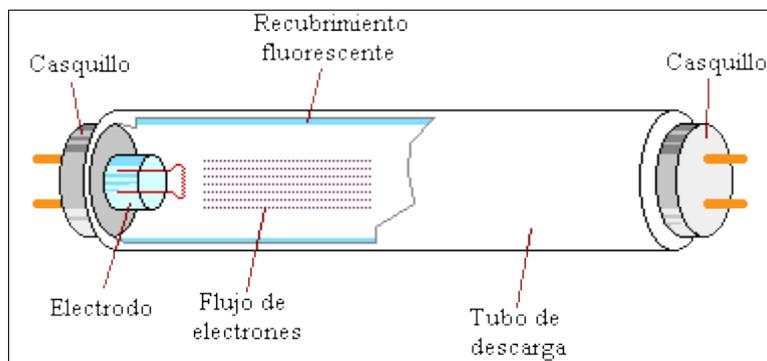


Figura N° 3 Lámpara de vapor de Mercurio
Fuente: (Ecu Red, 2016)

Por otro lado, tenemos las lámparas de vapor de mercurio de alta presión se caracterizan ya que a medida que incrementa la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta propia de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta 404.7 nm, azul 435.8 nm, verde 546.1 nm y amarillo 579 nm). Con estos escenarios la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas (Ecu Red, 2016).

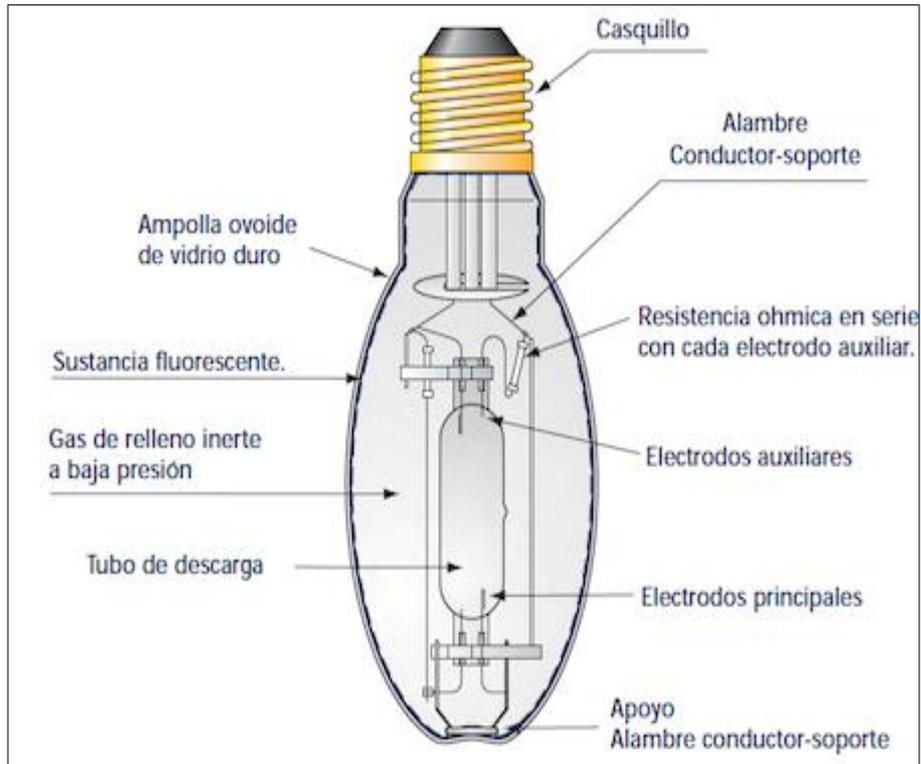


Figura N° 4 Lámpara de vapor de Sodio
Fuente: (Ecu Red, 2016)

2.4.1.4. Usos, ventajas y desventajas de las lámparas LED, de vapor de sodio y vapor de mercurio.

Acorde a un análisis comparativo entre estos dos tipos de lámparas se puede determinar algunas diferencias importantes entre las dos, ver tabla N°1.

Tabla N° 1*Usos, ventajas, desventajas*

	LED	VAPOR DE SODIO	VAPOR DE MERCURIO
USOS	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación de interiores y exteriores y todas las aplicaciones: Ejemplo: reflectores, lámparas, focos, spots, tubos, tiras, esferas, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación de interiores y exteriores Ejemplo: en naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación de exteriores para conseguir luz blanca. Ejemplo: en instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores.
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro energético cerca del 80% • Vida útil alta, 100000 horas. • No requiere componentes ópticos adicionales. • Generan luz blanca neutral fría y cálida, por lo cual necesita menos lumen para generar sensación de mayor iluminación. • Encendido instantáneo. • Son de bajo voltaje que se adecúan naturalmente a la energía solar. • Resistencia a las vibraciones. • Segura para manipulaciones, incluso en caliente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy eficiente. • IRC de 25 • Eficiencia promedio 100 lm/W • Vida útil alta, 15000 horas. • Lámpara de gran alcance para uso de grandes áreas. • A pesar de un tiempo de calentamiento de 5-10 minutos se reinicia inmediatamente si hay caída de tensión. • Flujo luminoso no desciende con la edad. 	<ul style="list-style-type: none"> • IRC normal y constante durante vida útil. • Vida media media-alta, 8000 horas. • No necesita arrancador. • Eficiencia entre 40 y 60 lm/W y aumenta con potencia.
DESVANTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo luminoso desciende por el uso y edad de la lámpara. • Genera desechos y debe hacerse un tratamiento para su reciclado, dada su nocividad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran tamaño. • Generan luz en todas las direcciones, hace necesarias superficies que reflejen la luz emitida y se focalicen hacia adelante y produce pérdida de reflexión. • El sodio es peligroso y puede quemar cuando se expone al aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo encendido y reencendido, éste último no es posible hasta que se enfríe la lámpara. • Necesita equipo auxiliar. • Produce residuos sólidos.

Elaborado por: El autor

Tabla N° 2
Comparación entre lámparas

Lúmenes	Led (watts)	CFL (Watts)	Incandescente (watts)
400-500	6-7w	8-12w	40w
650-850	7-10w	13-18w	60w
100-1400	12-13w	18-22w	75w
1450-1700+	14-20w	23-30w	100w
2700+	25-28w	30-55w	150w

Elaborado por: El autor.

2.4.2. Balasto electromagnético.

El balasto electromagnético consiste básicamente de un núcleo de láminas de acero, rodeadas por dos bobinas de cobre o de aluminio. Este arreglo transforma potencia eléctrica en una forma apropiada, para arrancar y regular la corriente en la lámpara normalmente fluorescente. (Hernández, 2015).

El dispositivo principal de los balastos electromagnéticos es el capacitor, el cual perfecciona el factor de potencia, de tal forma que se puede utilizar la energía de forma más eficiente, son considerados balastos de alto factor de potencia.

2.4.3. Balasto electrónico.

El balasto (del inglés ballast, lastre) es un dispositivo que sirve para mantener estable y restringir la intensidad de la corriente para lámparas, ya sea una lámpara fluorescente, de vapor de sodio, de haluro metálico o una de vapor de mercurio. (Gil & Romero, 2009).

Estos balastos presentan algunas ventajas sobre los balastos tradicionales, como la eliminación del parpadeo de la lámpara en el encendido, el ruido audible, la habilidad de ajustar

la salida de luz de la lámpara a casi cualquier nivel, cuando estos son usados por un control de intensidad luminosa.

Aunque los balastos electromagnéticos presentan gran simplicidad y bajo costo, estos tienen que trabajar a frecuencias de red, lo cual trae como consecuencia un elevado peso, gran volumen y un bajo rendimiento, es por ello que los balastos electrónicos son utilizados hoy en día para la utilización de lámpara fluorescente. El balasto electrónico proporciona mayor rendimiento, control de la potencia de salida, larga vida a la lámpara y volumen reducido. (Sánchez & Cárcel, 2015).

2.4.4. Flujo Luminoso.

El flujo luminoso se define como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa, a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es (Φ) y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre watts y lúmenes llama equivalente luminoso de la energía y equivale a: (Enríquez, 2006, pág. 98).

1 watt-luz a 555nm= 683lm

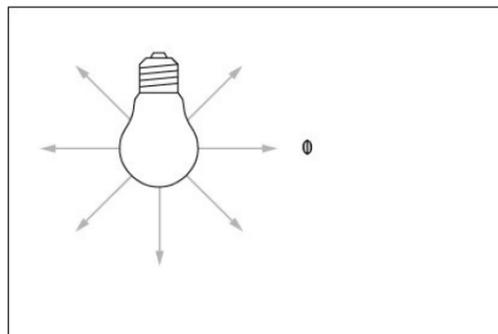


Figura N° 5 Representación del flujo luminoso

2.4.4.1. Intensidad luminosa.

Según (Universidad Nacional de La Plata, 2010), es la “característica fundamental de la fuente de radiación, viene dada por el flujo luminoso F emitido por unidad de ángulo sólido W en una dirección especificada o, lo que es lo mismo, la potencia luminosa propia de la fuente

que se expresa en vatios” Dicha magnitud se entiende únicamente referida a una determinada dirección y contenida en un ángulo sólido o estéreo que se mide en estereorradianes.

Fórmula de intensidad luminosa:

$$I = \frac{F}{\omega}$$

2.4.5. Iluminancia.

A la iluminancia se la define como el flujo luminoso recibido por una superficie, dividido por el área de dicha superficie. Su símbolo es E y su unidad es el lux (lx) que es un lm/m² (Sanjuán, 2014)

Resumen iluminancia, donde su símbolo es (E) y su unidad es el lux (lx):

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Fuente: (Sanjuán, 2014)

Unidad:

$$[Lx=Lum/m^2]$$

2.4.6. Luminancia.

Para (Sanjuán, 2014) ésta describe la medición entre la cantidad de luz emitida, pasando por o reflejada desde una superficie perpendicular desde un ángulo sólido a la dirección de la luz. También indica cuánta energía luminosa puede ser percibida por el ojo humano. Suele expresarse indistintamente en candelas/cm² o en candelas/m².

Fórmula de luminancia:

$$L = \frac{I}{S}$$

2.4.7. Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa.

Para (Senner, 1994): Como parte fundamental se puede decir que el rendimiento luminoso es el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, que viene con las características de las lámparas (25W, 60W). Mientras mayor sea mejor será la lámpara y menos consumirá. (pág, 352).

La unidad es el lumen por watt (lm/W):

Resumen Rendimiento Luminoso, donde su símbolo es (n) y su unidad ($\frac{lm}{w}$)

$$n = \frac{\Phi}{w}$$

Fuente: (Senner, 1994)

$$Rendimiento = \frac{rendimiento\ luminoso}{potencia\ consumida}$$

2.4.8. Deslumbramiento.

“El deslumbramiento es la sensación producida por las zonas brillantes en el campo de visión y puede ser experimentado, ya sea como malestar o como discapacidad”. (Zabalza, 2007)

2.4.9. Iluminación y uniformidad.

La cantidad de luz sobre una tarea específica o plano de trabajo determina la visibilidad de la tarea afectando a:

- La agudeza visual.
- La sensibilidad de contraste o capacidad de distinguir diferencias de luminancias y color.

Cuanto mayor sea la cantidad de luz y hasta un cierto valor máximo (límite de deslumbramiento), mejor será el rendimiento visual. En principio, la cantidad de luz en el sentido de adaptación del ojo a la tarea debería especificarse en términos de luminancia. (Varela, 2016).

Cuando el ojo explora una tarea, se adapta a la luminancia de la misma, si el ojo abandona la tarea y fija su mira a otra área de diferente luminancia, deberá adaptarse a esta y si retrocede a la tarea original ha de volver a readaptarse. A fin de ser capaz de ver los detalles de la tarea visual con rapidez y exactitud bajo circunstancias prácticas, las diferencias de luminancia dentro del campo de visión no deberán ser excesivamente elevadas pero al mismo tiempo, el entorno visual en una oficina deberá ser tal que permita a los músculos del ojo el margen completo de enfoque y apertura, por esta razón y para evitar la creación de un entorno monótono, debe existir una variación en las luminancias del campo de visión del trabajador. (Varela, 2016).

En este campo también se debe tener en cuenta el ángulo con el que otorgue la luz la luminaria ya que puede formarse el denominado efecto caverna en el cual se tiene oscuridad en la parte alta de la habitación o lugar, es por eso que para tener uniformidad en iluminación es importante contar con luminarias que ofrezcan un mayor ángulo de distribución de luz.

2.4.10. Control de deslumbramiento.

Uno de los aspectos dentro del alumbrado público, el deslumbramiento directo se mantendrá dentro de límites aceptables si se controla el grado de deslumbramiento molesto. La magnitud de la sensación de este último depende primeramente del número, posición, luminancia, tamaño de las fuentes deslumbradoras y de la luminancia a la cual los ojos están adaptados. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2001)

Bajo una serie de circunstancias, normalmente presentes en áreas iluminadas mediante luminarias empotradas o adosadas a la pared, de forma usual, el deslumbramiento puede limitarse usando el sistema de curva de luminancia. Este método es conocido como el Método

Europeo de Limitación del Deslumbramiento o diagrama CIE y facilita límites de luminancia media de las luminarias para diferentes clases de calidad en limitación de deslumbramiento y en el margen de ángulos críticos mencionados antes (es decir, desde 45° a 85° desde la vertical de la luminaria). (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2001).

Así también se puede tomar como regla general que, para evitar deslumbramientos directos, no se colocarán lámparas sin apantallar a nivel de los ojos, por tanto, no se situarán más bajos de 1m o más altos de 3m.

2.4.11. Modelado y sombras.

Podemos definir que es la capacidad del alumbrado para revelar forma y textura, esencialmente en personas, su capacidad de modelado es importante en la creación de una impresión global agradable, lo cual puede conseguirse cuando la luz influye más en una dirección que en otra, no obstante, si este efecto direccional es demasiado intenso, ocasionará sombras confusas e incluso quizá impida la visibilidad, por ello se debe procurar un buen modelado. (Celi & Chica, 2011).

2.4.12. Ciclos Lunares.

Luna nueva: También conocida como novilunio, es una fase lunar en donde la luna se encuentra exactamente ubicada entre el sol y la tierra, la Luna está a 90° el Sol (la luna está en cuadratura) y está en fase Cuarto Creciente donde tiene la apariencia de semicírculo iluminado. Su edad es de 7 días, 9 horas, 11 minutos y 0,72 segundos; en esta posición la Luna pasa por el meridiano del lugar aproximadamente 6 horas después del Sol.

Sucesivamente, el borde recto se curva aumentando la parte iluminada hasta que dos semanas después de Luna Llena o plenilunio iluminándose todo el disco. Su edad es de 14 días, 18 horas, 22 minutos y 1,45 segundos. La Luna pasa por el meridiano del lugar a medianoche y está en oposición (la Tierra se sitúa entre el Sol y la Luna). Las longitudes del Sol y de la Luna difieren 180° . En la Luna llena, cuando el Sol sale la Luna se pone. En esta fase es considerable aprovechar la luz natural de la Luna como apoyo en la iluminación.

Tras la Luna Llena, la parte iluminada va reduciendo de forma gradual y pasa por aspectos simétricos pero opuestos a los mostrados antes de la Luna Llena, se dice la Luna decrece.

Posterior a una semana la Luna Llena, la Luna se encuentra en Cuarto Menguante y tiene la forma de semicírculo, pero en el diámetro hacia levante (a la derecha). La edad de la Luna es de 22 días, 3 horas, 33 minutos y 2,2 segundos. Ahora la Luna está a 270° del Sol (la Luna de nuevo está en cuadratura).

Con el paso del tiempo, la Luna volverá a presentarse bajo la forma de un gajo, pero con las puntas hacia la derecha, finalmente a la edad de 29 días, 12 horas, 44 minutos y 2,9 segundos, transcurrido un mes sinódico, llegamos nuevamente a la Luna Nueva que supone el comienzo de otra lunación. (Díaz, 2007).

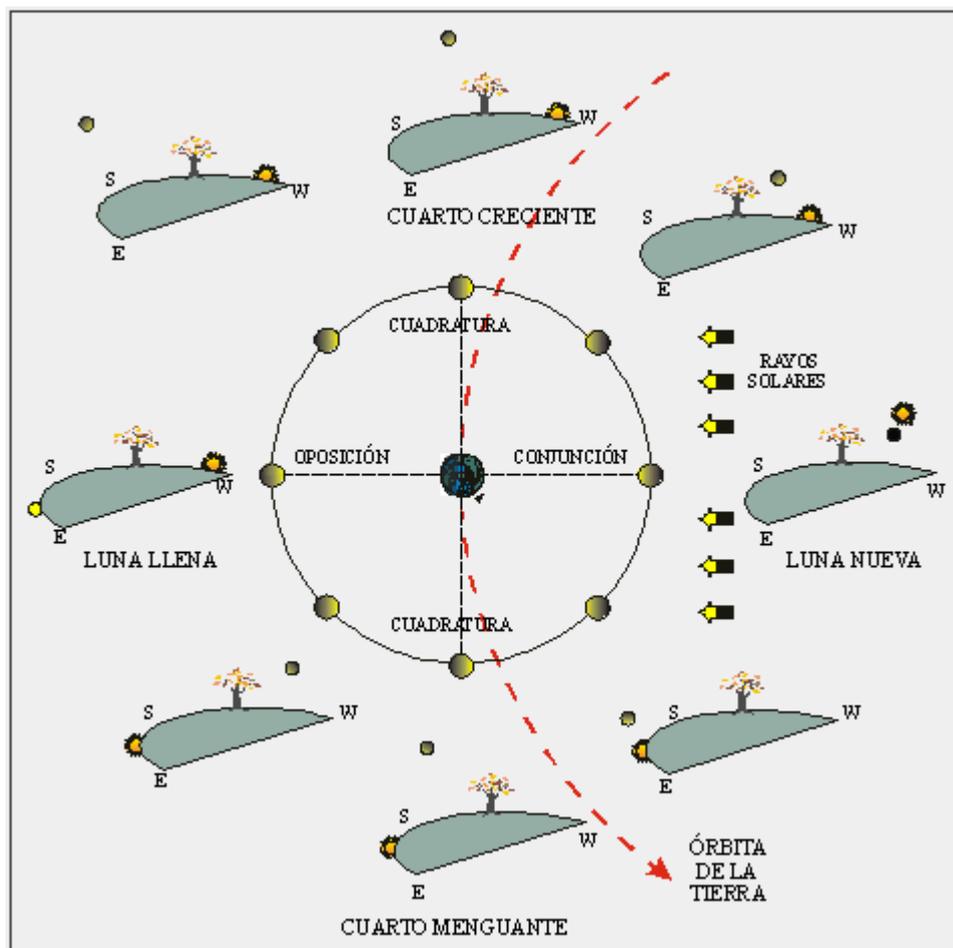


Figura N° 6 Fases Lunares
Fuente: (Díaz, 2007)

2.4.13. Color en el espacio visual.

La visión del ser humano (el ojo) funciona junto con el cerebro para poder interpretar las imágenes que se forman en él y así es capaz de distinguir mediante unas células denominadas conos, los distintos colores. Es por ello que el color es una percepción visual, una experiencia personal, una impresión sensorial que recibimos a través de los ojos y es producida por los rayos luminosos en los órganos visuales. (García Navas, 2015)

Uno de los elementos emisores de luz, ya sea natural o artificial posee una serie de características cromáticas que están representadas fundamentalmente por dos atributos:

- La apariencia de color de la fuente de luz.
- Su capacidad para reproducir colores, que afectan a la apariencia de color de objetos y personas iluminadas.

Es importante que los colores del entorno, de objetos y de la piel humana sean reproducidos en lo posible naturalmente y correctamente, para que las personas parezcan atractivas y saludables, además, los colores relacionados con la seguridad siempre deberán ser reconocibles como tales. Lo importante es que cada una de las situaciones que reflejan el color afecta la forma en que se perciben los colores.

2.4.14. Aprovechamiento de la luz natural.

Como aporta (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Comité Español de Iluminación, 2005), la luz natural es una fuente luminosa muy eficiente que cubre todo el espectro visible, con variedad de intensidad, color y distribución de luminancias. Sus características dependen de la latitud, meteorología, época del año y del momento del día. Así también, el clima y la calidad del aire también afectan a la intensidad y duración de la luz natural recibida, es por ello que se vuelve poco predecible.

Se puede rescatar tres componentes importantes de la luz natural procedente de la bóveda celeste:

- El haz directo procedente del sol.
- La luz natural difundida en la atmósfera (incluidas nubes), que es la componente difusa del cielo.
- La luz procedente de reflexiones en el suelo y objetos en el entorno exterior.

El color de la luz natural o diurna resulta de la mezcla aditiva de la luz coloreada procedente de cuatro fuentes: el cielo azul; la luz solar, de color más amarillo; el suelo que si está cubierto de vegetación es verde y finalmente las otras superficies reflectantes de variados colores.

2.5. La Luz

Una de las definiciones es que se denomina luz a la manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas capaces de ser percibidas por el órgano visual y afectar su sentido, las longitudes de onda de estas radiaciones electromagnéticas están comprendidas en el rango de 380 y 770nm, conocido como espectro visible. (Instituto Tecnológico de la Laguna, 2003).

La luz tiene tres características esenciales que se desprenden de su origen:

- Propagación rectilínea: La luz viaja en línea recta
- Reflexión: La incidencia de la luz sobre una superficie lisa, regresa a su medio original.
- Refracción: El cambio de la trayectoria de la luz cuando atraviesa un medio transparente.

2.5.1. Alumbrado para vías de tráfico rodado.

Considerando los tipos de vías y su congestión, así como el clima, podemos tomar las siguientes recomendaciones:

CLASE DE ALUMBRADO*	ILUMINANCIA DE LA SUPERFICIE DE LA CALZADA EN CONDICIONES SECAS			DESLUMBRAM. PERTURBADOR	ILUMINACIÓN DE ALREDEDORES
	Luminancia Media Lm (cd/m ²)	Uniformidad Global U ₀	Uniformidad Longitudinal U ₁	Incremento Umbral TI (%)**	Relación entorno SR***
ME 1	2,00	0,40	0,70	10,00	0,50
ME 2	1,50	0,40	0,70	10,00	0,50
ME 3	a	0,40	0,70	15,00	0,50
	b		0,60		
ME 4	a	0,40	0,60	15,00	0,50
	b		0,50		

* Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de TI que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio debe considerarse un factor de depreciación no mayor a 0.8 dependiendo del tipo de luminaria y grado de contaminación del aire.
** Cuando se utilicen fuentes de luces de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un incremento de 5% del incremento del umbral (TI).
*** La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas adyacentes a la calzada con sus propios requerimientos.

Figura N° 7 Clasificación de alumbrado para vías de tráfico rodado.
Fuente: (Universidad Politécnica de Cataluña, Facultad de Arquitectura, 2007).

2.5.2. Luminarias.

La difusión; es la fragmentación de un rayo luminoso en múltiples rayos al incidir sobre un reflector mate (no especular), o al atravesar una superficie opaca.

Se conoce como luminario un dispositivo en el cual existen los elementos necesarios para sostener y fijar una o varias lámparas y protegerlas, que a su vez contiene elementos para sujetarlo en una posición elevada para que distribuya, sea directamente mediante un reflector, un refractor o ambos, y un difusor en su caso, el flujo luminoso de ellas, contando al mismo tiempo con los elementos necesarios para conectarlas a la alimentación eléctrica.

A continuación, se describen puntos muy importantes que hay que tomar en cuenta, como son:

2.5.2.1. En un nivel técnico:

Necesidad de usar un luminario cerrado.

En vialidades siempre será mejor solución el empleo de luminarios cerrados, tomando en cuenta las condiciones de intemperie, lluvia, polvo y contaminación ambiental que influyen directamente en la eficiencia y en el mantenimiento de la iluminación.

Luminario sellado.

El uso de luminarios sellados tiene mucho que ver con los materiales empleados y la capacidad de disipación del calor generado por la lámpara y el balastro.

En el caso de requerir que este ventilado, se debe observar que las ventilas cuenten con filtros para evitar el ingreso de impurezas, ya que los cambios de temperatura por el ciclo de trabajo de la unidad producen un efecto de flujo de aire hacia adentro o hacia afuera en el luminario.

2.5.2.2. Desde el punto de vista óptico.

El tipo y la potencia de la lámpara.

Ya se ha señalado en el capítulo anterior la importancia de seleccionar las lámparas de mayor eficacia, con menor depreciación luminosa y mayor vida útil, debe tomarse muy en cuenta su construcción física puesto que nunca faltaran condiciones adversas ya sea atmosféricas como el viento y la lluvia, o vibraciones producidas por el tránsito de la vialidad. El tipo de fuente luminosa obliga el diseño de la óptica del luminario.

La distribución del flujo luminoso y altura de montaje.

Cada fabricante especializado ha creado un luminario que produce una distribución del flujo luminoso adecuado a su aplicación, se tratara de extender el flujo a lo largo y ancho de la vialidad; la intensidad del flujo luminoso siempre estará en función de la altura de montaje, se tratara de evitar toda molestia visual, deslumbramiento, a los usuarios para con esto obtener el máximo confort visual; las curvas de intensidad del flujo luminoso son trazadas en pruebas fotoeléctricas de laboratorio (curvas iso-lx) para cada unidad, de esta manera se facilita la selección.

2.5.3. Lámpara.

Es un dispositivo que produce luz a través del uso de la energía eléctrica, puede ser fija, colgante, sujeta a una base o un pie que permite iluminar espacios a los que no llega la luz natural del día o el sol. Es importante mencionar que, para cumplir satisfactoriamente con su función, la lámpara, debe reunir las siguientes condiciones: controlar y distribuir de modo eficiente la luz que se emite, es importante que la misma no encandile a los usuarios, sino que los ilumine de manera conforme. (Fowler, 1992).

2.5.4. Visibilidad e intensidad de luz todo en alumbrado público.

Dentro de los criterios de diseño para la iluminación de vías, debemos tomar en cuenta la comodidad del peatón, para que pueda desplazarse por las superficies de la calzada y de la acera con plena seguridad, la iluminación horizontal E_H , debe ser la idónea. (Universidad Politécnica de Cataluña, Facultad de Arquitectura, 2007).

Clase de alumbrado	Descripción de la calzada	Iluminancia Horizontal (lux)	
		Media	Mínima
P1	Calzadas de alto prestigio	20	7.5
P2	Uso nocturno intenso por peatones o ciclistas	10	3
P3	Uso nocturno moderado por peatones y ciclistas	7.5	1.5
P4	Uso nocturno menor por ciclistas o por peatones únicamente asociados con propiedades adyacentes	5	1
P5	Uso nocturno menor por ciclistas o por peatones únicamente asociados con propiedades adyacentes Importante preservar el carácter arquitectónico del entorno	3	0.6
P6	Uso nocturno muy reducido por ciclistas o por peatones únicamente asociados con propiedades adyacentes Importante preservar el carácter arquitectónico del entorno	1.5	0.2
P7	Calzadas donde se requiere sólo la guía visual proporcionada por la luz directa de las luminarias	No aplicable	No aplicable

Figura N° 8 Iluminación Horizontal

Fuente: (Universidad Politécnica de Cataluña, Facultad de Arquitectura, 2007)

2.5.5. Espectro electromagnético.

Es la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas, que viajan a través del vacío y se encuentran ordenadas de acuerdo a la longitud de onda (λ) y frecuencias (f); luego se descompone en longitudes de onda o colores que la integran, formando un espectro. La ciencia que se encarga del análisis de los espectros se llama espectroscopía. (García, 2009).

La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por la siguiente ecuación.

Fórmula de Espectro Electromagnético:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío ($c = 3 * 10^8 \text{ m/s}$)

Las radiaciones electromagnéticas se clasifican en:

- Ondas de radio.
- Microondas
- Infrarrojos
- Visible (espectro visible para el ojo humano)
- Ultravioleta
- Rayos X
- Rayos Gamma

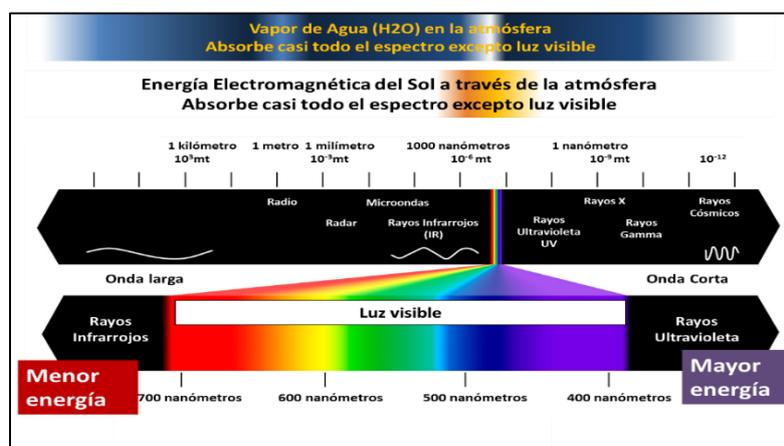


Figura N° 9 Espectro electromagnético

Se puede notar que el efecto visual de la radiación, en el rango visible, depende de la longitud de onda. Las magnitudes fotométricas se obtienen mediante diversos factores de peso que corresponden a la sensibilidad espectral relativa del sistema visual humano, basada en la diferente percepción de claridad para cada longitud de onda en la región visible. (Ministerio de Industrias y productividad, 2011).

Debido a las diferencias individuales, y a la dependencia de esta curva de sensibilidad espectral de las condiciones experimentales, y en especial del nivel de iluminación, ha sido necesario llegar acuerdos internacionales entre representantes de los diferentes países, los que han sido canalizados por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). La CIE (1970, 1978) adopta dos curvas de sensibilidad espectral relativa, V_λ , para el observador CIE estándar, en condiciones fotópicas (visión de día), es decir para niveles de iluminación altos en el año de 1924, y en condiciones escotópicas (visión nocturna), es decir para niveles de iluminación bajos, en el año de 1951.

En la figura 10 se muestran estas dos curvas, que están relacionadas a los dos sistemas de fotorreceptores que tiene el sistema visual humano, el de los conos, que opera fundamentalmente en condiciones fotópicas. El ojo muestra su máxima sensibilidad para 555nm en condiciones fotópicas, mientras que para condiciones escotópicas este máximo se desplaza hacia los 507nm. (Jacobo, 2007).

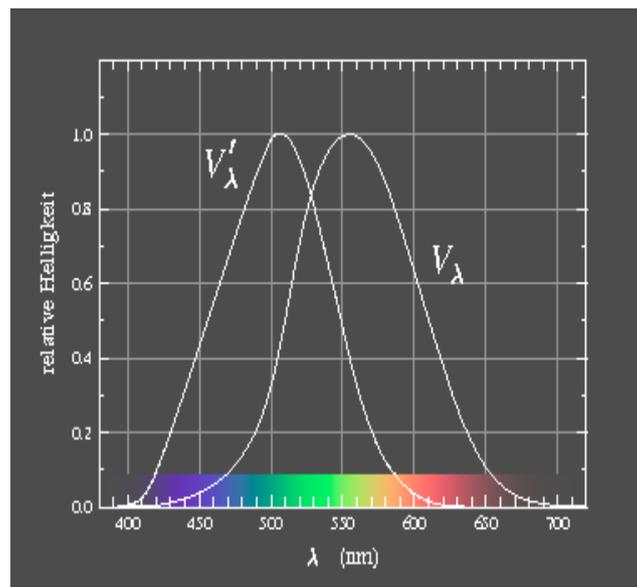


Figura N° 10 curvas de sensibilidad espectral para V_λ el observador CIE en condiciones fotópicas; V'_λ el observador en condiciones escotópicas (CIE 1970, 1978)

2.5.6. Propiedades de la luz.

Al momento que llega la luz a un objeto se producen los siguientes fenómenos:

- Reflexión
- Transmisión - refracción
- Absorción.

2.5.6.1. Reflexión.

La reflexión es un fenómeno que ocurre cuando la luz incide sobre una superficie, cambiando así su dirección. Este fenómeno está regido por la ley de la reflexión.

La dirección en la que sale reflejada la luz depende del tipo de superficie. Si la superficie es brillante toda la luz sale en una dirección única; es decir se produce una reflexión especular. Si la superficie es mate y la luz es reflejada en todas las direcciones se conoce como reflexión difusa. Se conoce como reflexión mixta al fenómeno que ocurre en superficies metálicas sin pulir en el que predomina una dirección sobre las demás. (Sirlin, 2006).

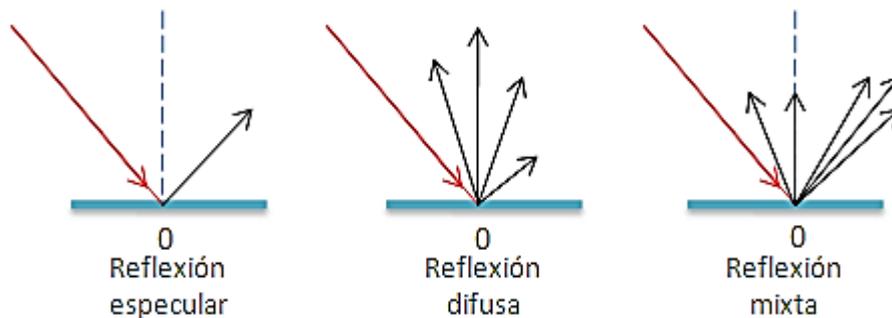


Figura N° 11 Reflexión

2.5.5.1.1 Clases de iluminación según las características de la vía

Las vías se clasifican en cinco grupos desde M5 (menor requerimiento lumínico) hasta vías de clase M1 (máximo requerimiento); esta clasificación está dada por la función de la vía, flujo vehicular, complejidad de la misma, separación entre calzadas y sistemas de control de tráfico como semáforos y otras señales de tránsito.

Generalmente los criterios asociados para asignar una clasificación de iluminación están asociados a las características viales, principalmente velocidad de circulación y número de vehículos. (López Arias, 2015).

Clase de iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
M1	Autopistas y carreteras	Extra alta	V>80	Muy importante	T>1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
M3	Vías principales y ejes viales	Media	30<V<60	Media	250<T<500
M4	Vías primarias o colectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M5	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

Figura N° 12 Clases de iluminación para vías vehiculares.

Fuente: (López Arias, 2015).

2.5.6.2. Refracción.

Cuando la luz se refracta cambia de dirección porque se propaga con distinta velocidad en el nuevo medio, por ejemplo, si la refracción es el agua, su índice es 1,33 y del aire 1,003. (Fogantini, 2007).

Fórmula del índice de refracción:

$$n = \frac{c}{v}$$

Dónde: n= índice de refracción; c= velocidad de la luz en el vacío; v= velocidad de la luz en el medio.

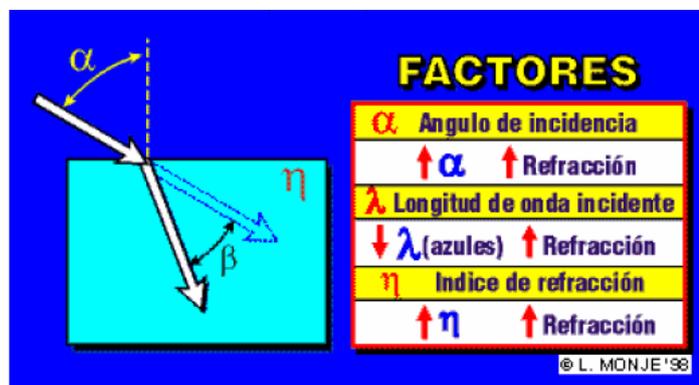


Figura N° 13 Refracción,

Fuente: (Ramón, 2004)

Sensores para iluminación e iluminación led identificar que la luz led da mayor intensidad lumínica que la luz incandescente disminución de costos con energía más limpia.

2.5.6.3. Absorción.

Es la capacidad de incidir un rayo de luz visible sobre una superficie negra, mate, y opaca, es absorbido prácticamente en su totalidad, transformándose en calor. (Ramón, 2004).

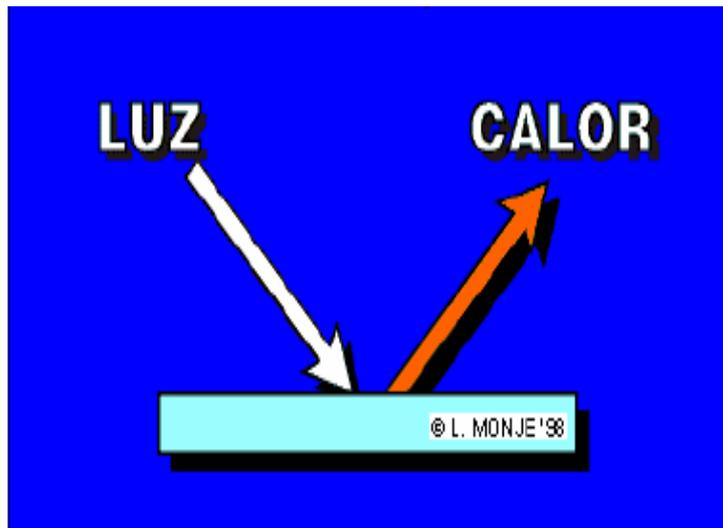


Figura N° 14 Absorción
Fuente: (Ramón, 2004)

2.5.7. Sensores de Focelda.

Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de luz. Este tipo de sensores se componen de 2 piezas, **el emisor**, que genera la luz, y **el receptor**, que “ve” a luz. (Sensores Eléctricos para la Industria, 2016)

Estos sensores se encargan de detectar el cambio en la cantidad de luz que, o es reflejada, o bien interrumpida por el objeto a detectar (diana). Todos los diversos modos de sensorizado se basan en este mismo principio de funcionamiento y están diseñados para la detección, clasificación y posicionamiento de objetos; la detección de formas, colores y diferentes superficies, aun en condiciones ambientales extremas.

2.6. Fundamentación legal

2.6.1. Sistema de ubicación de alumbrado público.

Según la última disposición del (Ministerio de Industrias y Productividad, 2011), los proyectos de alumbrado público deberán contar con las especificaciones técnicas en sus planos, ya que al iniciar un diseño de iluminación es necesario conocer las disposiciones que tiene el municipio para los diferentes operadores de servicios públicos, en cuanto a la colocación de los postes y redes de energía, así como la red de alumbrado público, respecto al costado donde deben colocarse en la malla vial local, y si existe algún impedimento para la colocación de los postes exclusivos de alumbrado público en la malla arterial, tanto principal como complementaria. Estos criterios se aplican tanto para los sistemas de alumbrado nuevos, como para los proyectos de reubicación.

La localización de las luminarias en la vía está relacionada con su patrón de distribución, con el ancho de la vía (W), con los requerimientos lumínicos de la vía, con la altura de montaje (H) de las luminarias, con el perfil de la vía, la proximidad a redes de AV, MV (en donde se deben cumplir las normas de distancias mínimas de seguridad establecidas en la Regulación 002-10 del CONELEC para Medio y Bajo Voltaje y CELEC-TRANSELECTRIC para Altos Voltajes y zonas de servidumbres), líneas férreas, mobiliario urbano, etc.

Aparte de estas consideraciones, la altura de montaje se relaciona con las facilidades para el mantenimiento y el costo de los apoyos. La interdistancia de localización de los postes de alumbrado (S) será la que resulte del estudio fotométrico de iluminación de la vía y primará sobre la distancia de ubicación de los elementos del mobiliario urbano (árboles, sillas, canecas para basura, bolardos, ciclo parqueos, etc.).

Las interdistancias solo se deben reducir debido a obstáculos insalvables, como por ejemplo sumideros de alcantarillas, rampas de acceso a garajes existentes, interferencia con redes de servicios públicos existentes y que su modificación resulte demasiado costosa comparada con el sobre costo que representa el incremento del servicio de alumbrado público, etc.

Se debe obtener interdistancias más elevadas mediante la utilización secuencial de las siguientes alternativas:

- Escoger la luminaria más apropiada.
- Calibrar el reglaje de la luminaria para aumentar su dispersión.
- Aumentar la inclinación de la luminaria (pasando de 0° hasta 20°);
- Utilizar brazos con mayor longitud y por tanto de mayor alcance.
- Aumentar la longitud del brazo para que el avance de la luminaria sobre la calzada sea mayor.

CAPÍTULO III

3. METOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL ESTUDIO

3.1. Tipos de Investigación.

La investigación de este proyecto es de tipo bibliográfico, de campo y aplicada, las mismas que permitirán desarrollar el proyecto cumpliendo las necesidades que este requiere.

3.1.1. Investigación documental o bibliográfica.

La investigación del proyecto se desarrolló con el método de investigación bibliográfica la misma que permitió la recopilación de la información de una manera metodológica, teórica y tecnológica obtenida de documentos, libros y de páginas virtuales en la red.

Este tipo de investigación permitió la construcción del marco teórico obteniendo recopilación de datos y antecedentes de los principales tipos de energía y sobre todo las principales características de los sistemas de iluminación pública existentes hoy en día en dentro del país y en los sectores rurales.

3.1.2. Investigación de campo.

La investigación del proyecto se enmarcó en un estudio de campo, misma que ayudó a recopilar información real del tipo de iluminación, calidad y cantidad de iluminancia (lux) del alumbrado público registrada de manera directa en los sectores rurales.

3.1.3. Investigación aplicada.

La recopilación de la información se realizó a través de un proceso de investigación aplicada, mediante la utilización y aplicación de normas de los sistemas de alumbrado público además de los procesos de manejo de los instrumentos de medida como el luxómetro, radiómetro, fotómetro, pirómetro.

3.2. Métodos.

Los métodos que se aplicaron en la investigación son: deductivo, analítico, sintético y experimental.

3.2.1. Método deductivo.

El método deductivo se aplicó en la recopilación de la información teórica, obtenida de fuentes como documentos, revistas, textos y páginas de internet, con la cual se estructuró el marco teórico utilizado como fundamento en el análisis de la investigación.

3.2.2. Método inductivo.

El método Inductivo se utilizó principalmente para identificar situaciones particulares en el transcurso de la investigación, realizando comparaciones entre hechos y aspectos observados en la recopilación de la información sobre los sistemas de alumbrado público y la utilización de los instrumentos de medida que permitieron generar conclusiones sobre el problema investigado.

3.2.3. Método analítico.

El método analítico se aplicó en el escogimiento minucioso de la información bibliográfica, de campo y aplicada, con la finalidad de identificar características, causas y consecuencias que nos permitan dilucidar de mejor manera la información obtenida para la realización de la propuesta.

3.2.4. Método sintético.

El método sintético se aplicó en la obtención de los resultados de la investigación de manera esquemática mediante el estudio de los aportes de las diferentes fuentes de información.

De esta manera el método sintético se plasma en la elaboración de resúmenes, esquemas, conclusiones y sobre todo el diseño de esquema de experimentación, además en la elaboración de la propuesta.

3.2.5. Método experimental.

El método experimental en la propuesta está basado en todas las prácticas de prueba y verificación, resultados registrados a medida que las pruebas realizadas nos exigían para llegar de manera óptima al funcionamiento del sistema de control de iluminación.

El método experimental es el resultado de todo el proceso de campo y aplicada, como fase previa al método experimental en donde se realizó pruebas de funcionamiento, mediciones y recolección de datos de campo con su correspondiente análisis.

3.3. Técnicas e instrumentos

Las técnicas utilizadas en la investigación son las siguientes:

La técnica de observación es una técnica de investigación que consiste en observar personas, objetos, fenómenos, hechos, situaciones, casos, acciones, con el fin de obtener determinada información necesaria para una investigación. Esta técnica se suele utilizar principalmente para observar el comportamiento de los beneficiarios o usuarios, para poder usar esta técnica, en primer lugar, debemos fijar nuestro objetivo o razón de investigación y en segundo lugar, determinar la información que vamos a recabar, la cual nos permitirá cumplir con nuestro objetivo.

La observación de campo se realizó en la fase de investigación diagnóstica, para la recolección de datos mediante la investigación aplicada, para finalmente a través de la fase experimental identificar los valores de las variables que nos permitan obtener el funcionamiento correcto del sistema de control de dichas variables.

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO

4.1. Introducción

En el siguiente capítulo se detallaran paso a paso los diferentes procesos que se realizan de una manera normada y que constituye de manera directa el desarrollo de la propuesta, es decir, el desarrollo continuo del proceso de construcción de la investigación y el avance periódico de la programación de acuerdo a las necesidades encontradas en el campo, tomando en cuenta la optimización y eficiencia de la energía eléctrica como principal incidente dentro del alumbrado público en los sectores rurales los cuales serán beneficiarios del estudio realizado.

4.2. Mediciones de la iluminancia.

La iluminancia (E) es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. La unidad de medida de la iluminancia en el sistema internacional es el lux.

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$$

En términos generales, la iluminancia se define por la siguiente expresión:

$$E_v = \frac{dF}{dS}$$

Donde:

E_v es la iluminancia, medida en lux

F es el flujo incidente, lúmenes

S es el elemento diferencial de área de incidencia considerado, en metros cuadrados.

La iluminancia se puede definir a partir de la magnitud radiométrica de la irradiancia sin más que ponderar cada longitud de onda por la curva de sensibilidad del ojo. Así si E_v es la iluminancia, E_λ representa la irradiancia espectral y V_λ simboliza la curva de sensibilidad del ojo, entonces.

$$.Ev = \int \text{visible } E(\lambda)V(\lambda)d\lambda$$

Tanto la iluminancia como el nivel de iluminación se puede medir con un aparato llamado fotómetro.

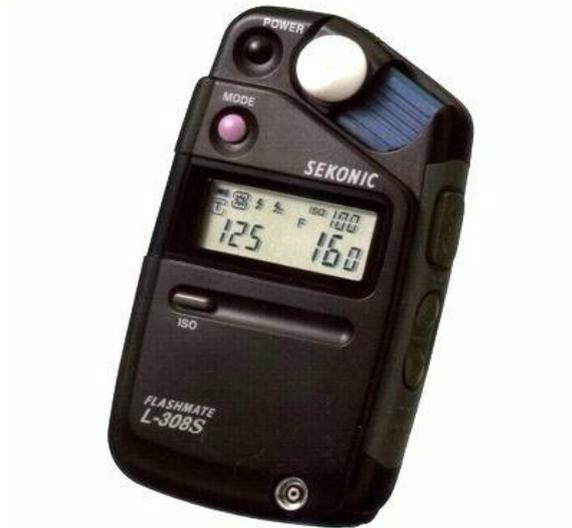


Figura N° 15 a Fotómetro.

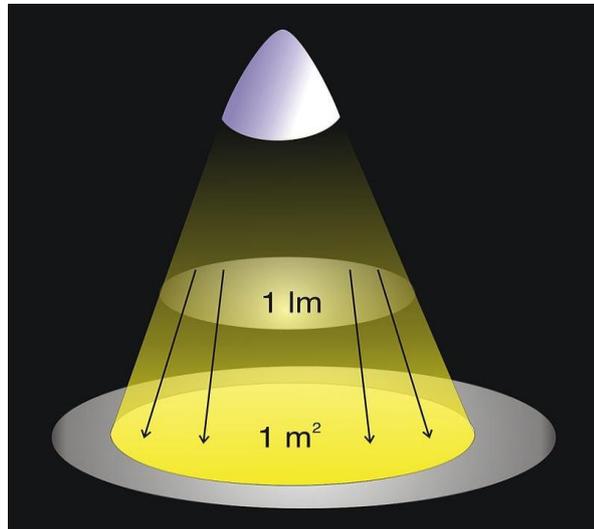


Figura N° 16 b Como se miden los luxes.

4.2.1. Equipo de medición

4.2.1.1. Luxómetro.

Es una aparato electrónico el cual es un preciso medidor de iluminación. Su rango de medición es muy amplio: de 0 a 4000 lux por lo que podemos darle una gran gama de usos.

Niveles de iluminación recomendados:

ZONAS	LUXES RECOMENDADOS
Calles y carreteras	20 - 50
Aparcamientos	40 - 60
Escaleras	50 - 100
Salas de espera, vestíbulos, pasillos	150 - 250
Salones y salas de reuniones	300 - 400
Mesas de despacho	600 - 1.000
Mesas de dibujo	700 - 2.000
Zonas de almacenamiento	100 - 200
Habitaciones y dormitorios	300 - 500
Cocina, Aseos y baños	400 - 600
Cafeterías y restaurantes	250 - 500

Figura N° 17 Zonas de iluminación

Fuente: (Ramón, 2004)

4.2.2. Mediciones.

En la parroquia de García Moreno, perteneciente al cantón Cotacachi, Zona de Intag, se realizaron las pruebas de medición con el equipo Luxómetro ya que este sector presenta todas las características necesarias en cuanto a sus estados de clima, en donde podemos apreciar caídas de neblina intensas hasta unos claros de luna totalmente despejados.

Se pudo obtener algunas lecturas de medición en los dos parámetros para tener una idea real de la cantidad de iluminación que podemos obtener en las calles de dicha parroquia.



Figura N° 18 Luxómetro



Figura N° 19 Luminaria de descarga de vapor de sodio

Se obtuvo algunas lecturas con luminarias de descarga de vapor de sodio alta presión de 70w que nos permitieron determinar que la iluminación es bastante deficiente cuando la condición climática muestra la caída de neblina.

Así mismo se pudo obtener la toma de lecturas con el luxómetro en la ciudad de Atuntaqui, a la altura de las calles Alejandro Martínez entre General Enríquez y Amazonas, en donde podemos observar que en una cuadra se encuentran instaladas luminarias con tecnología led y en la cuadra siguiente se encuentran luminarias convencionales con vapor de sodio, los dos tipos de iluminación se encuentran instaladas en postes de hormigón armado de 9 mtrs.



Figura N° 20 Lámpara Led de 110w sector Atuntaqui



Figura N° 21 Lámpara Led de 110w sector Atuntaqui



Figura N° 22 Medición Luxómetro lámpara led con escala de 2000

Se realizó la lectura de tres luminarias de 110w con tecnología LED las cuales arrojaron los siguientes datos:

Tabla N° 3
Toma de medidas

N°	LAMPARAS LED (lm)
1	1000
2	930
3	970

Fuente: El autor



Figura N° 23 Medición luxómetro lámpara vapor de sodio escala 2000

De igual manera se hizo la toma de datos de tres lámparas de 150w con las mismas condiciones de las lámparas Led, es decir en el mismo sector, con las mismas condiciones climáticas y el mismo día.

Tabla N° 4
Toma de medidas

N°	Lámparas Vapor de Sodio (lm)
1	630
2	690
3	650

Fuente: El autor

Con referencia de las muestras tomadas en campo en igual de condiciones podemos evidenciar que las luminarias con tecnología Led tienen mayor intensidad lumínica de hasta 32.06 % más de iluminación (lm).

Se puede decir también que otra de las ventajas que posee las lámparas led es el tiempo de vida útil que van desde los 30.000 hasta las 50.000 horas de vida útil, no así, las lámparas de vapor de sodio que tiene una vida útil de 25.000 hasta las 30.000 horas, con lo que la inversión se amortiza en un breve periodo de tiempo.

4.2.2.1. Auditoria Energética.

Consumo de energía de 25 lámparas de vapor de sodio instaladas en la calle principal de población de Gracia Moreno Zona de Intag.



Figura N° 24 Parroquia García Moreno-Cantón Cotacachi-Zona de Intag

Tabla N° 5
Consumo de energía lámparas vapor de sodio

N° lámparas	Horas/Día	Horas/Mes	Carga Instalada (w)	Consumo Balasto (w)	Consumo (wh /mes)
25	11	330	150	40	1567500
					1567500
Total: 1567.5Kwh mes⁻¹					

Fuente: El autor

Para el cálculo del costo del consumo de energía de las lámparas de vapor de sodio, hay que tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- La tarifa aplicada corresponde al pliego tarifario de la empresa Eléctrica Emelnorte valido desde Agosto del 2008.
- Se aplica la tasa del 9.5% de la tasa facturable como concepto de alumbrado público.
- El cálculo del costo energético es exacto y repetitivo para cada rango de consumo, conforme se propone en el pliego tarifario.

El valor en promedio por unidad de energía consumida seria de 0.168\$Kw/h

$$\text{costo} = 1567.5 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} \rightarrow 263.34 \frac{\$}{\text{mes}} * 0.095 = 25.01 \frac{\$}{\text{mes}} \rightarrow 300.20 \frac{\$}{\text{año}}$$

4.2.2.1.1. Costo Ambiental.

Con relación al consumo de combustible. Para medir la energía la unidad más habitual es la tonelada equivalente de petróleo (Tep). Su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y, como puede variar según la composición de este se ha tomado un valor convencional 49.1 GJ. 1 Bep (Barril Equivalente de Petróleo) = a 0.14 Tep. El barril equivalente de petróleo es una unidad equivalente a la energía liberada durante la quema de un barril aproximadamente 2 galones estadounidenses o 158,9873 litros de petróleo. El valor es una aproximación. Un barril de petróleo equivale a 6.12×10^9 J. o 1700Kwh, con referencia 32.35 API y densidad relativa de 0,3686.

$$TEP = 1.3 \frac{bbl}{mes} * \frac{0.14 TEP}{1bbl} = 0.182 \frac{TEP}{mes} \rightarrow 2.18 \frac{TEP}{año}$$

$$BEP = 1567.7 \frac{Kwh}{mes} * \frac{1bbl}{1700kwh} = 0.922 \frac{bbl}{mes} \rightarrow 11.06 \frac{bbl}{año}$$

4.2.2.1.2. Determinación de la Huella de Carbono.

La huella de carbono no es más que la cantidad total de gases que causan el efecto invernadero, generalmente se expresa en toneladas equivalentes de dióxido de carbono CO₂. (Hernández, 2010).

Para convertir la información recopilada y expresarla en toneladas de CO₂ se utilizan factores emisión que permitan determinar cuánto CO₂, por ejemplo, al consumir una determinada cantidad de energía. Los factores de conversión estándar fueron definidos por el IPCC (Grupo Intergubernamental expertos en cambio climático).

$$Huella c = 1567.7 \frac{Kwh}{mes} * \frac{0,0036TJ}{1000kwh} * \frac{92.708tonCO2}{TJ} = 0.523 \frac{tonCO2}{mes} \rightarrow 6.27 \frac{tonCO2}{año}$$

4.2.2.2. Consumo de Energía usando Lámparas con tecnología Led.

Vamos a realizar una comparación del consumo de energía entre las lámparas de vapor de sodio y las lámparas con tecnología led.

Tabla N° 6
Consumo de energía lámparas led

N° lámparas	Horas/Día	Horas/Mes	Carga Instalada (w)	Consumo (wh /mes)
25	11	330	110	907500
				907500
Total: 907.5Kwh mes⁻¹				

Fuente: El autor

$$\text{costo} = 907.5 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} \rightarrow 152.46 \frac{\$}{\text{mes}} * 0.095 = 14.48 \frac{\$}{\text{mes}} \rightarrow 173.80 \frac{\$}{\text{año}}$$

Como podemos apreciar existe una diferencia considerable en el costo del consumo de energía eléctrica en un 42.06% de ahorro.

4.2.3. Análisis.

En este caso se puede identificar que las 25 lámparas involucradas en el muestreo tomado tienen un consumo mensual de **1567.5Kwh** aproximadamente, algo así como 1000 lavadoras encendidas, lo que significa un costo de dinero de 300.20 dólares anuales.

Sin duda esto se ve reflejado a un consumo de combustible, para evaluar las cantidades de petróleo inmersas en el alumbrado público. Se tienen 11.06 barriles equivalente de petróleo al año, así como 2.18 toneladas equivalentes de petróleo. Ineludiblemente se calcula la huella de carbono generada por esta actividad, la cual dice que se emiten casi 7 toneladas de CO₂ por año, esto solo por el alumbrado público del tramo seleccionado.

En consecuencia, los costos generados por el desperdicio son de aproximadamente de 66\$ de la facturación anual por concepto del 22% del flujo luminoso no aprovechado. A pesar de que los números no parecen representativos, la clave está en mirar y analizar el global del alumbrado público, ya que este análisis que realizamos es apenas el tramo de una calle de todo el conglomerado nacional.

4.2.4. Coeficiente de Luminancia medio o Factor de Escala (Qo) normalizado.

Para una superficie a iluminar, calzada corresponde al cálculo por la siguiente expresión:
Fórmula:

$$Q_v = \frac{1}{\Omega_0} \cdot \int_0^{\Omega_0} q d\omega$$

Donde, Q_v : ángulo sólido que contiene las ubicaciones significativas de las luminarias.

q : coeficiente de luminancia.

d^w: ángulo sólido

4.3. Programación Arduino.

4.3.1. Arduino Yún.

Arduino es una plataforma de hardware libre basada en una placa con un microcontrolador, la cual está diseñada para el uso en proyectos electrónicos multidisciplinares.

Por otra parte Arduino proporciona un software consistente en un entorno de desarrollo (IDE) que implementa el lenguaje de programación y el bootloader ejecutado en la placa.

Características de un microcontrolador:

- Velocidad de reloj u oscilador
- Memoria: SRAM, Flash, EEPROM, ROM.
- I/O Digitales.
- Entradas analógicas.
- Salidas analógicas (PWM)
- DAC (digital to analog converter)
- ADC (analog to digital converter)
- Buses
- UART

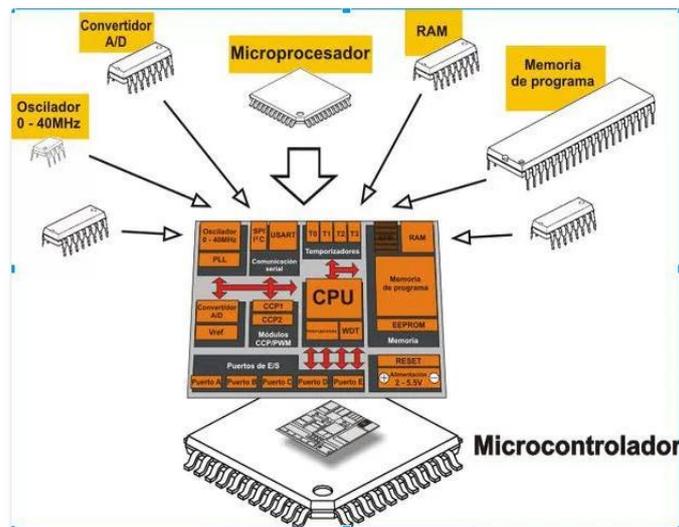


Figura N° 25 Microcontrolador



Figura N° 26 Memoria

4.4. Implementación

El sistema de iluminación basa su funcionamiento en una placa Arduino Yún, el cual consta con un módulo de comunicación WiFi integrado que permite comunicarse mediante IP a un dispositivo Android.

4.4.1. Programación Arduino.

Arduino es el cerebro del sistema, en nuestra aplicación permite la recepción de datos Wifi, la adquisición de los sensores de iluminación y el manejo de los niveles de iluminación en las lámparas.

4.4.2. Configuración inicial.

Al iniciar el sistema se realiza las configuraciones necesarias para el correcto funcionamiento, iniciando por la definición de los puertos de entrada y salida. También se configura e inicia el servidor Wifi desde Arduino Yún y se comprueba la configuración de la hora y fecha actual.

```

void setup()
{
  pinMode(8, OUTPUT); //Indicador MODO de funcionamiento
  pinMode(2, INPUT); //Selector MODO de funcionamiento
  digitalWrite(8, modo);
  Bridge.begin();
  server.listenOnLocalhost();
  server.begin();
  if (!date.running())
  {
    date.begin("date");
    date.addParameter("+%T");
    date.run();
  }
}

```

Figura N° 27 Inicialización del sistema

4.4.3. Ciclo principal.

Una vez iniciado el sistema se procede al ciclo principal que se repetirá de manera indefinida hasta apagar el sistema. Podemos dividir el proceso en varias etapas:

- a) **Recepción de datos:** a través de la comunicación Wifi se recibe datos para cambiar el modo de funcionamiento del sistema y para cambiar el nivel de iluminación de las lámparas en el modo manual.

```

/*Recepción de datos*/
YunClient client = server.accept();
if (client)
{
  process(client);
  client.stop();
}

```

Figura N° 28 Recepción de datos Wifi

Se inicia preguntando si existen datos disponibles en el cliente, en nuestro caso el dato proveniente de un dispositivo Android, y se los procesa mediante la subrutina *process(client)*.

```

void process(YunClient client)
{
    char command = client.read();
    switch (command)
    {
        case 'a': analogCommand(client); break;
        case 'm': modoCommand(client); break;
    }
}

```

Figura N° 29 Recepción y selección de comandos

La subrutina *process* permite leer la primera parte del comando que se conforma de una letra de reconocimiento.

El comando ‘a’ permite recibir el valor de iluminación al que se debe encender las lámparas mediante la subrutina *analogCommand(client)*, donde se guarda los valores independientes para las lámparas intercaladas en un vector.

```

void analogCommand(YunClient client)
{
    int value;
    b[0] = client.parseInt();
    client.read();
    b[1] = client.parseInt();
    client.read();
}

```

Figura N° 30 Subfunción de la recepción del nivel de iluminación

El comando ‘m’ permite recibir el modo de funcionamiento del sistema, en este caso tiene que ser comparado con el selector ubicado en el tablero de control. El modo de funcionamiento se lo visualiza mediante una luz piloto en el tablero de control y mediante texto en la interfaz del dispositivo Android.

```

void modoCommand(YunClient client)
{
    modo = client.parseInt() ^ digitalRead(2);
    digitalWrite(8, modo);
    if (modo)
        client.print(F("Automático"));
    else
        client.print(F("Manual"));
}

```

Figura N° 31 Subfunción de la recepción del modo de funcionamiento

- b) Lectura de fecha y hora:** los datos de fecha y hora son tomados cada vez que se encuentren disponibles, Arduino Yún maneja la sincronización de un reloj en tiempo real interno. Estos datos son necesarios para la selección de las horas de funcionamiento del sistema, es decir los horarios en los que cambia su iluminación en el modo Automático.

```

/*Lectura de fecha y hora*/
while (date.available() > 0)
{
    String timeString = date.readString();

    int firstColon = timeString.indexOf(":");
    int secondColon = timeString.lastIndexOf(":");

    String hourString = timeString.substring(0, firstColon);
    String minString = timeString.substring(firstColon + 1, secondColon);
    String secString = timeString.substring(secondColon + 1);

    hours = hourString.toInt();
    minutes = minString.toInt();
    lastSecond = seconds;
    seconds = secString.toInt();
}

```

Figura N° 32 Lectura de hora y fecha

- c) Lectura de sensores de iluminación:** aquí se realiza la lectura de los sensores de iluminación conectados a Arduino, y posteriormente, se obtiene un promedio de estos.

```

for (byte i = 0; i < 4; i++)
    iluminacion += analogRead(i);
iluminacion = byte(iluminacion / 4);

```

Figura N° 33 Lectura de sensores de iluminación

d) Detección de etapas del día: en esta sección de código el sistema asigna los intervalos de tiempo en las que se realiza los cambios en la funcionalidad del sistema.

```

/*Detección de etapas del dia*/
madrugada = 1 - (hours >= 0 && hours <= 5);
dia = (hours > 5 && hours <= 17);
noche = hours > 17;

```

Figura N° 34 Asignación de intervalos de tiempo

La configuración de los intervalos de tiempos se puede visualizar en la siguiente tabla.

Tabla N° 7
Intervalos de tiempo

Horario	Inicio	Final
Madrugada	0 H	5 H
Día	5 H	17 H
Noche	17 H	24 H

Fuente: El autor

Una vez inicializado el sistema y obtenidos los valores de los sensores, el sistema procede a aplicar la estrategia de control seleccionada.

Se tiene dos modalidades de funcionamiento, control manual y control automático, pueden ser seleccionadas mediante la interfaz de comunicación Wifi o a través del selector ubicado en el tablero de control.

4.4.4. Control manual.

En esta modalidad de control el sistema enciende las lámparas con los valores obtenidos con anterioridad a través de la comunicación Wifi, el usuario determina el nivel de iluminación para cada par de lámparas.

```
/*Control Manual*/  
for (byte i = 0; i < 2; i++)  
    analogWrite(pines[i], b[i]);
```

Figura N° 35 Control manual

4.4.5. Control automático.

En esta modalidad de control el sistema cambia el nivel de iluminación de las lámparas dependiendo de las condiciones ambientales y de la hora del día.

```
/*Control Automático*/  
for (byte i = 0; i < 2; i++)  
{  
    if (dia == 1)  
        if (iluminacion > 100 && iluminacion < 200)  
            analogWrite(pines[i], iluminacion);  
        else  
            analogWrite(pines[i], apagado);  
    else if (noche == 1)  
        if (iluminacion > 40)  
            analogWrite(pines[i], iluminacion);  
        else  
            analogWrite(pines[i], encendido);  
    else if ((i % 2) == 0)  
        analogWrite(pines[i], iluminacion * madrugada);  
    else  
        analogWrite(pines[i], iluminacion);  
}
```

Figura N° 36 Control automático

4.4.6. Código de Programación Arduino.



```
1 /*Comunicación WIFI*/
2 #include <Bridge.h>
3 #include <YunServer.h>
4 #include <YunClient.h>
5 YunServer server;
6 /*****/
7
8 #include <Process.h> //Configuración de la fecha
9 Process date;
10
11 int hours, minutes, seconds;
12 int lastSecond = -1;
13
14 /*Inicialización de funciones*/
15 void process(YunClient client);
16 void digitalCommand(YunClient client);
17 void analogCommand(YunClient client);
18 void modoCommand(YunClient client);
19 void cambio_modo();
20 /*****/
```



p_18

```
21
22 byte cont = 0;
23 boolean modo = 1;
24 boolean modo_com = 1;
25 int a00, a01, a02, a03, a04, a05;
26 byte b00, b01, b02, b03, b04, b05;
27 int a[2], b[2], pines[2] = {9, 11};
28 byte noche = 0;
29 byte dia = 0;
30 byte madrugada = 0;
31 byte a_i, b_i;
32
33 unsigned long tiempo_m;
34 byte encendido = 0;
35 byte apagado = 255;
36
37 void setup() //Ciclo de configuración
38 {
39   /*Configuración de pines I/O*/
40   pinMode(8, OUTPUT); //Indicador MODO de funcionamiento
41   pinMode(2, INPUT); //Selector MODO de funcionamiento
42   a_i = digitalRead(2);
43   b_i = a_i;
44   digitalWrite(8, modo);
45   /*****/
```

```
✓ → 📄 ⬆ ⬇
p_18
47  /*Inicialización de comunicación WIFI*/
48  Bridge.begin();
49  server.listenOnLocalhost();
50  server.begin();
51  /*****/
52
53  /*Inicialización de la fecha*/
54  if (!date.running())
55  {
56    date.begin("date");
57    date.addParameter("+%T");
58    date.run();
59  }
60  /*****/
```

```
✓ → 📄 ⬆ ⬇
p_18
62  Serial.begin(9600); //Configuración serial
63  }
64
65  void loop() //Ciclo principal
66  {
67    cambio_modos(); //Lectura del modo de funcionamiento
68
69    /*Recepción de datos WIFI*/
70    YunClient client = server.accept();
71    if (client)
72    {
73      process(client);
74      client.stop();
75    }
76    /*****/
77
```



p_18

```
78  /*Decodificación de fecha y hora*/
79  if (lastSecond != seconds)
80  {
81      /*if (hours <= 9)
82          Serial.print("0");
83          Serial.print(hours);
84          Serial.print(":");
85          if (minutes <= 9)
86              Serial.print("0");
87              Serial.print(minutes);
88              Serial.print(":");*/
89      if (seconds <= 9)
90          Serial.print("0");
91          Serial.println(seconds);
92
93      if (!date.running())
94      {
95          date.begin("date");
96          date.addParameter("+%T");
97          date.run();
98      }
99  }
100  /******
101
```



p_18

```
101
102 /*Lectura de fecha y hora*/
103 if (date.available() > 0)
104 {
105     String timeString = date.readString();
106
107     int firstColon = timeString.indexOf(":");
108     int secondColon = timeString.lastIndexOf(":");
109
110     String hourString = timeString.substring(0, firstColon);
111     String minString = timeString.substring(firstColon + 1, secondColon);
112     String secString = timeString.substring(secondColon + 1);
113
114     hours = hourString.toInt();
115     minutes = minString.toInt();
116     lastSecond = seconds;
117     seconds = secString.toInt();
118 }
119 /*****/
120
```



p_18

```
121 /*Detección de etapas del día*/
122 madrugada = 1 - (seconds >= 0 && seconds <= 10);
123 dia = (seconds > 10 && seconds <= 45);
124 noche = seconds > 45;
125 /*****/
126
```

```
✓ → 📄 ⬆️ ⬇️
p_18
127   if (modo) //Automático
128   {
129     /*Lectura de iluminación*/
130     int iluminacion = 0;
131     for (byte i = 2; i < 6; i++)
132       iluminacion += analogRead(i);
133     iluminacion = byte(iluminacion / 4);
134     Serial.print(iluminacion);
135     Serial.print("  ");
136     /*******/
137
```

```
✓ → 📄 ⬆️ ⬇️ Verificar
p_18
138   /*Control Automático*/
139   for (byte i = 0; i < 2; i++)
140   {
141     if (dia == 1)
142       if (iluminacion > 120)
143         analogWrite(pines[i], apagado);
144       else
145         analogWrite(pines[i], map(iluminacion, 0, 120, 0, 255));
146     else if (noche == 1)
147     {
148       if (iluminacion > 60) //Luna llena
149         analogWrite(pines[i], map(iluminacion, 60, 120, 0, 255));
150       else
151         analogWrite(pines[i], encendido);
152     }
153     else //Madrugada
154       analogWrite(pines[i], map(iluminacion, 0, 120, 128, 255)); //50%
155   }
156 }
157 else
158   /*Control Manual*/
159   for (byte i = 0; i < 2; i++)
160     analogWrite(pines[i], b[i]);
161 }
162
```

```
p_18
163 void process(YunClient client) //Lectura WIFI del comando a realizar
164 {
165     char command = client.read();
166     switch (command)
167     {
168         case 'a': analogCommand(client); break;
169         case 'm': modoCommand(client); break;
170     }
171 }
172
173 void analogCommand(YunClient client) //Cambio de iluminación en modo manual
174 {
175     int value;
176
177     /*Recepción de datos WIFI de iluminación*/
178     b[0] = client.parseInt();
179     client.read();
180     b[1] = client.parseInt();
181     client.read();
182     /*******/
183
```

```
p_18
184     Serial.print(b[0]);
185     Serial.print(" ");
186     Serial.println(b[1]);
187 }
188
189 void modoCommand(YunClient client) //Cambio del modo de funcionamiento
190 {
191     /*Recepción de datos WIFI del modo de funcionamiento*/
192     modo_com = client.parseInt();
193     modo = modo_com ^ digitalRead(2); //exor
194     digitalWrite(8, modo);
195     if (modo)
196         client.print(F("Automático"));
197     else
198         client.print(F("Manual"));
199     /*******/
```

```

200 }
201
202 void cambio_mod() //Comparar el modo de funcionamiento WIFI y físico
203 {
204   a_i = digitalRead(2);
205   if (a_i != b_i)
206   {
207     modo = modo_com ^ digitalRead(2);
208     b_i = a_i;
209     digitalWrite(8, modo);
210     Serial.println("cambio");
211     delay(20);
212   }
213 }

```

4.4.7. Programación aplicación Android.

El sistema de iluminación es también monitoreado a través de una aplicación en un dispositivo Android, la comunicación Wifi se la realiza mediante comandos IP. Podemos observar en la siguiente figura la apariencia de la interfaz de comunicación.

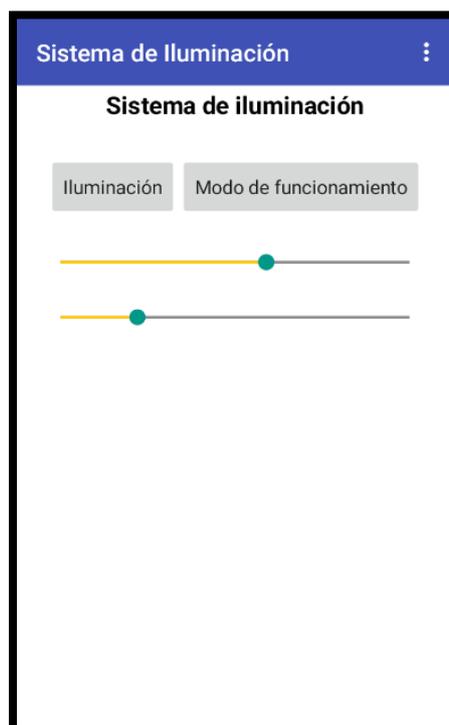


Figura N° 37 Programación Android

La programación de Android se la realiza mediante el entorno web App Inventor 2, una herramienta desarrollada por el MIT, el lenguaje de programación es mediante bloques de conexión, estos encajan juntos siempre que sea la instrucción correcta, lo cual permite realizar una depuración del código mientras se lo está desarrollando.

App Inventor es un entorno de programación visual intuitivo, permite que todos desarrollen aplicaciones completamente funcionales para teléfonos inteligentes y tabletas.

Esta herramienta está basada en bloques que facilitan la creación de aplicaciones complejas de alto impacto en mucho menos tiempo que los entornos de programación tradicionales. El proyecto MIT App Inventor busca democratizar el desarrollo de software al empoderar a todas las personas, especialmente a los jóvenes, para pasar del consumo de tecnología a la creación de tecnología.

En la figura se puede visualizar la interfaz para desarrollar la aplicación en App Inventor.

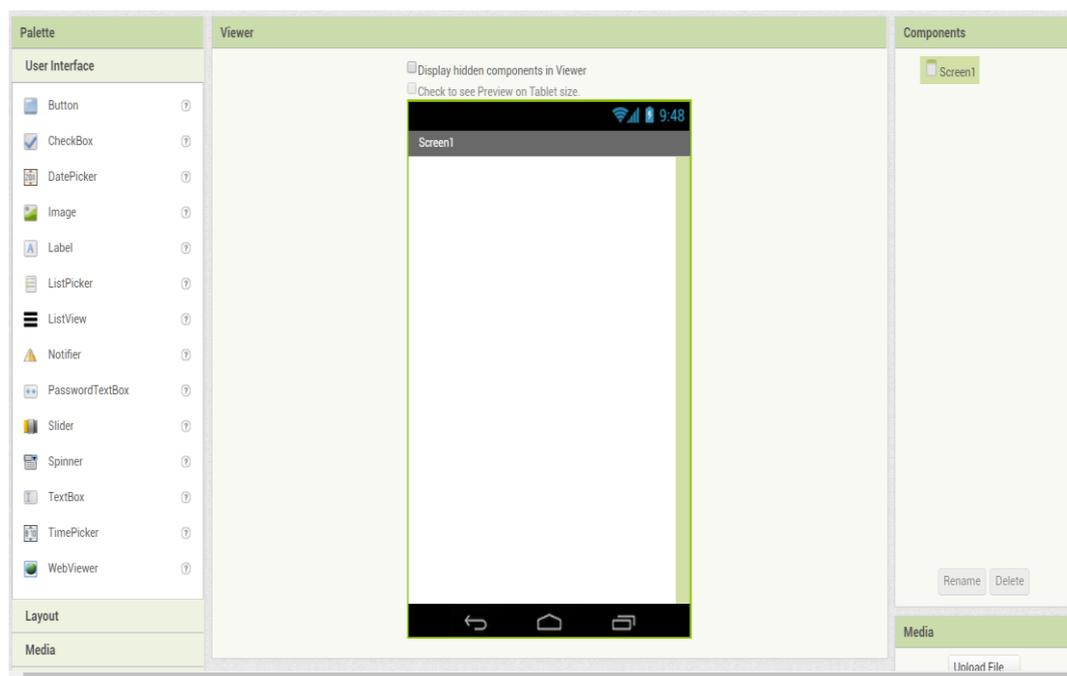


Figura N° 38 Interfaz App Inventor.

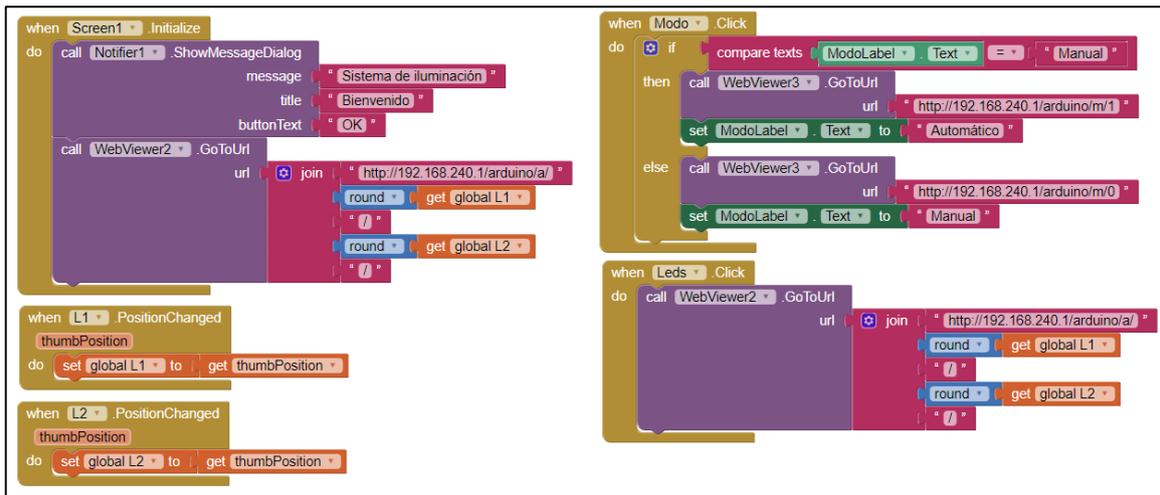


Figura N° 39 Programación Android

4.4.8. Inicialización del sistema.

Al iniciar la aplicación Android, el sistema muestra un mensaje de bienvenida y realiza un envío inicial del nivel de iluminación de las lámparas.

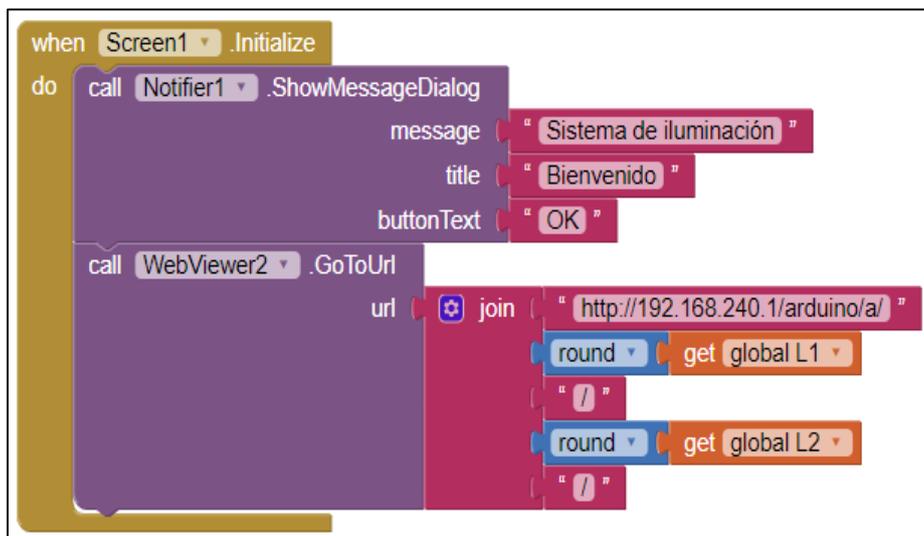


Figura N° 40 Inicialización del sistema

4.4.9. Modo de funcionamiento.

Al momento de realizar el cambio en el modo de funcionamiento en la interfaz el sistema compara el modo actual y realiza el cambio, el comando es enviado a través de un comando IP.

Para cambiar a modo automático se envía el comando “*http://192.168.240.1/arduino/m/1*”

Para cambiar a modo manual se envía el comando “*http://192.168.240.1/arduino/m/0*”

Se ha visto la recepción en Arduino, y se observa que se envía el parámetro de reconocimiento “*m*” seguido de un “*1*” o un “*0*”.

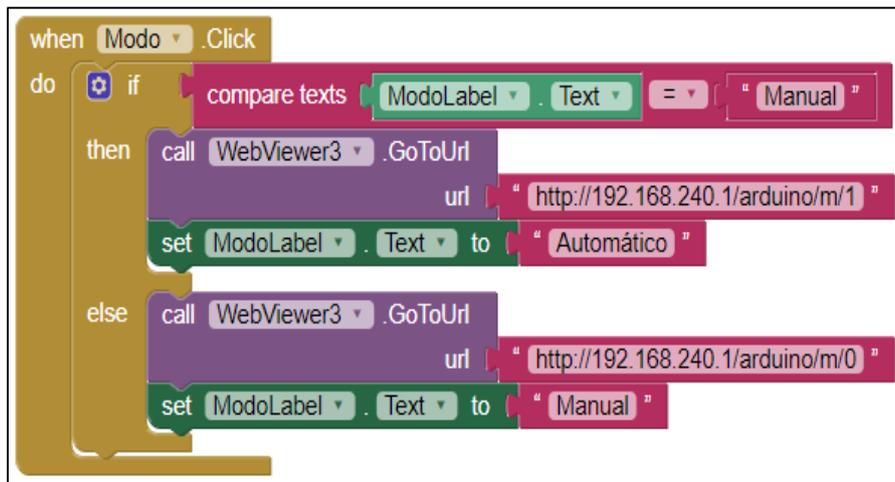


Figura N° 41 Envío del modo de funcionamiento.

4.4.10. Adquisición de los valores de iluminación.

La lectura de los niveles de iluminación en la interfaz Android se la realiza mediante Sliders ubicados en la interfaz principal, estos son adquiridos solo cuando su valor ha cambiado de manera independiente.

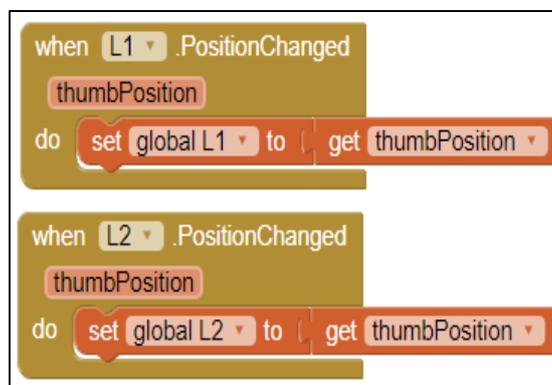


Figura N° 42 Adquisición del nivel de iluminación

4.4.11. Envío de nivel de iluminación.

Para realizar el envío del nivel de iluminación de las lámparas se lo realiza con un solo comando IP para el par de lámparas.

El comando que se envía es “`http://192.168.240.1/arduino/a/75/30`”, que permite al sistema poner a un 75% de iluminación una lámpara y al 30% a la otra, podemos notar que el comando de reconocimiento en esta instrucción es “a”.

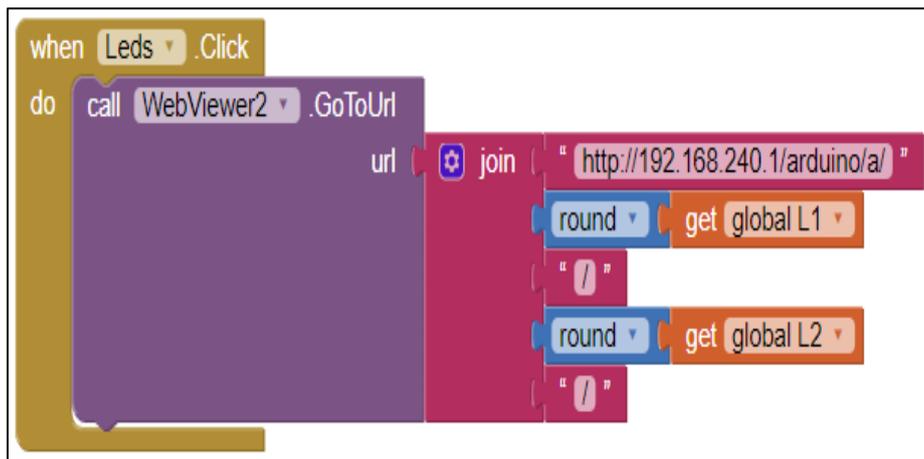


Figura N° 43 Envío del nivel de iluminación

4.4.12. Diseño del sistema electrónico de control y potencia.

4.4.12.1. Sistema electrónico de potencia.

El control de las lámparas no se lo puede realizar directo desde las salidas de Arduino debido a que el voltaje de salida es de 5V a 100mA de corriente que no es suficiente para encender las lámparas.

Por esta razón se realizó circuito que permita al sistema manejar las lámparas mediante una salida de 5V de Arduino que lo podemos ver en la figura 41, el circuito desacopla la parte de control con la de potencia mediante transistores BJT y un MOSFET que permite manejar la corriente de encendido.

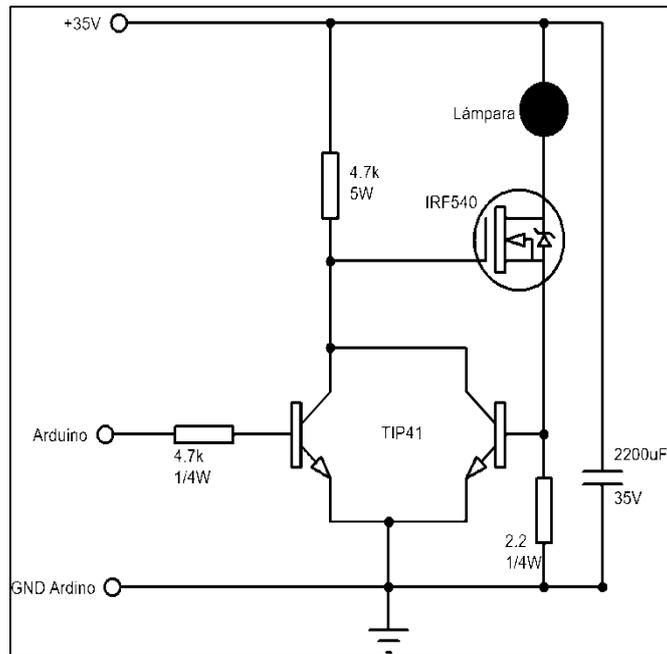


Figura N° 44 Diseño electrónico de potencia

Las lámparas, como se mencionó anteriormente, vienen compuestas de cuatro columnas de doce luces led conectadas en serie. Para el manejo de la lámpara se implementó una fuente de 35V, suficiente para el encendido de esta.

$$v_{led} = 2.7V$$

$$12 \times v_{led} = 12 \times 2.7V$$

$$12 \times v_{led} = 32.4V$$

La corriente viene limitada con una resistencia de 2.2Ω conectada al pin Drain del Mosfet el cual mantiene un voltaje fijo de $0.6V$.

$$I_{led} = \frac{0.6V}{2.2\Omega} = 270mA$$

Y la potencia requerida para la resistencia de limitación sería de $0.25W$.

$$P_r = \frac{V^2}{R} = \frac{(0.6V)^2}{2.2\Omega} = 0.1636 W$$

Con el voltaje y corriente suministrados la lámpara genera aproximadamente 1000 lúmenes de iluminación.

4.4.11.2. Sistema de Medición de Iluminación

Para la medición de la iluminación ambiental se utilizó fotoceldas conectadas en serie con una resistencia de 100 Ω .

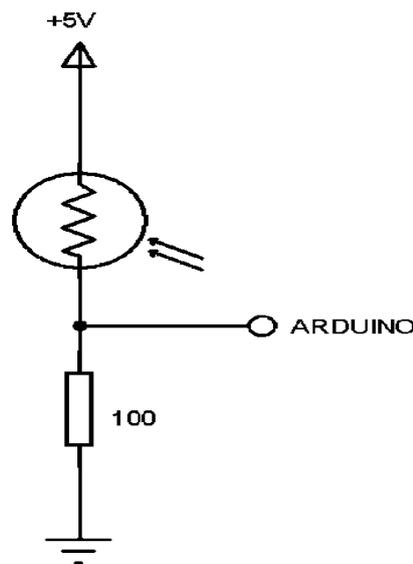


Figura N° 45 Medición en arduino

La medición en Arduino se la realiza mediante un puerto analógico. La fuente de alimentación del circuito en serie es de 5V, por lo cual el voltaje de entrada de Arduino se lo obtiene mediante un divisor de voltaje.

$$V_{arduino} = \frac{100}{100 + R_{fotocelda}} \times 5V$$

$$V_{arduino} = \frac{500}{100 + R_{fotocelda}}$$

Arduino tiene una resolución de 10 bits con lo que la medición de 5V entrega una lectura de 1023 bits, obtenemos la siguiente expresión.

$$L_{arduino} = \frac{1023}{5} \times V_{arduino}$$

$$L_{arduino} = \frac{102300}{100 + R_{fotocelda}}$$

Los datos de iluminación se muestran en la tabla siguiente, donde se puede ver la relación entre el valor de resistencia en el sensor y la cantidad de iluminación en el ambiente.

Tabla N° 8
Valor de resistencia

Resistencia	Lúmenes
82	13500
120	8200
185	4150
235	2600
260	2250

La iluminación sigue un comportamiento exponencial decreciente, lo cual se puede visualizar en la figura siguiente.

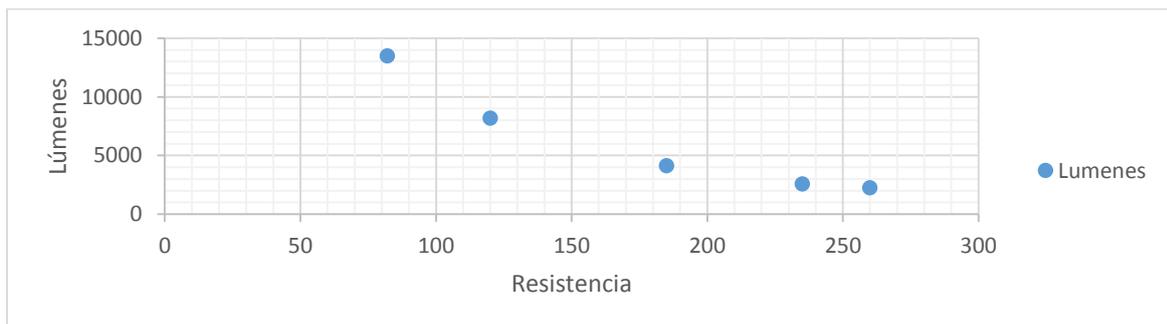


Figura N° 46 Comportamiento exponencial decreciente

En base al comportamiento de los datos podemos realizar una regresión exponencial, con lo que la fórmula aproximada del comportamiento del sistema queda expresada por:

$$\text{Lúmenes} = 42118.47 \times e^{-\frac{R}{65.51}} + 1452.84$$

En este sistema se tomó datos de iluminación en diferentes etapas del día las cuales se encuentran resumidas en la tabla siguiente:

Tabla N° 9
Datos de iluminación

Etapa	Lúmenes	Medición Arduino (bits)
Día	20000 - 30000	665 - 815
Inicio de la noche	1453	120
Luna llena	300	88
Noche	0	0

4.4.11.3. *Diseño de las placas de control y potencia.*

En la figura 41 se puede observar el diseño e implementación del circuito realizado en la figura 44. Una placa realiza el control de dos lámparas, de esta manera, podemos intercalar el encendido de las luces.

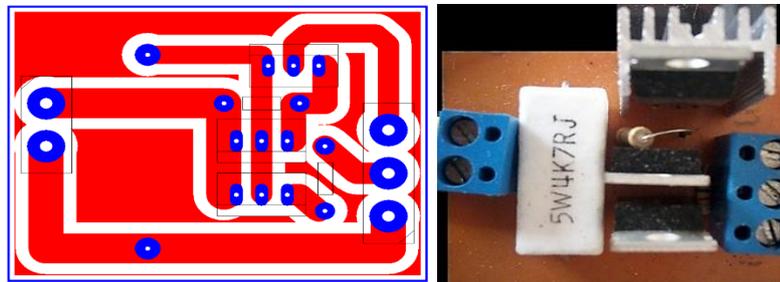


Figura N° 47 Placa electrónica de potencia

Para la parte de control, se realizó el diseño de una placa compatible con Arduino YUN, en la figura 45 podemos observar la implementación de esta.

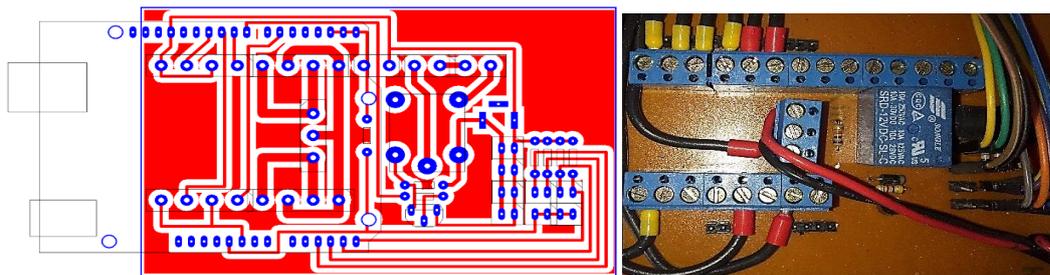


Figura N° 48 Placa electrónica de control

Para la generación del voltaje necesario para el correcto funcionamiento del sistema, se realizó una placa electrónica como se muestra en la figura 46.

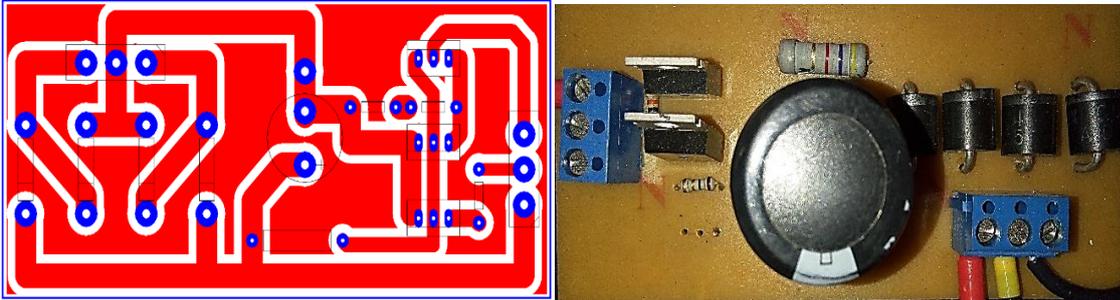


Figura N° 49 Placa de la fuente de alimentación

4.4.12. Implementación.

Una vez construido todos los componentes, se procede a realizar la instalación final del módulo de control de luminosidad, para ello, se lo instala sobre una mesa móvil la cual posee una estructura para la sujeción de las lámparas.



Figura N° 50 Sistema de control de iluminación implementado

4.4.13. Análisis del sistema de control.

Así como se había dicho anteriormente con respecto a la eficiencia y ahorro del consumo de energía, optimización del flujo luminoso, horas de vida útil entre el uso de las

lámparas de vapor de sodio y las lámparas led también, se representará aún más el ahorro que se pudo obtener con la programación de nuestro sistema.

4.4.13.3. *Atenuación de iluminación desde 01H00 a 4H00.*

El ahorro de la energía durante este lapso de tiempo de la madrugada no es algo descabellado, ya que al tratarse de un lugar en donde prácticamente no existe una vida nocturna se puede disminuir la intensidad luminosa de un 25%, es decir las lámparas conectadas en un circuito se atenuarán o más bien funcionarán al 75% de su iluminación total, obteniendo de esta manera un ahorro de energía del 25% a través del sistema de control de iluminación.



Figura N° 51 Sistema de control de iluminación

Tabla N° 10

Adquisición de datos del sistema.

N° lámparas	Corriente (A)	Corriente (A)	Potencia (W)	Potencia (W)
led	100%	75%	100%	75%

4	1	0.31	120	37.2
---	---	------	-----	------

Fuente: El Autor

$$P = V * I = 120v * 1A = 120w$$

$$P = V * I = 120v * 0.31A = 37.2w$$

El consumo de energía durante 3 horas diarias en el lapso de 01H00 hasta las 04H00 de nuestro propio sistema sería:

Tabla N° 11

Consumo del sistema de 01H00 a 04H00

N° lámparas	Horas/Día	Horas/Mes	Carga Instalada (w)	Consumo (wh /mes)
4	3	90	120w	10800
				10800

Total: 10.8Kwh mes⁻¹

Fuente: El autor

$$costo = 10.8 \frac{Kwh}{mes} \rightarrow 1.81 \frac{\$}{mes} * 0.095 = 0.17 \frac{\$}{mes} \rightarrow 2.06 \frac{\$}{año}$$

El ahorro del consumo de energía en nuestro propio sistema de control de iluminación al realizar la atenuación de la intensidad luminosa de un 25% sería:

Tabla N° 12

Ahorro de energía mediante la atenuación de iluminación del 25%

N° lámparas	Horas/Día	Horas/Mes	Carga Instalada (w)	Consumo (wh /mes)
4	3	90	37.2	3348
				3348

Total: 3.348Kwh mes⁻¹

Fuente: El autor

$$\text{costo} = 3.348 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} \rightarrow 0.56 \frac{\$}{\text{mes}} * 0.095 = 0.053 \frac{\$}{\text{mes}} \rightarrow 0.64 \frac{\$}{\text{año}}$$

Como se puede observar, se obtendrá el 31% menos del consumo de energía gracias a la variable considerada en la programación del sistema de control de iluminación.

4.4.13.4. Atenuación de la iluminación ante la presencia de la luna llena.

Sin duda, una de las principales razones para el ahorro de energía durante el día, es el sol, aprovechándolo de diferentes maneras como la creación de pozos de luz en la parte superior de las casas, tanques que tienen la propiedad de mantener el agua con una temperatura agradable para su consumo evitando el uso de duchas eléctricas y sin duda, la más importante los paneles solares.

¿Mediante este sistema es posible emplear la luz natural que ofrece la luna llena? Efectivamente, en este sistema de control de iluminación la luna llena forma parte de las variables para aprovechar su intensidad luminosa y sacarle el mejor provecho posible en el caso del alumbrado público, en donde al detectar la presencia de la luz natural el sistema de manera automática hará que la intensidad luminosa de las lámparas se atenúe obteniendo así un ahorro de energía.

Se ha considerado el calendario lunar que se observa en algunos portales de internet para realizar un estimado del consumo de energía durante el año. Si bien es cierto estos datos no pueden llegar a ser 100% efectivos ya que se depende directamente de las condiciones climáticas, durante la presencia de la luna llena, pero algo que si es cierto es que a medida que éstas condiciones lo permitan se podrá obtener el ahorro de energía ante la presencia de la luz natural. (Turismo Astronómico, 2015)

El sistema esta calibrado, para cuando la presencia de la iluminación de la luna llena la intensidad de las lámparas led se atenúen, esta atenuación será de acuerdo a la intensidad de la iluminación natural que proyecte. Se considerará que la atenuación de las lámparas va a ser del 50% para obtener resultados que avalen el ahorro de energía durante la presencia de este evento.



Figura N° 52 Sistema de iluminación

Tabla N° 13

Toma de medidas del sistema.

N° lámparas led	Corriente (A) 100%	Corriente (A) 50%	Potencia (W) 100%	Potencia (W) 50%
4	1	0.34	120	40.8

Fuente: El autor

$$P = V * I = 120v * 1A = 120w$$

$$P = V * I = 120v * 0.34A = 40.8w$$

El consumo de energía estimado durante la luna llena tomando en cuenta el calendario lunar seria la siguiente:

Año	Luna Nueva	Cuarto Creciente	Luna LLena	Cuarto Menguante	ΔT
2018	Ene 17 02:17	Ene 24 22:20	Ene 2 02:24	Ene 8 22:25	00h01m
	Feb 15 21:05 P	Feb 23 08:09	Ene 31 13:27 t	Feb 7 15:54	
	Mar 17 13:12	Mar 24 15:35	Mar 2 00:51	Mar 9 11:20	
	Abr 16 01:57	Abr 22 21:46	Mar 31 12:37	Abr 8 07:18	
	May 15 11:48	May 22 03:49	Abr 30 00:58	May 8 02:09	
	Jun 13 19:43	Jun 20 10:51	May 29 14:20	Jun 6 18:32	
	Jul 13 02:48 P	Jul 19 19:52	Jun 28 04:53	Jul 6 07:51	
	Ago 11 09:58 P	Ago 18 07:49	Jul 27 20:20 t	Ago 4 18:18	
	Sep 9 18:01	Sep 16 23:15	Ago 26 11:56	Sep 3 02:37	
	Oct 9 03:47	Oct 16 18:02	Sep 25 02:53	Oct 2 09:45	
	Nov 7 16:02	Nov 15 14:54	Oct 24 16:45	Oct 31 16:40	
	Dic 7 07:20	Dic 15 11:49	Nov 23 05:39	Nov 30 00:19	
			Dic 22 17:49	Dic 29 09:34	

Figura N° 53 Calendario lunar

Fuente: <https://www.turismoastronomico.cl/pdf-docs/calendario-lunar-pdf.pdf>

Tabla N° 14*Consumo de energía con la presencia de la Luna Llena*

N° Lámparas	Horas/año	Carga instalada	Consumo
Led		(W)	(wh/año)
4	42	40.8	1713.6
			1713.6
Total: 1.7136Kwh año⁻¹			

Fuente: El autor

$$\text{costo} = 1.7136 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} \rightarrow 0.28 \frac{\$}{\text{mes}} * 0.095 = 0.027 \frac{\$}{\text{mes}} \rightarrow 0.32 \frac{\$}{\text{año}}$$

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez terminado nuestro trabajo de diseño y construcción del tablero didáctico, y con todos los sistemas en completo funcionamiento podemos concluir lo siguiente:

5.1. CONCLUSIONES.

- El sistema de control de iluminación permite manejar de manera eficaz el consumo energético debido a la instalación de sensores de iluminación y su respectivo control.
- Con el sistema propuesto y las estrategias de control aplicadas tenemos un ahorro energético del 72% con relación a otros sistemas.
- El proyecto “Diseño de un Sistema de Control de Iluminación Exterior en Zonas Rurales Lejanas” es factible ya que cumple con los objetivos principales de ahorro energético y uso eficiente de la energía, permitiendo un rápido retorno de inversión y generando un beneficio económico permanente.
- Los costos generados por el desperdicio son de aproximadamente de 66\$ de la facturación anual por concepto del 22% del flujo luminoso no aprovechado. A pesar de que los números no parecen representativos, la clave está en mirar y analizar el global del alumbrado público, ya que este análisis que se realizó es apenas el tramo de una calle de todo el conglomerado nacional.
- El uso no correcto de la energía se traduce en 11.06 barriles equivalentes de petróleo al año, así como 2.18 toneladas equivalentes de petróleo. Ineludiblemente se calcula la huella de carbono generada por esta actividad, la cual dice que se emiten casi 7 toneladas de CO₂ por año, esto solo por el alumbrado público del tramo seleccionado.
- Al implementar el sistema de control de iluminación permitirá arrojar resultados bastante positivos al momento de hablar del transporte de combustible que en muchas ocasiones se las realiza por medio aéreo simplificando el costo hacia este rubro.

5.2. RECOMEDACIONES.

- Se recomienda la utilización de lámparas que generen mayor iluminación para que su distribución pueda realizarse a mayor distancia.
- Es importante hacer comparaciones de los diferentes tipos de luminarias de alumbrado público usando la tecnología LED, considerando las necesidades del sitio de instalación.
- Para la implementación a gran escala se recomienda cambiar el sistema de comunicación a sistemas SCADA para realizar un monitoreo y control de una mayor cantidad de dispositivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Assaf, L., Colombo, E., & O'donnell, B. (2014). *Luminarias para la iluminación de interiores*. Argentina: Universitaria.
- Blanca Giménez, V., Castilla Cabanes, N., Martínez Antón, A., & Pastor Villa, R. (31 de Mayo de 2011). <https://riunet.upv.es>. Recuperado el Mayo de 03 de 2017, de <https://riunet.upv.es>:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1>
- Celi, S. D., & Chica, N. J. (2011). *Diseño de un sistema eficiente de control de iluminación con luminarias apropiadas para un edificio de la EPN e implementación del mismo en un laboratorio de área de 200m cuadrados*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Termodinámica*. México: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Cohen, B. L. (2005). *La energía nuclear: una opción para el futuro* (Segunda edición ed.). México: Siglo XXI editores.
- Concejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (2011). *Regulación CONELEC 008/11*. Quito: INEN.
- Díaz, V. (27 de Julio de 2007). <http://www.elcielodelmes.com>. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de <http://www.elcielodelmes.com>:
<http://www.elcielodelmes.com/faseslunares.php>
- Ecu Red. (22 de Septiembre de 2016). <https://www.ecured.cu>. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de <https://www.ecured.cu>:
https://www.ecured.cu/L%C3%A1mparas_de_vapor_de_mercurio
- EFIMARKET. (06 de Marzo de 2017). <http://www.efimarket.com>. Recuperado el 02 de Junio de 2017, de <http://www.efimarket.com>: <http://www.efimarket.com/blog/lampara-de-vapor-de-sodio-de-alta-presion/>
- Enríquez, H. G. (2006). *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*. México: Editorial Limusa.
- Fernández, F. J., & Pujal, C. M. (1981). *Iniciación a la física, Volumen 2*. Barcelona: Reverté.

Fogantini, P. (21 de Diciembre de 2007). <http://www.ib.edu.ar>. Recuperado el 05 de Mayo de 2007, de <http://www.ib.edu.ar>: <http://www.ib.edu.ar/becaib/cd-ib/trabajos/Fogantini.pdf>

Fowler, R. J. (1992). *Electricidad: principios y aplicaciones*. Barcelona: Reverte.

Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, ANFALUM, Consejería de Economía y Hacienda. (2015). *LED en el Alumbrado*. Madrid, Madrid, España: BOCM. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-LED-en-el-alumbrado-fenercom-2015.pdf>

García Navas, M. (2015). *El color como recurso expresivo: análisis de las series de televisión Mad Men y Breaking Bad*. Madrid, Madrid, España: Sección Departamental de Comunicación Audiovisual. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de <http://eprints.ucm.es/38067/1/T37356.pdf>

García, S. (16 de Octubre de 2009). <http://www.um.es/atika/webs/>. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de <http://www.um.es/atika/webs/>: <http://webs.um.es/gregomc/IntroduccionAstronomia/Temas/04%20INSTRUMENTO%20DE%20OBSERVACION.pdf>

Gil, J. M., & Romero, M. M. (2009). *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior : y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07*. Madrid: Editorial Paraninfo.

González, G. A. (2011). *La Energía*. Word press.

González, V. J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona : Reverté.

Hernández, H. (2015). Tipos de balastos. *Revista eléctrica #71 online*, 30.

Ibarra, S. A. (2008). *Diccionario de física*. Madrid: Editorial Complutense.

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (2013). *Eficiencia Energética*. Quito: INER.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Comité Español de Iluminación. (2005). *Guía Técnica: Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Madrid, Madrid, España: IDAE. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de

http://www.academia.edu/16971761/Gu%C3%ADa_t%C3%A9cnica_Aprovechamiento_de_la_luz_natural_en_la_iluminaci%C3%B3n_de_edificios

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Ciencia y Tecnología. (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas*. Madrid, Madrid, España: IDAE. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random493f9379c1bec/1228906223_Gu_a_Eficiencia_Energetica_Iluminacion_oficinas_IDAE.pdf

Instituto Tecnológico de la Laguna. (20 de Septiembre de 2003). <http://www.itlalaguna.edu.mx/>. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de <http://www.itlalaguna.edu.mx/>: http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/optopdf_archivos/OPTOELECTRONICA.PDF

Jacobo, S. (19 de Septiembre de 2007). <http://materias.fi.uba.ar>. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <http://materias.fi.uba.ar>: <http://materias.fi.uba.ar/6303/EstructuraAtomica.pdf>

Kane, J. W., & Sternheim, M. M. (2007). *Física*. Barcelona: Reverté S.A.

Lévy, E. (2008). *Diccionario de física (Ed. Económica)*. Madrid: Akal S.A.

López Arias, S. (2015). *Iluminación y Alumbrado Público* (1 ed.). Bogotá, Bogotá, Colombia: UNAL. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/48843/1/1053814558.2015.pdf>

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2007). *Eficiencia Energética en el Sector Público*. Quito: MEER.

Ministerio de Industrias y Productividad. (2011). Reglamento Técnico Ecuatoriano "Alumbrado Público". En S. d. Calidad, *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 "Alumbrado Público"* (pág. 118). Quito, Pichincha, Ecuador: Registro Oficial. Recuperado el 16 de Mayo de 2017, de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/prte_069.pdf

Ministerio de Industrias y productividad. (25 de Noviembre de 2011). *Subsecretaria de la calidad*. Obtenido de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/prte_069.pdf

- Ministerio de industrias y productividad. (2015). *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 (1R)*. Quito: MIPRO.
- Parlamento Europeo. (2017). *Eficiencia energética*. Fichas técnicas sobre la Unión Europea.
- Ramón, J. (04 de Octubre de 2004). <https://www.uv.mx>. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <https://www.uv.mx>: <https://www.uv.mx/personal/lenunez/files/2013/06/luz.pdf>
- recursostic.educacion.es. (2008). *Energía Eléctrica*. Obtenido de http://recursostic.educacion.es/eda/web/eda2008/profesores_newton/practicas_newton/p3/Eda2008%20Newton/fernandez_munim/textos/4atipos_energia/4a2energia%20electronica.htm
- Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica*. México: Pearson Educación.
- Salcedo, I. (2014). *La eficiencia energética y el ahorro*. Obtenido de La eficiencia energética y el ahorro: <https://www.kayelectric.com.ve/blog/68-la-eficiencia-energetica-y-el-ahorro>
- Sánchez, R. J., & Cárcel, C. F. (2015). *Investigación de los factores incidentes en la eficiencia energética y mantenibilidad de los sistemas de iluminación interior de edificios*. Madrid: 3Ciencias.
- Sanjuán, S. E. (28 de Enero de 2014). <http://www.f2e.es>. (AIDO, Ed.) Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de <http://www.f2e.es>: http://www.f2e.es/uploads/doc/20140130095253.aido_cefilum_2014_f2e.pdf
- Schaum, D., Merwe, V. D., & Carel, W. (2001). *Física General*. México: Mc Graw-Hill.
- Senner, A. (1994). *Principios de electrotecnia*. Barcelona: Reverté .
- Sensores Eléctricos para la Industria. (11 de Noviembre de 2016). <http://zensotec.com>. Recuperado el 16 de Mayo de 2017, de <http://zensotec.com>: <http://zensotec.com/fotocelda>
- Sirlin, E. (29 de Marzo de 2006). <http://www.elisirlin.com.ar>. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <http://www.elisirlin.com.ar>: http://www.elisirlin.com.ar/11_fisica%20de%20la%20luz.pdf
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Física para la ciencia y la tecnología*. España: Reverté.

- Turismo Astronómico*. (2015). Obtenido de Fuente <https://www.turismoastronomico.cl/pdf-docs/calendario-lunar-pdf.pdf>
- Universidad Nacional de La Plata. (14 de Marzo de 2010). <http://www2.fisica.unlp.edu.ar>. (D. d. Física, Ed.) Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de <http://www2.fisica.unlp.edu.ar>: <http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/FEIII/OLD/2012/IntensidadLuminosa.pdf>
- Universidad Politécnica de Cataluña, Facultad de Arquitectura. (08 de Noviembre de 2007). <https://upcommons.upc.edu>. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <https://upcommons.upc.edu>: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4429/anexo%2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Valera, N. J. (2005). *Apuntes de Física General*. México: UNAM.
- Varela, M. (30 de Noviembre de 2016). <http://elinsignia.com>. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de <http://elinsignia.com>: <http://elinsignia.com/2016/11/30/la-iluminacion-ambiente-laboral/>
- Villarubia, L. M. (2012). *Ingeniería de la Energía Eólica*. España: Marcombo S.A.
- Zabalza, B. C. (2007). *El ahorro energético en el nuevo código técnico de la edificación*. España: FC Editorial.

Anexos

ANEXO 1. MANUAL DE USUARIO

1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de control de iluminación exterior que permita optimizar el consumo de energía eléctrica contribuyendo a la eficiencia energética.

2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer y comprender las normas técnicas para iluminación de exteriores.
- Diseñar el sistema de control, basado en micro controladores, sensores y actuadores acorde a las necesidades descritas.
- Estudiar las variables que presenta el lugar en donde se realizaran las pruebas.

3. INTRODUCCION

Se plantea a continuación las pautas de uso, conservación y mantenimiento a seguir para garantizarnos la durabilidad y el correcto funcionamiento del sistema de control de iluminación.

Este manual tiene como finalidad ofrecer al usuario una herramienta de manejo y aprendizaje sencilla y práctica.

Su enfoque, al igual que su construcción, se ha basado en la obtención de un conjunto sencillo capaz de adaptarse por sí solo a las variables que definen el objeto de su funcionamiento.

El sistema de control de iluminación está diseñado para leer e interpretar las condiciones físicas, medio ambientales y además, se regulara el flujo luminoso de forma continua a lo largo de su vida del alumbrado presencial, que consiste en disminuir o atenuar drásticamente el nivel de iluminación en horarios de la madrugada (01:00 a 04:00 am) en cada calle en donde existe un tráfico nulo de personas y vehículos, obteniendo de esta manera un ahorro significativo de

energía el mismo que podría ser utilizado o destinado para el consumo del hogar o a su vez para almacenarla.

El sistema diseñado en este proyecto también sin duda ayuda al ahorro de energía ante la presencia de iluminación natural como lo es el de la luna llena, en donde nuestro sistema percibirá el flujo luminoso natural para atenuar el flujo luminoso de las lámparas y así de esta manera aprovechar la luminosidad que esta nos brinda para obtener un ahorro de energía ante esta circunstancia.

Además, se creará e instalará una aplicación Android para realizar un control remoto manual desde un Smartphone o Tablet de los siguientes parámetros:

- Encendido y apagado del sistema de control
- Atenuación del flujo luminoso emitido por las lámparas led según su necesidad.
- Encendido al 100% del flujo luminoso de las lámparas instaladas
- Intercalado del encendido de las lámparas
- Atenuación del flujo luminoso intercalado de las lámparas.

4. DESARROLLO DEL MANUAL DE USUARIO

4.1 ARDUINO YÚN

El Aduino Yún es un tablero Arduino diferente a cualquier otro. Durante la programación, es muy similar al Arduino Leonardo y utiliza el mismo procesador, Atmel ATmega32U4, también tiene un procesador adicional, un Atheros AR9331, que ejecuta Linux y la pila inalámbrica OpenWrt. La programación del 32U4 a través de USB es idéntica a la del Arduino Leonardo. Una vez que haya configurado el Yún para conectarse a su red WiFi, también puede programar el 32U4 a través de WiFi.

4.2 INICIO RAPIDO

Arduino Yún está programado usando el software Arduino (IDE), nuestro entorno de desarrollo integrado común a todos nuestros tableros.

4.3 INSTALACION DE CONTROLADORES PARA EL YÚN

4.3.1 OSX

La primera vez que conectas un YÚN a una Mac, se instalara el asistente de configuración del teclado. No hay nada que configurar con el YÚN; puede cerrar este dialogo haciendo clic en el botón rojo en la esquina superior izquierda de la ventana.



Figura 1 Asistente de Configuración del Teclado

4.3.2 Windows

La versión de Windows del software Arduino (IDE) ya contiene los controladores adecuados. Cuando lo instalo, permite que el sistema operativo lo instale. Conecte su YUN y los controladores se instalarán automáticamente.

4.3.3 Linux

No es necesario instalar controladores para el Ubuntu 10.0.4 y posterior, pero asegúrese de que el puerto 5353 no esté siendo bloqueado por un firewall.

4.4 Abra su primer boceto

Abra el boceto del primer ejemplo del led parpadeante:

Archivo/ejemplos/01.Basicos/Parpadeo.

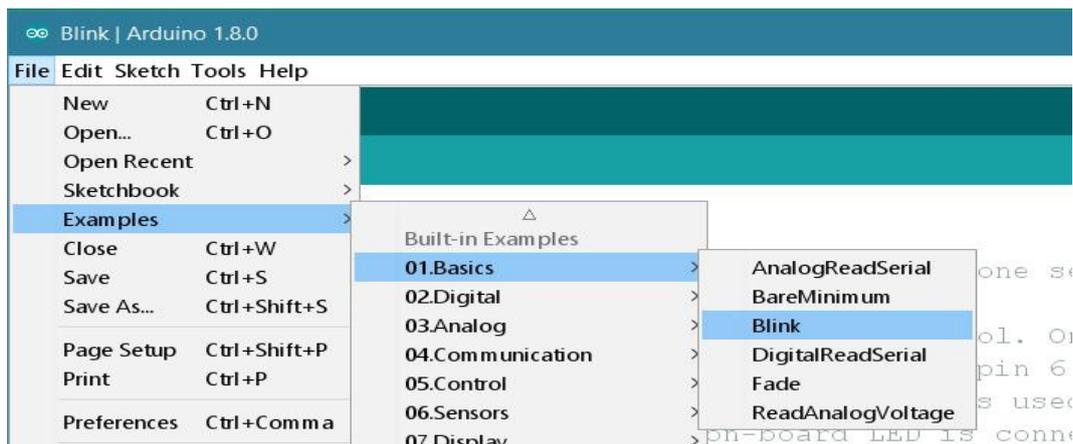


Figura 2

4.4.1 Seleccione su tipo de placa y puerto

Deberá seleccionar la entrada en el menú **Herramientas/Placa** que corresponde a su placa Arduino o Genuino.

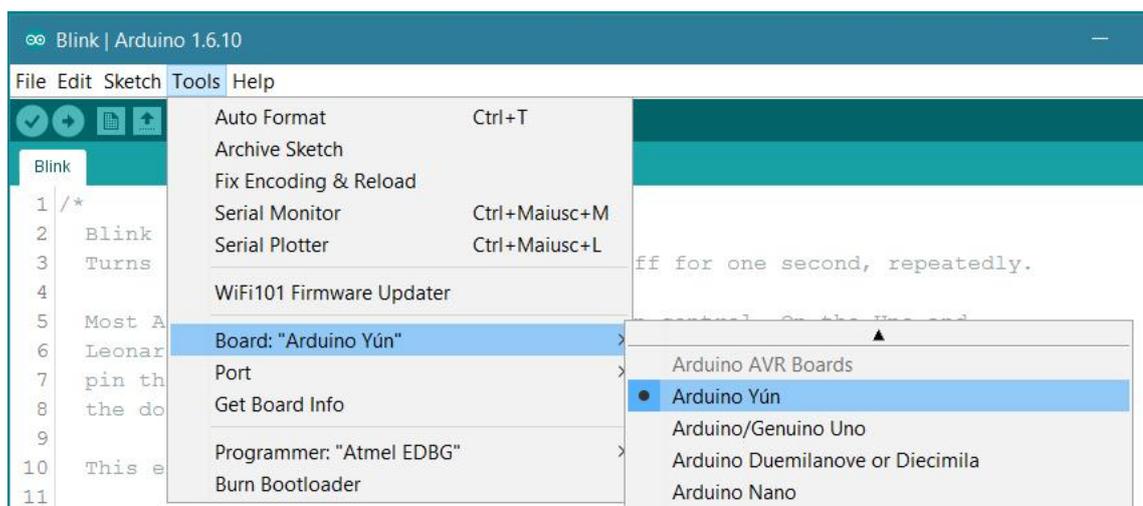


Figura 3

Seleccione el dispositivo serie de la placa desde Herramientas I Menú del puerto serie. Es probable que sea **COM3** o superior (**COM1**, **COM2** generalmente están reservados para puertos serie de hardware). Para averiguarlo puede desconectar su placa y volver abrir el Menú; la entrada que desaparece debería ser la placa Arduino. Vuelva a conectar la placa y seleccione ese puerto serie. Cuando su placa este configurada correctamente en WiFi, la encontrara en la lista de puertos, como en nuestra captura de pantalla.

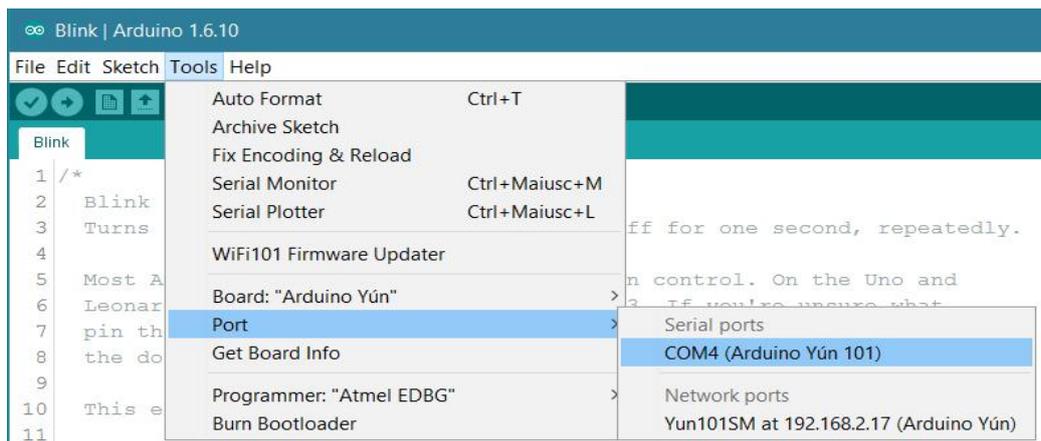


Figura 4

4.4.2 Sube el programa

Ahora, simplemente haga clic en el botón “Subir” en el entorno. Espere unos segundos debería ver parpadear el LED RX y TX en la placa. Si la carga es exitosa, el mensaje “listo para cargar” aparecerá en la barra de estado.

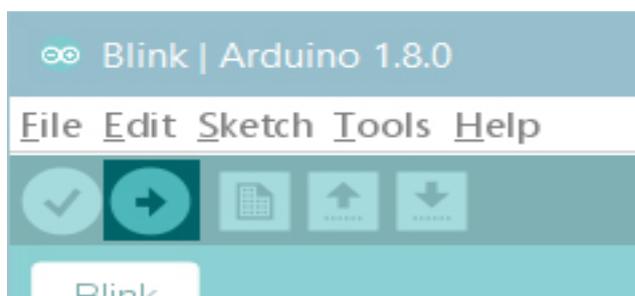


Figura 5

Unos segundos después de que termine la carga, debería ver que el LED de abordo empiece a parpadear. Si lo hace, ¡en hora buena! Has puesto en marcha tu Arduino YÚN.

4.5 Inspírate

Ahora que ha configurado y programado su placa Yún, puede encontrar inspiración en nuestra plataforma tutorial [Project Hub](#) , o puede profundizar más con la [biblioteca Bridge y ejemplos](#) . También puede consultar la [página de hardware de Yún](#) para obtener información técnica adicional.

4.6 Diferencias de Arduino Leonardo.

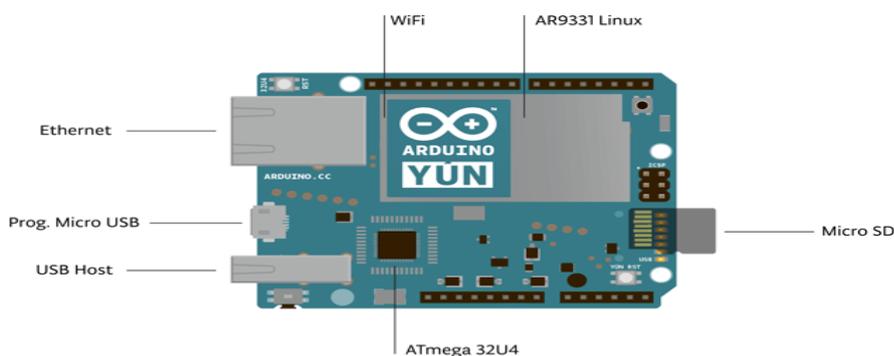


Figura 6

Además del chip 32U4, el Yún tiene un procesador adicional, un Atheros AR9331, que ejecuta una distribución de Linux para sistemas integrados llamados OpenWrt -Yun, basados en OpenWrt . También se incluye una instalación completa de Python 2.7.

El Yún tiene una serie de características físicas y conectores diferentes a los de Leonardo. Hay una ranura SD incorporada, una toma Ethernet y un conector Host USB-A. No hay un conector de barril de energía en el Yún; puede alimentarse desde el conector micro-USB.

No hay un regulador incorporado de 5V. Si alimentas tu Yún con más de 5V, probablemente lo dañarás. Si no está alimentando el Yún desde la conexión micro-USB, puede aplicar potencia a los pines VIN y 5V en el pizarrón. Si usa el pin VIN, no puede proporcionar más de 5 V, dañará su placa. Se recomienda alimentar el Yún desde la conexión USB siempre que sea posible.

Los conectores SD, Ethernet y USB-A no están físicamente conectados al procesador 32U4, están conectados al AR9331.

El 32U4 de Yún funciona de la misma manera que el Leonardo, excepto que no puede usar Serial1. Está reservado para la comunicación con el procesador AR9331.

El Yún también tiene un módulo WiFi integrado, lo que le permite conectarse a un enrutador inalámbrico o actuar como punto de acceso.

Los procesadores 32u4, WiFi y AR9331 tienen sus propios botones de reinicio.

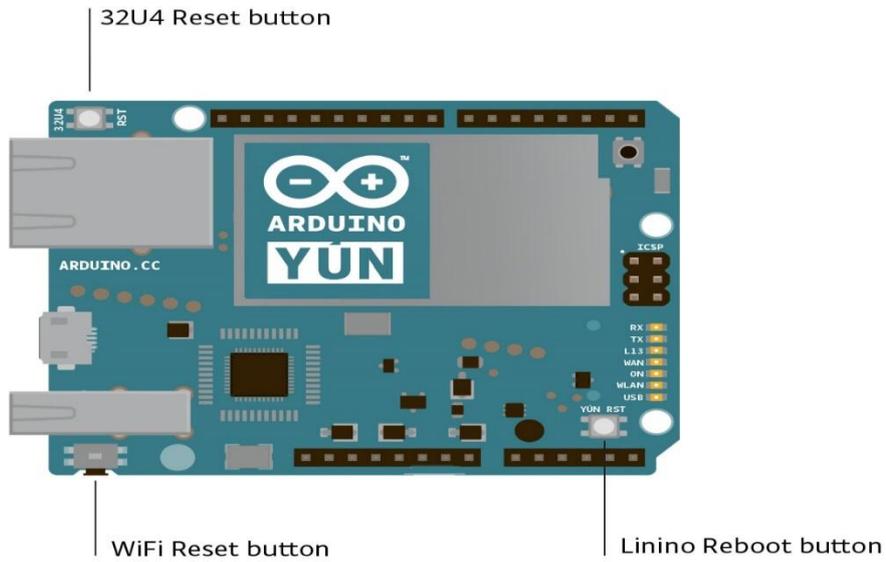


Figura 7

Hay varios LED de estado en el Yún, que indican alimentación, conexión WLAN, conexión WAN y USB. Además, el pin 13 está conectado a una de las luces de estado.

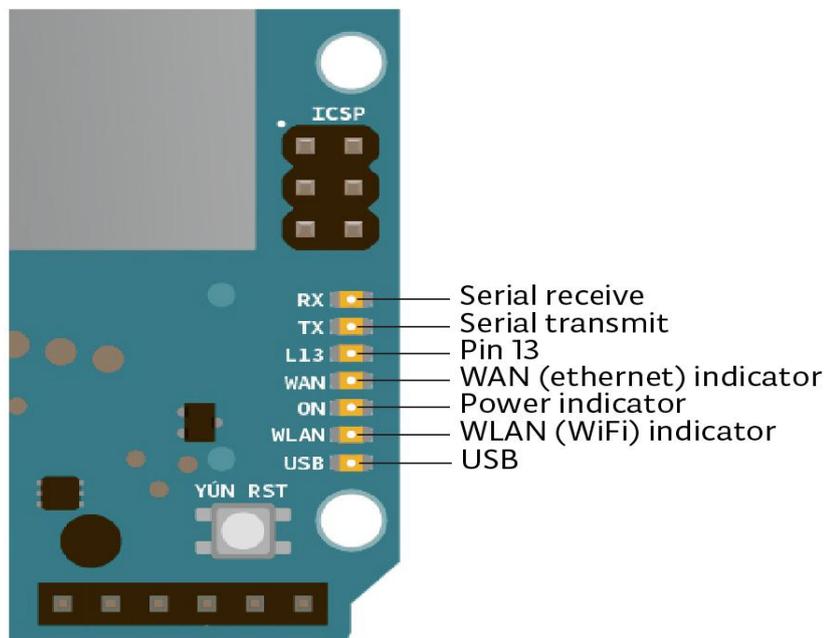


Figura 8

4.7 OpenWrt-YÚN

El Yún ejecuta una distribución de Linux llamada OpenWrt -Yun, basada en [OpenWrt](#) . Si bien es posible configurar el sistema desde la línea de comandos, hay una página web que le permite configurar muchas de las diferentes opciones disponibles. La interfaz (llamada [LuCi](#)) le da acceso a casi cualquier configuración que necesite para mantener la interfaz WiFi.

El acceso a la interfaz web se describe a continuación

Para instalar software adicional en OpenWrt -Yun, debe usar el gestor de paquetes Linux **opkg** . Para obtener más información sobre el administrador y algunos comandos comunes, consulte [la página del administrador de paquetes de Yún](#).

Al interactuar con el sistema OpenWrt -Yun, debe usar una línea de comando, ya sea accediendo a través de la biblioteca Arduino's Bridge, o vía SSH. Si no está familiarizado con la línea de comandos, le recomendamos que [lea algunos conceptos básicos al](#) respecto y algunos de los programas que se utilizan con frecuencia.

Debido a las continuas mejoras y sugerencias provenientes tanto de la comunidad OpenWrt como de la comunidad Arduino, la versión de OpenWrt -Yun instalada en su Yún puede estar desactualizada. Consulte el [tutorial de actualización](#) y asegúrese de estar ejecutando la última versión disponible.

4.7.1 Python

Se incluye una instalación de Python 2.7 con OpenWrt -Yun, con el que puede escribir aplicaciones o scripts. Para obtener más información sobre Python, visite las [páginas de documentación de Python 2.7](#) .

Si está comenzando con Python por primera vez, hay una serie de excelentes recursos en línea. ["Aprende Python de la manera difícil"](#) cubrirá todo lo que necesitas saber para comenzar a usar tus propios scripts.

4.7.2 Almacenamiento externo en el YÚN.

No se recomienda utilizar la memoria no volátil incorporada de Yún, ya que tiene un número limitado de escrituras.

Puede usar memoria externa como una tarjeta microSD o memoria USB para guardar datos, o sus propios scripts, páginas web, etc. Para que Yún pueda acceder y almacenar información en estas unidades a través del 32U4, necesita tener un directorio llamado arduino en la raíz del volumen.

4.7.3 Servicios web.

OpenWrt -Yun usa REST para clientes y servidores. REST es un acrónimo de "Representational State Transfer". Es una arquitectura de software que expone varias partes del hardware Arduino a través de URL.

Por defecto, el acceso a la API REST está protegido por contraseña. Es posible cambiar esto para acceder a los servicios sin una contraseña. Para cambiar esta configuración, ingrese el panel de configuración de Yún. En la parte inferior de la página, verás cambios para cambiar el acceso.

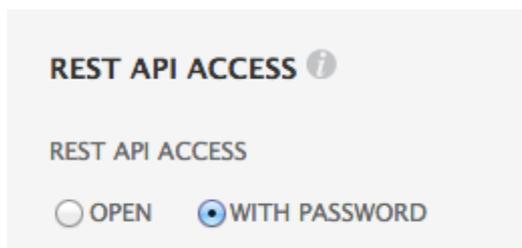


Figura 9

Los tres puntos finales REST reconocidos por el Yún son:

- /arduino
- /datos
- /buzon

El directorio "/ arduino" no tiene nada preconfigurado. Todo lo que se agrega a la URL después del punto final pasa del servidor web al boceto en el 32U4. Puedes definir tus API

dentro del boceto. Vea el ejemplo de Bridge para ver cómo se hace esto para acceder a los pines en el tablero.

"/ data" se utiliza para acceder al almacenamiento interno de clave / valor. Las llamadas disponibles son:

- / *put* / *KEY* / *VALUE* : almacena un valor dentro del almacenamiento
- / *get* / *KEY* : obtiene el valor de la clave solicitada en JSON
- / *get* : obtiene toda la lista de almacenamiento en JSON.
- / *eliminar* : elimina el almacenamiento interno

"buzón" se usa para agregar mensajes a una cola llamada Buzón. La cola de mensajes se almacena dentro del sistema Linux y puede ser leída por el microcontrolador Arduino. La llamada REST disponible es:

- "/ buzón / mensaje"

4.8 Restablecimiento de los procesadores (AR9331, WiFi y 32U4)

Para reiniciar el AR9331 , que reinicia OpenWrt -Yun, presione el botón de reinicio "YÚN RST" que está cerca de los pines de las entradas analógicas y los LED del tablero.

Para reiniciar el 32U4 y reiniciar el boceto Arduino instalado actualmente, toque el botón al lado del puerto Ethernet *dos veces*.

El botón de reinicio para WiFi se encuentra junto al conector USB-A. Está etiquetado como "WLAN RST". Cuando presione el botón, el LED WLAN parpadeará.

Si se muda a una red diferente y ya no puede acceder de manera inalámbrica al Yún a través de su interfaz web, puede restablecer la configuración de la red de YUN presionando el botón de reinicio WiFi (WLAN RST) durante más de 5 segundos, pero menos de 30, el El procesador AR9331 se reiniciará. La configuración de WiFi se reiniciará y Yún comenzará su propia red wiFi Arduino Yún-XXXXXXXXXXXXX. Cualquier otra modificación / configuración será retenida.

Para reiniciar la distribución de OpenWrt -Yun a su estado predeterminado, presione el botón de reinicio WiFi (WLAN RST) durante al menos 30 segundos. La placa vuelve a la configuración original: como recién sacada de la caja o a la última actualización de la imagen de OpenWRT que ha revisado anteriormente. Entre otras cosas, esto elimina todos los archivos instalados y la configuración de red.

4.9 Restableciendo la contraseña

La contraseña del panel web se puede restablecer y cambiar. Conecta el Arduino Yún a tu computadora con un cable USB y sube el boceto de YunSerialTerminal . Se puede encontrar en los ejemplos de Bridge en el Arduino IDE. Cuando se complete el arranque de Yún, abra el monitor de serie, seleccione el carácter Nueva línea en el menú desplegable y presione Entrar. Algo como esto debería aparecer en su monitor serial:

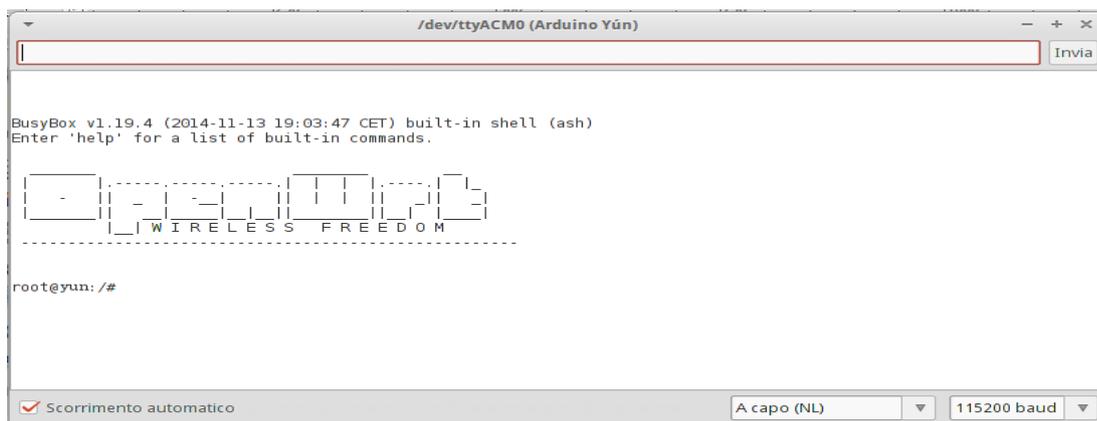


Figura 10

Ahora debe ejecutar el comando **passwd** para cambiar la contraseña. Escriba **passwd** en la entrada del monitor serial y presione enter. Se le pedirá que escriba la nueva contraseña y la vuelva a escribir para confirmar. Si lo desea, puede ignorar el error de contraseña débil. Si ambas contraseñas que escribió coinciden, la contraseña del sistema cambiará y podrá acceder al panel web con la nueva contraseña.

Re-enumeración en serie en el inicio.

Como el Yún no tiene un chip dedicado para manejar la comunicación en serie, significa que el puerto serie es **virtual**, es una rutina de software, tanto en su sistema operativo como en el propio tablero. Del mismo modo que su computadora crea una instancia del controlador del

puerto serie cuando conecta cualquier Arduino, el 32u4 crea una instancia en serie cada vez que ejecuta su gestor de arranque. La placa es una instancia del controlador USB **Class Connected Class (CDC)**.

Esto significa que cada vez que reinicie el procesador 32U4, la conexión serial USB se romperá y se restablecerá. La placa desaparecerá de la lista de puertos serie y la lista volverá a enumerarse. Cualquier programa que tenga una conexión serial abierta al Yún perderá su conexión. Esto está en contraste con el Arduino Uno, con el que puede reiniciar el procesador principal (el ATmega328P) sin cerrar la conexión USB (que es mantenida por el procesador secundario ATmega8U2 o ATmega16U2). Esta diferencia tiene implicaciones para la instalación, carga y comunicación del controlador.

4.10 No hay reinicio cuando abre el puerto serie.

El Yún no reiniciará su boceto cuando abra un puerto serie en la computadora. Eso significa que no verá los datos en serie que la placa ya ha enviado a la computadora, incluida, por ejemplo, la mayoría de los datos enviados en la configuración ().

Esto también se aplica a la consola, que se describe a continuación.

Esto significa que si está utilizando cualquier instrucción Serial o Console print (), println () o write () en setup (), no se mostrarán cuando abra el monitor serie o la conexión de la Consola. Para solucionar esto, puede verificar si el puerto está abierto así:

```
// detiene el programa hasta que se abre el Monitor en serie  
while ( ! Serial ) ;
```

Figura 11

O

```
// detiene el programa hasta que se abre la consola  
while ( ! Console ) ;
```

Figura 12

4.11 Configurando el WiFi a bordo.

El Yún tiene la capacidad de actuar como punto de acceso, pero también se puede conectar a una red existente. Estas instrucciones lo guiarán para conectar su Yún a una red inalámbrica. El Yún se puede conectar a redes no encriptadas, así como también a redes que admiten el cifrado WEP, WPA y WPA2.

Cuando enciendes el Yún por primera vez, creará una red WiFi llamada *ArduinoYun - XXXXXXXXXXXX* . Conecte su computadora a esta red.

Una vez que haya obtenido una dirección IP, abra un navegador web e ingrese <http://arduino.local> o 192.168.240.1 en la barra de direcciones. Después de unos momentos, aparecerá una página web solicitando una contraseña. Ingrese " arduino " y haga clic en el botón *Iniciar sesión*.

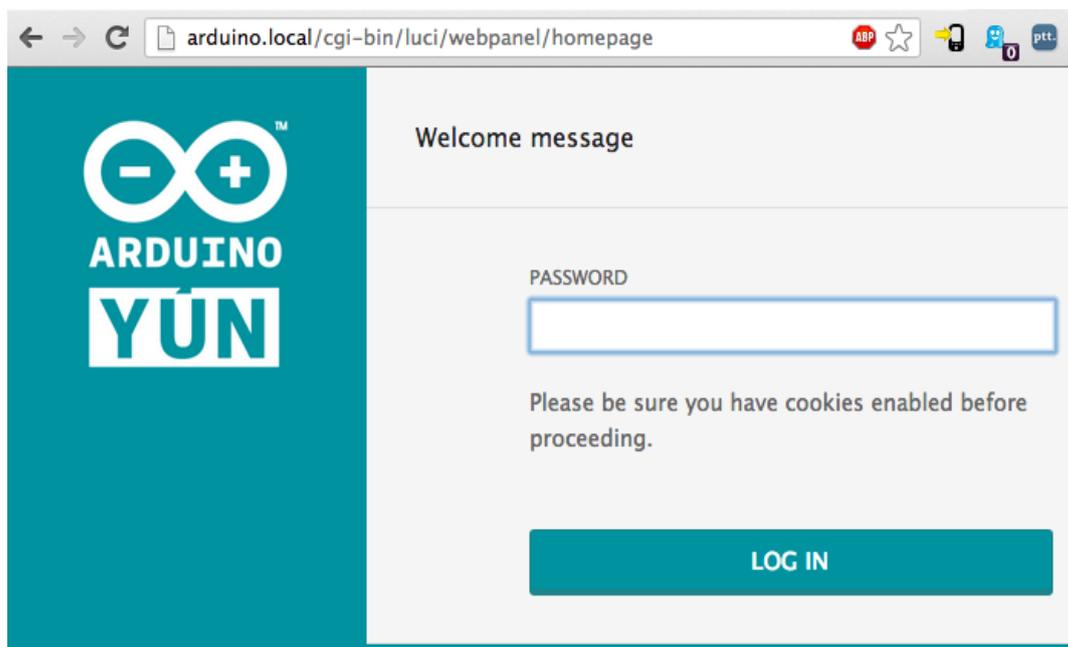


Figura 13

Encontrará una página con información de diagnóstico sobre las conexiones de red actuales. El primero es su interfaz WiFi , el segundo es su conexión ethernet. Presione el botón *Configuración* para continuar.

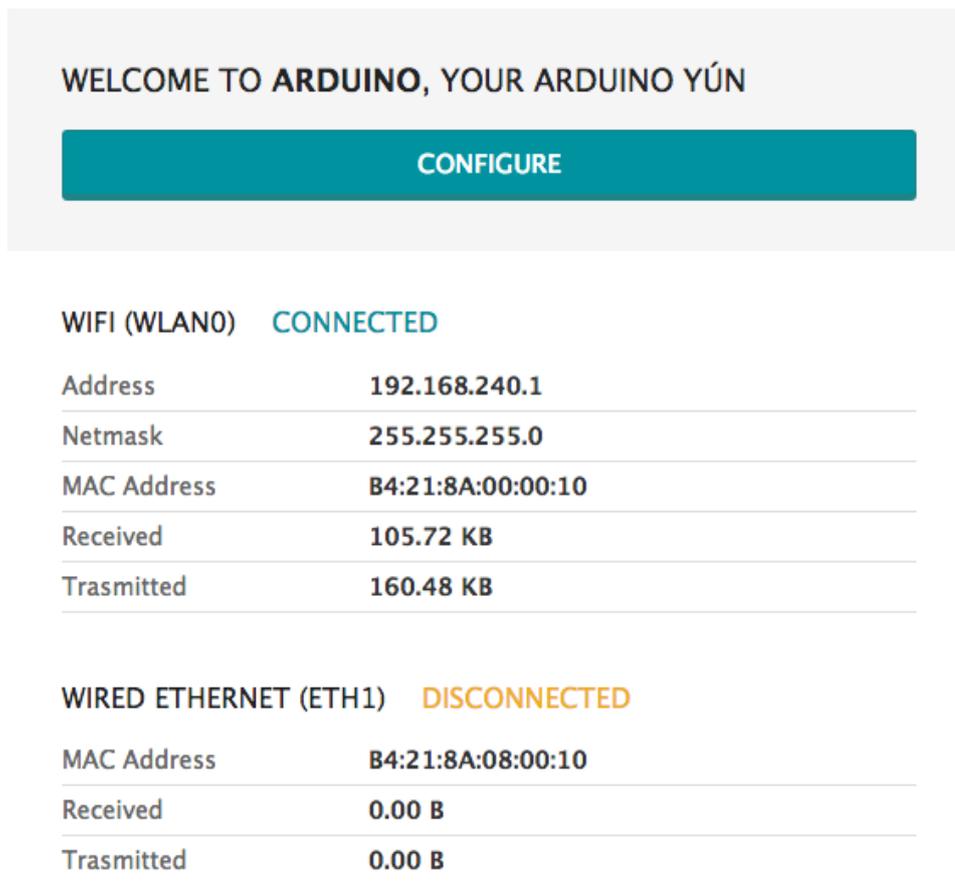


Figura 14

En la nueva página, configurará su Yún, dándole un nombre único e identificando a qué red desea conectarse.

En el campo *YUN NAME*, dale a tu Arduino un nombre único. Lo usará para referirse a él en el futuro.

Elija una contraseña de 8 o más caracteres para su Arduino. Si deja este campo en blanco, el sistema conserva la contraseña predeterminada de “arduino”.

Si lo desea, puede configurar la zona horaria y el país. Se recomienda establecer estas opciones, ya que puede ayudar a conectarse a redes WiFi locales. La configuración de la zona horaria local también selecciona el dominio regulador del país.

Ingrese el nombre de la red wiFi a la que desea conectarse.

Seleccione el tipo de seguridad e ingrese la contraseña.

YÚN BOARD CONFIGURATION ⓘ

YÚN NAME *

PASSWORD

CONFIRM PASSWORD

TIMEZONE *

WIRELESS PARAMETERS ⓘ

CONFIGURE A WIRELESS NETWORK

WIRELESS NAME *

SECURITY

PASSWORD *

Figura 15

Cuando presiona el botón *Configurar y reiniciar*, Arduino se reiniciará y se unirá a la red especificada. La red Arduino se apagará después de unos momentos.

CONFIGURATION SAVED!

I'm restarting.
 Please connect your computer to the wireless network called **sharkrepellent**.

Figura 16

Ahora puede unirse a la red que asignó al Yún.

4.11.1 Programando el 32U4 a través de WiFi.

Cuando su Yún está en la misma red que su computadora, puede conectarse a él de forma inalámbrica para programarlo.

Después de configurar su Yún, conéctese a la red que especificó en la configuración. Abra el IDE de Arduino.

En el menú *Herramientas* > *Puerto*, debería ver una entrada que enumera el nombre de su YUN y su dirección IP. En el menú de la *Junta*, seleccione Arduino Yún.

Abra el ejemplo Blink (*Archivo* > *Ejemplos* > *01Basics* > *Blink*) y cargue el boceto en la pizarra. Se le pedirá la contraseña de administrador. Use el que ingresó en la pantalla de configuración.

Una vez que el programa se carga, el procesador 32U4 se reiniciará. Debería ver el LED conectado al pin 13 parpadeando.

4.11.2 Usando la Ethernet a bordo.

Cuando conecte el Yun a una red cableada con un cable de ethernet, intentará conectarse automáticamente a través de DHCP. La placa se mostrará en el menú de puertos como lo haría a través de WiFi.

Si desea conectar el Yun directamente a su computadora, configure las interfaces de la computadora para tener una dirección IP estática o actúe como un servidor DHCP.

NB: la interfaz ethernet es eth1, no eth0

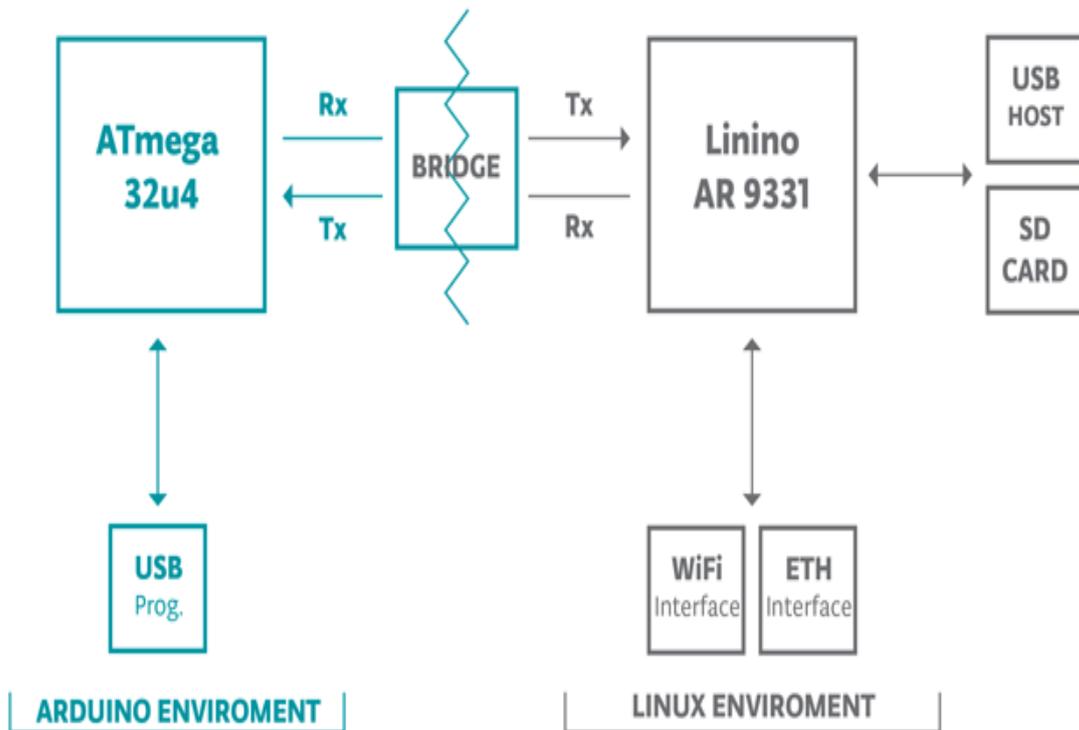


Figura 17

Las interfaces WiFi y Ethernet, el host USB y la tarjeta SD están todos conectados al AR9331. La biblioteca Bridge le permite trabajar con estos dispositivos, así como ejecutar scripts y comunicarse con servicios web.

4.12 La consola.

La consola, basada en Bridge, le permite enviar información desde el Yún a una computadora tal como lo haría con el monitor serie, pero de forma inalámbrica. Crea una conexión segura entre el Yún y su computadora a través de SSH.

Carga lo siguiente en tu Yún:

```

#include <Console.h>

const int ledPin = 13; // the pin that the LED is attached to
int incomingByte;      // a variable to read incoming serial data into

void setup() {
  // initialize serial communication:
  Bridge.begin();
  Console.begin();

  while (!Console){
    ; // wait for Console port to connect.
  }
  Console.println("You're connected to the Console!!!!");
  // initialize the LED pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  // see if there's incoming serial data:
  if (Console.available() > 0) {
    // read the oldest byte in the serial buffer:
    incomingByte = Console.read();
    // if it's a capital H (ASCII 72), turn on the LED:
    if (incomingByte == 'H') {
      digitalWrite(ledPin, HIGH);
    }
    // if it's an L (ASCII 76) turn off the LED:
    if (incomingByte == 'L') {
      digitalWrite(ledPin, LOW);
    }
  }
}

```

Figura 18

Para ver la consola, seleccione su nombre y dirección IP en el menú Puerto. El Yún solo aparecerá en el menú Puertos si su computadora está en la misma LAN que el Yún. Si su placa está en una red diferente, no la verá en el menú Puertos. Abra el Monitor de puerto. Se te pedirá la contraseña de Yún.

También puede ver la consola abriendo una ventana de terminal y escribiendo.
ssh root@yourYunsName.local 'telnet localhost 6571' luego presionando enter.

*NB: si usa Windows, debe instalar un emulador de terminal. **PutTY** es una opción razonable, pero deberá ingresar los dos comandos anteriores por separado.*

Escriba 'H' para encender el LED en el pin 13 y escriba 'L' para apagarlo.

4.12.1 Proceso.

Los comandos de proceso le permiten ejecutar procesos de Linux en OpenWrt -Yun a través del Arduino.

En el siguiente ejemplo, The OpenWrt -Yun se conectará a un servidor con curl y descargará texto ASCII. Imprime el texto una conexión en serie.

```

void setup() {
  // Initialize Bridge
  Bridge.begin();

  // Initialize Serial
  Serial.begin(9600);

  // Wait until a Serial Monitor is connected.
  while (!Serial);

  // run various example processes
  runCurl();
}

void loop() {
  // Do nothing here.
}

void runCurl() {
  // Launch "curl" command and get Arduino ascii art logo from the network
  // curl is command line program for transferring data using different internet protocols
  Process p; // Create a process and call it "p"
  p.begin("curl"); // Process that launch the "curl" command
  p.addParameter("http://arduino.cc/asciilogo.txt"); // Add the URL parameter to "curl"
  p.run(); // Run the process and wait for its termination

  // Print arduino logo over the Serial
  // A process output can be read with the stream methods
  while (p.available() > 0) {
    char c = p.read();
    Serial.print(c);
  }
  // Ensure the last bit of data is sent.
  Serial.flush();
}

```

Figura 19

4.13 Usar Bridge para pasar información entre procesadores.

Bridge le permite pasar información entre los dos procesadores usando una combinación de clave / valor.

Este ejemplo muestra cómo usar la biblioteca Bridge para acceder a los pines digitales y analógicos en la placa mediante llamadas REST. Demuestra cómo puede crear su propia API cuando usa llamadas de estilo REST a través del navegador.

Al ejecutar este ejemplo, asegúrese de que su computadora esté en la misma red que Yun.

[Cuando haya programado la placa, puede solicitar el valor en un pin, escribir un valor en un pin y configurar un pin como entrada o salida.

Cuando la contraseña de REST está desactivada, puede usar un navegador con la siguiente estructura de URL:

- <http://myArduinoYun.local/arduino/digital/13> : llamadas a digitalRead (13);
- <http://myArduinoYun.local/arduino/digital/13/1> : llamadas a digitalWrite (13,1);
- <http://myArduinoYun.local/arduino/analog/9/123> : analogWrite (9,123);
- <http://myArduinoYun.local/arduino/analog/2> : analogRead (2);
- <http://myArduinoYun.local/arduino/mode/13/input> : pinMode (13, INPUT);
- <http://myArduinoYun.local/arduino/mode/13/output> : pinMode (13, OUTPUT);

Puede usar el comando curl desde la línea de comandos en lugar de un navegador, si lo prefiere.

Debe incluir las bibliotecas Bridge, YunServer y YunClient :

```
#include <Bridge.h>
#include <YunServer.h>
#include <YunClient.h>
```

Figura 20

Crea una instancia de un servidor que permita al Yun escuchar a los clientes conectados.

```
YunServer server;
```

Figura 21

En la setup (), inicie la comunicación serie para la depuración y encienda el LED incorporado en el pin 13 mientras se inicia Bridge. Bridge.begin () está bloqueando, y debería tomar alrededor de 2 segundos para completarse. Una vez que Bridge se inicia, apague el LED.

```
void setup ( ) {
  Serial . comenzar ( 9600 ) ;
  pinMode ( 13 , SALIDA ) ;
  digitalWrite ( 13 , BAJO ) ;
  Puente. begin ( ) ;
  digitalWrite ( 13 , ALTO ) ;
}
```

Figura 22

En la segunda parte de `setup ()`, indique a la instancia de `YunServer` que escuche las conexiones entrantes solo provenientes de `localhost`. Las conexiones realizadas a `OpenWrt - Yun` se pasarán al procesador `32U4` para analizar y controlar los pines. Esto ocurre en el puerto `5555`. Comience el servidor con `server.begin ()`.

```
servidor. listenOnLocalhost ( ) ;  
servidor. begin ( ) ;  
}
```

Figura 23

En `loop ()`, creará una instancia de `YunClient` para administrar la conexión. Si el cliente se conecta, procese las solicitudes en una función personalizada (descrita a continuación) y cierre la conexión cuando finalice.

Poner un retraso al final del `loop()` será útil para evitar que el procesador haga demasiado trabajo.

```
void loop ( ) {  
  Cliente YunClient = servidor. accept ( ) ;  
  
  if ( cliente ) {  
    proceso ( cliente ) ;  
    cliente. stop ( ) ;  
  }  
  
  retraso ( 50 ) ;  
}
```

Figura 24

Cree una función llamada `process` que acepte `YunClient` como su argumento. Lea el comando creando una cadena para contener la información entrante. Analice los comandos REST por su funcionalidad (digital, analógica y modo) y pase la información a la función apropiadamente nombrada.

```

proceso nulo ( cliente YunClient ) {
String command = cliente. readStringUntil ( '/' ) ;

if ( comando == "digital" ) {
comando digital ( cliente ) ;
}
if ( comando == "análogo" ) {
analogCommand ( cliente ) ;
}
if ( comando == "modo" ) {
modeCommand ( cliente ) ;
}
}
}

```

Figura 25

Crea una función para lidiar con *los* comandos *digitales*. Acepta al cliente como el argumento. Crea algunas variables locales para mantener el pin y el valor del comando.

```

void digitalCommand ( cliente YunClient ) {
int pin , valor ;

```

Figura 26

Analice la solicitud del cliente para que el pin funcione con `client.parseInt()` .

Si el carácter después del pin es `"/"`, significa que la URL tendrá un valor de 1 o 0 a continuación. Este valor asignará un valor al pin, convirtiéndolo en ALTO o BAJO. Si no hay un `"/"` final, lea el valor del pin especificado.

```

pin = cliente. parseInt ( ) ;

if ( cliente. read ( ) == '/' ) {
valor = cliente parseInt ( ) ;
digitalWrite ( pin , valor ) ;
}
else {
value = digitalRead ( pin ) ;
}

```

Figura 27

Imprima el valor para el cliente y actualice la clave del almacén de datos con el valor del pin actual.

Envolviendo el valor al cliente en F(), estará imprimiendo desde la memoria flash. Esto ayuda a ahorrar espacio en SRAM, que es útil cuando se trata de cadenas largas como URL.

La clave será el pin y escriba. Por ejemplo, D2 se guardará para el pin 2 digital. El valor será cualquier valor que el pin establezca actualmente, o se leyó desde el pin.

```
cliente. imprimir ( F ( "Pin D" ) ) ;
cliente. imprimir ( pin ) ;
cliente. imprimir ( F ( "establecer en" ) ) ;
cliente. println ( valor ) ;

Tecla de cadena = "D" ;
clave += pin ;
Puente. put ( clave , String ( valor ) ) ;
}
```

Figura 28

Configure una función para manejar llamadas analógicas de la misma manera, excepto configurar la tecla A en lugar de D al trabajar con los pines de entrada analógica:

```
void analogCommand(YunClient client) {
  int pin, value;

  pin = client.parseInt();

  if (client.read() == '/') {
    value = client.parseInt();
    analogWrite(pin, value);

    // Send feedback to client
    client.print(F("Pin D"));
    client.print(pin);
    client.print(F(" set to analog "));
    client.println(value);

    String key = "D";
    key += pin;
    Bridge.put(key, String(value));
  }
  else {
    value = analogRead(pin);

    client.print(F("Pin A"));
    client.print(pin);
    client.print(F(" reads analog "));
    client.println(value);

    String key = "A";
    key += pin;
    Bridge.put(key, String(value));
  }
}
```

Figura 29

Cree una función más para manejar los cambios del modo pin. Acepte YunClient como argumento y cree una variable local para contener el número de pin. Lea el valor del pin tal como lo hizo en las funciones digitales y analógicas.

```
void modeCommand ( Cliente YunClient ) {  
    int pin ;  
    pin = cliente. parseInt ( ) ;  
}
```

Figura 30

Verifique para asegurarse de que la URL sea válida.

```
if ( cliente. read ( ) != '/' ) {  
    cliente. println ( F ( "error" ) ) ;  
    regreso ;  
}
```

Figura 31

Si es una URL válida, almacene la URL como una cadena. Si el modo es una input o output, configure el pin e infórmelo al cliente. Si la cadena no coincide con esos valores, devuelve un error.

```
Modo cadena = cliente. readStringUntil ( ' \ r ' ) ;  
  
if ( modo == "entrada" ) {  
    pinMode ( pin , INPUT ) ;  
    // Enviar comentarios al cliente  
    cliente. imprimir ( F ( "Pin D" ) ) ;  
    cliente. imprimir ( pin ) ;  
    cliente. imprimir ( F ( "configurado como INPUT!" ) ) ;  
    regreso ;  
}  
  
if ( modo == "salida" ) {  
    pinMode ( pin , OUTPUT ) ;  
    // Enviar comentarios al cliente  
    cliente. imprimir ( F ( "Pin D" ) ) ;  
    cliente. imprimir ( pin ) ;  
    cliente. imprimir ( F ( "configurado como OUTPUT!" ) ) ;  
    regreso ;  
}  
  
cliente. imprimir ( F ( "error: modo no válido" ) ) ;  
cliente. imprimir ( modo ) ;  
}
```

Figura 32

Puede encontrar más detalles sobre este ejemplo en la página de [ejemplo de puente](#).

4.14 Instalar software adicional en Linux.

El Yún viene con varias piezas de software preinstaladas en OpenWrt -Yun, incluyendo "curl" y "python". Es posible que desee instalar otro software en el Yún. En sistemas Linux, se puede instalar software adicional utilizando una herramienta llamada "sistema de gestión de paquetes". Para obtener más información, consulte el tutorial del administrador de paquetes .

La última revisión y actualización fue realizada el 2018/02/10 por SM.

El texto de la guía Arduino getting started está licenciado bajo la licencia [Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0](#) . Las muestras de código en la guía se lanzan al dominio público.

4.15 App inventor

App Inventor es un entorno de programación visual intuitivo, permite que todos desarrollen aplicaciones completamente funcionales para teléfonos inteligentes y tabletas.

Esta herramienta está basada en bloques que facilitan la creación de aplicaciones complejas de alto impacto en mucho menos tiempo que los entornos de programación tradicionales. El proyecto MIT App Inventor busca democratizar el desarrollo de software al empoderar a todas las personas, especialmente a los jóvenes, para pasar del consumo de tecnología a la creación de tecnología.

En la figura se puede visualizar la interfaz para desarrollar la aplicación en App Inventor.

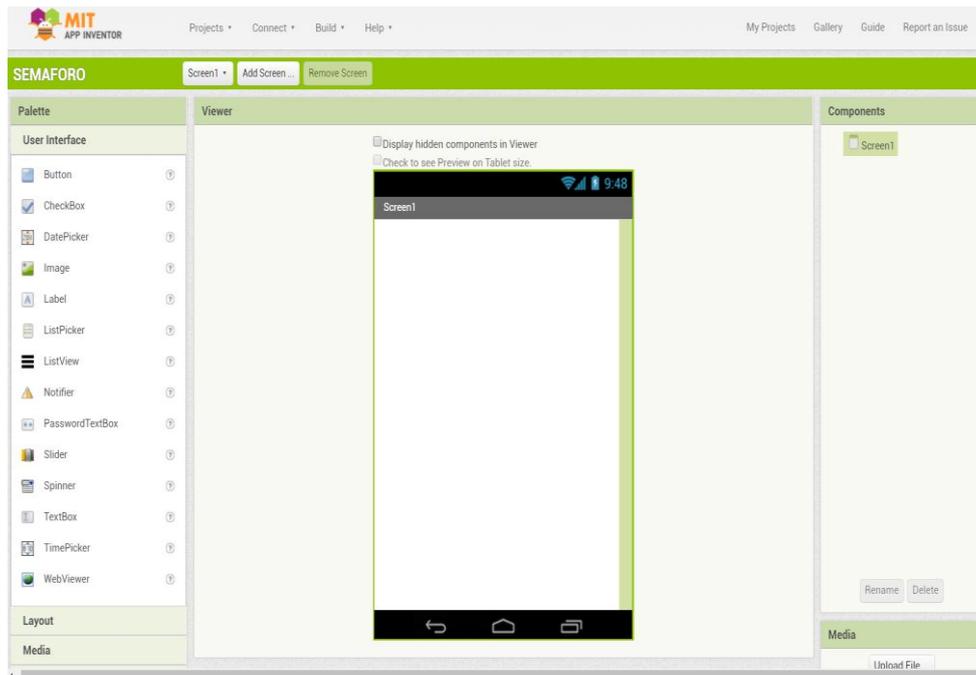


Figura 33

4.15.1 Programación aplicación Android.

El sistema de iluminación es también monitoreado a través de una aplicación en un dispositivo Android, la comunicación Wifi se la realiza mediante comandos IP. Podemos observar en la siguiente figura la apariencia de la interfaz de comunicación.

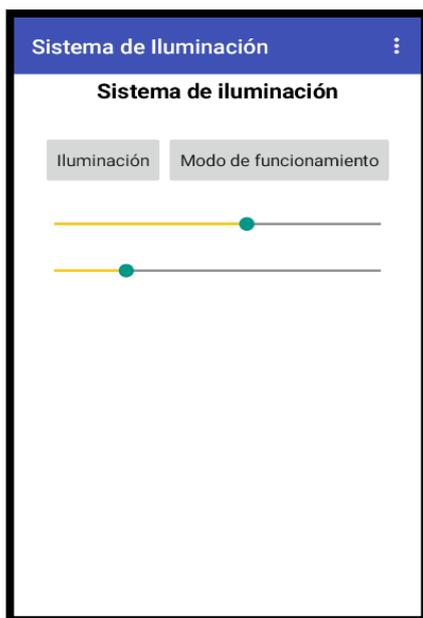


Figura 34

La programación de Android se la realiza mediante el entorno web App Inventor 2, una herramienta desarrollada por el MIT, el lenguaje de programación es mediante bloques de conexión, estos encajan juntos siempre que sea la instrucción correcta, lo cual permite realizar una depuración del código mientras se lo está desarrollando.

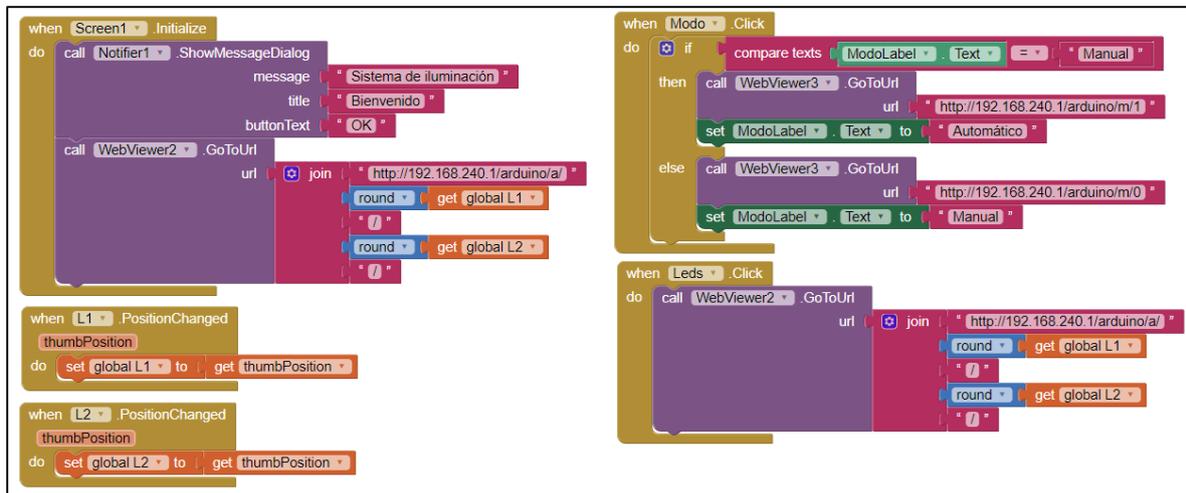


Figura 35 Programación Android

4.15.2 Inicialización del sistema.

Al iniciar la aplicación Android, el sistema muestra un mensaje de bienvenida y realiza un envío inicial del nivel de iluminación de las lámparas.

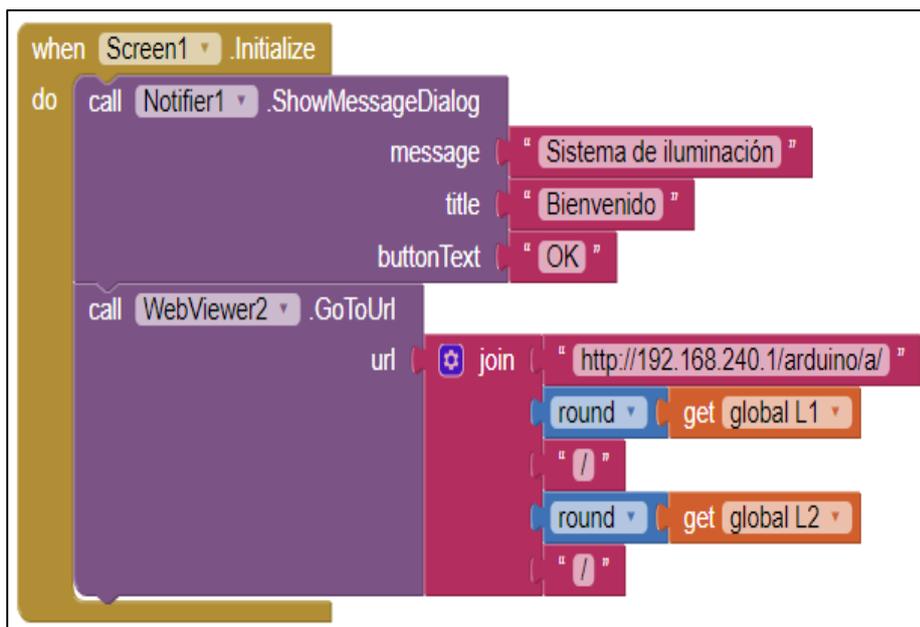


Figura 36 Inicialización del sistema

4.15.3 Modo de funcionamiento.

Al momento de realizar el cambio en el modo de funcionamiento en la interfaz el sistema compara el modo actual y realiza el cambio, el comando es enviado a través de un comando IP.

Para cambiar a modo automático se envía el comando `"http://192.168.240.1/arduino/m/1"`

Para cambiar a modo manual se envía el comando `"http://192.168.240.1/arduino/m/0"`

Se ha visto la recepción en Arduino, y se observa que se envía el parámetro de reconocimiento `"m"` seguido de un `"1"` o un `"0"`.

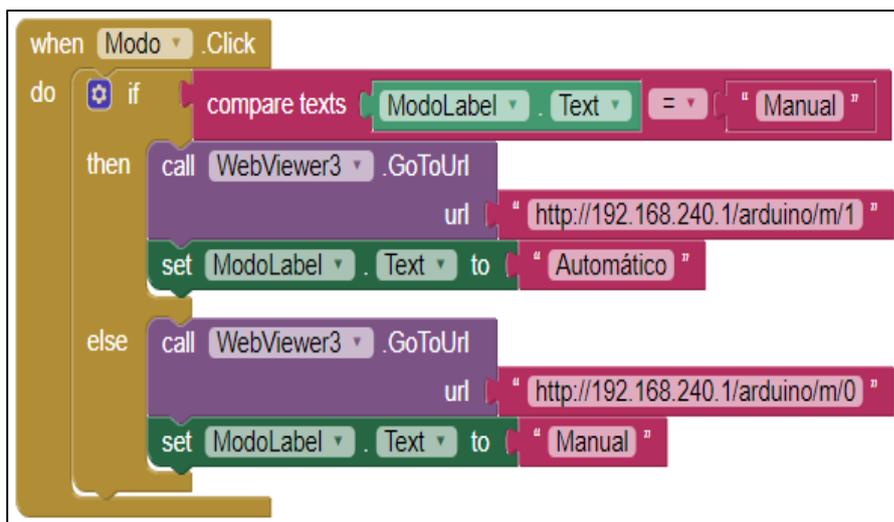


Figura 37 Envío del modo de funcionamiento.

4.15.4 Adquisición de los valores de iluminación.

La lectura de los niveles de iluminación en la interfaz Android se la realiza mediante Sliders ubicados en la interfaz principal, estos son adquiridos solo cuando su valor ha cambiado de manera independiente.

```

when L1 .PositionChanged
  thumbPosition
do set global L1 to get thumbPosition

when L2 .PositionChanged
  thumbPosition
do set global L2 to get thumbPosition

```

Figura 38 Adquisición del nivel de iluminación

4.15.5 Envío de nivel de iluminación.

Para realizar el envío del nivel de iluminación de las lámparas se lo realiza con un solo comando IP para el par de lámparas.

El comando que se envía es “*http://192.168.240.1/arduino/a/75/30*”, que permite al sistema poner a un 75% de iluminación una lámpara y al 30% a la otra, podemos notar que el comando de reconocimiento en esta instrucción es “a”.

```

when Leds .Click
do call WebView2 .GoToUrl
  url join (
    "http://192.168.240.1/arduino/a/"
    round get global L1
    "/"
    round get global L2
    "/"
  )

```

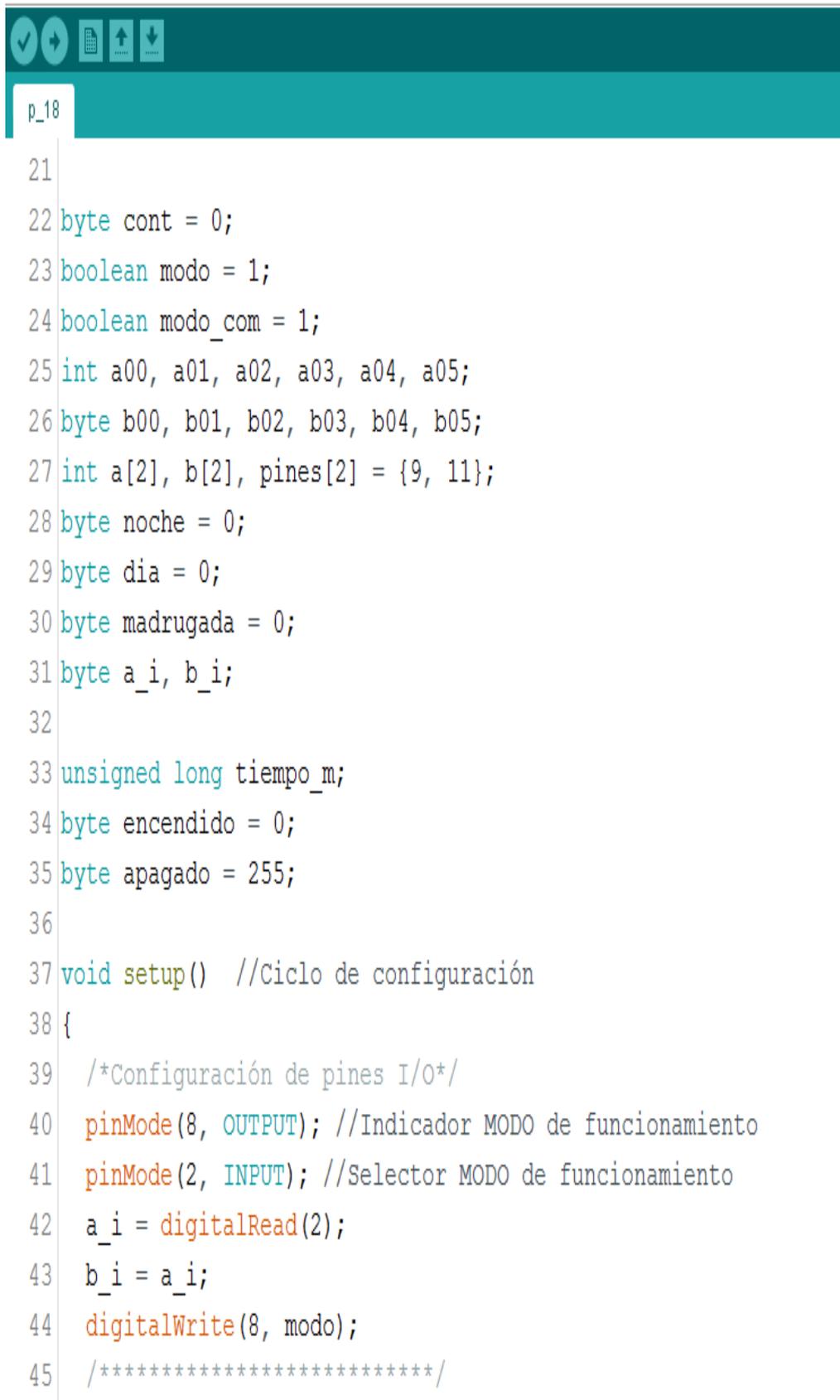
Figura 39 Envío del nivel de iluminación

5 Código Arduino



```
p_18
1 /*Comunicación WIFI*/
2 #include <Bridge.h>
3 #include <YunServer.h>
4 #include <YunClient.h>
5 YunServer server;
6 /*****/
7
8 #include <Process.h> //Configuración de la fecha
9 Process date;
10
11 int hours, minutes, seconds;
12 int lastSecond = -1;
13
14 /*Inicialización de funciones*/
15 void process(YunClient client);
16 void digitalCommand(YunClient client);
17 void analogCommand(YunClient client);
18 void modoCommand(YunClient client);
19 void cambio_mod();
20 /*****/
```

Figura 40



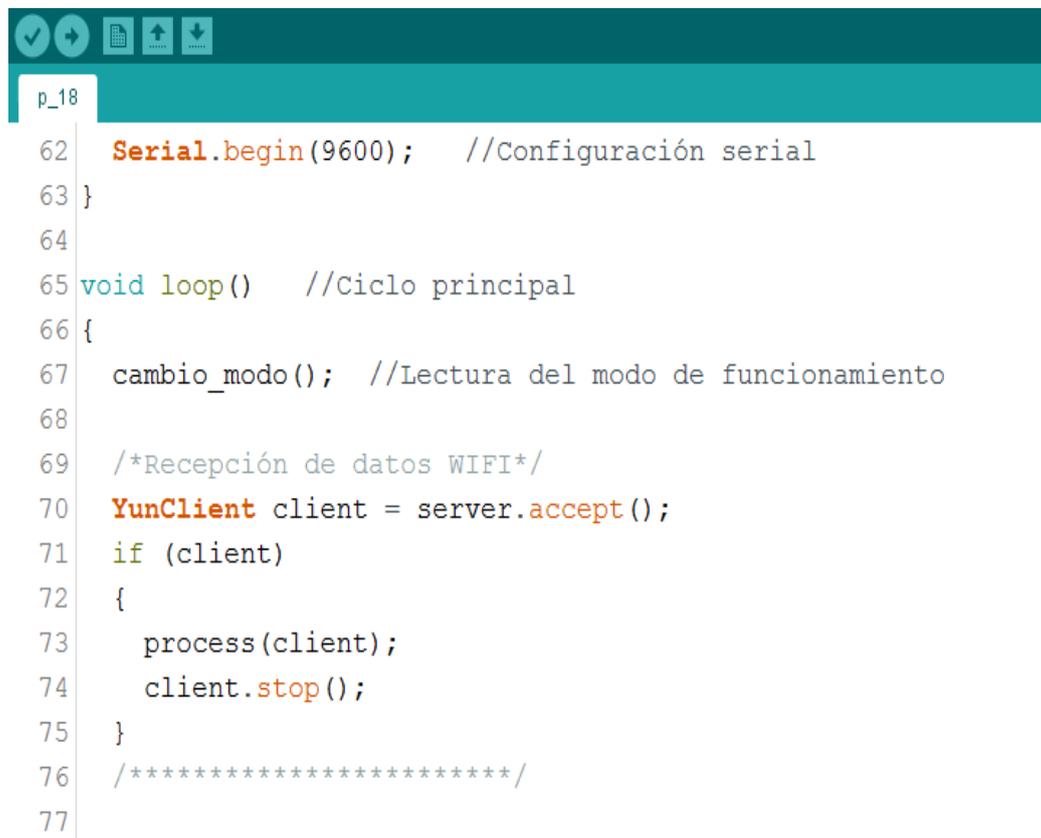
```
p_18
21
22 byte cont = 0;
23 boolean modo = 1;
24 boolean modo_com = 1;
25 int a00, a01, a02, a03, a04, a05;
26 byte b00, b01, b02, b03, b04, b05;
27 int a[2], b[2], pines[2] = {9, 11};
28 byte noche = 0;
29 byte dia = 0;
30 byte madrugada = 0;
31 byte a_i, b_i;
32
33 unsigned long tiempo_m;
34 byte encendido = 0;
35 byte apagado = 255;
36
37 void setup() //Ciclo de configuración
38 {
39   /*Configuración de pines I/O*/
40   pinMode(8, OUTPUT); //Indicador MODO de funcionamiento
41   pinMode(2, INPUT); //Selector MODO de funcionamiento
42   a_i = digitalRead(2);
43   b_i = a_i;
44   digitalWrite(8, modo);
45   /*****/
```

Figura 41



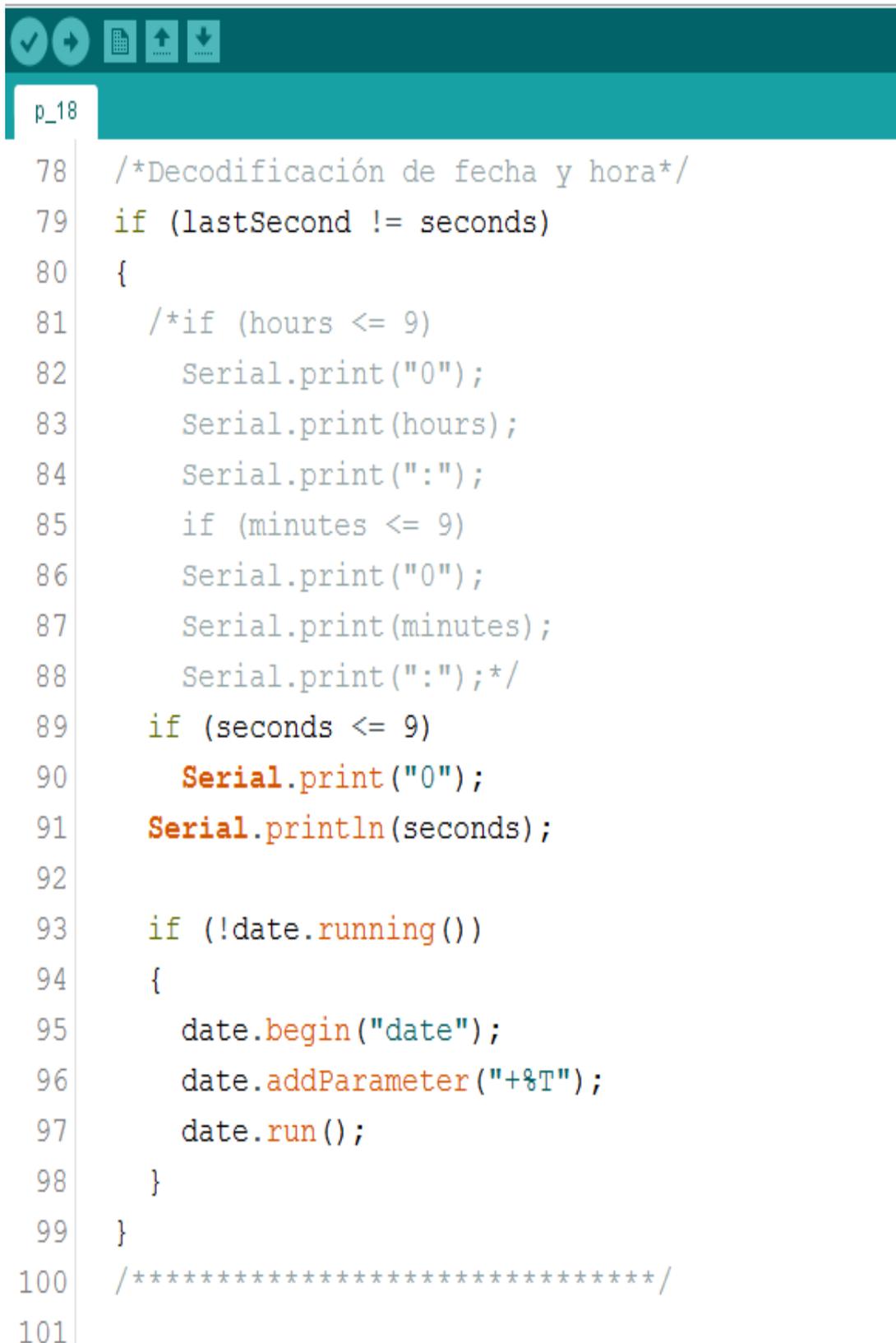
```
p_18
47  /*Inicialización de comunicación WIFI*/
48  Bridge.begin();
49  server.listenOnLocalhost();
50  server.begin();
51  /*****/
52
53  /*Inicialización de la fecha*/
54  if (!date.running())
55  {
56      date.begin("date");
57      date.addParameter("+%T");
58      date.run();
59  }
60  /*****/
```

Figura 42



```
p_18
62  Serial.begin(9600); //Configuración serial
63  }
64
65  void loop() //Ciclo principal
66  {
67      cambio_modo(); //Lectura del modo de funcionamiento
68
69      /*Recepción de datos WIFI*/
70      YunClient client = server.accept();
71      if (client)
72      {
73          process(client);
74          client.stop();
75      }
76      /*****/
77
```

Figura 43



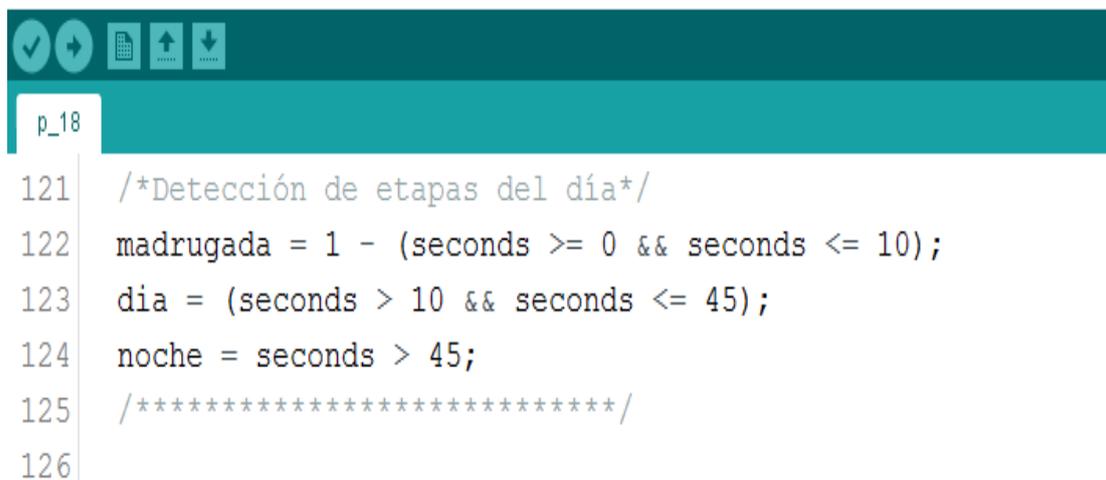
```
78  /*Decodificación de fecha y hora*/
79  if (lastSecond != seconds)
80  {
81    /*if (hours <= 9)
82      Serial.print("0");
83      Serial.print(hours);
84      Serial.print(":");
85      if (minutes <= 9)
86        Serial.print("0");
87        Serial.print(minutes);
88        Serial.print(":");*/
89    if (seconds <= 9)
90      Serial.print("0");
91      Serial.println(seconds);
92
93      if (!date.running())
94      {
95        date.begin("date");
96        date.addParameter("+%T");
97        date.run();
98      }
99  }
100  /******
101
```

Figura 44



```
101
102 /*Lectura de fecha y hora*/
103 if (date.available() > 0)
104 {
105     String timeString = date.readString();
106
107     int firstColon = timeString.indexOf(":");
108     int secondColon = timeString.lastIndexOf(":");
109
110     String hourString = timeString.substring(0, firstColon);
111     String minString = timeString.substring(firstColon + 1, secondColon);
112     String secString = timeString.substring(secondColon + 1);
113
114     hours = hourString.toInt();
115     minutes = minString.toInt();
116     lastSecond = seconds;
117     seconds = secString.toInt();
118 }
119 /*****/
120
```

Figura 45



```
121 /*Detección de etapas del día*/
122 madrugada = 1 - (seconds >= 0 && seconds <= 10);
123 dia = (seconds > 10 && seconds <= 45);
124 noche = seconds > 45;
125 /*****/
126
```

Figura 46

```
p_18
127  if (modo) //Automático
128  {
129      /*Lectura de iluminación*/
130      int iluminacion = 0;
131      for (byte i = 2; i < 6; i++)
132          iluminacion += analogRead(i);
133      iluminacion = byte(iluminacion / 4);
134      Serial.print(iluminacion);
135      Serial.print(" ");
136      /*****/
137
```

Figura 47

```
p_18
138  /*Control Automático*/
139  for (byte i = 0; i < 2; i++)
140  {
141      if (dia == 1)
142          if (iluminacion > 120)
143              analogWrite(pines[i], apagado);
144          else
145              analogWrite(pines[i], map(iluminacion, 0, 120, 0, 255));
146      else if (noche == 1)
147      {
148          if (iluminacion > 60) //Luna llena
149              analogWrite(pines[i], map(iluminacion, 60, 120, 0, 255));
150          else
151              analogWrite(pines[i], encendido);
152      }
153      else //Madrugada
154          analogWrite(pines[i], map(iluminacion, 0, 120, 128, 255)); //50%
155  }
156  }
157  else
158      /*Control Manual*/
159      for (byte i = 0; i < 2; i++)
160          analogWrite(pines[i], b[i]);
161  }
162
```

Figura 48

```
p_18
163 void process(YunClient client) //Lectura WIFI del comando a realizar
164 {
165     char command = client.read();
166     switch (command)
167     {
168         case 'a': analogCommand(client); break;
169         case 'm': modoCommand(client); break;
170     }
171 }
172
173 void analogCommand(YunClient client) //Cambio de iluminación en modo manual
174 {
175     int value;
176
177     /*Recepción de datos WIFI de iluminación*/
178     b[0] = client.parseInt();
179     client.read();
180     b[1] = client.parseInt();
181     client.read();
182     /*******/
183
```

Figura 49

```
p_18
184     Serial.print(b[0]);
185     Serial.print(" ");
186     Serial.println(b[1]);
187 }
188
189 void modoCommand(YunClient client) //Cambio del modo de funcionamiento
190 {
191     /*Recepción de datos WIFI del modo de funcionamiento*/
192     modo_com = client.parseInt();
193     modo = modo_com ^ digitalRead(2); //exor
194     digitalWrite(8, modo);
195     if (modo)
196         client.print(F("Automático"));
197     else
198         client.print(F("Manual"));
199     /*******/

```

Figura 50

```

200 }
201
202 void cambio_mod() //Comparar el modo de funcionamiento WIFI y físico
203 {
204   a_i = digitalRead(2);
205   if (a_i != b_i)
206   {
207     modo = modo_com ^ digitalRead(2);
208     b_i = a_i;
209     digitalWrite(8, modo);
210     Serial.println("cambio");
211     delay(20);
212   }
213 }

```

Figura 51

6 Diagrama de conexión del sistema.

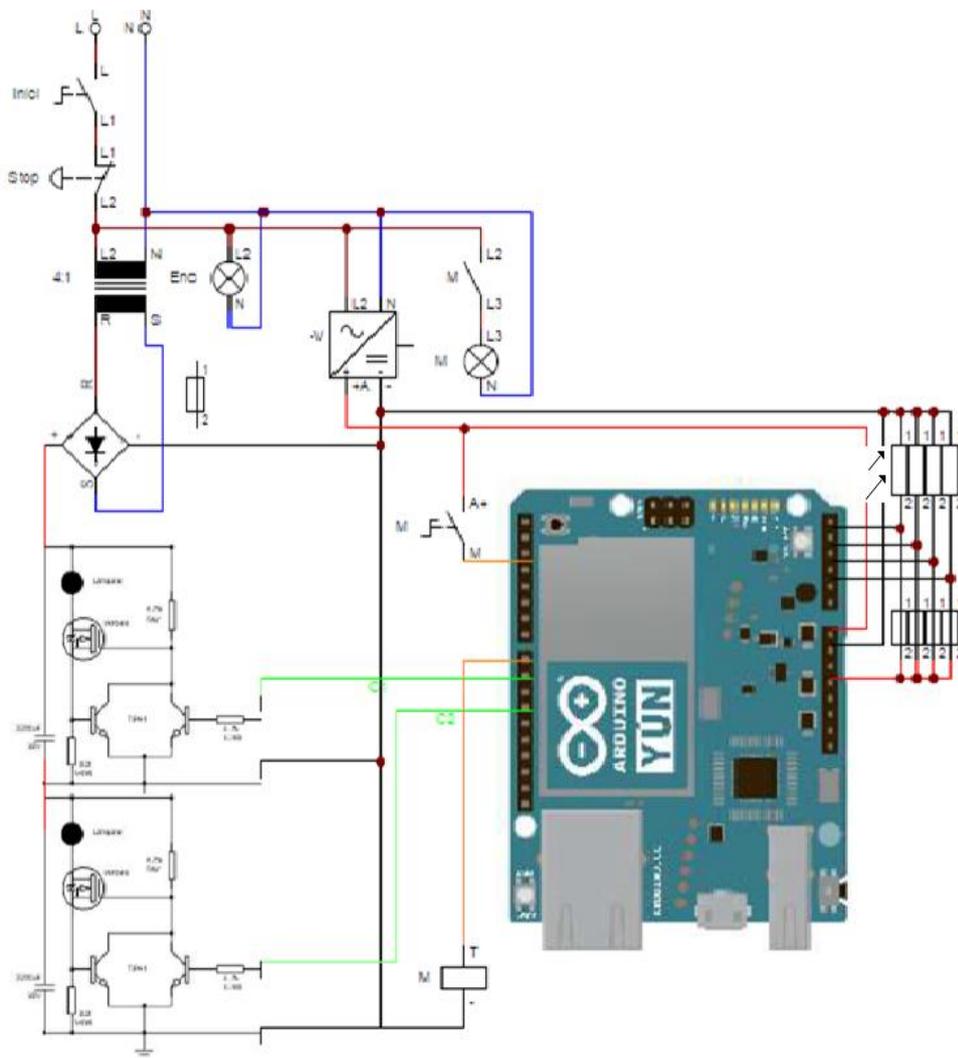


Figura 52

7 RECOMENDACIONES

7.1 Alimentación.

El Arduino puede ser alimentado a través de la conexión USB o con un suministro de energía externo.

La placa puede operar por un suministro externo de 6 a 20 voltios. Si es suministrada con menos de 7 V, sin embargo, el pin de 5v puede suministrar menos de cinco voltios y la placa puede ser inestable. Si usa más de 12 V, el regulador de tensión puede sobrecargarse y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 V.

- **VIN.** La entrada de tensión a la placa Arduino cuando está usando una fuente de alimentación externa (al contrario de los 5 voltios de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada). Puedes suministrar tensión a través de este pin, o, si suministra tensión a través del conector de alimentación, acceder a él a través de este pin.
- **5 V.** El suministro de energía usado para alimentar al microcontrolador y otros componentes de la placa. Este puede venir o desde VIN a través de un regulador en la placa, o ser suministrado por USB u otro suministro regulado de 5 V.
- **GND.** Pines de Tierra.

7.2 Protección de sobrecarga.

El Aduino tiene un fusible reseteable que protege tus puertos USB del ordenador de cortes y sobrecargas. Si más de 500 mA se aplican al puerto USB, el fusible automáticamente romperá la conexión hasta que el corte o la sobrecarga sean eliminados.

7.3 . Alimentación del sistema.

La alimentación de todo el sistema es de 110 V la misma que se obtiene a través de la conexión del enchufe principal con el toma corriente convencional. Para posteriormente obtener un voltaje de 35 V DC a través de un transformador.

7.4 Funcionamiento del sistema.

- El sistema tiene una alimentación 110 -120v.
- Conectar el Arduino Yún a un computador portátil a través de un cable USB 2.0 Tipo A a Micro USB Tipo B Macho/Macho, para poder monitorear el funcionamiento del código de programación y a la vez poder visualizar los parámetros que el sistema está percibiendo del exterior.



Figura 53

- Encender el sistema desde el tablero de control pasando la perilla de OFF a ON.

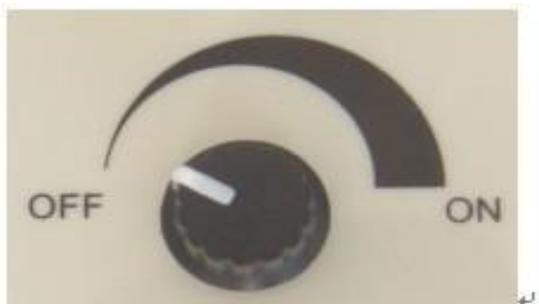


Figura 54

- Colocar la perilla del tablero de control en modo Automático para que el sistema empiece a correr.

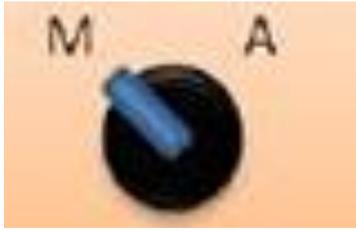


Figura 55

- Abrir el archivo que contiene el código de programación de Arduino desde el ordenador.

```
p_18
1 /*Comunicación WIFI*/
2 #include <Bridge.h>
3 #include <YunServer.h>
4 #include <YunClient.h>
5 YunServer server;
6 /******
7
8 #include <Process.h> //Configuración de la fecha
9 Process date;
10
11 int hours, minutes, seconds;
12 int lastSecond = -1;
13
14 /*Inicialización de funciones*/
15 void process(YunClient client);
16 void digitalCommand(YunClient client);
17 void analogCommand(YunClient client);
18 void modoCommand(YunClient client);
19 void cambio_modo();
20 /******
21
22 byte cont = 0;
23 boolean modo = 1;
24 boolean modo_com = 1;
25 int a00, a01, a02, a03, a04, a05;
26 byte b00, b01, b02, b03, b04, b05;
27 int a[2], b[2], pines[2] = {9, 11};
28 byte noche = 0;
29 byte dia = 0;
```

Figura 56

- Si en caso se desea observar las variables que percibe el sistema dar clic en la parte superior izquierda de la pantalla en el símbolo del visto verificar.



Figura 57

- Luego hay que subir el archivo de la misma manera dando clic en la parte superior izquierda de la pantalla en la flecha en dirección a la derecha.



Figura 58

- Para poder observar el tiempo y las variables que Arduino percibe del exterior a través de las fotoresistencias, damos clic en la parte superior derecha de la pantalla en el símbolo de la lupa llamada Monitor Serie.



Figura 59

- Caso contrario, el sistema no necesita de un ordenador para empezar su funcionamiento, ya que toda la programación está cargada en la placa de Arduino, donde solo bastara poner la perilla en sentido automático en el tablero de control.

7.5 Funcionamiento del sistema de forma manual.

Este tipo de funcionamiento se lo hace a través del posicionamiento de la perilla del tablero de control en modo manual. Este modo de funcionamiento se lo realiza a través de la aplicación que tenemos instalada en nuestro Smartphone, el cual nos permite realizar un sinnúmero de combinaciones que van desde el 0% de iluminación hasta el 100% de iluminación según sea nuestra necesidad, a la misma ves podemos determinar el nivel de iluminación total o parcial de las lámparas que deseemos controlar.

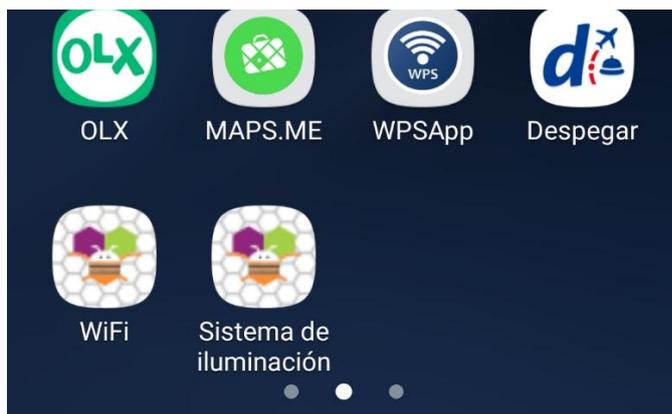


Figura 60

- **Iluminación al 100% de las lámparas instaladas.**

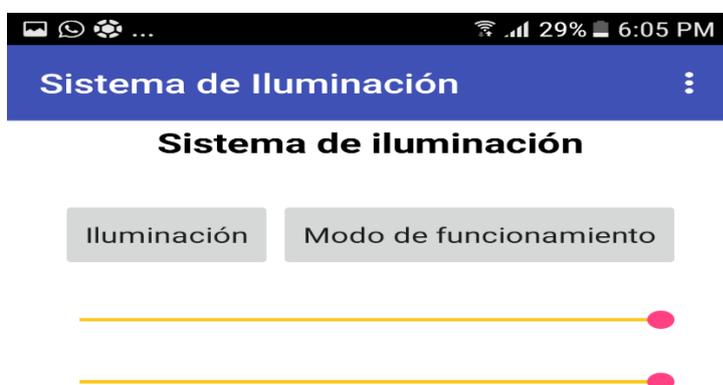


Figura 61 Aplicación: Iluminación 100%



Figura 62 Tablero: Iluminación 100%

- **Iluminación al 75% de las lámparas.**

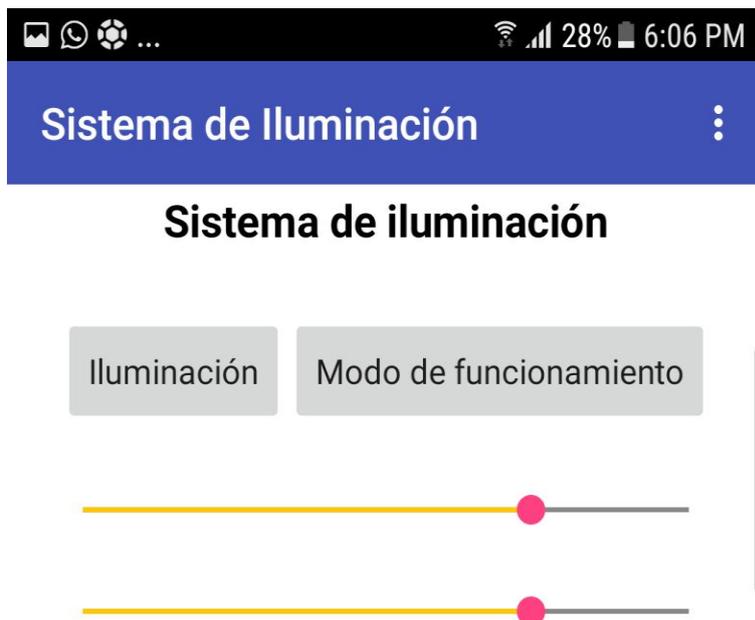


Figura 63 Aplicación: Iluminación 75%

- Iluminación al 50 % de las lámparas.

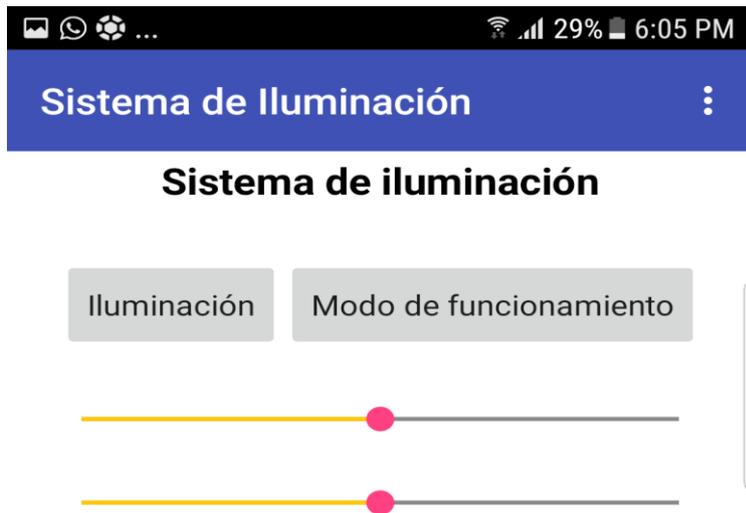


Figura 64 Aplicación: Iluminación 50%

- Apagado completo de las lámparas.

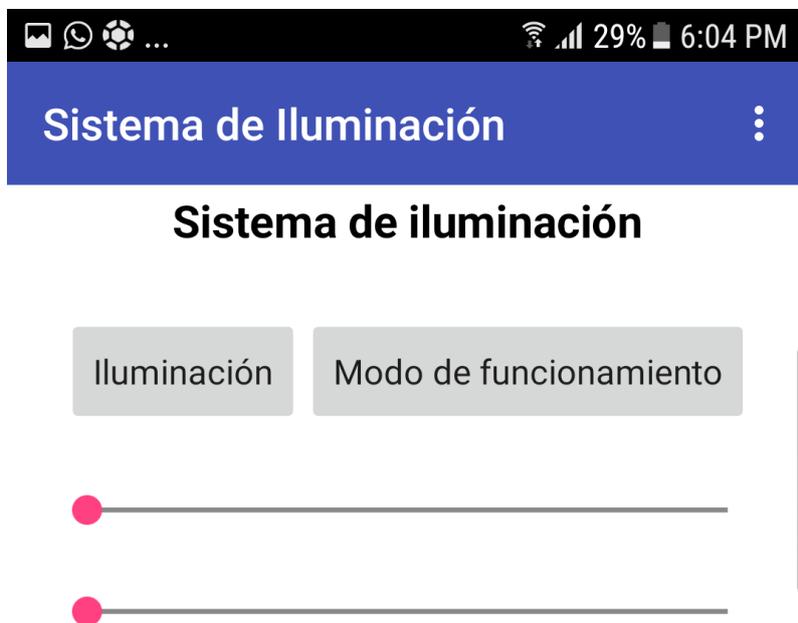


Figura 65 Aplicación: Iluminación apagada



Figura 66 Tablero apagado

- **Alternabilidad de encendido de las lámparas.**

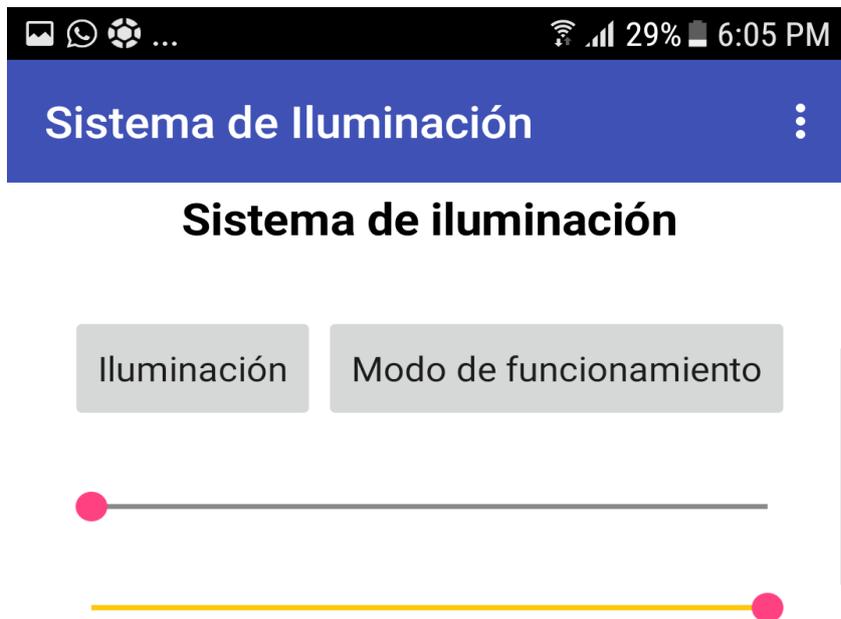


Figura 67 Aplicación: Iluminación alternada



Figura 68 Tablero: Iluminación alternada

7.6 Precauciones de Uso.

- Leer todas las precauciones de seguridad antes de utilizar el sistema.
- Utilice únicamente los accesorios incluidos en el sistema.
- En lo posible evitar extensiones para su alimentación.
- La tensión de alimentación debe cumplir estrictamente los requisitos antes mencionados de la entrada del sistema (el rango de fluctuación de la tensión es inferior a 10%).
- Mantenga el enchufe limpio y seco para evitar cualquier riesgo de descarga eléctrica u otros peligros.
- Desconecte todos los cables durante una tormenta eléctrica para evitar daños en los dispositivos.

- Apague y desconecte el enchufe de alimentación cuando el sistema no esté en uso.
- Desconectar el suministro de energía y dejar de usar el sistema en las condiciones tales como, sonido anormal, humo y olor extraño.

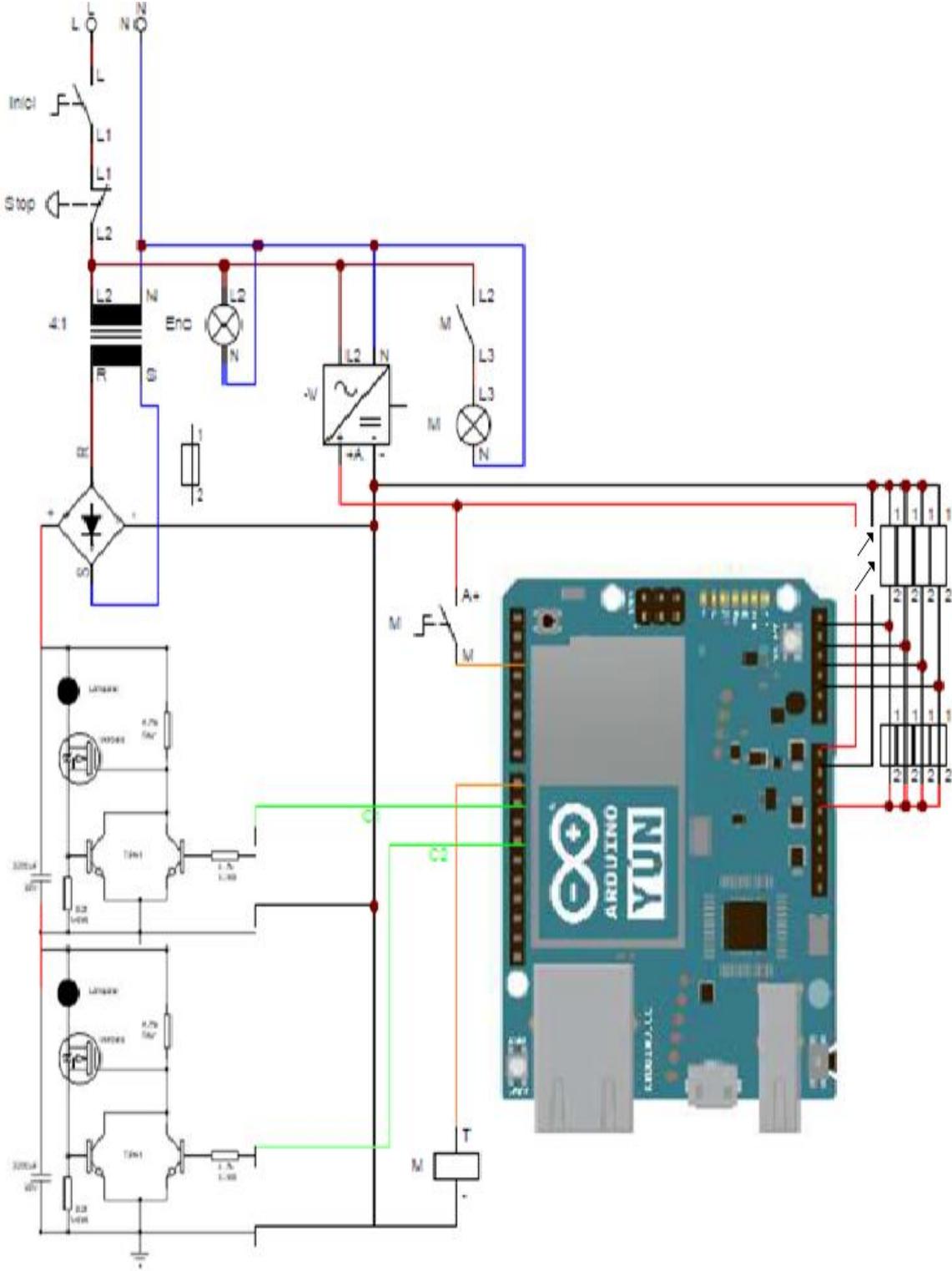
7.6.1 Requisitos del entorno.

- Garantizar una ventilación adecuada al dispositivo. Coloque el sistema de iluminación lejos de la luz directa del sol.
- Mantenga el dispositivo ventilado y seco. Nunca derrame ningún líquido sobre el dispositivo.
- No coloque ningún objeto sobre el dispositivo para evitar cualquier deformación o daño.
- Mantenga alejado de cualquier aparato electrodoméstico con campos magnético o eléctricos fuertes, como horno microondas o refrigerador

7.6.2 Requisitos de Limpieza.

- Antes de limpiar, apague el dispositivo y desconecte todos los cables conectados como, cable de alimentación.
- No utilice ningún líquido ni spray para limpiar el dispositivo. Use un paño suave y seco.

ANEXO 2. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA.



ANEXO 3. REGISTRO DE MEDICIONES TOMADOS CON EL APARATO DE MEDIDA LUXOMETRO.

Toma de medidas de iluminación con fotómetro de luminarias de 110w con tecnología LED.

N°	LAMPARAS LED (lm)
1	1000
2	930
3	970
4	982
5	977
6	931
7	933
8	944
9	957
10	952
11	967
12	966
13	948
14	979
15	975
16	947
17	964
18	979
19	987
20	998

Toma de medidas de iluminación con fotómetro de lámparas de vapor de sodio.

N°	Lámparas Vapor de Sodio (lm)
1	630
2	690
3	650
4	632
5	644
6	657
7	683
8	674
9	654
10	641
11	633
12	652
13	678
14	679
15	653
16	631
17	642
18	659
19	638
20	645

Datos de iluminación, donde se puede ver la relación entre el valor de resistencia en el sensor y la cantidad de iluminación en el ambiente.

Resistencia	Lúmenes
82	13500
95	10200
109	9722
120	8200
144	7100
162	6300
176	5115
185	4150
198	3763
214	3419
228	2820
235	2600
248	2415
254	2323
260	2250
287	1918
305	1529
331	1249
352	987
383	746
405	517
435	329
458	286

ANEXO 4. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE MEDICIONES Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

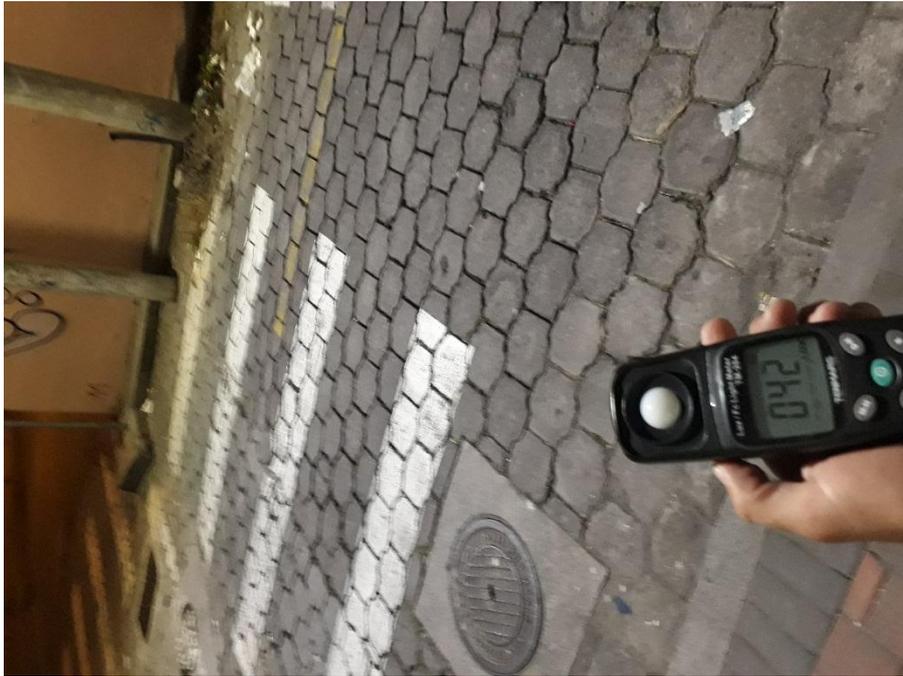
Equipo de medición Luxómetro.



Mediciones de las lámparas de vapor de sodio.



Mediciones de las Lámparas Led.







**Mediciones durante diferentes horas en el día para determinar la cantidad de luz.
(mañana, tarde y noche)**

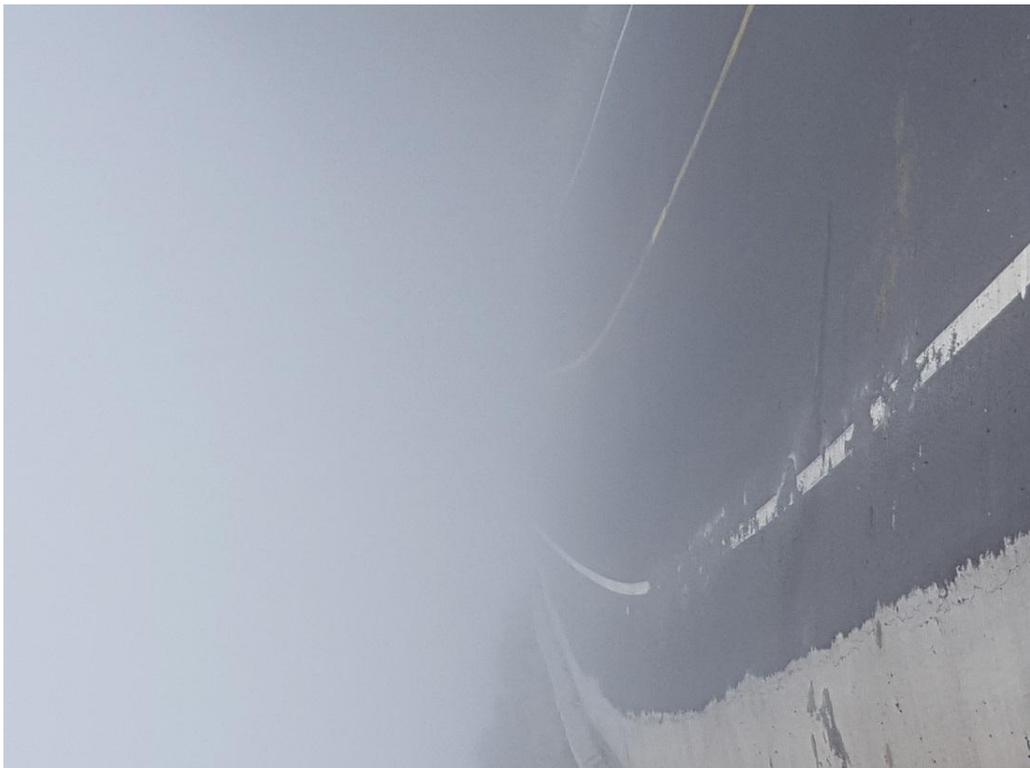


Medición en condiciones de neblina.



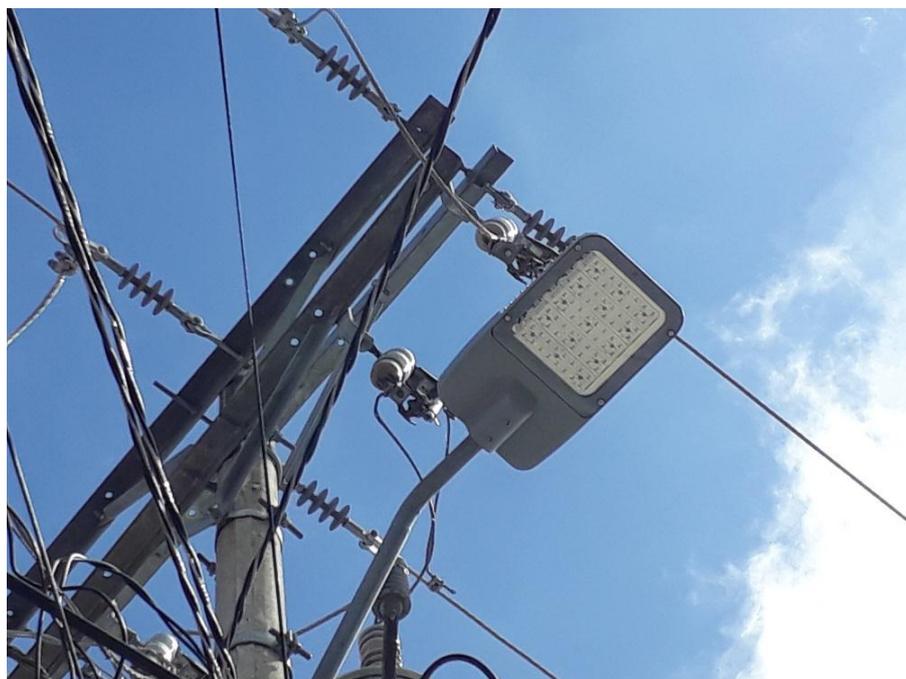






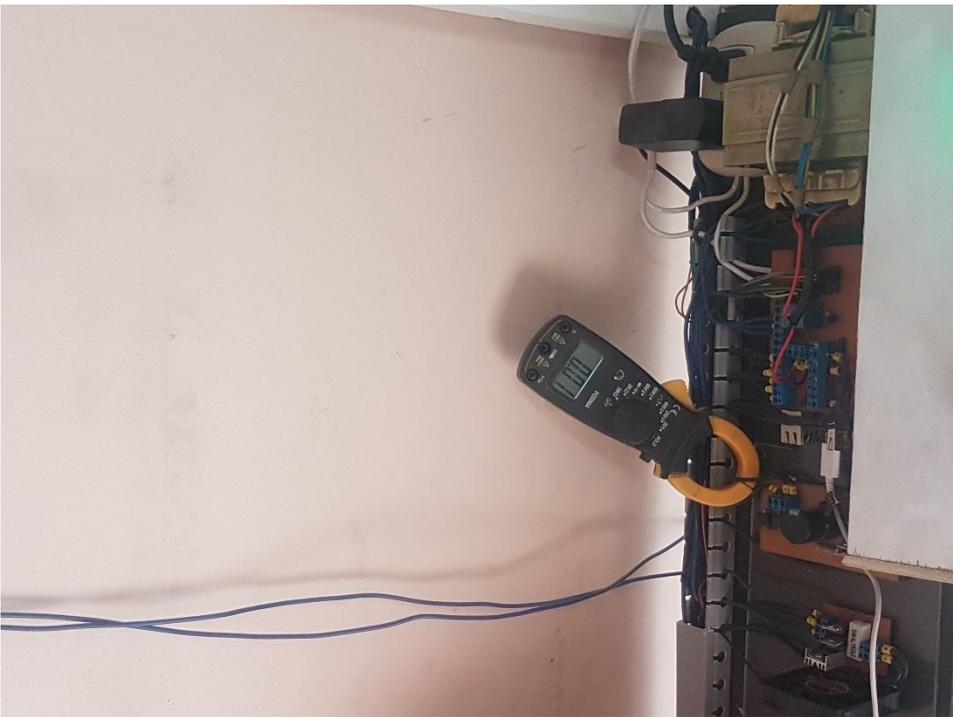


Lámparas Led.

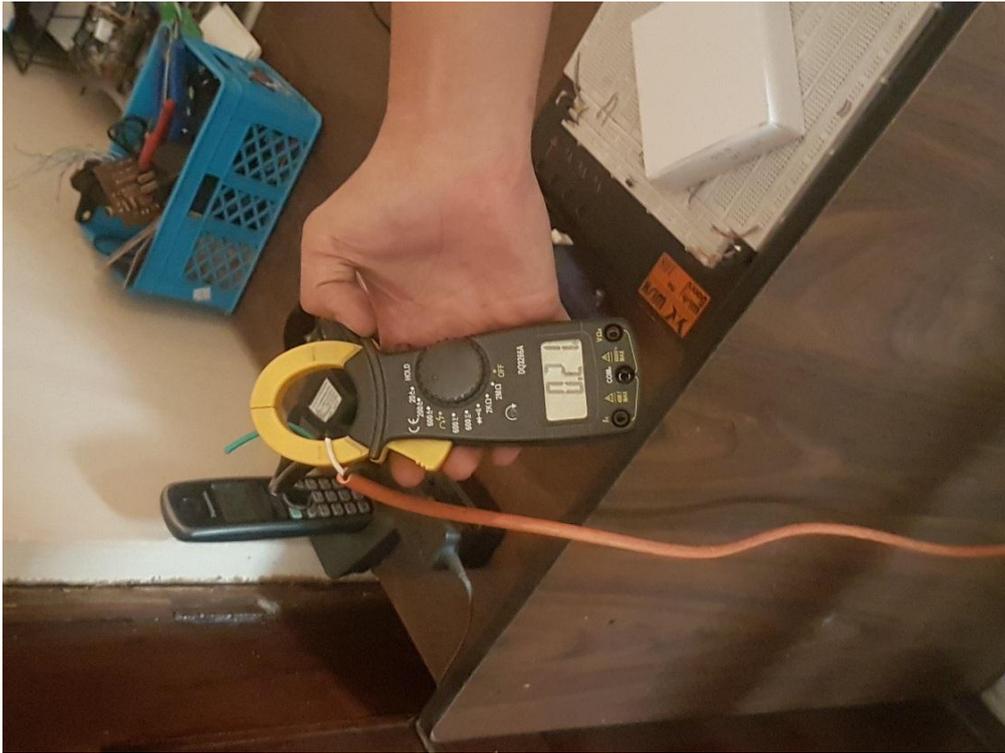


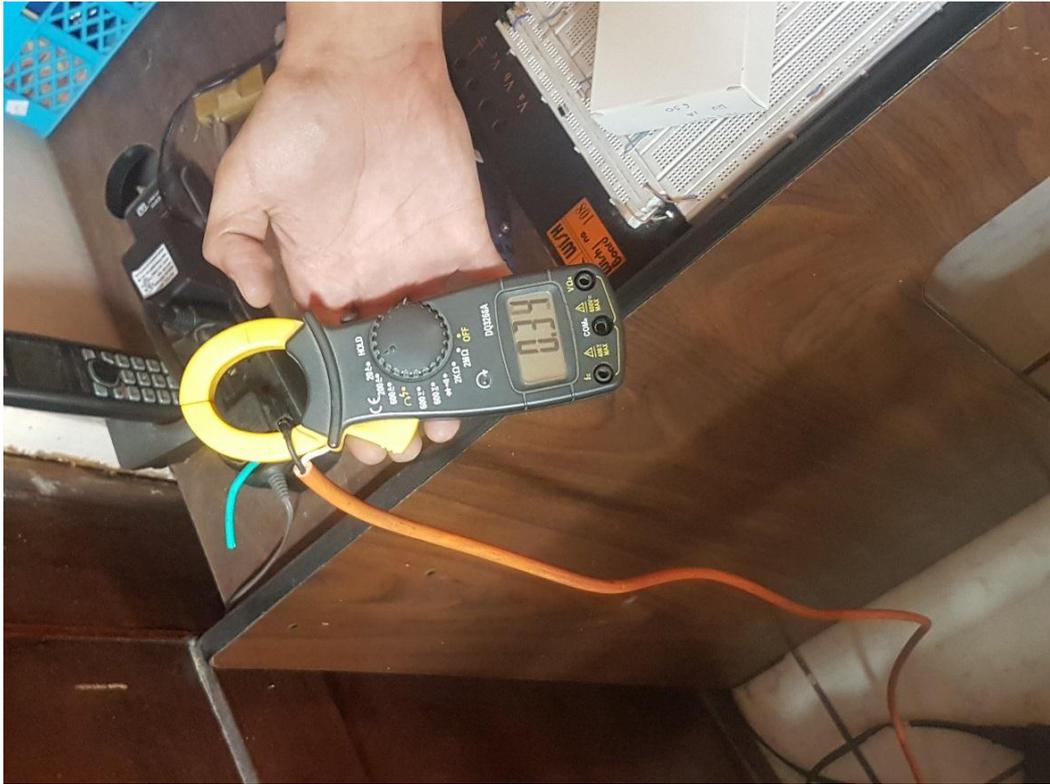
Medición de corriente del Sistema de Control de Iluminación.





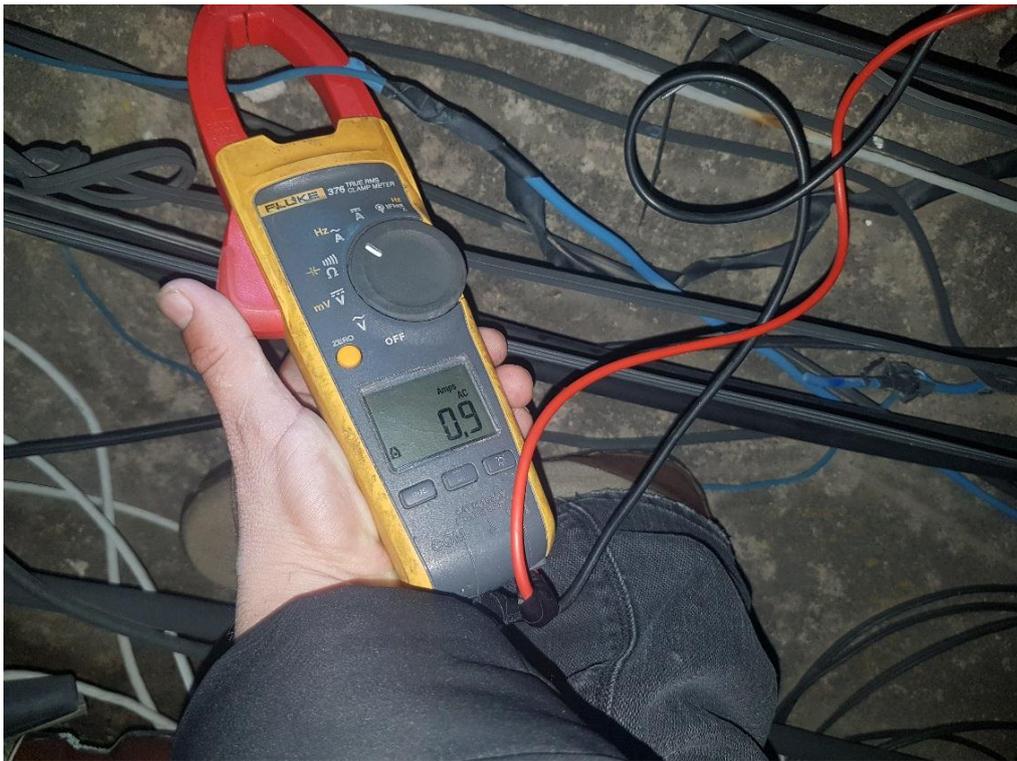






Medicion de Corriente de Lámparas de Vapor de Sodio.









Construcción del módulo del sistema de control de iluminación.

