



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

TEMA:

**Analizar los controladores clásicos, utilizando una planta didáctica de  
iluminación LED, basada en microcontroladores**

AUTORES:

**Holguín Weber, Eduardo Javier**

**Paredes Ruiz, Karen Eline**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TUTOR:

**Vega Ureta, Nino Tello**

Guayaquil, Ecuador

**14 de Septiembre del 2017**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Holguín Weber, Eduardo Javier** y la Srta. **Paredes Ruiz, Karen Eline** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

---

**VEGA URETA, NINO TELLO**  
TUTOR

---

**HERAS SANCHEZ, MIGUEL ARMANDO**  
DIRECTOR DE CARRERA

Guayaquil, a los 14 días del mes de Septiembre del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Holguín Weber, Eduardo Javier y Paredes Ruiz, Karen Eline**

**DECLARAMOS QUE:**

El trabajo de titulación “**Analizar los controladores clásicos, utilizando una planta didáctica de iluminación LED, basada en microcontroladores**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 días del mes de Septiembre del año 2017

**LOS AUTORES**

---

Holguín Weber, Eduardo Javier

---

Paredes Ruiz, Karen Eline



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Holguín Weber, Eduardo Javier y Paredes Ruiz, Karen Eline**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Analizar los Controladores Clásicos, Utilizando una Planta Didáctica de Iluminación Led, Basada en Micro Controladores**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 14 días del mes de Septiembre del año 2017

**LOS AUTORES**

---

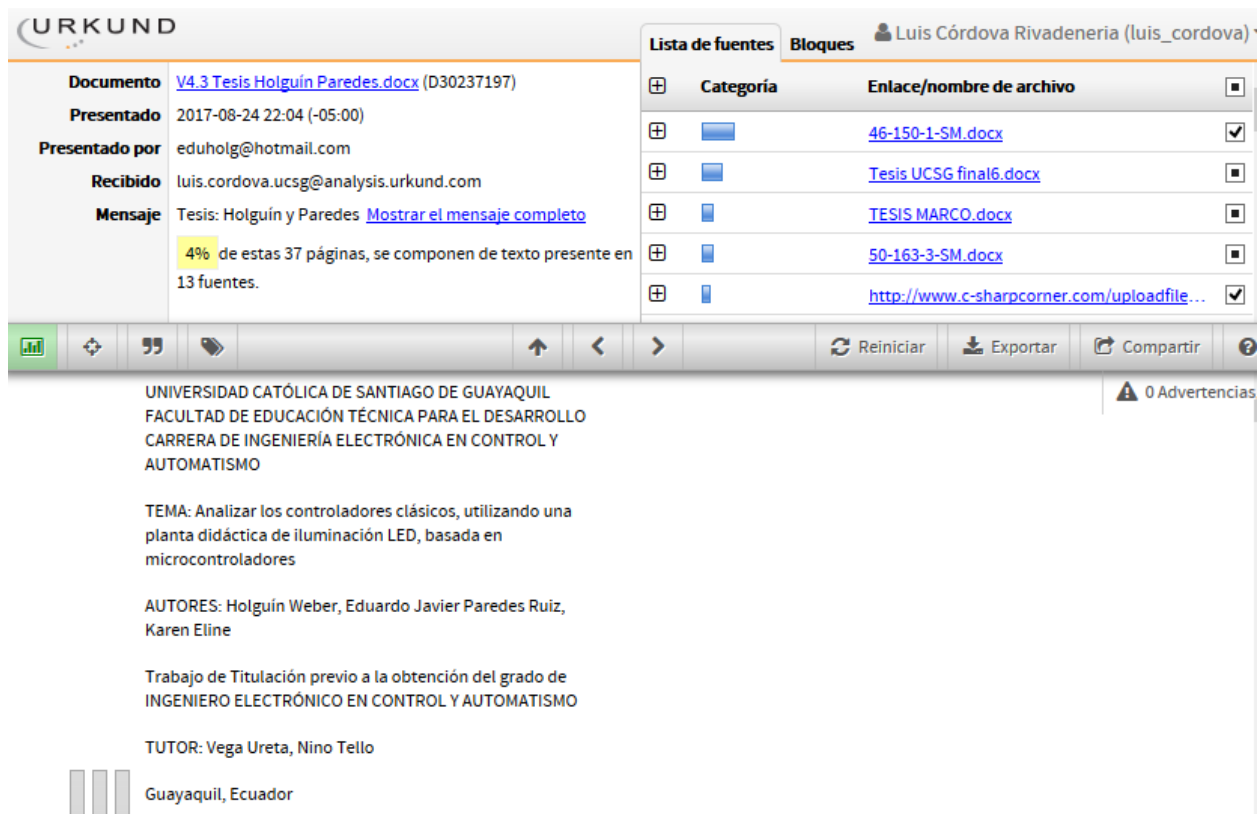
Holguín Weber, Eduardo Javier

---

Paredes Ruiz, Karen Eline

## REPORTE URKUND

Informe del Trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Control Automático, con **4%** de coincidencias perteneciente a los estudiantes, **HOLGUIN WEBER EDUARDO JAVIER** y **PAREDES RUIZ KAREN ELINE**.



The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a sidebar shows document details: 'Documento' is 'V4.3 Tesis Holguín Paredes.docx (D30237197)', 'Presentado' is '2017-08-24 22:04 (-05:00)', 'Presentado por' is 'eduholg@hotmail.com', 'Recibido' is 'luis.cordova.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje' is 'Tesis: Holguín y Paredes [Mostrar el mensaje completo](#)'. A yellow highlight indicates '4% de estas 37 páginas, se componen de texto presente en 13 fuentes.' On the right, a table titled 'Lista de fuentes' lists sources with columns for 'Categoría', 'Enlace/nombre de archivo', and a checkbox. The sources are: '46-150-1-SM.docx' (checked), 'Tesis UCSG final6.docx', 'TESIS MARCO.docx', '50-163-3-SM.docx', and 'http://www.c-sharpcorner.com/uploadfile...' (checked). Below the table is a toolbar with icons for 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'. The main content area shows the text of the document: 'UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO', 'TEMA: Analizar los controladores clásicos, utilizando una planta didáctica de iluminación LED, basada en microcontroladores', 'AUTORES: Holguín Weber, Eduardo Javier Paredes Ruiz, Karen Eline', 'Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO', and 'TUTOR: Vega Ureta, Nino Tello'. At the bottom left, there are three vertical bars and the text 'Guayaquil, Ecuador'. A notification in the top right corner says '0 Advertencias'.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

TEMA: Analizar los controladores clásicos, utilizando una  
planta didáctica de iluminación LED, basada en  
microcontroladores

AUTORES: Holguín Weber, Eduardo Javier Paredes Ruiz,  
Karen Eline

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de  
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR: Vega Ureta, Nino Tello

Guayaquil, Ecuador

Atte.

M. Sc. Nino Vega Ureta  
Docente Ocasional – Tutor

## **AGRADECIMIENTO**

*El llegar a este punto de mi vida y esté presente trabajo agradezco a mis padres y familiares porque me brindaron su apoyo tanto moral como lo fue económico para continuar mi carrera y lograr el objetivo al cual apunto y lograr es un orgullo para ellos.*

*También a la Coordinación Académica de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Educación de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de Titulación y al haberme formado por estos años, brindándome los conocimientos para alcanzar un futuro como ingeniero.*

*De igual manera a mis queridos formadores los mismos que me apoyaron a lo largo de la carrera para seguir creciendo como profesional, sus conocimientos, persistencia y motivación han sido de fundamental ayuda para mi desarrollo como profesional.*

*-Eduardo Holguín*

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero, agradezco a Dios por brindarme la motivación, tampoco olvido que uno no llega a donde está sin tener a su lado unas grandes amistades a quienes también agradezco por las palabras de aliento y demostraciones de afecto en varias e incalculables veces fueron de mucha ayuda a lo largo de este proceso de elaborar el trabajo de titulación.*

*-Karen Eline Paredes*

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mis padres quienes han dado razón a mi vida y me han apoyado de manera incondicional a lo largo de toda mi educación, todo lo que hoy soy es gracias a ellos, a mis hermanos los cuales me han acompañado a lo largo de todo estos momentos y a mis compañeros con quienes nos hemos apoyado mutuamente en nuestra formación profesional.*

*-Eduardo Holguín*



## **DEDICATORIA**

*A mi familia y amigos por ser una parte primordial en todo lo que soy, en toda mi educación académica, como en la vida, por su apoyo y aliento que me fue brindado a largo del tiempo; Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.*

*-Karen Eline Paredes*



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS**  
DECANO

---

**HERAS SANCHEZ, MIGUEL ARMANDO**  
DOCENTE DE LA CARRERA

---

**PALAU DE LA ROSA, LUIS EZEQUIEL**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVIII
Resumen.....	XIX
Abstract .....	XX
Introducción .....	2
CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES .....	3
1.1. Planteamiento del problema. ....	3
1.2. Justificación.....	3
1.3. Delimitación. ....	3
1.4. Objetivos. ....	3
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos. ....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Tipo de Investigación y Metodología de Investigación. ....	4
1.6.1 Método de Análisis.....	5
1.6.2 Método de Modelación.....	5
1.6.3 Método Experimental. ....	5
1.6.4 Método Bibliográfico. ....	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Proyectos Relacionados.....	6
2.1.1 Medición.....	6
2.1.2 Comunicación.....	8
2.1.3 Actuadores.....	10
2.1.4 Controlador.....	13
2.1.5 Aplicaciones.....	14
2.1.6 Interfaz.....	16
2.1.7 Hardware.....	17

2.2.	Diseño del Proyecto. ....	18
2.3.	Materiales y Métodos. ....	19
2.3.1	Sensores I2C. ....	19
2.3.2	Sensor BH1750. ....	19
2.3.3	Potenciómetro. ....	21
2.3.4	Tarjeta de Desarrollo Arduino Mega 2560. ....	21
2.3.5	Transistores. ....	22
2.3.6	TIP3055. ....	23
2.3.7	Tipos de Controlador. ....	23
2.3.8	Modulación por ancho de Pulso. ....	26
2.3.9	Comunicación I2C. ....	27
2.3.10	Desarrollo Estructural. ....	28
2.3.11	LED. ....	28
2.3.12	Convertidor DC – DC. ....	28
2.3.13	Iluminación. ....	29
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO PLANTA DIDACTICA. ....		30
3.1.	Funcionamiento de la Planta. ....	30
3.2.	Diseño del Hardware y Estructura. ....	31
3.2.1	Construcción y Diseño de la Maqueta. ....	31
3.2.2	Construcción y Diseño de los Circuitos Impresos. ....	32
3.2.3	Panel de accionamiento LED. ....	33
3.2.4	Diseño del sistema de perturbaciones manuales. ....	33
3.2.5	Diseño del Circuito de Control y Accionamiento. ....	34
3.3.	Diseño del software. ....	37
3.3.1	Modelado Matemático. ....	37
3.3.2	Desarrollo de la función de transferencia. ....	39
3.3.3	Validación del modelo. ....	40

3.4.	Cálculo de costos.....	49
CAPÍTULO 4: PRESENTACION, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN EN PLANTA REAL .....		50
4.1.	Pruebas previas del sistema.....	50
4.2.	Respuestas del sistema y análisis. ....	52
4.2.1	Aplicación de controlador Integrador.....	52
4.2.2	Aplicación de controlador Proporcional Integral. ....	54
4.2.3	Aplicación de controlador Proporcional.....	56
4.2.4	Aplicación de controlador Proporcional Derivativo.....	58
4.2.5	Aplicación de controlador Proporcional Integral Derivativo. ....	60
4.3.	Respuestas del sistema ante cambios en el tiempo. ....	62
4.3.1	Cambios en el tiempo por perturbaciones. ....	63
4.3.2	Cambios por alteraciones en el valor prefijado. ....	67
4.4.	Respuesta de los controladores en tiempo real.....	71
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		72
5.1.	Cumplimiento de los Objetivos.....	72
5.1.1	Objetivos específicos.....	72
5.1.2	Objetivo General.....	72
5.2.	Cumplimiento de la hipótesis.....	72
5.3.	Conclusiones. ....	73
5.4.	RECOMENDACIONES. ....	74
BIBLIOGRAFÍA .....		75
ANEXOS .....		80
Anexo A: Hoja de datos del Sensor BH1750.....		80
Anexo B: Hoja de datos del transistor TIP3055.....		88
Anexo C: Tabla Completa.....		94

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2.-

Figura 2. 1: Diseño de hardware del sistema inteligente de iluminación.....	6
Figura 2. 2: Sensor de luz digital BH1750FVI .....	7
Figura 2. 3: Digi XBee-PRO.....	8
Figura 2. 4: Detección de la intensidad luminosa de la sala y arquitectura de control.9	
Figura 2. 5: Diagrama de bloques básico del sistema con comunicación DTMF.....	10
Figura 2. 6: Diagrama básico de comunicación I2C.....	10
Figura 2. 7: Grafica de funcionamiento del Flash Fotográfico Motorizado .....	11
Figura 2. 8: Diagrama de distribución de intensidad de iluminación de Parquadero. .....	12
Figura 2. 9: Sensor LDR y su curva.....	13
Figura 2. 10: Estacionamiento con el sistema indicador de búsqueda de vehículos y luces.....	15
Figura 2. 11: Cuatro redes de calle LED y sensor de movimiento. ....	15
Figura 2. 12: Sistema de control de iluminación para jardín Botánico.....	16
Figura 2. 13: Diagrama de bloques de luz LED inteligente para autopista.....	18
Figura 2. 14: Foto de sensor BH1750. ....	20
Figura 2. 15: Circuito de aplicación del sensor BH1750. (Yang, 2014).....	20
Figura 2. 16: Foto de un Potenciómetro común.....	21
Figura 2. 17: Placa Arduino Mega 2560.....	22
Figura 2. 18: Demostración de las partes de un Transistor NPN.....	23
Figura 2. 19: Esquema del Transistor TIP 3055. ....	23
Figura 2. 20: Diagrama de Controlador PID.....	25
Figura 2. 21: Ejemplos de Modulación de Pulso. ....	26
Figura 2. 22: Diagrama de funcionamiento de una comunicación I2C entre dos equipos. ....	27

### CAPÍTULO 3.-

Figura 3. 1: Diagrama de Bloques del Sistema a Desarrollar. ....	30
Figura 3. 2: Maqueta ensamblada. ....	31
Figura 3. 3: Pads de los leds.....	32
Figura 3. 4: Panel de leds. ....	33

Figura 3. 5: Circuito de perturbaciones manuales de la planta. ....	34
Figura 3. 6: Circuito de perturbaciones manuales de la planta ya aplicado en Protoboard. ....	34
Figura 3. 7: Circuito del área de Control y accionamiento de la planta. ....	35
Figura 3. 8: Circuito de accionamiento de la planta. ....	36
Figura 3. 9: Circuito del área de Control y accionamiento de la planta ya aplicado. ....	36
Figura 3. 10: Ecuación característica desarrollada en Simulink de MatLab. ....	38
Figura 3. 11: Sistema en lazo abierto desarrollada en Simulink de MatLab. ....	39
Figura 3. 12: Utilización del “Linear Analysis Tool”. ....	39
Figura 3. 13: Diseño del sistema en lazo cerrado con la función de transferencia encontrada. ....	40
Figura 3. 14: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado sin el uso de controladores clásicos. ....	41
Figura 3. 15: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante proporcional de 234. ....	41
Figura 3. 16: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante Integral de 0.00525. ....	42
Figura 3. 17: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante Proporcional de 0.0001314 y constante Integral de 0.01314. ....	42
Figura 3. 18: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante Proporcional de 0.9317, y constante Derivativa de 1. ....	43
Figura 3. 19: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante Proporcional de 0.02226, constante Integral de 0.02688 y constante Derivativa de $1.47 \cdot 10^{-5}$ . ....	44
Figura 3. 20: Diseño del sistema con interferencias ya acopladas. ....	45
Figura 3. 21: Grafica sin PID con reacción ante interferencias. ....	45
Figura 3. 22: Grafica con control Proporcional y su reacción frente a interferencias. .....	46
Figura 3. 23: Grafica con control Integrador y su reacción frente a interferencias. ..	46
Figura 3. 24: Grafica del control Proporcional Integral y su reacción frente a interferencias. ....	47
Figura 3. 25: Grafica del control Proporcional Derivativo y su reacción frente a interferencias. ....	47

Figura 3. 26: Grafica del control Proporcional Integral Derivativo y su reacción frente a interferencias.....	48
Figura 3. 27: Programa realizado en Simulink para aplicación. ....	48

#### **CAPÍTULO 4:**

Figura 4. 1: Salida de la planta con constante Integral de 0.00525 aplicada. ....	50
Figura 4. 2: Salida de la planta con tiempo de muestreo de 0.2 segundos.....	51
Figura 4. 3: Salida de la planta con constante Integral de 0.00014 aplicada. ....	51
Figura 4. 4: Salida de la planta con controlador Integrador aplicada a 9000 luxes. ..	52
Figura 4. 5: Señal de control de la figura 4.4. ....	53
Figura 4. 6: Comparación entre la simulación y la aplicación con el controlador integrador. ....	54
Figura 4. 7: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral aplicada a 9000 luxes. ....	55
Figura 4. 8: Señal de control de la figura 4.7. ....	55
Figura 4. 9: Comparativa entre la simulación y la aplicación con el controlador Proporcional Integral.....	56
Figura 4. 10: Salida de la planta con controlador Proporcional aplicado a 9000 luxes. ....	57
Figura 4. 11: Señal de control control de la figura 4.10.....	57
Figura 4. 12: Comparativa entre la simulación y la aplicación con el controlador Proporcional. ....	58
Figura 4. 13: Salida de la planta con controlador Proporcional aplicado a 9000 luxes. ....	59
Figura 4. 14: Señal de control de la figura 4.13. ....	59
Figura 4. 15: Comparativa entre la simulación y la aplicación con el controlador Proporcional Derivativo. ....	60
Figura 4. 16: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral aplicada a 9000 luxes. ....	61
Figura 4. 17: Señal de control de la figura 4.16. ....	61
Figura 4. 18: Comparativa entre la simulación y la aplicación con el controlador Proporcional Integral Derivativo.....	62
Figura 4. 19: Salida de la planta con controlador Integrador ante perturbaciones.....	63



Figura 4. 20: Señal de control de la figura 4.19. ....	64
Figura 4. 21: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral ante perturbaciones. ....	65
Figura 4. 22: Señal de control de la figura 4.21. ....	65
Figura 4. 23: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral Derivativo ante perturbaciones.....	66
Figura 4. 24: Señal de control de la figura 4.23. ....	67
Figura 4. 25: Salida de la planta con controlador Integrador a tres puntos de operación. ....	68
Figura 4. 26: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral a tres puntos de operación. ....	69
Figura 4. 27: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral Derivativo a tres puntos de operación.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

### **CAPÍTULO 3.-**

Tabla 3. 1: Valores medidos en lazo abierto, su cálculo en MatLab y su margen de Error. ....	37
Tabla 3. 2: Respuesta de los controladores. ....	44
Tabla 3. 3: Lista de Materiales Utilizados y sus costos. ....	49

### **CAPÍTULO 4.-**

Tabla 4. 1: Respuesta de los controladores. ....	71
--	----

## **Resumen**

Utilizando una tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 que cumple la función de adquisición de datos mediante un sensor de luz BH1750 que funciona a través de una comunicación I2C, la misma que proporciona la cantidad de luxes presentes dentro de las áreas de 0 a 65535; y regula la luz de la habitación a los niveles requeridos. Este proyecto tiene como objeto demostrar el diseño y desarrollo de un sistema que analiza los controladores clásicos que son P, I, PD, PI y PID a través de la elaboración una planta didáctica de iluminación led, que estabiliza la intensidad de los niveles de luz en un área específica. Esto se podría aplicar un algo tan simple como el control de la iluminación en un hogar para ahorrar algo de dinero en las facturas, a los procesos complejos que tienen la necesidad de un nivel estable de la luz para la conservación del producto o el cuidado de los seres vivos; el sistema apunta a ser implementada en la universidad para que los alumnos puedan hacer uso de ella con el fin de brindar conocimientos prácticos acerca del uso y diseño de los procesos de control a los futuros estudiantes.

**Palabras Clave:** ILUMINACIÓN LED, DIDACTICA, CONTROLADORES PID, I2C, SENSOR FOTODIODO, AHORRO DE ENERGIA.

## **Abstract**

Using an Arduino Mega 2560 development board, that performs the data acquisition function using a BH1750 light sensor that works through an I2C communication, which provides the amount of luxes present within areas from 0 to 65535; and regulates the light in the room to required levels. This project aims to analyze the response of classical controllers through the design, development and implementation of a didactic plant that stabilizes the intensity of light levels in a specific area. This could be applied on something as simple as the illumination control of a house to save some money on bills, to complex processes that have the necessity of a stable level of light for product conservation or care of living beings; The purpose of the project is to be applied in the university so that the students can use it in order to get practical knowledge about the use and design of controlled processes.

**Keywords:** LED ILLUMINATION, DIDACTIC, PID CONTROLLERS, I2C, PHOTODIODE SENSOR, ENERGY SAVING.

## **Introducción**

Al utilizar la tecnología led se produce un ahorro significativo de energía en este proyecto los cuales brindan una ventaja de fácil instalación en cualquier lugar, estos elementos se los usa actualmente en lugares como: Casas, industria, estacionamientos, laboratorio, etc. Se demuestra en base a un estudio exhaustivo que este sistema automático de control es necesario en varios ambientes entre los que puede mencionar: laboratorios farmacéuticos, auditorios, etc.

Actualmente los estudiantes carecen de instrumentos, equipos y máquinas que permitan poner en práctica sus conocimientos teóricos por los que este equipo es fundamental para comprobar y hacer estudios en un ambiente de vida real.

El desarrollo de esta planta además contribuye al cuidado del medio ambiente ya que reduce las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La tecnología LED muy aparte de que es un gran ahorro energético es la iluminación del futuro, conforme pasen los años la tecnología LED sigue evolucionando tanto en capacidad de iluminación como su facilidad de uso. Esta tecnológica posee una resistencia mecánica muy alta por ende sus facilidad de trabajo ya que la energía eléctrica suministrada es transformada en lumínica esto hace que ahorre una alta calidad de energía, este tipo de iluminación emite menor calor debido a que el diodo LED emite luz monocromática.

El estudio y desarrollo de esta planta se fundamenta en brindar al estudiante un sistema didáctico con una tarjeta de desarrollo ARDUINO MEGA 2550 y tecnología LED fácil transporte y manipulación, donde se puede realizar pruebas de control en lazo abierto y cerrado, además proporciona la facilidad de analizar las gráficas de las señales del sistema y verificar los resultados de los controladores P, I, PD, PI, PID.

Este proyecto surge del interés de facilitar el estudio de los controladores convencionales a través de módulos didácticos que sean económicos, brinde la posibilidad de realizar simulaciones y permita verificar las pruebas en una planta real. Esta planta tiene por objeto proporcionar un sistema para realizar la preparación al nivel práctico de los estudiantes que cursan las carreras de ingeniería en control electrónico y electricidad.

## **CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES**

En el desarrollo de este primer capítulo se toma en cuenta todos los aspectos generales que dan inicio a este proyecto de investigación. Se iniciará definiendo el problema a tratar tomando en cuenta las respectivas delimitaciones y explicando que aspira solucionar después de su desarrollo.

### **1.1. Planteamiento del problema.**

La luz tradicional posee altos consumos y muchas veces no se logra adquirir un nivel ansiado de iluminación, situación que se vuelve un problema con respecto a varias aplicaciones donde la luz representa un factor determinante en un proceso. Por otra parte los sistemas de análisis de controladores clásicos tienden a no ser amigables para el usuario, adicionalmente a ser muy costosas y no de fácil acceso en las universidades creando una falta de conocimientos prácticos en los estudiantes.

### **1.2. Justificación.**

En función de las necesidades mencionadas en el punto 1.1, se opta a elaborar un sistema a escala que simula un cuarto al vacío por el cual a través de controladores clásicos P, I, PI, PD, PID manipula la iluminación del área en cuestión, trayendo de esta manera un nivel de luz auto estabilizado en el setpoint deseado y adicionalmente conociendo las necesidades de plantas didácticas a nivel universitario se desempeña la demostración del funcionamiento de una planta que utilice controladores tipo PID extremadamente amigable al momento de su utilización.

### **1.3. Delimitación.**

El proyecto tiene como finalidad la aplicación de un control de iluminación auto regulable por controladores clásicos, impulsado hacia el ámbito educativo para la demostración de un sistema de control. Con respecto al tiempo, el proyecto será diseñado e implementado, durante el periodo correspondiente al semestre A-2017. La realización del proyecto será efectuado para la carrera de Electrónica en Control y Automatismo en la Facultad Técnica para el Desarrollo Humano, dicha facultad que pertenece a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

### **1.4. Objetivos.**

A continuación se procede a presentar los objetivos a realizar para poder desarrollar el trabajo de investigación:

#### **1.4.1 Objetivo General.**

Analizar las distintas respuestas de los controladores clásicos por medio del uso de una planta didáctica, desarrollada a través de sistemas embebidos y sensores fotoeléctricos que poseen comunicación I2C, en el cual los estudiantes puedan probar el diseño de sus conocimientos teóricos en un sistema que proporciona un ambiente real.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Diseñar la estructura y circuitos del sistema mediante AutoCAD y Eagle con el fin de emplearlos en la experimentación en lazo abierto.
- Determinar la función característica del sistema con datos experimentales para determinar las constantes de los controladores clásicos a utilizar en la planta real y su comportamiento frente a interferencias.
- Diseñar un controlador P, PI, PID, PD, utilizando el simulador Simulink de Matlab para su implementación con el controlador diseñado en lazo cerrado.
- Evaluar el funcionamiento de la planta en lazo cerrado frente a sus distintos controladores por medio de las gráficas correspondientes a la planta realizada.

#### **1.5. Hipótesis.**

Al implementar la planta a escala se tiene un equipo didáctico que permitirá probar algoritmos de control clásico y visualizar señales de la planta en tiempo real, el proyecto brindará una herramienta que pueda ser utilizada para ayudar a la comprensión y desarrollo de controladores clásicos ya sean P, PI, PD, I y PID.

#### **1.6. Tipo de Investigación y Metodología de Investigación.**

En el desarrollo de este proyecto se ha usado distintos métodos de investigación: El método de análisis, el método de modelación, el método experimental y el método bibliográfico los cuales se describe a continuación.

### **1.6.1 Método de Análisis.**

Este método de investigación fue utilizado especialmente en el desarrollo matemático de la planta, En la literatura moderna existen varias forma de analizar el modelo matemático de un sistema, en este proyecto se opta por la determinación a través de pruebas en lazo abierto, manipulando los valores de voltaje en los diodos emisores de luz y midiendo los valores de los luxes recibidos en el sensor BH1750, con estos datos obtenidos se puede formular la ecuación característica del sistema, la cual nos permitirá realizar la calibración de los controladores utilizando el simulador Simulink de MatLab para la planta real.

### **1.6.2 Método de Modelación.**

Este método se lo ha utilizado especialmente en el diseño, tanto en los circuitos, como la estructura física de la planta, todo esto involucra varias actividades tales como : construcción de la parte física de la planta, la cual se la realizó con madera de tipo MDF, el desarrollo de las tarjetas de accionamiento y control del sistema, así como también, se implementó el software en Matlab, el cual constituye una parte fundamental para la interacción del usuario del sistema con el proceso ya que permite la manipulación de las variables y la observación en tiempo real de las señales de los sensores y actuadores.

### **1.6.3 Método Experimental.**

Al conseguir la ecuación característica del sistema, por el método de análisis de resultados, y obtenidos los controladores clásicos por simulación, se realizan las pruebas experimentales de estos en la planta real, para observar el efecto que producen cada uno de ellos y compararlos con los obtenidos por simulación.

### **1.6.4 Método Bibliográfico.**

Este método se utiliza para obtener información contenida en documentos con el fin identificar aquellos casos relacionados que contienen la información que pueda resultar de utilidad para la investigación realizada.



## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

El conocimiento teórico es de vital importancia para realizar cualquier tipo de trabajo aplicativo o investigativo, puesto que son el pináculo para conocer la forma como ha realizado otros investigadores a nivel mundial el tema en análisis. En el capítulo a tratar se describe una serie de proyectos relacionados al control de iluminación y adicionalmente se definirán ciertas áreas y elementos a tratar durante el desarrollo de este proyecto.

### 2.1. Proyectos Relacionados.

Previo al desarrollo de este proyecto se procedió a analizar varios casos relacionados con este proyecto tales como artículos científicos, libros y patentes. Como resultado de este análisis bibliográfico se presenta las diferentes aportaciones de estos estudios en los aspectos de medición, comunicación, accionamiento, control, aplicación, interfaz y hardware que tienen estas investigaciones que se detallan en los puntos 2.1.1 al 2.1.7.

#### 2.1.1 Medición.

Previo al desarrollo de este proyecto se procedió a analizar varios casos relacionados a la forma como realizan la lectura de la señal de salida de la planta así se tienen los siguientes documentos. Para el desarrollo de “Control Inteligente de Luminancia de Sistemas de Iluminación Basados en la Reacción del Sensor de Imágenes” en la "Escuela de Ciencias Biológicas e Ingeniería Médica", Universidad de Beihang, se llevó a cabo un sistema de iluminación inteligente basado en sensores de imagen, el cual consiste en un sistema embebido que detecta y transmite la información. Lo hace convirtiendo la atenuación variable de las ondas de luz en señales, pequeñas ráfagas de corriente que transmiten la información, el sistema se lo puede apreciar en la figura 2.1. (Haoting, Qianxiang, Jin, Zhizhen, & Jie, 2017).



Figura 2. 1: Diseño de hardware del sistema inteligente de iluminación.

Fuente: (Haoting et al., 2017)

El autor K. Kobayashi en el 2016 describe un dispositivo que contiene procedimiento de control de iluminación, este sistema mide el brillo de un panel táctil a través de un sensor óptico, estos sensores son detectores electrónicos que convierten la luz en señales electrónicas, con el mismo puede cambiar el área a tratar mediante lo cual puede generar un brillo medio (Kobayashi, 2016).

Lo autores Mahajan y Markande del año 2016 en la Escuela de Ingeniería NBN de Sinhgad se presentó una solución de iluminación para el alto impacto en el consumo total de energía en todo el mundo. Particularmente el 40% de la energía total es consumida por las luces interiores para ello a través del sensor BH1750 (ver figura 2.2) quien realiza la retroalimentación para el control de iluminación se contrala la iluminación del sistema (Mahajan & Markande, 2016).

En “Simulación de la investigación de usar PWM para controlar el escenario LED de ahorro de energía del sistema” para Trans Tech Publications de Suiza presenta un sistema de medición de iluminación de alta resolución basado en FPGA, que consiste en sensores de luz especiales BH1750 y matriz de puerta lógica programable (FPGA) (Yang, 2014).



Figura 2. 2: Sensor de luz digital BH1750FVI  
Fuente: (Rawashdeh, 2016)

En un artículo de título “Detección y control automático de la intensidad luminosa de la sala utilizando un microprocesador y sensores de luz” presentado en la sociedad internacional de óptica y fotónica presenta una aplicación domótica que mediante un circuito HLCM conformado por un sensor PIR y una celda foto resistiva, detecta si un cuerpo humano entra en el área de detección o no. Si no hay cuerpo humano presente, todas las luces controladas se apagan. Si lo hay, el HLCM detecta la intensidad de luz a través de la celda foto resistiva y con respecto al entorno, mantiene

suficiente luz controlando el número de luces en el área a controlar.(Bai & Ku, 2010) Nuestro proyecto después de analizar bastante con respecto al control de iluminación se concluyó que se va a utilizar el sensor BH1750 por sus características.

### 2.1.2 Comunicación.

Al momento de tratar un sistema de control es de extensa importancia la comunicación por ende se tomaron en cuenta los siguientes informes. Se analizó una publicación de título “Análisis del diseño y confiabilidad de un nuevo tipo de sistema inteligente de control de iluminación por LED” de la librería de EBSCO basado en la tecnología ZigBee (ver figura 2.3), un lenguaje inalámbrico que utilizan los dispositivos diarios para conectarse entre sí, este estudio adoptó la modularidad para diseñar el software y el hardware de un sistema inteligente de iluminación en la tecnología ZigBee con características superiores de bajo consumo de energía, eficiencia energética y protección del medio ambiente (MAI, 2016).



Figura 2. 3: Digi XBee-PRO.

Fuente: (Digi International Inc, 2016)

Dentro de la publicación “diseño de un sistema de iluminación LED con atenuación adaptable basado en un controlador PID incremental” publicado en la Universidad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Guangxi, China se mostró las ventajas de la comunicación I2C para el control de la intensidad óptica, detectada por el chip BH1750 en tiempo real, la misma se convierte en señal digital por AD, convertidor analógico/digital, por medio de la interfaz del chip BH1750, y luego se transmite a chip MEGA16 a través del bus serie I2C. Por lo tanto, es adecuado para el adaptador adaptativo Línea de detección de aplicaciones (He, Xiao, & He, 2010).

En un informe titulado “Detección y control automático de la intensidad luminosa de la sala utilizando un microprocesador y sensores de luz” de la IEEE se integró un

módulo RF para transmitir y recibir los datos de cada HLCM para poder controlar diferentes luces en diferentes regiones. El módulo RF está específicamente diseñado para conectarse a la Unidad Micro Controladora, MCU, permitiendo así la comunicación entre los HLCM. La modulación de la comunicación de RF es FSK, y el modulador FM funciona a una frecuencia de 2,4 GHz y una velocidad de 2 MKbps. Las ventajas de la comunicación RF son la ausencia de cables de conexión extra y su bajo coste, En la Figura 2.4 se aprecia el diagrama de funcionamiento (Bai & Ku, 2010).

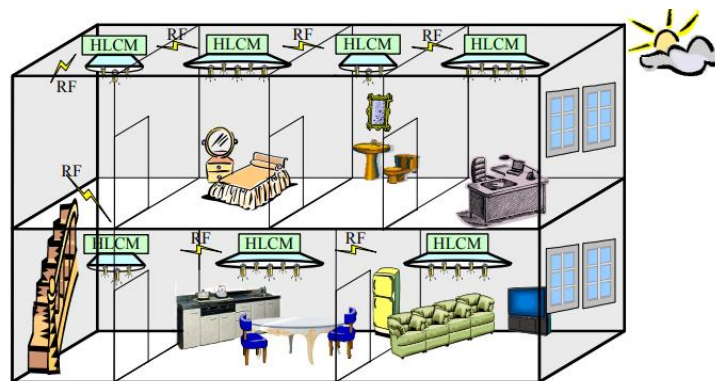


Figura 2. 4: Detección de la intensidad luminosa de la sala y arquitectura de control.

Fuente: (Bai & Ku, 2010)

Para la IJIREEICE se presentó el proyecto: “Control de Intensidad de Luz Inalámbrica Embebida Usando DTMF”, que tiene como objetivo diseñar un sistema que es utilizado para controlar la intensidad de una lámpara de corriente alterna a través de teléfono móvil utilizando la tecnología DTMF. Esto también tiene como objetivo proporcionar un control inalámbrico y continuo sobre muchos dispositivos domésticos, así como industriales. El proceso de domótica funciona haciendo que todo en la casa se controla automáticamente mediante la tecnología DTMF. En este proyecto podemos controlar cualquier lámpara eléctrica a través de móviles desde cualquier distancia del mundo. En este proyecto se conecta una unidad base al teléfono móvil; En la Figura 2.5 se presenta el diagrama de bloques del sistema (Shirsath, Popalghat, Tarate, & Pimpale, 2016).

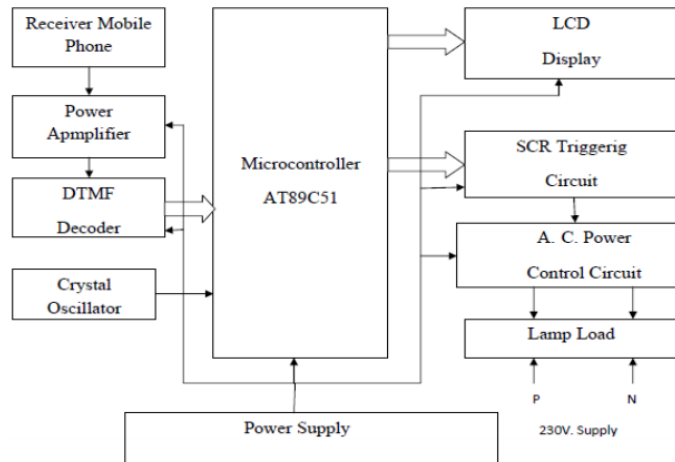


Figura 2. 5: Diagrama de bloques básico del sistema con comunicación DTMF.  
Fuente: (Shirsath, Popalghat, Tarate, & Pimpale, 2016)

En una universidad en Sinhgad, Pune, India se presenta un informe: “Diseño de sistema inteligente para iluminación interior”, que utiliza protocolo I2C de dos líneas con dos direcciones I2C (ver Figura 2.6). También funciona con voltaje de alimentación de 3.3V. La luz medida se utiliza para calcular la señal de error requerida por el controlador de lógica difusa. En modo manual, la comunicación entre el teléfono inteligente y el sistema propuesto se establece a través de la comunicación Bluetooth, HC06 es un dispositivo de comunicación en serie UART inalámbrico y se utiliza aquí para recibir señales de control de luz enviadas por el usuario mediante el teléfono inteligente (Mahajan & Markande, 2016). Para nuestro trabajo aplicativo se optó por la comunicación I2C puesto que el sensor elegido posee una opción de funcionamiento en este tipo de comunicación y la velocidad del mismo.

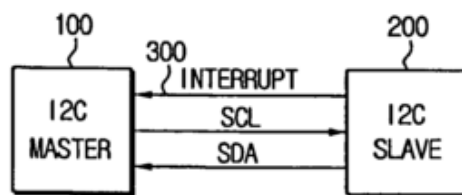


Figura 2. 6: Diagrama básico de comunicación I2C.  
Fuente: (Y.-J. Kim, 2005)

### 2.1.3 Actuadores.

En esta patente titulada “Dispositivo de iluminación y método de control de iluminación”, se presenta el control de dispositivo de iluminación de un flash

fotográfico que controla el movimiento del mismo a través del movimiento de un motor DC que cuando la unidad de detección lo solicita se da el accionamiento del motor para que gire la carcasa a una posición ideal con respecto a la unidad de detección de tal manera que la luz se ubique dónde de una iluminación ideal, En la Figura 2.7 se presenta el funcionamiento del sistema (Yamashita, 2015).

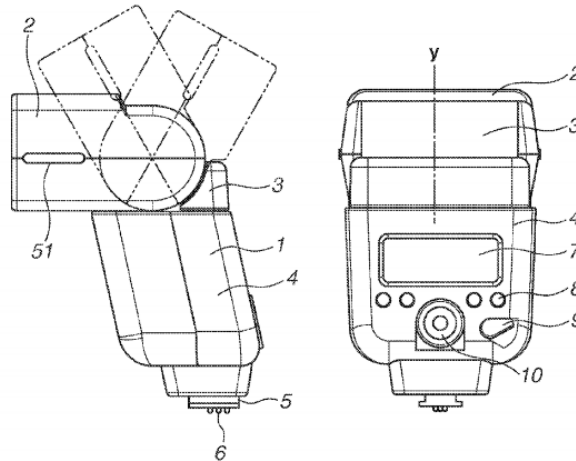


Figura 2. 7: Grafica de funcionamiento del Flash Fotográfico Motorizado  
Fuente: (Yamashita, 2015)

Dentro de la publicación “Pantalla orgánica de diodos emisores de luz con control dinámico de la fuente de alimentación” en estados unidos muestra una matriz de píxeles compuesta de diodos emisores de luz orgánicos, teniendo cada píxel de visualización de LEDs, un terminal de entrada de exploración que recibe una señal de exploración procedente de la circuitería del controlador de pantalla, una entrada de datos que recibe una señal de datos del circuito ,terminal de voltaje de alimentación que recibe una tensión de alimentación, de esta manera se puede regular por medio de PWM la intensidad lumínica del display en cuestión (B. Kim, Yin, & Jun, 2016).

Los autores Yu, Zong y Tian en el año 2012 dentro de su investigación muestran para el accionamiento que se generan señales PWM para controlar el RMS de la corriente para regular el brillo del LED blanco. Utilizando el PID numérico como el algoritmo de control se implementó el control de iluminación constante. El experimento muestra que el error de estado estacionario es menor que 2%, las características dinámicas son excelentes y el sistema puede rechazar la interferencia hasta cierto punto (Yu, Zong, & Tian, 2012).

En este informe titulado: “Simulación de la investigación de usar PWM para controlar el escenario LED de ahorro de energía del sistema”, presenta la idea aplicada en un gran aparcamiento subterráneo como un ejemplo para proponer el uso de lámparas LED de regulación para sustituir a las lámparas T5 de alta eficiencia actualmente utilizadas, y combina con el sensor del sistema de búsqueda de vehículos actualmente disponible por integración de sistemas (ver Figura 2.8); El documento diseña dos escenarios, incluyendo el escenario normal y el escenario de recuperación del automóvil; Después de simular los dos escenarios, encontramos que la eficiencia de ahorro de energía se puede aumentar aún más a cerca de 83%; Por lo tanto, la eficiencia de ahorro de energía es muy obvio(Chang, Yang, & Chou, 2016).

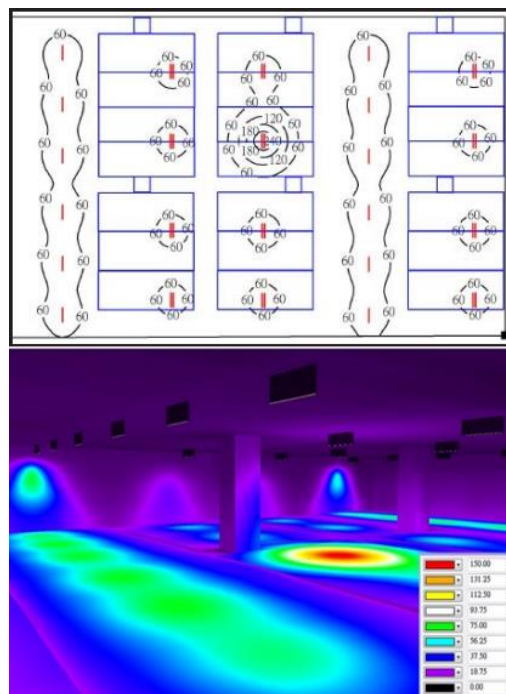


Figura 2. 8: Diagrama de distribución de intensidad de iluminación de Parqueadero.  
Fuente: (Chang et al., 2016)

El libro “Avances en Ingeniería de Energía y Energía: Actas de la VIII Conferencia de Ingeniería de Energía y Energía de Asia y el Pacífico” presentó un sistema inteligente de iluminación LED que puede mantener un nivel cómodo de la iluminación interior cambiando la cantidad de flujo luminoso a través de variación de voltaje por medio de modulación de pulso de la lámpara LED automáticamente basado en el ambiente necesario. Este artículo propone una nueva estrategia de control para el sistema de iluminación auto-adaptativo (Sun, 2016).

El autor K. Kobayashi presento una patente en el 2016 que muestra como a través de variación de voltaje se controla la luminancia del panel táctil varia durante un primer periodo de tiempo que comienza a partir de cuándo el brillo del ambiente medido cambia de una primera condición a una segunda condición, la luz del panel táctil se mantiene en una primera iluminación correspondiente a la primera condición y cuando el brillo del ambiente medido cambia a la segunda condición la luz del panel táctil se controla para cambiar a una segunda luminancia correspondiente a la segunda condición (Kobayashi, 2016).

#### 2.1.4 Controlador.

El autor Y. Sun en el año 2016 realizó una aplicación de iluminación por medio del control iluminativo LED con control difuso SISO que se utiliza para evitar las acciones duraderas del sistema cuando la iluminación interior está cercana al valor operativo del sistema. Se manifiesta por un prototipo experimental, que el esquema de control es correcto y eficaz (Sun, 2016).

En este informe titulado: “Control de iluminación mediante Arduino” se propuso utilizar un sensor LDR (ver Figura 2.9), un Arduino Uno para controlar una u de control a través de PID, un controlador proporcional-integral derivativo es un mecanismo de realimentación de bucle de control comúnmente utilizado en sistemas de control industriales (Pomares & Candelas, 2016).

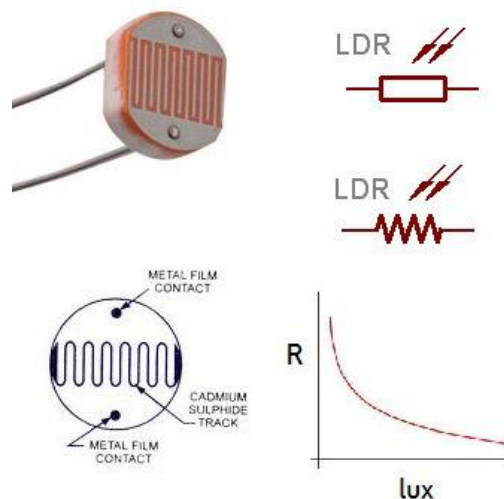


Figura 2. 9: Sensor LDR y su curva.  
Fuente: (Karthiga, 2016)



Los autores Mahajan y Markande en el año 2016 realizaron una investigación en la “Escuela de Ingeniería NBN” acerca del estudio de varias estrategias de control, como las lámparas fluorescentes, los balastos electrónicos regulables, los sistemas de recolección de luz diurna y los sistemas de control de la lógica difusa (FUZZY), que demostraron ser ineficientes energéticamente y necesitan modificaciones en la infraestructura. El controlador de Lógica Difusa aquí acepta datos del sensor de luz como entrada y de acuerdo con las reglas difusas diseñadas, iluminación requerida se consigue mediante la generación de señal PWM, que controla la iluminación de las lámparas LED (Mahajan & Markande, 2016).

En un artículo con título: “Diseño e implementación de iluminación LED blanca Sistema de control automático” de “Electrical, Information Engineering and Mechatronics”, se realiza el control de iluminación constante por medio de un algoritmo de control PID en este proyecto se alcanza menos de un 2% de error promedio gracias a las ventajas de este tipo de control, las características dinámicas presentadas son sobresalientes y el sistema posee una buena reacción ante ruido e interferencias (Yu, Zong, & Tian, 2012).

### **2.1.5 Aplicaciones.**

El sitio de investigación en este paper con título: “El caso de un gran aparcamiento subterráneo: Preparación de documentos en formato de dos columnas para ISNE 2016” es un espacio de estacionamiento rectangular (ver Figura 2.10); La cantidad de plazas de estacionamiento es superior a 1000, y la cantidad total de las lámparas es de hasta 4000. Se está utilizando lámparas LED de atenuación para sustituir a la actual de alta eficiencia de tal manera que se pueda ahorrar energía dependiendo de la cantidad de carros y hora en la que este parque vaya a ser utilizado (Chang et al., 2016).



Figura 2. 10: Estacionamiento con el sistema indicador de búsqueda de vehículos y luces  
Fuente: (Chang et al., 2016)

En el artículo “Sistema de Control de Iluminación de Invernadero” presentado “En el Colegio Forestal de la Universidad de Guizhou” se muestra el sistema de control de iluminación de un invernadero basado en un micro controlador. El sistema utiliza el sensor de luz digital BH1750FVI para detectar la iluminación interior y exterior. De acuerdo con el rango de luz apropiado de los diferentes cultivos, el sistema puede seleccionar bloquear la película de sombreado o abrir un cierto número de luces complementarias (Wang & Ji, 2014).

En el artículo “Bajo consumo de luz LED de calle basado en un sistema de control inteligente”, ofrece una solución de última generación para la técnica de ahorro de energía de la iluminación pública LED (ver Figura 2.11) con intensidad variable de luz. Se propuso un sistema que encendiera la iluminación de la calle según la condición de la luz del sol, el tráfico en la carretera, etc. (Bhangdiya, 2016).



Figura 2. 11: Cuatro redes de calle LED y sensor de movimiento.  
Fuente: (Bhangdiya, 2016)

Dentro de la publicación: “Detección y control automático de la intensidad luminosa de la sala utilizando un microprocesador y sensores de luz”, mediante el uso de este diseño presentado se puede lograr una alta eficiencia en la gestión de energía doméstica. El HLCM de baja potencia se conecta en cada lámpara de un hogar típico. El diseño detecta si alguien está pasando por el área de detección no sólo por medio del sensor PIR en el HLCM, sino también detectando el cambio de intensidad de luz en una habitación por medio del sensor de luz en el HLCM dando un ambiente agradable y ahorrativo (Bai & Ku, 2010).

En el informe titulado: “Sistema inteligente de iluminación para el crecimiento y desarrollo de plantas”, este sistema puede controlar las lámparas comerciales de LED que pueden ser encendidas para emitir luz continua o pulsada. El sistema se aplicó para determinar el efecto de la luz pulsada sobre la emisión de fluorescencia en plantas de tomate, En la Figura 2.12 se muestra el funcionamiento de la planta. La emisión de fluorescencia se midió cuando las plantas se irradiaban con luz continua y luz pulsada a diferentes frecuencias (0,1 Hz, 1 Hz, 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 50 kHz y 100 kHz) (Olvera-Gonzalez et al., 2013).

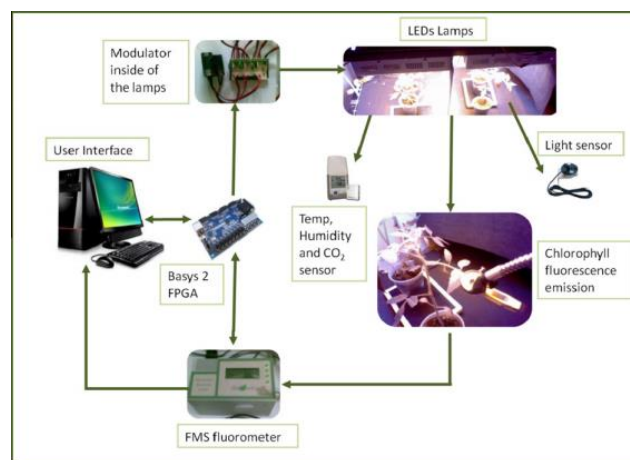


Figura 2. 12: Sistema de control de iluminación para jardín Botánico.

Fuente: (Olvera-Gonzalez et al., 2013)

### 2.1.6 Interfaz.

Dentro de la publicación: “Diseño de sistema inteligente para iluminación interior”, se utiliza una aplicación de celular para un controlador de intensidad se instala en el smartphone para el modo manual. Aquí el usuario simplemente necesita conectarse al dispositivo Bluetooth a través de la aplicación de Android al sistema de control. Un botón de encendido / apagado se utiliza para cambiar las luces manualmente y un

control deslizante se utiliza para ajustar la intensidad de la luz (Mahajan & Markande, 2016).

En un artículo titulado: “Control del equipo de iluminación LED con elementos de robustez” en la Universidad Técnica Estatal del Este de Kazajstán, usa la tarjeta del controlador principal recibe datos del bloque de control del LED y del bloque de control del calentador. Sobre la base de estos parámetros controla la corriente LED y los reguladores de temperatura, envía los datos al sistema SCADA vía USB para archivarlos y procesarlos posteriormente. El sistema SCADA TRACE MODE 6 instalado en el PC host; Se suministra con una aplicación especialmente desarrollada para monitorear el controlador, recibir datos de él y agregarlos al archivo usando el sistema de administración de bases de datos ACCESS (Baklanov & Grigoryeva, 2016).

### **2.1.7 Hardware.**

En este proyecto titulado: “Control del equipo de iluminación LED con elementos de robustez”, Utiliza el módulo del controlador está compuesto funcionalmente por la placa principal de un microprocesador de 32 bits ARM Cortex M4 STM32F401 conectado al bloque de control de LED y al bloque de control del calentador. Este microcontrolador realiza procesos de medida de la señal de realimentación y el cálculo de la variable manipulada de acuerdo con el algoritmo de funcionamiento del regulador PID. La señal de realimentación del sensor de temperatura se alimenta a un convertidor analógico-digital del microcontrolador (Baklanov & Grigoryeva, 2016).

En el informe: “Diseño e implementación de iluminación LED blanca Sistema de control automático la Universidad Politécnica de Henan se implementó un sistema de control automático de LED para mantener la intensidad de iluminación deseada, el controlador utilizado es AT89S52 y se lo utiliza junto al sensor de luz BH1750 que posee una comunicación I2c. El controlador AT89S52 se encarga de generar la señal PWM para el control RMS de la corriente para manipular la irradiación del sistema LED (Yu et al., 2012).

El autor V.K. Bhangdiya presenta en el 2016 un documento que muestra un sistema que consta de un Micro controlador PIC18F4550, sensor LDR, sensor de movimiento, controlador de LED y una computadora, En la Figura 2.13 se presenta el diagrama de bloques del sistema. La acción de conmutación del sistema depende de la intensidad de la luz solar que va ser leída por el controlador 18f4550. Se controla usando LDR,

es decir, cuando hay suficiente sol en la atmósfera, entonces la resistencia LDR mínima y cuando hay oscuridad, la resistencia LDR será máxima de tal manera que sea interpretada por el controlador y de la señal de accionamiento respectiva al estado. El valor umbral de la resistencia se puede establecer cualquier valor según el requerimiento del usuario (Bhangdiya, 2016).

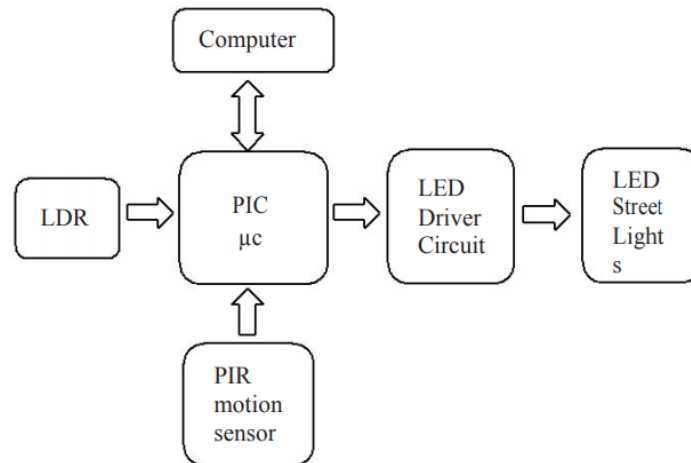


Figura 2. 13: Diagrama de bloques de luz LED inteligente para autopista.

Fuente: (Bhangdiya, 2016).

Dentro de la publicación: “diseño de un sistema de iluminación LED con atenuación adaptable basado en un controlador PID incremental”, muestra la configuración de hardware del sistema se compone de controlador MCU, módulo de adquisición de luz ambiente y circuito de conducción de corriente constante de LED. Cada parte del sistema de hardware se introduce en el módulo de control siguiente. Un solo chip de ATmega16, que es producido por ATMEL, se adopta como el controlador de núcleo. Cuando uno de los puertos PWM de Atmega16 está conectado con el puerto DIM de PT4115, el deber del PWM es ajustar amplitud de voltaje para nivelar los LED en tiempo real. (He et al., 2010).

## 2.2. Diseño del Proyecto.

Después de haber analizado toda la serie de investigaciones relacionados al proyecto de titulación que se está desarrollando, se procede al análisis del mismo, el proyecto a desarrollar posee un sensor BH1750 tipo fotodiodo que fue analizado de manera breve en el punto 2.1.1, el mismo posee una alta velocidad de comunicación y un amplio rango de lectura, en la planta se utiliza la comunicación I2C misma que comunica el controlador con el sensor para el control del área de accionamiento

compuesto de iluminación led, se utiliza una interfaz SCADA por medio de Simulink y el Hardware utilizado es el ATMEGA250 embebido en forma del Arduino 2560, todo esto se utiliza con el fin de realizar una planta para la aplicación didáctica para los estudiantes.

### **2.3. Materiales y Métodos.**

A continuación se describen todos los materiales y métodos utilizados durante el desarrollo de la planta.

#### **2.3.1 Sensores I2C.**

Hay un sensor I2C principal involucrado en nuestro diseño, el sensor de luz Digitage BH1750 (ver Figura 2.14). El proceso de lectura de un sensor I2C con la biblioteca de cables implica 6 pasos. Los tres primeros pasos: Empezar la transmisión, escribir, finalizar la transmisión, configurar todo el dispositivo I2C designado y prepararlo para la salida de sus datos. Esto se hace informando a las funciones de cable para encontrar el dispositivo I2C designado en la función de transmisión Begin, dónde leer los datos almacenados y finalizar la inicialización del sensor. Una vez que la inicialización está completa, las tres funciones finales: Solicitud de, Cable disponible y Recibir, todos tratan con el sistema embebido correspondiente de tal manera que saca los datos del sensor. El comando de comunicación Request le dice al sensor I2C que el controlador está listo para los datos, y el cable recibe permite 1 byte de datos. (Rahimi, 2016)

#### **2.3.2 Sensor BH1750.**

BH1750FVI es un sensor digital de luz, que es un Sensor de luz de ambiente a través de circuito integrado con una interfaz de bus I2C digital. Este circuito integrado es el más adecuado para obtener los datos de luz ambiental para ajustar una retroiluminación. El mismo posee una amplia área de lectura desde 1 a 65535 lx. (Rawashdeh, s/f)



Figura 2. 14: Foto de sensor BH1750.  
Fuente: (Rawashdeh, 2016)

El sensor BH1750 proporciona una lectura precisa del nivel de luz ambiente (lux) utilizando I2C para comunicarse con el micro controlador. La lectura del sensor se da en un total de 2 bytes de datos, por lo que para que el micro controlador pueda leer la información requerida, el byte superior debe ser agarrado primero, guardado en una variable y luego desplazado por un tamaño de 1 byte, Entonces el byte inferior debe ser agarrado y guardado en la misma variable. El valor no compensado de la luz debe calcularse utilizando las constantes dadas en la hoja de datos con el fin de obtener el valor de lux; En la Figura 2.15 se muestra el típico circuito de aplicación. (Rahimi, 2016)

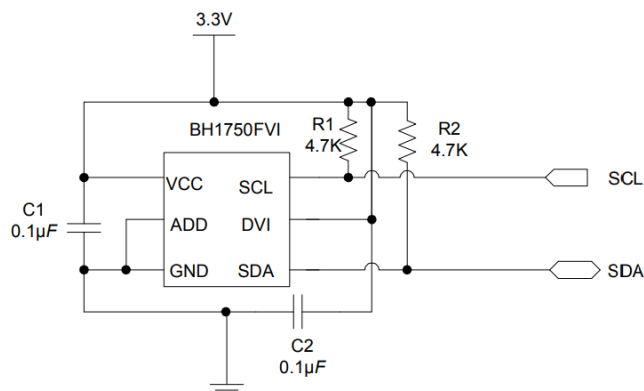


Figura 2. 15: Circuito de aplicación del sensor BH1750.  
Fuente: (Yang, 2014).

Para mejorar la precisión de adquisición del sistema, se eligió este sensor BH1750 como el sensor a utilizar, que puede implementar funcionalidad de adquisición de señal de luz, amplificación de señal óptica y conversión analógico digital. Además, BH1750 incluye un convertidor analógico-digital de 16 bits, que se configura como modo de alta, media y baja resolución mediante instrucciones correspondientes. Cuenta de ventajas anteriores, el BH1750 es ampliamente utilizado en el teléfono, consola de juegos de mano, y cámara digital DV. Para disminuir el volumen del dispositivo, el

BH1750 utiliza bus de datos I2C para realizar comunicaciones con la CPU; La hoja de datos del sensor se presenta en el anexo A.

### 2.3.3 Potenciómetro.

Es un tipo de resistor que posee la capacidad de cambiar su valor de resistencia conforme se cambia la posición del cursor (ver Figura 2.16). Por lo tanto, indirectamente, se puede controlar la intensidad de la corriente que fluye a través de un circuito cuando se conecta en paralelo, o la tensión cuando este se conecta en serie. El límite de corriente que puede pasar por el mismo se encuentra limitado causando una caída de voltaje en el elemento y la resistencia, pero en este caso el valor de la corriente y el voltaje puede variar solamente cambiando el valor de su resistencia. En estos valores la resistencia fija siempre será igual (Cardenas, 2014)



Figura 2. 16: Foto de un Potenciómetro común.  
Fuente: (Cardenas, 2014)

### 2.3.4 Tarjeta de Desarrollo Arduino Mega 2560.

Arduino Mega2560 (ver Figura 2.17) es un tablero del micro controlador basado en el ATmega2560. Arduino Mega2560 dispone de 54 entradas digitales de entrada y salida, de las cuales 15 pines se pueden utilizar como salidas PWM, 16 pines como entradas analógicas, 4 pines como UART (hardware de puerto serie), oscilador de cristal de 16 MHz, conexión USB, Encabezado ICSP y un botón de reinicio. Esto es todo lo que se necesita para apoyar el micro controlador.(Kusriyanto & Putra, 2016)





Figura 2. 17: Placa Arduino Mega 2560.

Fuente: (Arduino, 2016)

Simplemente conectándolo a un ordenador a través de USB o cable de alimentación se conecta a un adaptador AC-DC o batería para comenzar a activarlo. Arduino Mega 2560 es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Arduino Duemilanove o Arduino Diecimila. Arduino Mega 2560 es la última versión que reemplaza a la versión del Arduino Mega. La forma del Arduino Mega 2560. (Kusriyanto & Putra, 2016)

### 2.3.5 Transistores.

El transistor es un dispositivo semiconductor usado para amplificar o conmutar señales electrónicas y energía eléctrica. Los semiconductores cumplen la función de conductor y de aislante a través de una aleación metálica. Al igual que los átomos, los electrones en los sólidos se los puede encontrar en ciertos niveles de energía a esto se lo llama la teoría de bandas de sólidos. Se compone de material semiconductor generalmente con al menos tres terminales para la conexión a un circuito externo. Una tensión o corriente aplicada a un par de terminales del transistor controla la corriente a través de otro par de terminales. Debido a que la potencia controlada puede ser mayor que la potencia de control, un transistor puede amplificar una señal.

Los transistores pueden ser NPN o PNP. En la Figura 2.18 se puede apreciar terminal de la izquierda que es el emisor, el terminal de la derecha llamado colector, y la región en el centro llamada la base, En la Figura 2.18 se muestran la partes de un Transistor PNP (Vanderbilt, s/f).

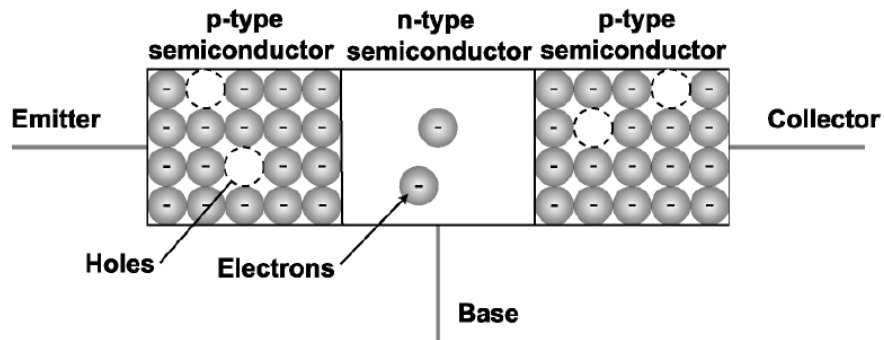


Figura 2. 18: Demostración de las partes de un Transistor NPN.  
Fuente: (Vanderbilt, 2017)

### 2.3.6 TIP3055.

Es un Transistor NPN tipo Bipolar con tolerancia Nominal de 100V a 15 Amperios de corriente con un encapsulado tipo TO-247, el colector tiene una tolerancia Nominal de 70V y puede saturarse desde 1V, Posee una disipación de 90W, Opera en Temperaturas de  $-65^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ , En la Figura 2.19 se muestra el TIP3055. (STMicroelectronics, 2008) La hoja de datos del TIP3055 es mostrada en el Anexo B.

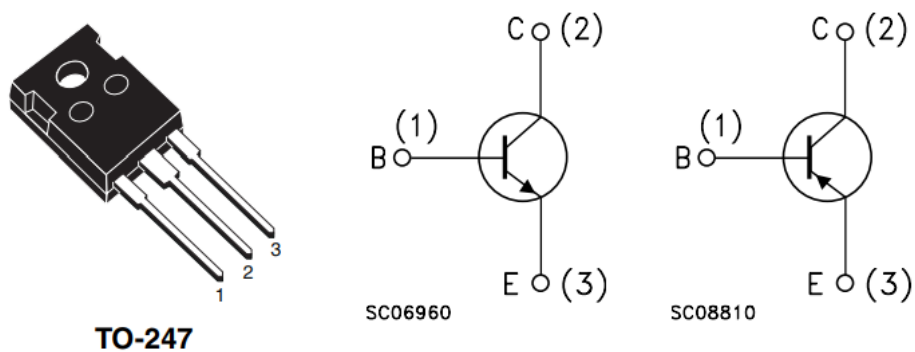


Figura 2. 19: Esquema del Transistor TIP 3055.  
Fuente: (STMicroelectronics, 2008)

### 2.3.7 Tipos de Controlador.

A continuación se describen los principales tipos de controladores clásicos utilizados.

#### 2.3.7.1 Controlador P.

El controlador tipo P se utiliza principalmente en procesos de primer orden con almacenamiento de energía única para estabilizar el proceso inestable. El principal uso del controlador P es disminuir el error de estado estacionario del sistema. A medida que aumenta el factor de ganancia proporcional  $K$ , el error de estado estacionario del

sistema disminuye. Sin embargo, a pesar de la reducción, el control de P nunca puede lograr eliminar el error de estado estable del sistema. A medida que aumentamos la ganancia proporcional, proporciona menor amplitud y margen de fase, dinámica más rápida que satisface una banda de frecuencia más amplia y mayor sensibilidad al ruido. Podemos utilizar este controlador sólo cuando nuestro sistema es tolerable a un error de estado constante. Además, puede concluirse fácilmente que la aplicación del controlador P disminuye el tiempo de subida y después de un cierto valor de reducción en el error de estado estacionario, el aumento de K sólo conduce a un rebasamiento de la respuesta del sistema. El control P también causa oscilación si es suficientemente agresivo en presencia de retardos y / o tiempos muertos. Cuanto más retrasos, mayor orden, más problema conduce. Además, amplifica directamente el ruido del proceso. (Temel, Yağlı, & Gören, s/f)

$$(2.1) u(t) = K_p e(t)$$

### 2.3.7.2 Controlador PI.

El controlador PI, Proporcional Integral, se utiliza principalmente para eliminar el error de estado estacionario resultante del controlador P. Sin embargo, en términos de la velocidad de la respuesta y la estabilidad general del sistema, tiene un impacto negativo. Este controlador se utiliza principalmente en áreas donde la velocidad del sistema no es un problema. Dado que el controlador P-I no tiene capacidad para predecir los errores futuros del sistema, no puede disminuir el tiempo de subida y eliminar las oscilaciones. Si se aplica, cualquier cantidad de I garantiza el rebasamiento de consigna. (Temel et al., s/f)

$$(2.2) u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt$$

### 2.3.7.3 Controlador PD.

El objetivo de utilizar el controlador PD, Proporcional Derivativo, es aumentar la estabilidad del sistema mejorando el control ya que tiene la capacidad de predecir el error futuro de la respuesta del sistema. Con el fin de evitar efectos del cambio repentino en el valor de la señal de error, la derivada se toma de la respuesta de salida de la variable de sistema en lugar de la señal de error. Por lo tanto, el modo D está diseñado para ser proporcional al cambio de la variable de salida para evitar los cambios repentinos que se producen en la salida de control como resultado de cambios

repentinos en la señal de error. Además, D amplifica directamente el ruido del proceso, por lo que no se utiliza recomienda el control netamente derivativo. (Temel et al., s/f)

$$(2.3) u(t) = K_p e(t) + K_D \frac{d(e(t))}{dt}$$

#### 2.3.7.4 Controlador PID.

El controlador PID, Proporcional Integral Derivativo, es la forma más común de retroalimentación. PID tiene la dinámica de control óptima incluyendo error cero de estado estable, respuesta rápida (tiempo de subida corta), sin oscilaciones y mayor estabilidad. La necesidad de utilizar un componente de ganancia derivada además del controlador PI es eliminar el exceso y las oscilaciones que ocurren en la respuesta de salida del sistema. Una de las principales ventajas del controlador PID es que puede utilizarse con procesos de orden superior, incluyendo más de un solo almacenamiento de energía. (Temel et al., s/f)

Era un elemento esencial de los primeros gobernadores y se convirtió en la herramienta estándar cuando control de procesos surgió en la década de 1940. En el control de procesos hoy en día, más de 95% de los bucles de control son de tipo PID, la mayoría de bucles son en realidad control PI. (Astrom, 2002) Un controlador PID responde a la Ecuación (1).

$$(2.4) u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{d(e(t))}{dt}$$

En donde  $e(t)$  es el error de la señal  $u(t)$  es la entrada de control del proceso,  $K_p$  es la constante proporcional,  $K_i$  es la constante de tiempo integral, y  $K_D$  es la constante de tiempo derivativa.

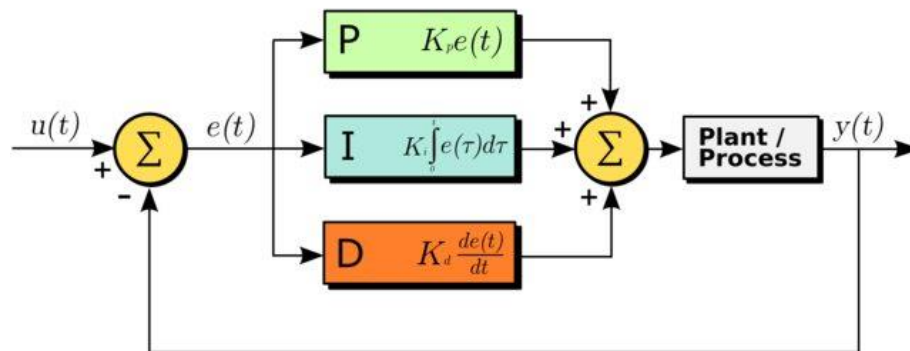


Figura 2. 20: Diagrama de Controlador PID.  
Fuente: (Oscar, 2013)

### 2.3.8 Modulación por ancho de Pulso.

Tan intuitivo y simple como parece el control analógico, no siempre resulta económicamente atractivo o práctico. Por un lado, los circuitos analógicos tienden a desplazarse con el tiempo haciéndolos muy difíciles de sincronizar. Los circuitos analógicos de precisión, pueden resolver ese problema pero resultan ser muy grandes, pesados y caros. Al optar a controlar digitalmente los circuitos analógicos, los costos del sistema y el consumo de energía pueden llegar reducirse drásticamente, Incluso muchos micro controladores y DSPs ya incluyen controladores PWM incorporados, lo que facilita la implementación.

El PWM es una forma de codificar digitalmente los niveles de señal analógica (ver Figura 2.21). Mediante el uso de contadores de alta resolución, el ciclo de trabajo de una onda cuadrada se modula para codificar un nivel de señal analógica específico. La señal PWM sigue siendo digital, ya que, en cualquier instante dado, la alimentación DC completa está completamente encendida o completamente apagada. La fuente de tensión o de corriente se suministra a la carga analógica por medio de una serie repetitiva de impulsos de encendido y apagado.(Barr, 2001)

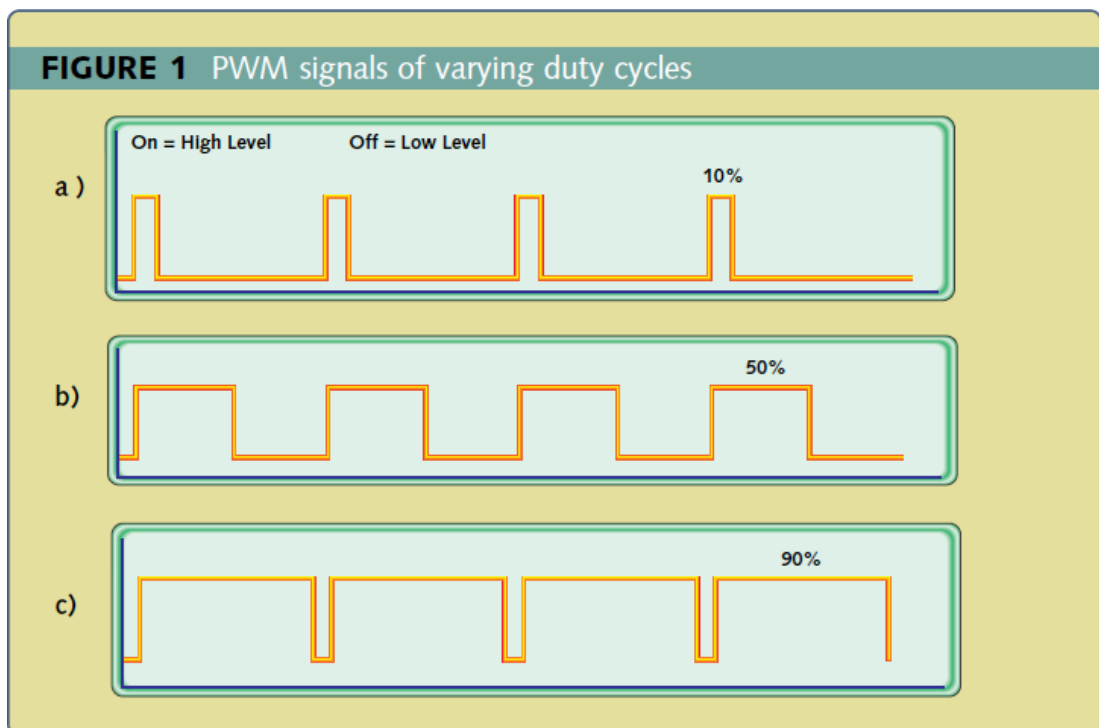


Figura 2. 21: Ejemplos de Modulación de Pulso.

Fuente: (Barr, 2001)

La Figura 2.21 muestra tres señales PWM diferentes. La sección a muestra una salida de PWM con un ciclo de trabajo del 10%. Es decir, la señal está encendida para el 10% del período y fuera del otro 90%. Las secciones b y c muestran las salidas PWM a ciclos de trabajo del 50% y 90%, respectivamente. Estas tres salidas PWM codifican tres valores de señal analógica diferentes, al 10%, 50% y 90% de la intensidad total. (Barr, 2001)

### 2.3.9 Comunicación I2C.

El bus I2C es un bus serie bidireccional de dos hilos que proporciona un enlace de comunicación entre circuitos integrados (ICs) para dispositivos de producción en serie tales como televisores, grabadoras de vídeo, equipos de audio, etc; En la Figura 2.22 se aprecia el diagrama de funcionamiento del sistema (Y.-J. Kim, 2005).

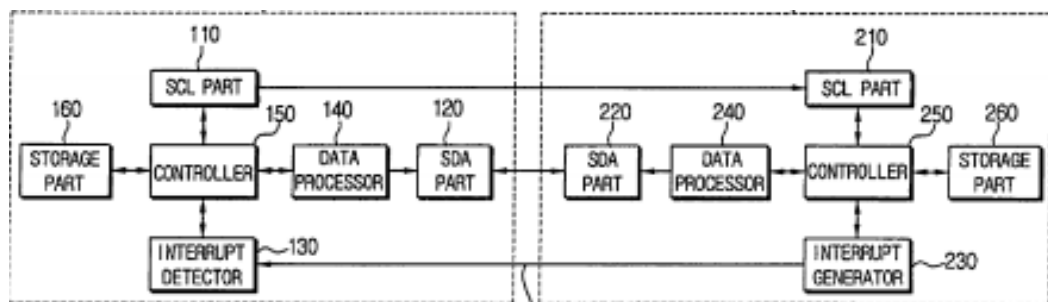


Figura 2. 22: Diagrama de funcionamiento de una comunicación I2C entre dos equipos.

Fuente: (Y.-J. Kim, 2005)

El bus I2C fue introducido por “Philips Semiconductors”, y se ha convertido en la solución de facto para aplicaciones embebidas. El bus I2C tiene una línea de reloj serie (SCL) para enviar impulsos de reloj y una línea de datos en serie (SDA) para enviar datos en serie, y envía y recibe datos de acuerdo con los impulsos de reloj. Además, los dispositivos conectados al bus I2C se comunican como un maestro y un esclavo. El protocolo I2C es un protocolo de bus serie capaz de soportar comunicaciones con una pluralidad de esclavos que están conectados a través de las dos líneas (SCL y SDA) y líneas eléctricas para enviar y recibir datos (Y.-J. Kim, 2005).

### **2.3.10 Desarrollo Estructural.**

El MDF, al igual que la mayoría de los materiales a base de madera, es cortado por un mecanismo de descomposición termoquímica (TCD). TCD, como su nombre indica, implica el láser que realiza una gran cantidad de trabajo químico durante el corte. La energía del haz de láser actúa para romper los enlaces químicos y así interrumpir la integridad del material. Al cortar un material tal como MDF este proceso de degradación tiene el efecto de reducir las moléculas grandes de celulosa hasta sus partes constitutivas de carbono y vapor de agua (Lum, Ng, & Black, 2000).

### **2.3.11 LED.**

Un LED es un diodo semiconductor de unión PN que emite luz monocromática a medida que los electrones, que pasan del ánodo (lado p) al cátodo (n-lado), caen en un estado de energía inferior y liberan energía. La longitud de onda de la luz depende de la energía de separación de la unión p-n. Los diodos emisores de luz no son una nueva tecnología, por las normas del rápido desarrollo de la tecnología de los últimos 50 años, pero ha habido mejoras significativas en los últimos 20 años que ya están disponibles en el mercado. Estos avances son parte del continuo mejoramiento tecnológico, y la investigación en varios lugares alrededor del mundo está mejorando el costo de producción, la eficiencia y la capacidad de los LEDs (Riley & Telugu, 2017).

### **2.3.12 Convertidor DC – DC.**

En la actualidad los convertidores DC-DC son ampliamente utilizados y emplean diseños tecnológicos existentes, cuyo aspecto fundamental es, por ejemplo, la topología. Los convertidores DC-DC emplean muchas topologías diferentes, ninguna de las cuales es superior a todas las demás en todos los aspectos. Algunas aplicaciones tienen requisitos que se satisfacen mejor con una topología específica. Aunque la consideración completa del gran número de topologías disponibles podría ser una tarea desalentadora, es útil considerar las ventajas y desventajas de las dos clases topológicas principales: la modulación de ancho de pulso de frecuencia fija (PWM) y la conmutación de corriente cero cuasi resonante de frecuencia variable (ZCS) (PowerGuru, 2012).

### **2.3.13 Iluminación.**

Los luxes son específicamente la intensidad en la que el brillo aparece al ojo humano. Esto es diferente de las mediciones de la energía luminosa real producida por o reflejada de un objeto o fuente de luz. El lux es una unidad de medida del brillo, o más exactamente, de la iluminancia. En última instancia, deriva de la candela, la unidad de medida estándar para el poder de la luz. Una candela es una cantidad fija, aproximadamente equivalente al brillo de una vela. Mientras que la candela es una unidad de energía, tiene una unidad equivalente conocida como la luz, que mide la misma luz en términos de su percepción por el ojo humano. Un lumen es equivalente a la luz producida en una dirección de una fuente de luz clasificada en una candela. El lux tiene en cuenta la superficie sobre la que se extiende esta luz, lo que afecta el brillo que aparece. Un lux equivale a un lumen de luz diseminado sobre una superficie de un metro cuadrado. Un medidor de lux funciona mediante el uso de una célula fotográfica para capturar la luz. El medidor entonces convierte esta luz en una corriente eléctrica. Medir esta corriente permite al dispositivo calcular el valor de lux de la luz que capturó (Ismail et al., 2013).



### CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO PLANTA DIDACTICA.

Dentro de este capítulo se tratara el análisis y diseño de los controladores clásicos, donde se abarca el diseño, construcción, programación e implementación de la planta de iluminación inteligente con la cual se realizarán las simulaciones respectivas. También se analizara la planta, su diseño en Hardware, Software y, a través de la información receptada se elaborara los controladores a utilizar.

#### 3.1. Funcionamiento de la Planta.

Para armar la estructura de la planta didáctica se utilizó madera MDF, puesto que se considera un material más económico y de fácil manejo. La planta está dividida en dos partes, la primera cuenta con una base rectangular donde se encuentra toda el área de control y la segunda parte está conformada por una caja que simula el ambiente de un cuarto en la vida real, dentro de la misma tenemos el panel de led, la cámara que permite visualizar las pruebas y los LEDs de perturbación externa. Para alimentar este sistema se utilizó una fuente de 12 voltios a 10 amperios la que fue regulada por un LM7805 para alimentar el circuito de control de perturbaciones.

El sistema de control funcionara de tal forma que uno puede ingresar la cantidad de luxes deseado y el PID a utilizarse. El controlador da la señal para la activación del sistema de fuerza para la activación del panel de leds y el sensor para que tome las muestras y se aprecie la gráfica y por medio de la cámara verificar que la planta si funciona sin la necesidad que una persona intervenga; En la figura 3.1 se aprecia el diagrama de funcionamiento de la planta.

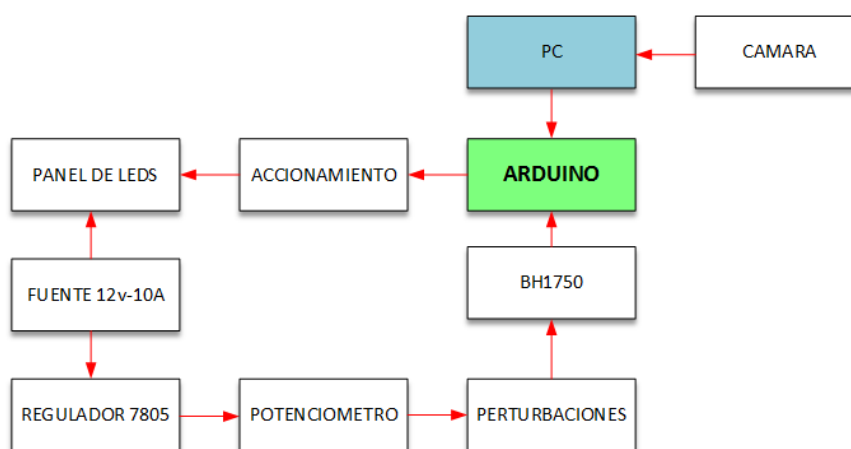


Figura 3. 1: Diagrama de Bloques del Sistema a Desarrollar.

Elaborado por: Autores

### 3.2. Diseño del Hardware y Estructura.

La parte física de la planta está conformada por un circuito de fuerza, actuadores en la forma de LEDs (Diodos Emisores de Luz), una fuente de voltaje, El sensor BH1750 y el ATMEGA2560.

#### 3.2.1 Construcción y Diseño de la Maqueta.

Para este proyecto fue necesario diseñar los planos de la maqueta en dos partes, las cuales se dividieron/fueron en: la base y la estructura donde se podrá comprobar los datos. Debido a que es una planta didáctica, se recomienda definir el material a utilizar pues los planos están diseñados para que pueda ser construido a futuro en cualquier material en caso de ser producción en serie. Ejemplo: Aluminio, madera, acrílico, etc.

Al experimentar y analizar costos al construir el diseño en diferentes tamaños se recomienda construir con un material económico y resistente como lo es el MDF de 5,6mm. Uno de los programas que se utilizó en este proyecto es AutoCAD 2017 el cual permite hacer planos en 2D y 3D, así como la edición de la escala al imprimir, lo que es conveniente para examinar el tamaño de las piezas al ensamblar.

Se procedió a llevar el diseño a una empresa de cortadora laser, la cual realizo el corte total en un tiempo de 15 minutos, después, como se puede observar en la figura 3.2 se muestra el diseño en 2D, ya ensamblado de la maqueta diseñada en AutoCAD 2017.



Figura 3. 2: Maqueta ensamblada.

Elaborado por: Autores

Luego se realizaron los agujeros para insertar los elementos como son: La fuente de 12V – 10 A, placa de fuerza, placa de conversión de 12V a 5V, potenciómetros, LEDs, cámara y el controlador.

### 3.2.2 Construcción y Diseño de los Circuitos Impresos.

Una vez implementada la maqueta se procedió a crear los circuitos impresos, los cuales son: Panel de leds, la placa de fuerza y el convertor de 12V a 5V; este último fue específicamente diseñado por los autores del trabajo. Debido a que el circuito de la placa de leds necesitaba de un trabajo preciso fue diseñada en el programa Autodesk Eagle. En el panel se utilizaron resistencias, borneras y leds de 5mm, aquí también se realiza la edición de la capa Bottom (fondo) porque será la placa de una cara. El diseño del panel está constituido por cada 3 leds en serie con una resistencia de 100 Ohmios dando así un total de matriz de 400 leds y 136 resistencias.

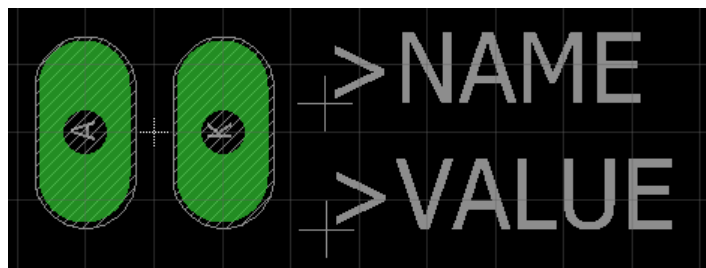


Figura 3. 3: Pads de los leds.  
Elaborado por: Autores

Para la elaboración de la placa se debe tener en cuenta el tamaño de los Pads (ver Figura 3.3) para una fácil soldadura, así como también el grosor de las vías y el espacio entre ellas para que no causen interferencia o se calienten las pistas quemando los elementos.

El método que se utiliza para pasar el diseño a la parte física es el planchado seguido del cloruro férrico, se imprime el diseño en forma de espejo y se corta la baquelita del mismo tamaño que la impresión; para después colocar el diseño de cara a la baquelita y pasarle la plancha de manera uniforme 3 minutos para que se adhiera el diseño del panel a la baquelita. Después se espera a que se enfrié y una vez logrado esto, se coloca la baquelita en agua para que permita desprender el papel con cuidado. Una vez retirado el papel se verifica que las pistas estén bien pegadas y se procede a quitar el exceso de cobre con el cloruro férrico. Terminado el proceso, la placa queda de la siguiente forma, como se muestra en la Figura 3.4.

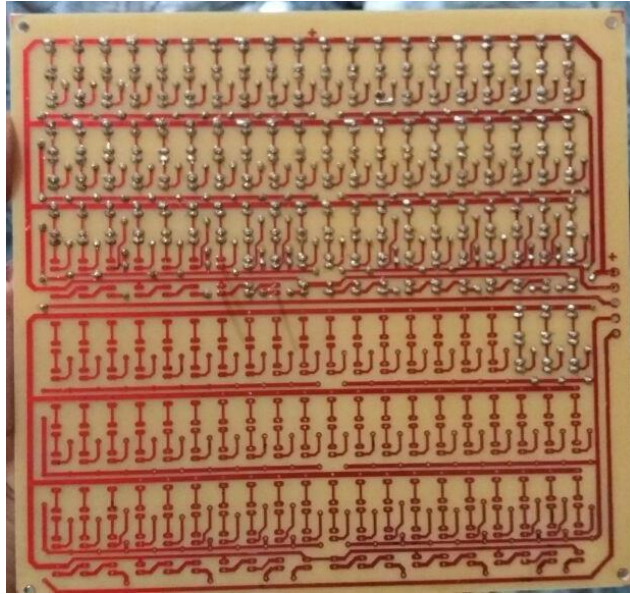


Figura 3. 4: Panel de leds.  
Elaborado por: Autores

### 3.2.3 Panel de accionamiento LED.

En la Figura 3.4 se puede apreciar un panel que consta de aproximadamente 400 LEDs y 136 resistencias de 10 ohmios, 3 LEDs por Resistencia en serie, para poder ser alimentada por una fuente de 12 voltios a 10 amperios se aproxima que el panel entero posee un consumo total de 7.5 Amperios de tal manera que la fuente abastece de manera adecuada a todo el sistema.

### 3.2.4 Diseño del sistema de perturbaciones manuales.

Para realizar las perturbaciones que vayan a afectar al sistema de tal manera que se pueda apreciar la reacción del mismo ante cualquier alteración física, se procedió a desarrollar el circuito de control que se puede apreciar en la figura 3.5. El circuito está conformado por un regulador lm7805, que se encarga de disminuir el voltaje de la fuente de 12 voltios a 5 voltios, conectado a sus respectivos capacitores de filtrado, 3 potenciómetros conectados conectando sus pines de salida a Tierra y los de entrada al lm7805 y se conecta el de control de cada uno a una resistencia de 100 ohmios en serie a un LED y a la Tierra.

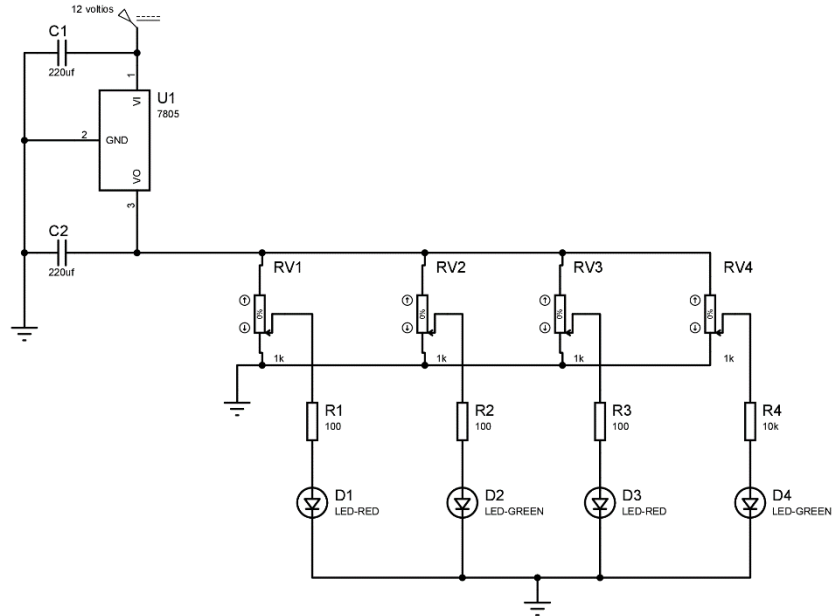


Figura 3. 5: Circuito de perturbaciones manuales de la planta.  
Elaborado por: Autores

En la figura 3.6 se muestra el circuito de perturbaciones manuales, descrito en el párrafo anterior ya aplicado en protoboard.

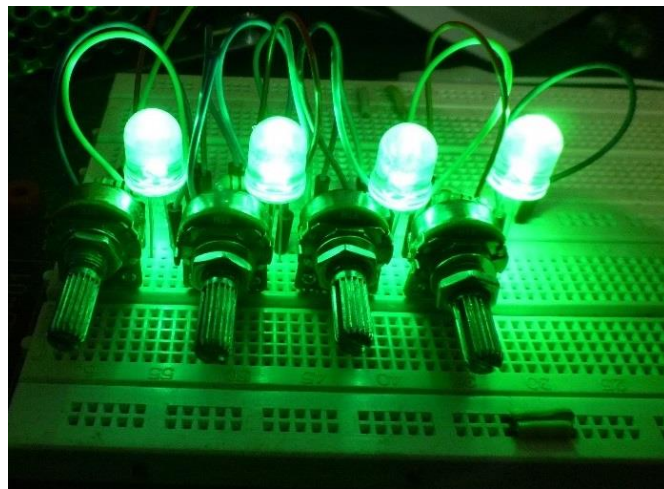


Figura 3. 6: Circuito de perturbaciones manuales de la planta ya aplicado en Protoboard.  
Elaborado por: Autores

### 3.2.5 Diseño del Circuito de Control y Accionamiento.

El área de control y de accionamiento de la planta, se conforma por un circuito de lazo cerrado, como se puede apreciar en la Figura 3.7, donde la entrada del sistema es el punto deseado (Setpoint), el controlador utilizado es el Arduino Mega 2056, la retroalimentación está hecha por medio del sensor BH1750 y el área de accionamiento está dada en PWM, la misma que es emitida por el PIN 9 del Controlador, esta va

conectado a 2 resistencias de 220 ohmios que a su vez van conectadas a la base de sus respectivo TIP3055, En la Figura 3.8 se muestra el circuito listo para su aplicación.

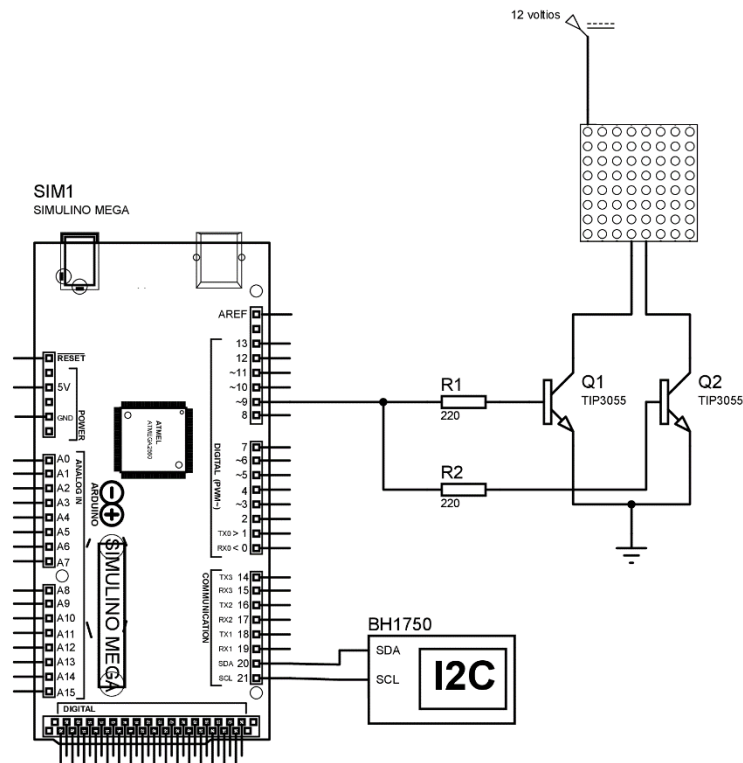


Figura 3. 7: Circuito del área de Control y accionamiento de la planta.  
Elaborado por: Autores

El circuito de potencia (Figura 3.8) se encuentra instalada en la base de la planta, a este se conecta la fuente de alimentación, el Arduino Mega 2560 y el panel de accionamiento conformado por 400 LEDs, En la Figura 3.9 se muestra la estructura de la planta. El circuito de Fuerza contrala el accionamiento del sistema por medio del PWM, el mismo que es emitido por el ATMEGA2560 para saturar los transistores TIP3055 regulando el voltaje que cruza por medio del panel de LEDs.

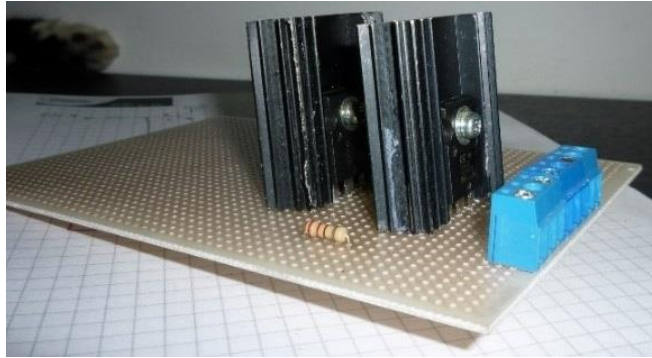


Figura 3. 8: Circuito de accionamiento de la planta.  
Elaborado por: Autores

La interfaz de la planta se da por medio de la herramienta de Simulink de MatLab, en la misma se define el punto de estabilización y se lleva a cabo el diseño de los controladores clásicos destinados a regular la salida PWM de la planta permitiendo manipular la iluminación LED. El transistor NPN TIP3055 posee una tolerancia máxima de 90 vatios y dado que el consumo del panel es de 7.5 Amperios a 12 voltios dando un consumo de 90 vatios cantidad suficiente para poder dañar el transistor, para arreglar este problema se utilizó un segundo transistor en paralelo al primero con el fin de disipar la corriente que cruza por los mismos.



Figura 3. 9: Circuito del área de Control y accionamiento de la planta ya aplicado.  
Elaborado por: Autores

### 3.3. Diseño del software.

Para realizar la comunicación entre la planta real y el software, en el que el usuario observara las señales en tiempo real y en el que se podrá cambiar el tipo de controlador a probar se desarrollaron las siguientes etapas: Modelamiento matemático del prototipo, desarrollo de la función de transferencia en un punto de operación, calibración de las constantes de los controladores por medio de simulación y finalmente desarrollo del software de interface entre Simulink y la planta real.

#### 3.3.1 Modelado Matemático.

Posterior a la realización del área de Hardware del sistema se procede a tomar las medidas de la planta en lazo abierto con el fin de encontrar la ecuación característica del sistema, para ello se tomaron 256 puntos, correspondientes al rango de Código Digital del controlador ATMEGA2560, dando un rango de 0 a 5 voltios, aplicando esto en la planta se adquirió un rango de 0 a 18684 luxes como se puede apreciar en la tabla 3.1, la tabla completa se puede apreciar en el anexo C.

Tabla 3. 1: Valores medidos en lazo abierto, su cálculo en MatLab y su margen de Error.

CD	Luxes	Luxes en Matlab	Error	CD	Luxes	Luxes en Matlab	Error
5	379	384.31	1.4%	130	9614	9647.48	0.3%
10	758	763.03	0.7%	135	9971	10013.28	0.4%
15	1135	1140.62	0.5%	140	10409	10378.87	-0.3%
20	1513	1517.17	0.3%	145	10772	10744.25	-0.3%
25	1917	1892.74	-1.3%	150	11105	11109.41	0.0%
30	2272	2267.40	-0.2%	155	11496	11474.33	-0.2%
35	2634	2641.22	0.3%	160	11790	11839.01	0.4%
40	3052	3014.26	-1.3%	165	12150	12203.42	0.4%
45	3375	3386.58	0.3%	170	12586	12567.55	-0.1%
50	3799	3758.24	-1.1%	175	12954	12931.37	-0.2%
55	4115	4129.28	0.3%	180	13318	13294.85	-0.2%
60	4485	4499.76	0.3%	185	13634	13657.96	0.2%
65	4854	4869.72	0.3%	190	14009	14020.67	0.1%
70	5223	5239.21	0.3%	195	14342	14382.94	0.3%
75	5594	5608.27	0.3%	200	14704	14744.72	0.3%
80	5957	5976.93	0.3%	205	15107	15105.99	0.0%
85	6319	6345.23	0.4%	210	15475	15466.68	-0.1%
90	6757	6713.19	-0.7%	215	15837	15826.76	-0.1%
95	7112	7080.85	-0.4%	220	16196	16186.15	-0.1%
100	7469	7448.23	-0.3%	225	16556	16544.82	-0.1%
105	7781	7815.34	0.4%	230	16891	16902.70	0.1%
110	8159	8182.21	0.3%	235	17260	17259.73	0.0%
115	8510	8548.85	0.5%	240	17614	17615.84	0.0%
120	8939	8915.27	-0.3%	245	17973	17970.95	0.0%
125	9278	9281.48	0.0%	250	18335	18325.01	-0.1%

Elaborado por: Autores



En MatLab se asienta la tabla de relación Código Digital vs Luxes como un variable que fue definida como “lux” y con la utilización de esta herramienta se ingresó los siguiente comandos.

```

x = lux(:,1); y = lux(:,2); p = polyfit(x, y, 4)
ps = poly2sym(p)
pe = inline(ps)

```

Dádonos la siguiente ecuación:

$$(3.1) Luxes = 7.6109857849581 * CD - 0.02566933035062997 * CD^2 + 0.0001109536446406001 * CD^3 - 0.0000002140557864825722 * CD^4 + 4.385716304283195$$

Habiendo hallado la ecuación 3.1 encontrado la ecuación característica se la comparo con el resultado obtenido y se midió su margen de error como se puede apreciar en la tabla 3.1. Posteriormente de haber hallado la ecuación se la ingresa en Simulink de MatLab de la siguiente manera (ver figura 3.10).

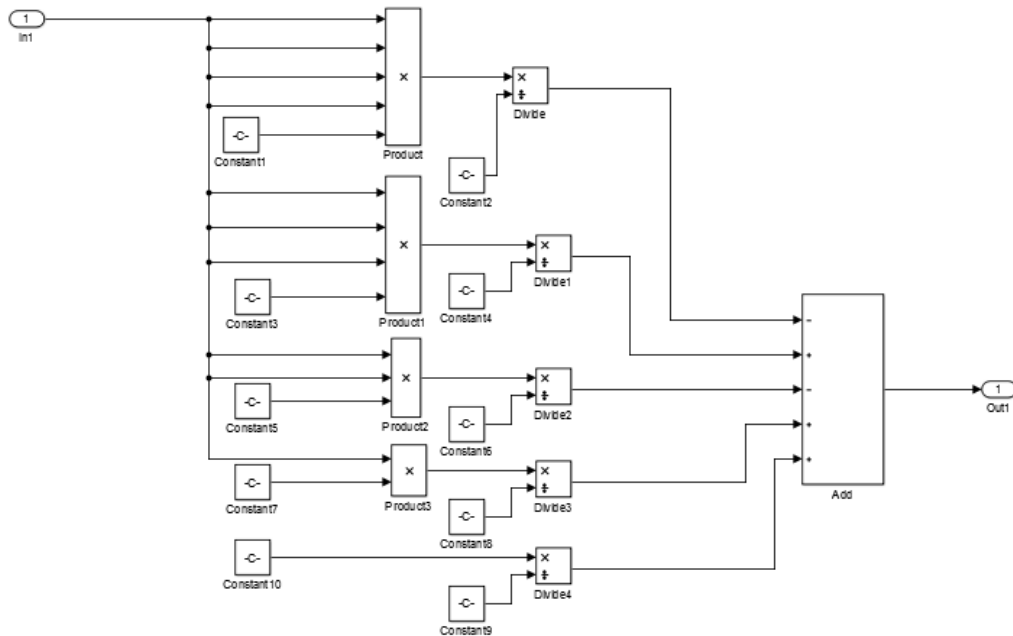


Figura 3. 10: Ecuación característica desarrollada en Simulink de MatLab.

Elaborado por: Autores

### 3.3.2 Desarrollo de la función de transferencia.

En Simulink de MatLab se diseña el circuito de lazo abierto conformado por un entrada paso, la ecuación hallada en el punto 3.3.1, aplicada en la Figura 3.10 y un scope para poder observar la salida (ver Figura 3.11).

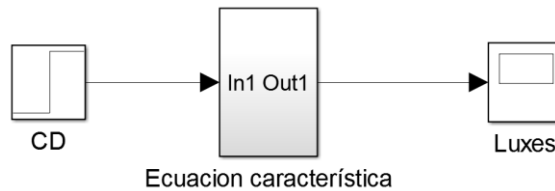


Figura 3. 11: Sistema en lazo abierto desarrollada en Simulink de MatLab.  
Elaborado por: Autores

Se trató de desarrollar las simulaciones de controladores clásicos con la ecuación hallada en el punto 3.3.1, pero la misma presenta problemas al momento de diseñar dichos controladores, por lo que se decidió trasladar la ecuación a función de transferencia con el fin de poder proceder al diseño de las distintas constantes de control. Se utiliza el “Linear Analysis Tool” de MATLAB y se elige diseñar una gráfica de paso con el lazo abierto anterior (ver Figura 3.12).

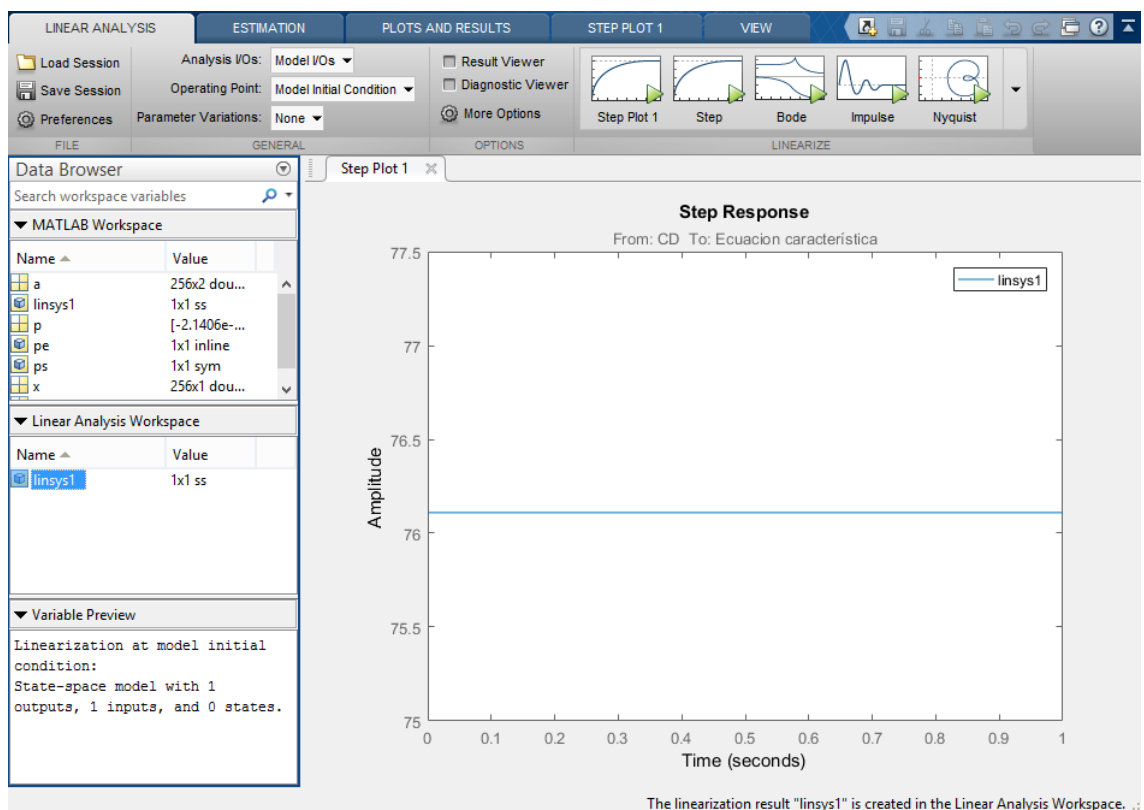


Figura 3. 12: Utilización del “Linear Analysis Tool”.

Elaborado por: Autores

Después de conseguir el sistema lineal se usa el siguiente comando en MatLab:

$$G = tf(linsys1)$$

Y aproximando que el máximo de velocidad que puede enviar el controlador es de 0.000001 segundos se generó la siguiente función de transferencia de primer orden.

$$(3.2) \quad L(s) = \frac{76.11}{0.01s + 1}$$

Se conecta el controlador a la entrada del Controlador Clásico y al mismo se conecta en serie la función de transferencia que nos da la salida y esta genera una retroalimentación dando el circuito de lazo cerrado, En la Figura 3.13 se muestra el diagrama de Bloques del sistema.

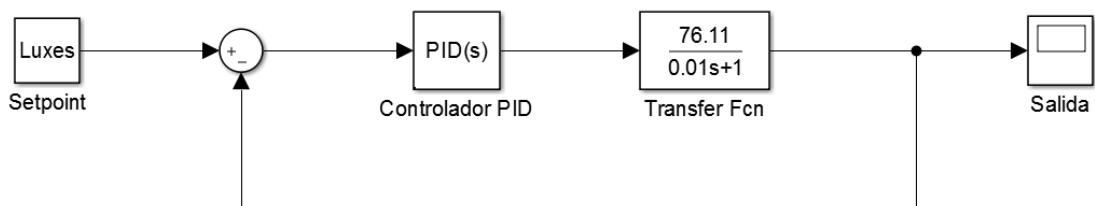


Figura 3. 13: Diseño del sistema en lazo cerrado con la función de transferencia encontrada.  
Elaborado por: Autores

### 3.3.3 Validación del modelo.

Para las simulaciones a realizar, se ha utilizado el software de Simulink de MatLab y se utilizó la función de transferencia mostrada en la ecuación 3.2.

#### 3.3.3.1 Simulaciones con controladores.

Una vez hallada la función de transferencia del sistema se procedió a encontrar el controlador ideal de la planta. Utilizando la herramienta auto tuning de Simulink de Matlab se analizó cada uno de los posibles controladores es decir de los tipos P, I, PI, PD y PID, todos los casos presentados a continuación fueron desarrollados con un setpoint 18335.

Se analizó la respuesta del sistema en lazo cerrado sin el uso de los controladores clásicos, se puede apreciar en la Figura 3.14 que el tiempo de estabilización fue el deseado y el tiempo de estabilización es casi cero como lo dicta nuestra ecuación.

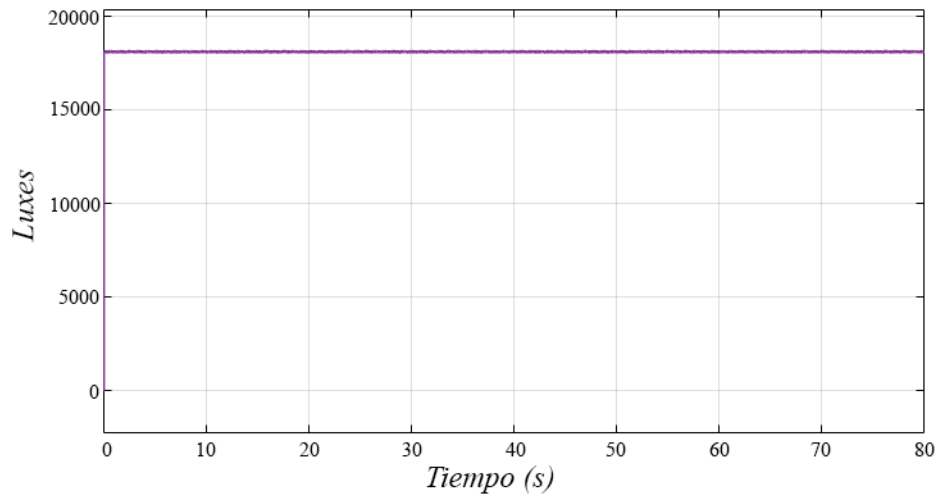


Figura 3. 14: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado sin el uso de controladores clásicos.

Elaborado por: Autores

El primer caso consiste en analizar el controlador de tipo P (Proporcional), se le puso una constante proporcional de 234, la misma que fue encontrado mediante el uso del autotuning y la calibración manual, La respuesta de este controlador se muestra en la figura 3.15.

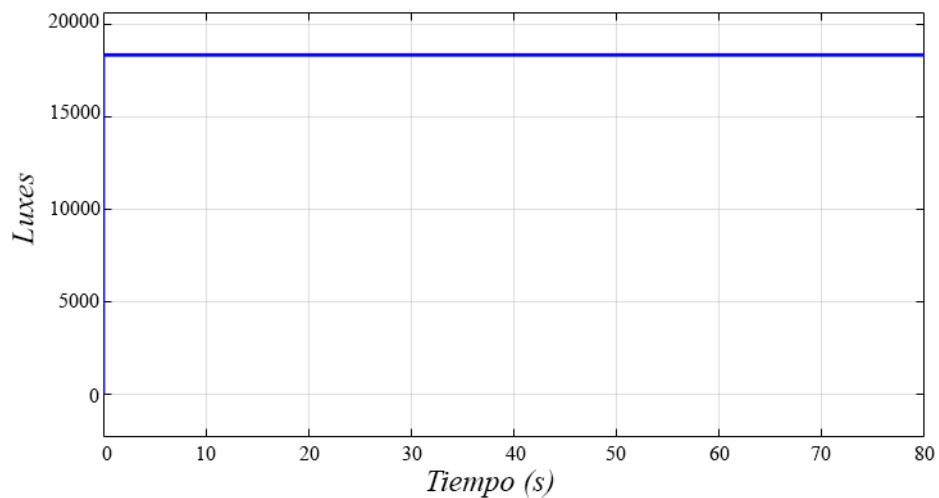


Figura 3. 15: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante proporcional de 234.

Elaborado por: Autores

Se puede observar en la figura 3.15 que la curva generada con dicho controlador es considerablemente rápida y no presenta sobre nivel porcentual.

En una segunda prueba se utiliza un controlador tipo Integrador cuya constante Integral es de 0.00525, la misma se muestra en la figura 3.16.

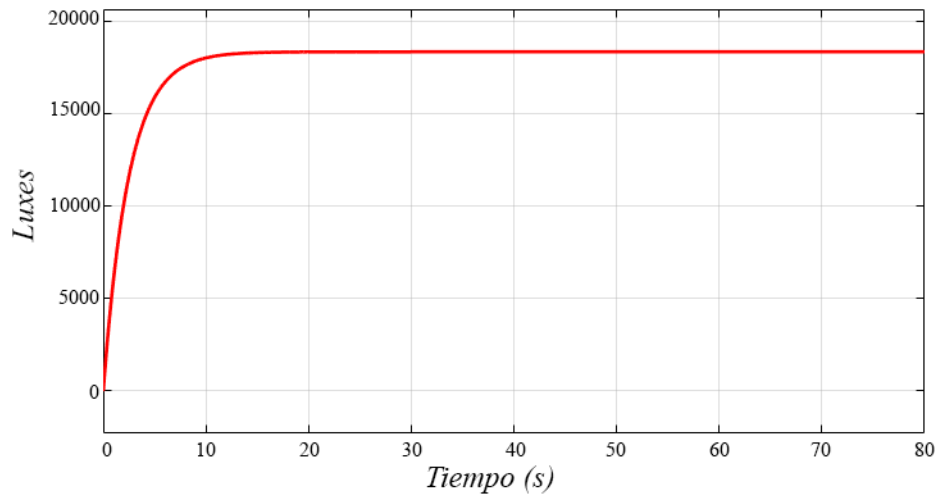


Figura 3. 16: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante Integral de 0.00525.

Elaborado por: Autores

En esta prueba se observa que el tiempo de estabilización correspondiente es de 7 segundos, la curva generada es blanda, no genera sobre nivel porcentual y es una planta estable la cual se fija en el punto establecido.

El tercer caso consta de una combinación de los dos controladores anteriores es decir es un controlador tipo PI (Proporcional Integrador), se usó la constante proporcional de 0.0001314 y la constante integral de 0.01314, que fueron halladas por medio de la herramienta Simulink de MatLab, La respuesta se puede observar en la figura 3.17.

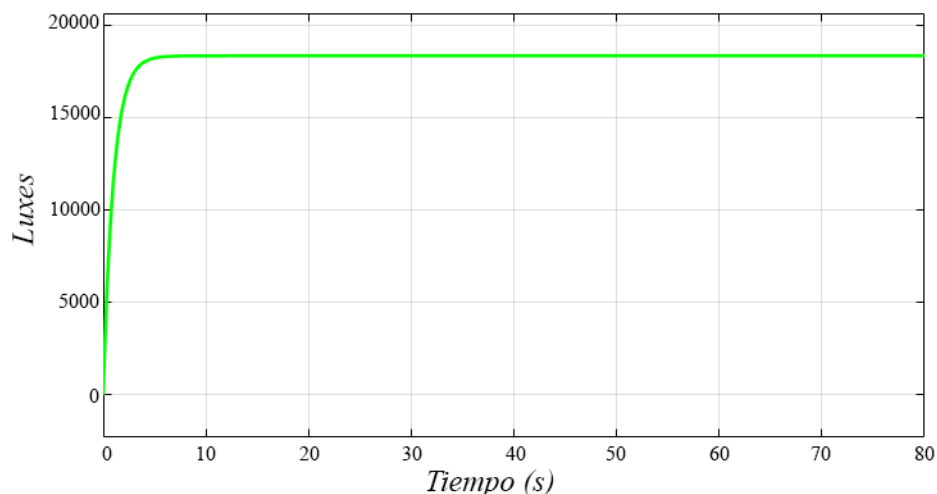


Figura 3. 17: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante Proporcional de 0.0001314 y constante Integral de 0.01314.

Elaborado por: Autores

Al observar la figura 3.17 se puede apreciar que el tiempo de estabilización correspondiente es de 3 segundos, no presenta sobre nivel porcentual y estabiliza en el punto establecido.

El cuarto caso es del tipo PD (Proporcional Derivativo), las constantes utilizadas fueron Proporcional de 0.9317 y Derivativo de 1, estas constantes fueron halladas con una combinación de autotuning y calibración manual, la respuesta de la misma es presentada en la figura 3.18.

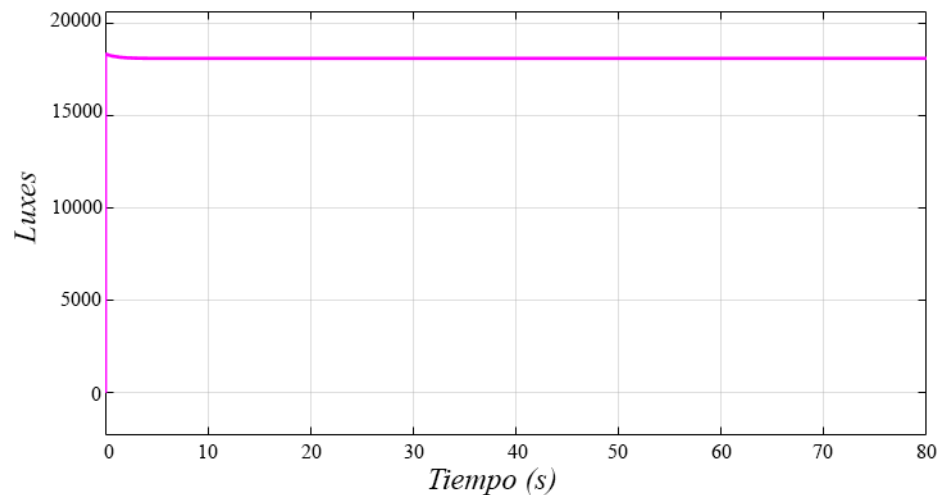


Figura 3. 18: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante Proporcional de 0.9317, y constante Derivativa de 1.

Elaborado por: Autores

Se puede observar en la figura 3.18 que el tiempo de estabilización es de aproximadamente 0 segundos, la misma presenta un leve sobrenivel porcentual y nunca llega al punto de estabilización señalado.

El quinto caso es el controlador tipo PID (Proporcional Integrador Derivativo) las constantes utilizadas son Proporcional 0.0836, Integrador 0.000836 y Derivativo de 1, La figura 3.19 muestra la respuesta del sistema.

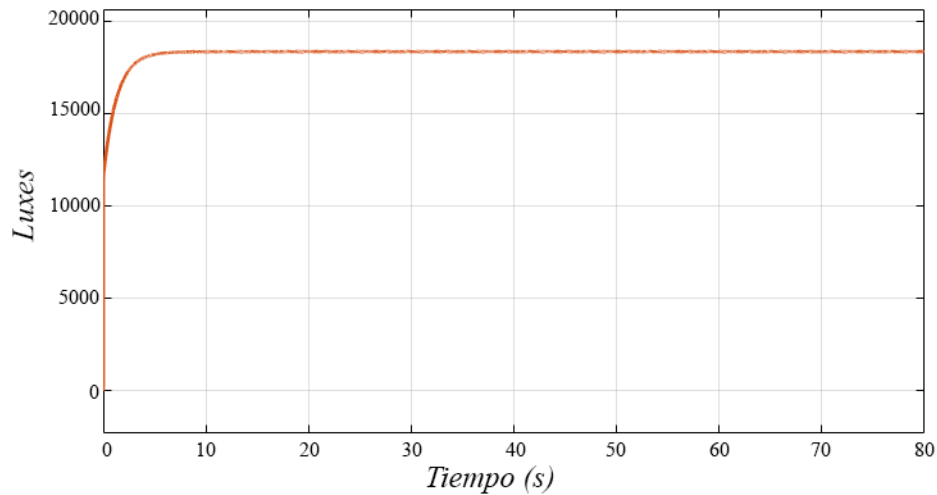


Figura 3. 19: Grafica de la reacción de la planta en lazo cerrado con constante Proporcional de 0.02226, constante Integral de 0.02688 y constante Derivativa de  $1.47 \cdot 10^{-5}$ .

Elaborado por: Autores

En esta prueba se observa un tiempo de estabilización de 2 segundos, estabiliza en el punto deseado, no presenta sobre nivel porcentual y no es oscilatoria, este fue el mejor caso que se pudo hallar, la reacción del sistema es ideal.

Habiendo analizado cada uno de estos casos se demostró que el controlador más conveniente para la planta es el PID puesto que posee una estabilización suave y un buen tiempo de estabilidad, pero esto va a ser analizado posteriormente utilizando las simulaciones físicas de cada uno de estos casos, probando cómo se desarrolla cada controlador frente a ruido e interferencias del entorno.

Se presenta en la tabla 3.2 la respuesta del sistema ante cada uno de los controladores.

Tabla 3. 2: Respuesta de los controladores.

Constantes			Estabilización del sistema				
Controlador	P	I	D	tiempo de estabilización	% sobre nivel porcentual	Observaciones	Figura
P	234	0	0	0 segundos	0 %	Estabilización Rápida.	3.15
I	0.00525	0	0	7 segundos	0%	Estabilización Suave pero lenta.	3.16
PI	0.0001314	0.01314	0	3 segundos	0%	Buena Respuesta, Estabilización Suave.	3.17
PD	0.9317	0	1	0.4 segundos	1%	Nunca estabiliza en el punto deseado.	3.18
PID	0.02226	0.02688	$1.47 \cdot 10^{-5}$	2 segundos	0%	La mejor de las 5 respuestas.	3.19

Elaborado por: Autores

### 3.3.3.2 Simulaciones ante perturbaciones.

Se acoplo al diseño de Simulink dos interferencias una positiva de 5000 luxes y una interferencia 2 negativa de 5000 luxes, la primera a los 20 segundos de haber iniciado y la segunda a los 50. En la Figura 3.20 se aprecia el diagrama de bloques de la planta simulada.

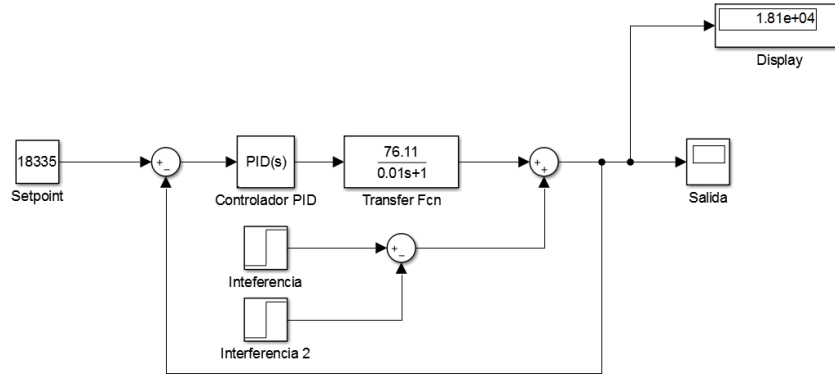


Figura 3. 20: Diseño del sistema con interferencias ya acopladas.

Elaborado por: Autores

El sistema en lazo cerrado sin ayuda de los controladores clásicos posee una respuesta extremadamente rápida y robusta. En la figura 3.21 se puede observar la respuesta del sistema.

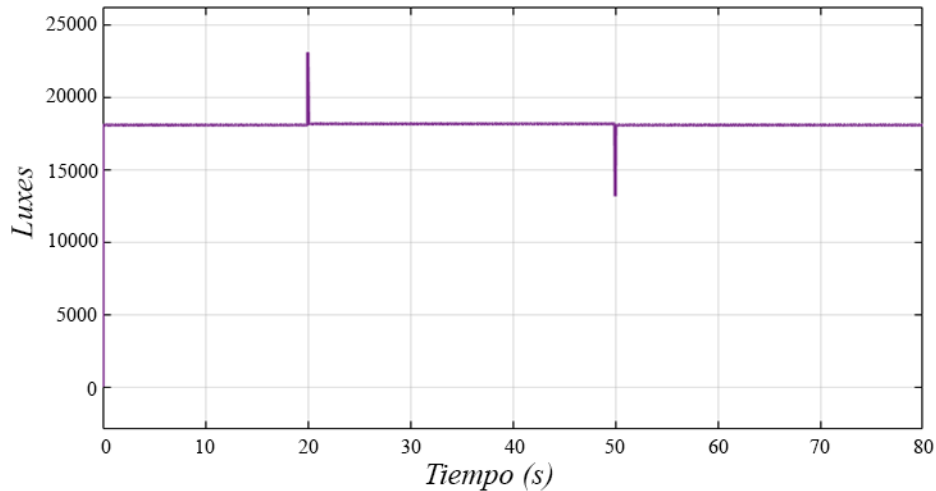


Figura 3. 21: Grafica sin PID con reacción ante interferencias.

Elaborado por: Autores

La proporcional presenta una reacción extremadamente parecida sino idéntica a la respuesta sin controlador clásico, la respuesta se puede observar en la figura 3.22.



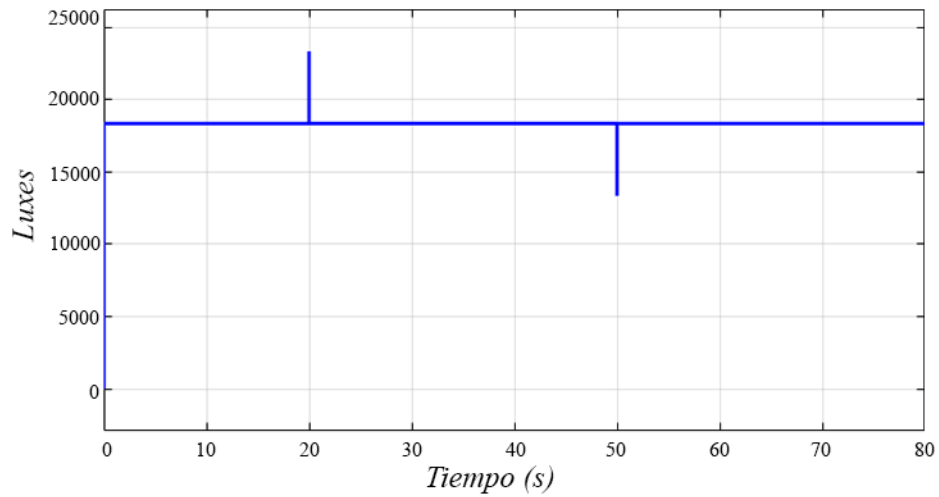


Figura 3. 22: Grafica con control Proporcional y su reacción frente a interferencias.  
Elaborado por: Autores

La respuesta con controlador integral reacciona muy bien ante la interferencia y su estabilización es suave pero resulta lenta en comparación a las vistas previamente. En la figura 3.23 se puede observar la respuesta de la planta.

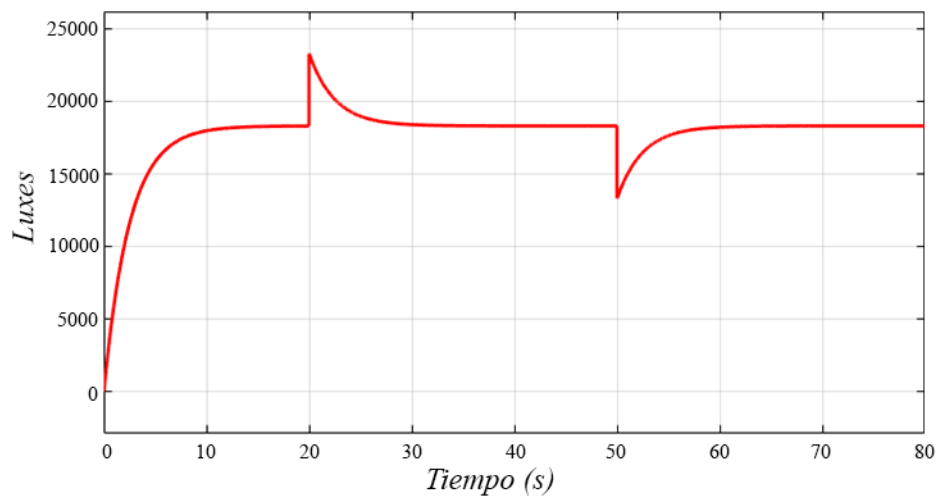


Figura 3. 23: Grafica con control Integrador y su reacción frente a interferencias.  
Elaborado por: Autores

Al analizar cómo cambio la respuesta del sistema al incorporar la proporcional en el sistema se nota un incremento en la velocidad sin perder su la delicadeza que presenta antes de la estabilización. La respuesta se puede ver en la figura 3.24.

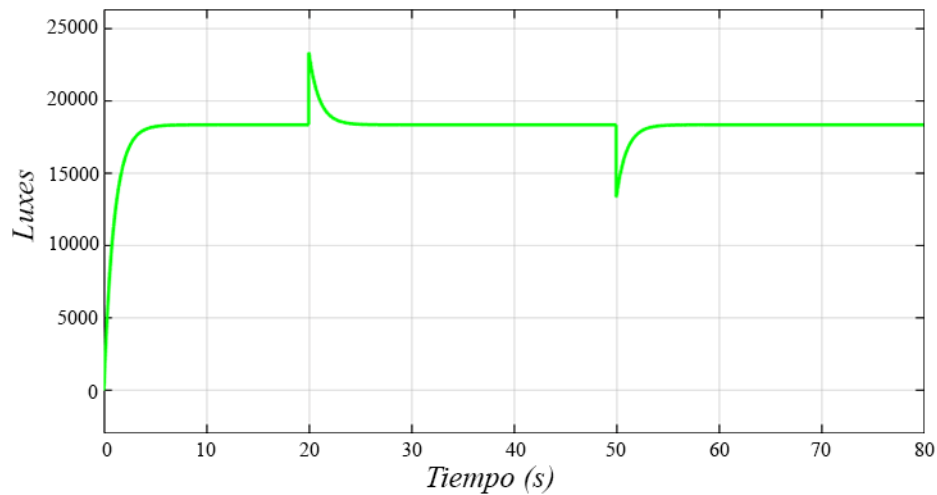


Figura 3. 24: Grafica del control Proporcional Integral y su reacción frente a interferencias.  
Elaborado por: Autores

En este caso ante las interferencias presento una estabilización rápida pero nunca se estabilizo en el punto deseado. En la figura 3.25 se puede apreciar la respuesta del sistema.

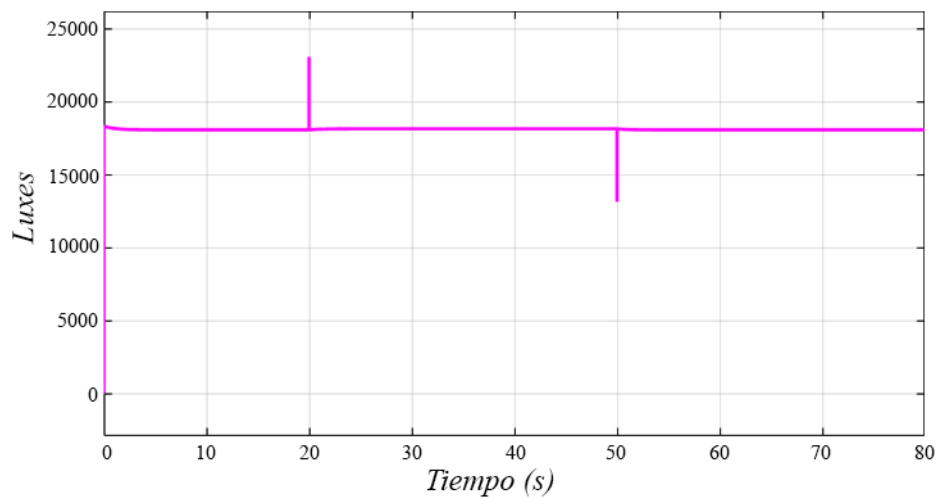


Figura 3. 25: Grafica del control Proporcional Derivativo y su reacción frente a interferencias.  
Elaborado por: Autores

El último caso fue el mejor la estabilización es suave, se queda en el punto deseado y la velocidad es excelente. Este caso luce como el ideal para una aplicación pero esto solo lo podrá decir la práctica, la figura 3.26 muestra la respuesta del sistema.

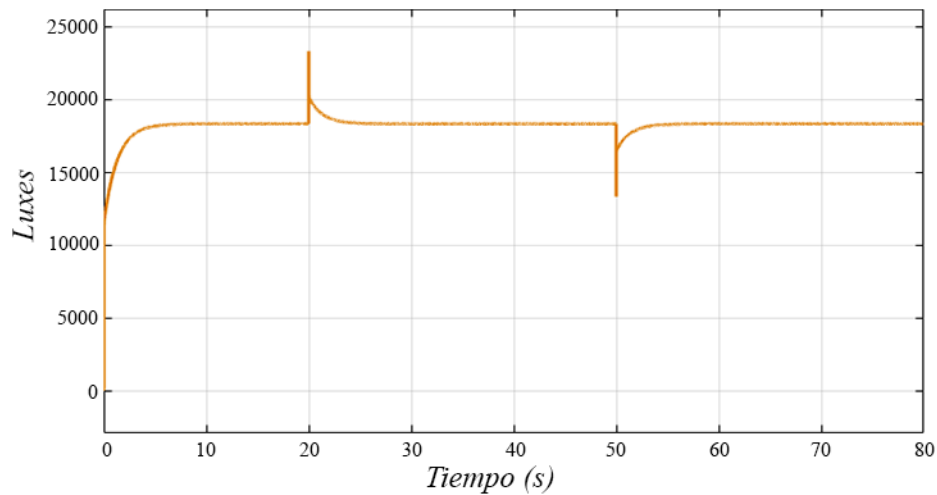


Figura 3. 26: Grafica del control Proporcional Integral Derivativo y su reacción frente a interferencias.

Elaborado por: Autores

### 3.3.3.3 Implementación del controlador.

Se procedió a Diseñar El circuito de control en lazo cerrado para el sistema, el mismo que está conformado por el Setpoint que cumple la función de entrada del sistema, este se conecta al controlador que compara la señal de entrada con la de retroalimentación que está constituida por la señal dada por el sensor BH1750, esta comparación va hacia el controlador clásico que puede ser P, PI, PD o PID y esta manda la señal ya regulada a la ecuación característica para obtener el valor de accionamiento que es enviado como PWM a través del Arduino Mega 2560. En la figura 3.27 se aprecia el diagrama de flujo del sistema en lazo cerrado.

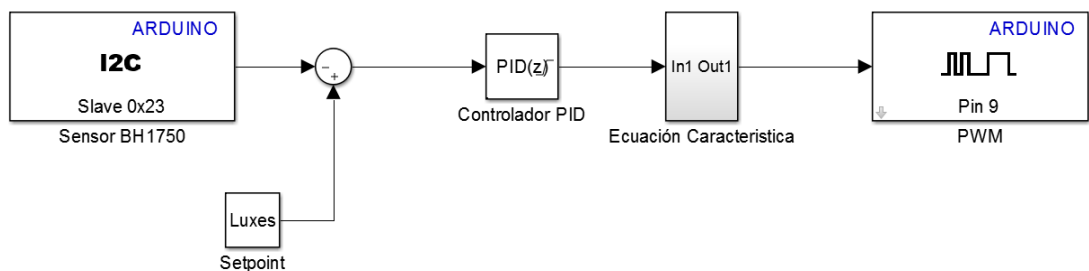


Figura 3. 27: Programa realizado en Simulink para aplicación.

Elaborado por: Autores

### 3.4. Cálculo de costos.

Habiendo Concluido con la elaboración de la planta se procede a calcular el costo Total que se ha realizado en su Elaboración, Procediendo a especificar cada elemento que se ha utilizado acompañado de su cantidad y valor correspondiente que será presentado en la Tabla 3.3 la misma que sirve de guía para entender el costo total del proyecto realizado.

Tabla 3. 3: Lista de Materiales Utilizados y sus costos.

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNIDAD	P. TOTAL
1	Corte en MDF	\$ 35.00	\$ 35.00
1	Impresión en PCB	\$ 45.00	\$ 45.00
400	LED 5mm	\$ 0.02	\$ 8.00
1	Sensor BH1750	\$ 25.00	\$ 25.00
1	Fuente 12v a 10 Amperios	\$ 26.00	\$ 26.00
3	Potenciómetro	\$ 0.50	\$ 1.50
4	LED Plano 3mm	\$ 0.65	\$ 3.80
1	Lm7805	\$ 1.00	\$ 1.00
1	Capacitor de	\$ 0.30	\$ 0.30
1	Capacitor de	\$ 0.30	\$ 0.30
1	Cámara Digital USB	\$ 30.00	\$ 30.00
1	Cable USB	\$ 1.00	\$ 1.00
4	Borneras	\$ 0.25	\$ 1.00
1	Cable de audio	\$ 0.15	\$ 0.15
134	Resistencias	\$ 0.02	\$ 2.68
1	Canaleta	\$ 1.00	\$ 1.00
2	TIP3055	\$ 1.50	\$ 3.00
1	Estaño	\$ 0.35	\$ 0.35
1	Amarras	\$ 5.00	\$ 5.00
1	Placa Perforada	\$ 2.00	\$ 2.00
1	Pintura	\$ 15.00	\$ 15.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 207.08</b>

Elaborado por: Autores

## CAPÍTULO 4: PRESENTACION, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN EN PLANTA REAL

Con la realización de las actividades correspondientes al diseño e implementación de las áreas de Hardware y Software de la planta, desarrolladas en el capítulo anterior. En el punto a tratar actualmente se presentaran los resultados y respuestas de la planta ya realizada y se efectuará un análisis de la respuestas conseguidas.

### 4.1. Pruebas previas del sistema.

Se realizó la prueba del sistema con el control integrador hallada en el punto 3.2.3.1 y se le puso un tiempo de muestreo de 1 segundo, la respuesta del mismo se puede apreciar en la figura 4.1.

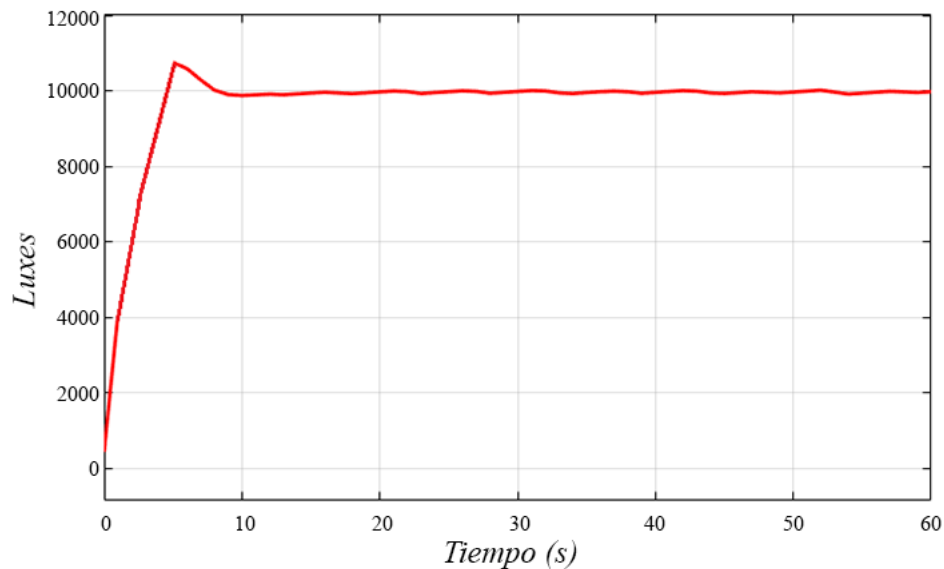


Figura 4. 1: Salida de la planta con constante Integral de 0.00525 aplicada.  
Elaborado por: Autores

Se puede apreciar en la figura 4.1 que en comparación a la gráfica hallada en la figura 3.16 previamente esta presenta sobre nivel porcentual (overshoot) del 8%, el cual se podría solucionar disminuyendo el tiempo de muestreo.

Se hizo una segunda prueba reduciendo el tiempo de muestreo a 0.1 segundos y utilizando el mismo controlador con el fin de ver la reacción de este ante interferencias, La respuesta se puede ver en la figura 3.17.

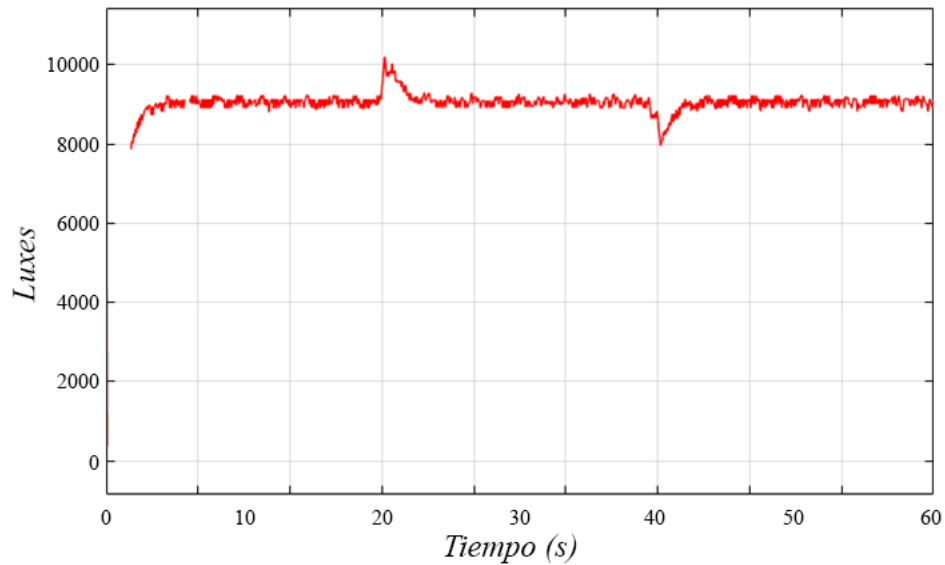


Figura 4. 2: Salida de la planta con tiempo de muestreo de 0.2 segundos.  
Elaborado por: Autores

La figura 4.2 no posee sobrenivel porcentual y posee una reacción muy rápida ante interrupciones, para probar su reacción ante interferencias se encendieron los LEDs de interferencia a los 60 segundos de funcionamiento y se los apago a 60 segundos después de haberse encendido, su reacción fue rápida pero es levemente oscilatoria. Se va a proceder a simular con un controlador distinto a los hallados.

Se hizo una tercera prueba con un controlador Integrador de 0.00014, que fue escogido de manera aleatoria; En la figura 4.3 se puede ver la respuesta del sistema.

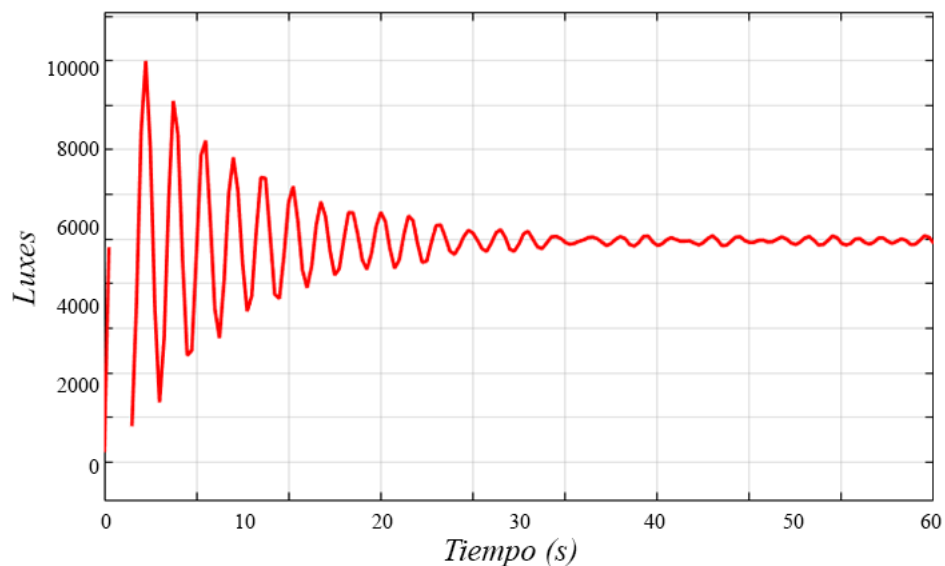


Figura 4. 3: Salida de la planta con constante Integral de 0.00014 aplicada.  
Elaborado por: Autores

La reacción del sistema es extremadamente oscilatorio por ende estuvo lejos de ser ideal, pero el propósito de esta planta es poder probar los distintos controladores para ver su reacción ante ellos y eso fue lo que se cometió en esta simulación, se aprecia que la planta está funcionando y reacciona como es debido.

#### 4.2. Respuestas del sistema y análisis.

Con las simulaciones realizadas en el punto 3.3.3 se procede a realizar la implementación en la planta real para analizar sus respuestas y compararlas con las halladas en las simulaciones y de tal manera encontrar el controlador ideal para su aplicación.

##### 4.2.1 Aplicación de controlador Integrador.

A manera de analizar la respuesta del sistema se utiliza un controlador con constante integradora de 0.00525 a 9000 luxes, esta simulación se realizó en la planta desarrollada en el punto 3 y se efectúa durante un tiempo de 60 segundos, La respuesta se puede observar en la figura 4.4.

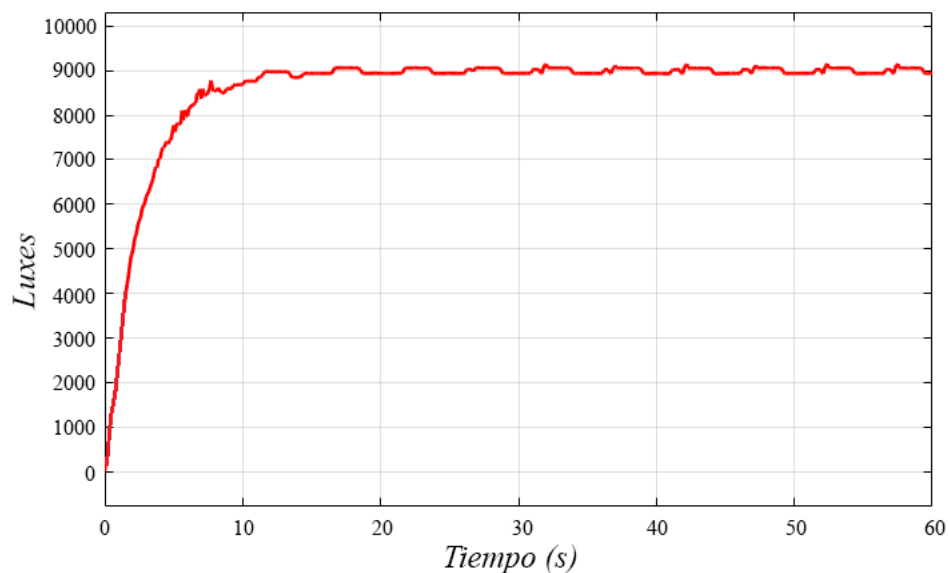


Figura 4. 4: Salida de la planta con controlador Integrador aplicada a 9000 luxes.  
Elaborado por: Autores

Se puede analizar que la figura presenta una excelente respuesta al momento de su estabilización y se puede notar una leve oscilación que no resulta dañina para el sistema, se tuvo que reducir el tiempo de reacción del sistema a una centésima de su velocidad, puesto que al presentar una reacción tan rápida no podía ser apreciado al

momento de su análisis. Para complementar el análisis de la figura 4.4, se procedió a presentar la gráfica correspondiente a la  $u$  de control (ver figura 4.5).

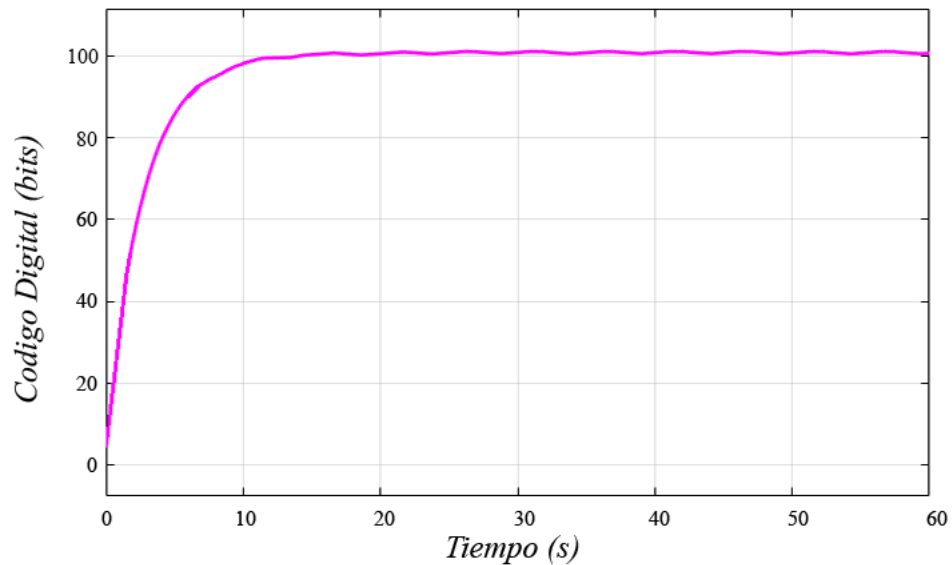


Figura 4. 5: Señal de control de la figura 4.4.

Elaborado por: Autores

La  $u$  de control representa la manipulación del voltaje de la planta dado en código digital para su conversión a PWM. La respuesta del controlador de la planta es ideal, se estabiliza en el punto deseado y no presenta sobre valor porcentual u oscilación.

#### 4.2.1.1. Resultados del controlador Integrador.

Teniendo las gráficas de implementación (ver figura 4.4) y de simulación (ver figura 3.16) podemos proceder a realizar la gráfica comparativa que se va a mostrar en la figura 4.6, de tal manera que se pueda apreciar el resultado obtenido en contraste con el resultado deseado.



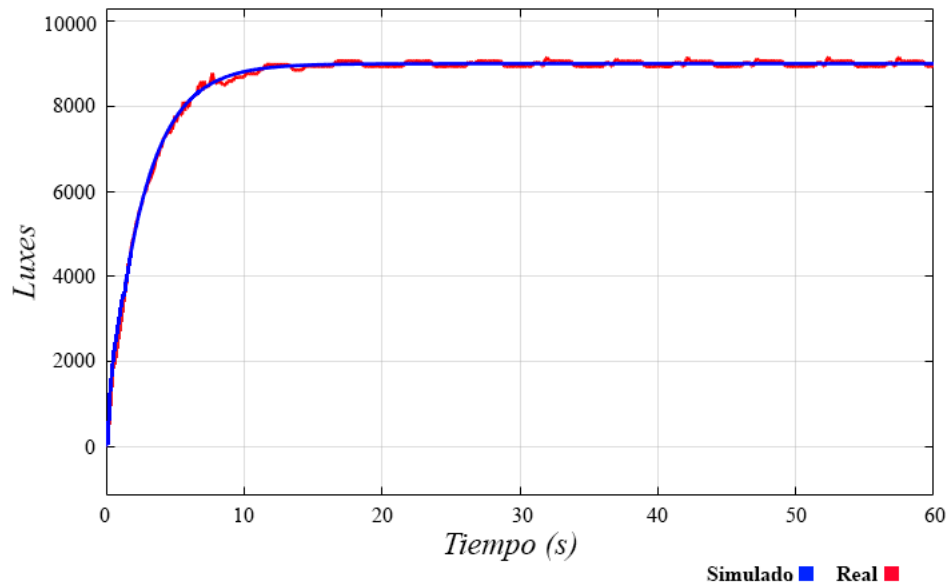


Figura 4. 6: Comparación entre la simulación y la aplicación con el controlador integrador.  
Elaborado por: Autores

El resultado que se obtuvo es ideal, las dos graficas estabilizan en el mismo punto, su tiempo de estabilización es el mismo y no presentan sobre nivel porcentual. Si se procediera a la aplicación de esta planta este controlador podría ser utilizado sin problema y cumpliría con certeza la función de brindar un nivel de iluminación auto estabilizado.

#### 4.2.2 Aplicación de controlador Proporcional Integral.

A manera de analizar la respuesta del sistema se utiliza un controlador Proporcional Integral se utilizaron las constantes halladas en el punto 3.3.3, constantes que son respectivamente 0.0001314 proporcional y 0.01314 Integral, esta prueba fue realizada a un setpoint de intensidad lumínica de 9000 luxes por un tiempo de 60 segundos. La respuesta de la misma se muestra en la figura 4.7.

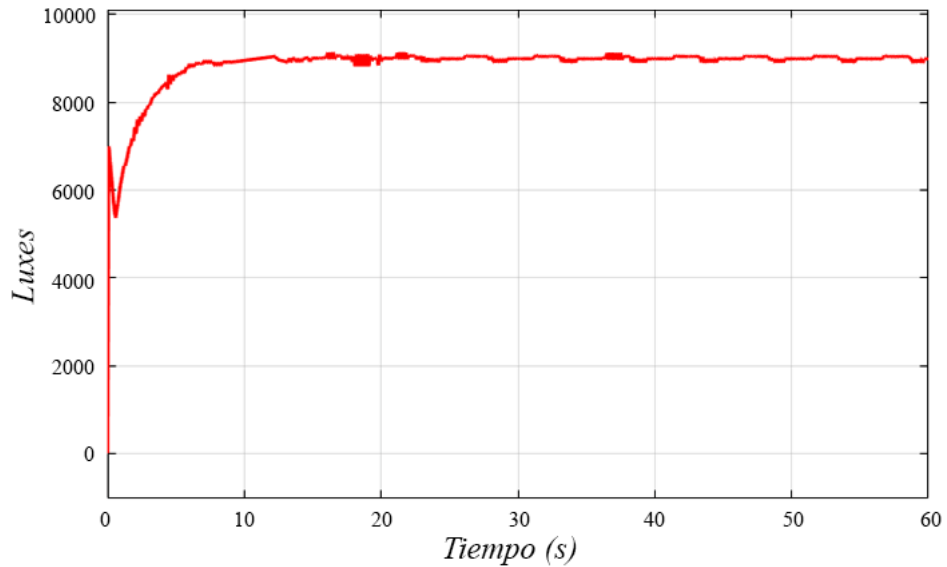


Figura 4. 7: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral aplicada a 9000 luxes.  
Elaborado por: Autores

Se puede apreciar en la figura que el controlador presenta una respuesta rápida y precisa para su estabilización. La velocidad del sistema se mantuvo reducida para poder ser apreciada y gracias a aquello se pudo ver que este sistema fija de manera más robusta que el controlador integrador. La  $u$  de control de la figura 4.7 es presentada en la figura 4.8.

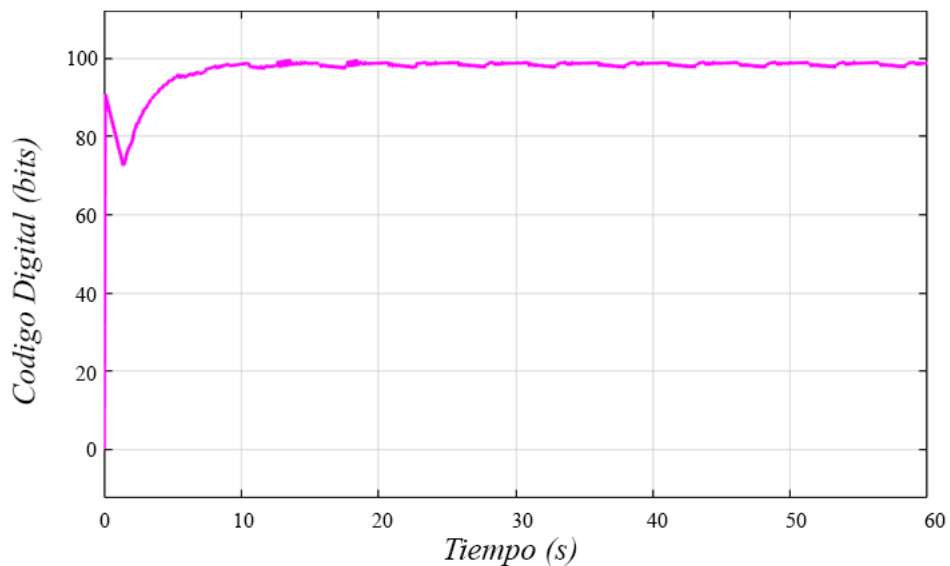


Figura 4. 8: Señal de control de la figura 4.7.  
Elaborado por: Autores

Al igual que en la figura que en el controlador integrador se acompañó la gráfica de los luxes obtenidos con la gráfica de su respectiva  $u$  de control, en la figura 4.8 se puede estimar que existe una oscilación de medio bit, Analizando la figura 4.7 esta oscilación no es perceptible al momento de la medición.

#### 4.2.2.1. Resultados del controlador Proporcional Integral.

Habiendo conseguido los esquemas correspondientes a simulación (ver figura 3.17) y aplicación (ver figura 4.7) del controlador se procede a diseñar la gráfica comparativa. En la figura 4.9 se muestra la respuesta del sistema.

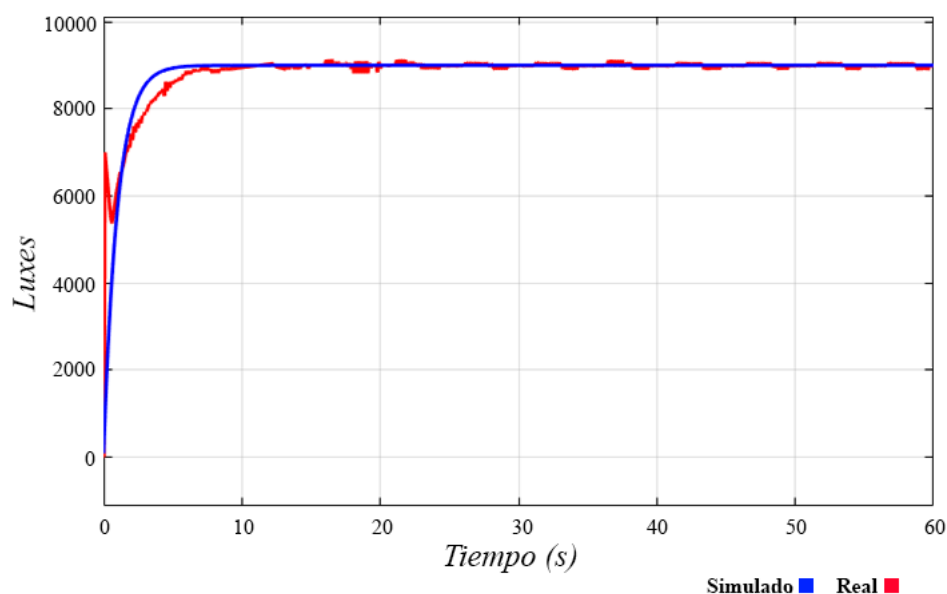


Figura 4. 9: Comparativa entre la simulación y la aplicación con el controlador Proporcional Integral.

Elaborado por: Autores

Analizando el resultado obtenido se puede notar a simple vista que está lejos de ser el deseado, las gráficas estabilizan en el mismo punto, pero su tiempo de estabilización es distinto y la gráfica real es mucho más brusca que la simulada, no obstante la gráfica real tiene una respuesta excelente, no presenta sobre nivel porcentual y no es oscilatoria adicionalmente tiene una excelente velocidad de estabilización, al momento de hablar de aplicación este controlador es ideal.

#### 4.2.3 Aplicación de controlador Proporcional.

En este punto se utiliza un controlador de tipo proporcional, como fue mencionado en el punto 2.2.7.1, es más sencillo que los otros controladores y por lo mismo es más probable encontrar fallas en este de sistema; para la implementación del controlador se usó la constante proporcional de 234 utilizada en el punto 3.2.3.1 a una intensidad lumínica de 9000 luxes y por un tiempo de 60 segundos; La respuesta se muestra en la figura 4.10.

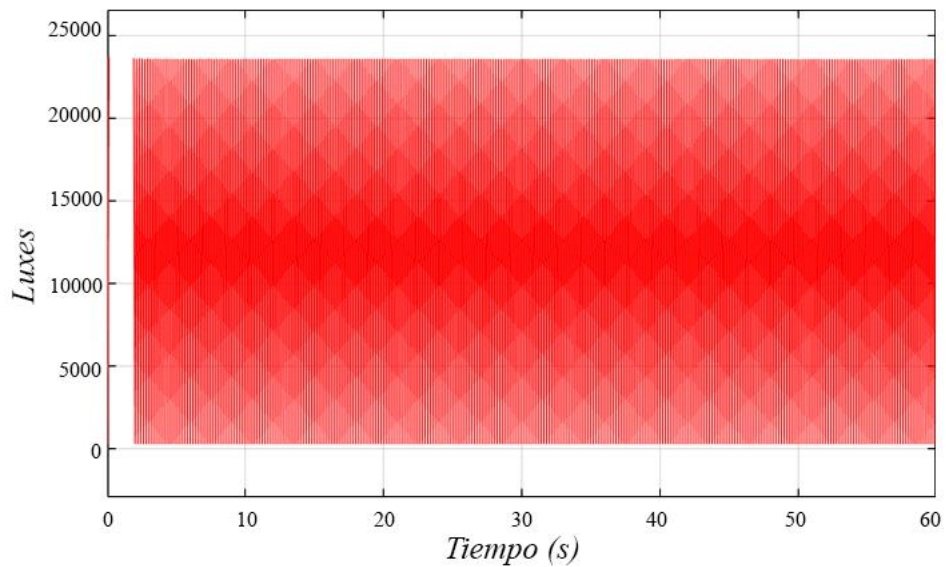


Figura 4. 10: Salida de la planta con controlador Proporcional aplicado a 9000 luxes.  
Elaborado por: Autores

Analizando a simple vista se aprecia que este controlador está lejos de ser ideal para la planta, es extremadamente oscilatorio, no posee tiempo de estabilización puesto que nunca logra estabilizarse en el tiempo que le fue asignado. La  $u$  de control de esta grafica se muestra en la figura 4.11.

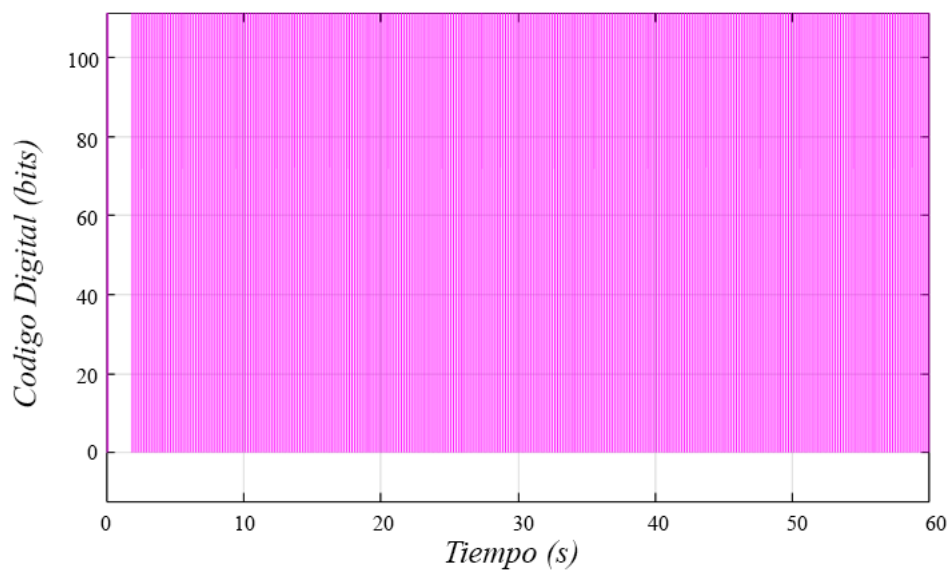


Figura 4. 11: Señal de control de la figura 4.10.  
Elaborado por: Autores

Al analizar la figura 4.11 de la  $u$  de control de esta grafica se puede notar que los bits cambiaban de 0 a 255, el mínimo voltaje al máximo voltaje, cada 0.1 segundos, lapso que representaría el tiempo de muestreo del sistema.

### 4.2.3.1. Resultados del controlador Proporcional Integral.

Habiendo conseguido los esquemas correspondientes a simulación (ver figura 3.15) y aplicación (ver figura 4.10) del controlador Proporcional, se procede a diseñar la gráfica comparativa entre parte simulada y real que es mostrada en la figura 4.12.

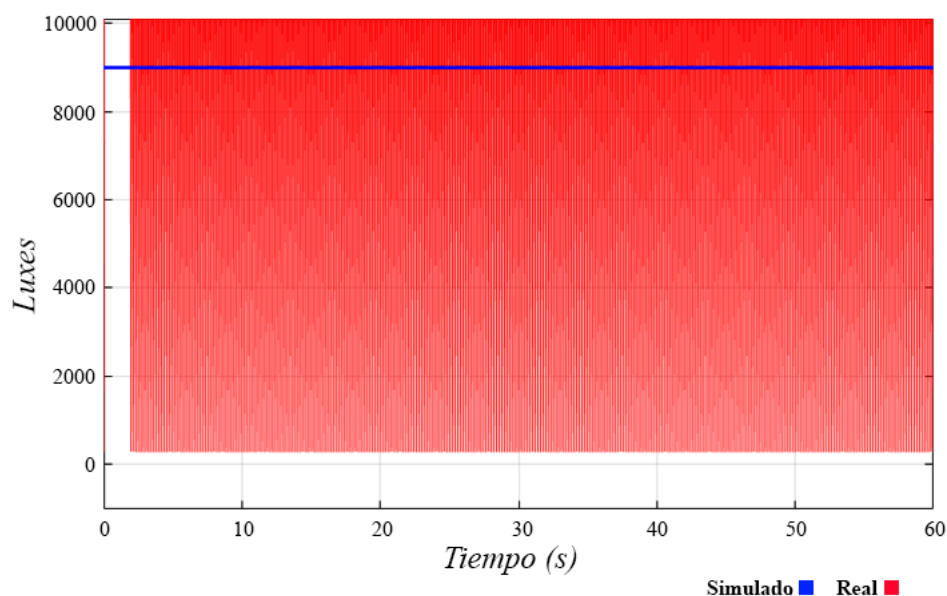


Figura 4. 12: Comparativa entre la simulación y la aplicación con el controlador Proporcional.

Elaborado por: Autores

Si se analiza la figura 4.12 se puede notar a simple vista que ambas graficas no tienen nada en común, se esperaba una respuesta estable en el tiempo, pero eso no fue lo que se consiguió. Si se habla de usar este controlador para aplicación no es posible puesto que lo único que hace es oscilar.

### 4.2.4 Aplicación de controlador Proporcional Derivativo.

Para esta prueba se utilizó un controlador tipo PD con constantes Proporcional y Derivativa igual a las utilizadas para el desarrollo de la figura 3.18 en el punto 3.3.3 y se le asignó un punto de estabilización de 9000 luxes, la respuesta del sistema se muestra en la figura 4.13.

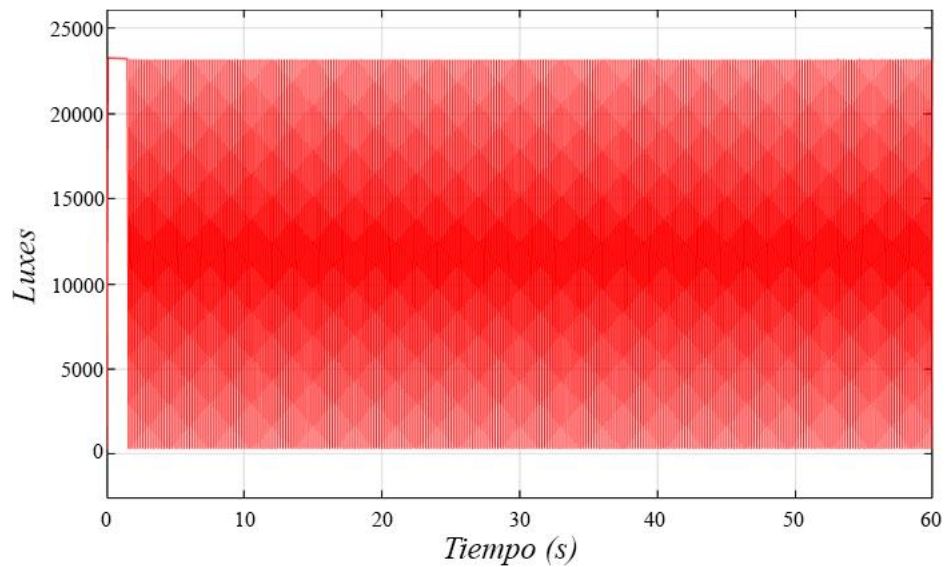


Figura 4. 13: Salida de la planta con controlador Proporcional aplicado a 9000 luxes.  
Elaborado por: Autores

En esta prueba se observa que no posee un tiempo de estabilización, es altamente oscilatoria y nunca estabiliza, la  $u$  de control de la figura se presenta en la figura 4.14.

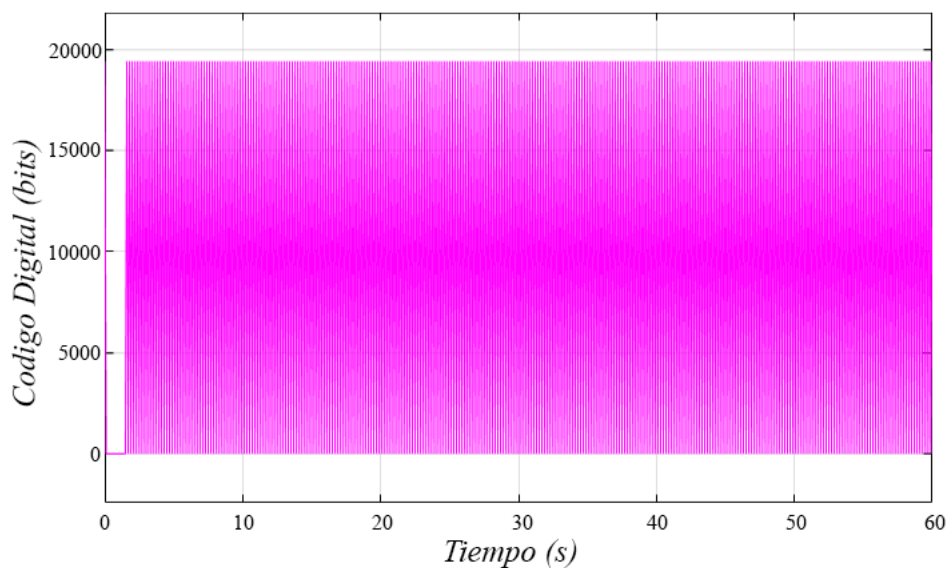


Figura 4. 14: Señal de control de la figura 4.13.  
Elaborado por: Autores

La  $u$  de control de la figura 4.14 presenta una respuesta altamente oscilatoria y no estable, gracias a la gráfica del sistema se puede notar que la onda sobrepasa el punto máximo con 17750 bits lo que causa que la planta se apague.

#### 4.2.4.1. Resultados del controlador Proporcional Derivativo.

A partir de la figura 4.14 y la simulación encontrada en el punto 3.3.3 se desarrolla una gráfica comparativa entre las dos, La grafica es mostrada en la figura 4.15.

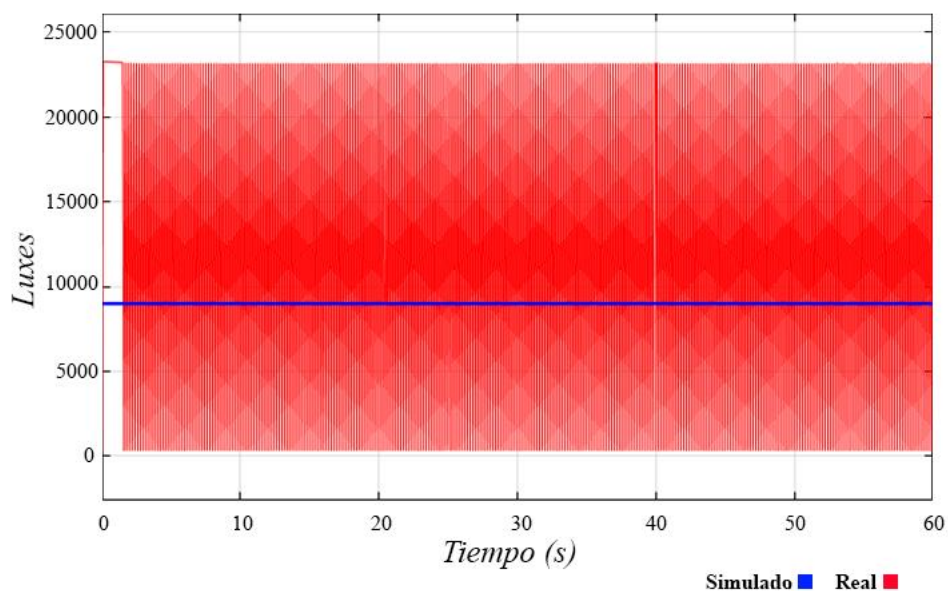


Figura 4. 15: Comparativa entre la simulación y la aplicación con el controlador Proporcional Derivativo.  
Elaborado por: Autores

Al observar el resultado comparativo entre la simulación y la aplicación se puede apreciar que está lejos de ser el deseado.

#### 4.2.5 Aplicación de controlador Proporcional Integral Derivativo.

En esta prueba se utilizó un controlador Proporcional Integral Derivativo, el mismo posee una parte de cada uno de los tres tipos de controladores principales; Para esta implementación se utilizó las constantes 0.0001314 proporcional y 0.01314 Integral y  $1.314 \times 10^{-7}$  derivativa, esta prueba fue realizada, al igual que las anteriores, a un Setpoint de intensidad lumínica de 9000 luxes por un tiempo de 60 segundos, en la figura 4.16 se muestra la respuesta de la planta.

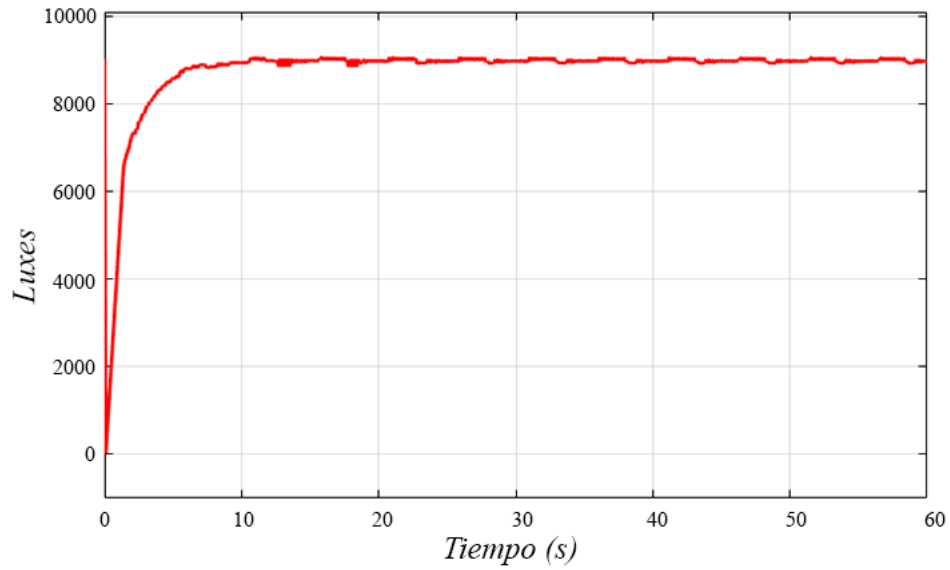


Figura 4. 16: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral aplicada a 9000 luxes.  
Elaborado por: Autores

La respuesta de controlador PID es excelente posee un tiempo de estabilización de aproximadamente 5 segundos, no posee sobre nivel porcentual y estabiliza en 9000 luxes como fue definido en el Setpoint sin ser oscilatoria. La velocidad no fue aumentada puesto que la gráfica no podría ser apreciada si esto fuera así, la  $u$  de control de esta grafica es presentada en la figura 4.17.

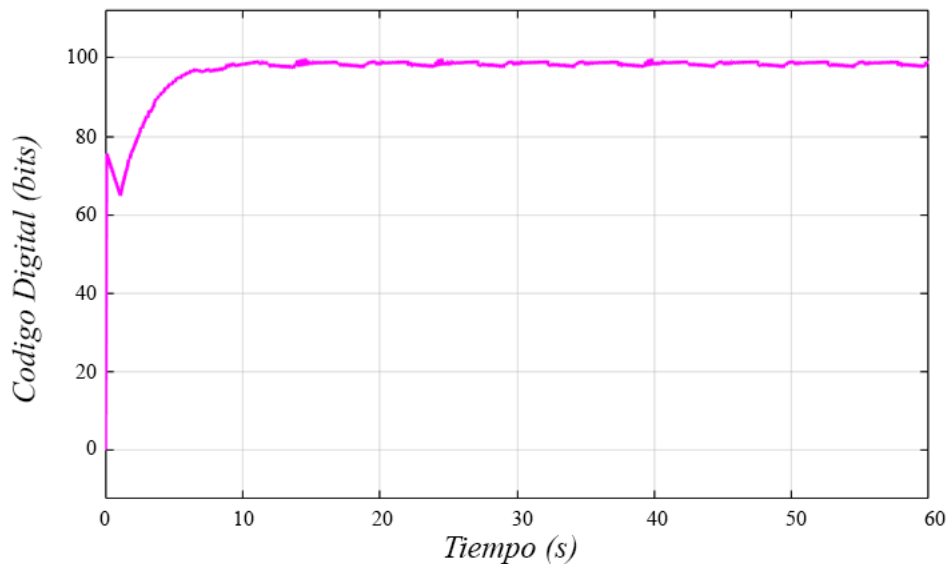


Figura 4. 17: Señal de control de la figura 4.16.  
Elaborado por: Autores

Para poder realizar un análisis completo del sistema se acompaña la figura 4.16 (luxes vs tiempo) con la de su respectiva  $u$  de control (Código digital vs tiempo). La



respuesta de la gráfica es excelente aunque presenta un leve sobre nivel en el primer segundo de su aplicación, pero este no se aprecia en el esquema de luxes.

#### 4.2.5.1. Resultados del controlador Proporcional Integral Derivativo.

Con el fin de realizar una respuesta comparativa entre simulación y aplicación del controlador Proporcional Integral Derivativo se procede a diseñar la figura 4.18 donde la señal simulada y la real se sobreponen.

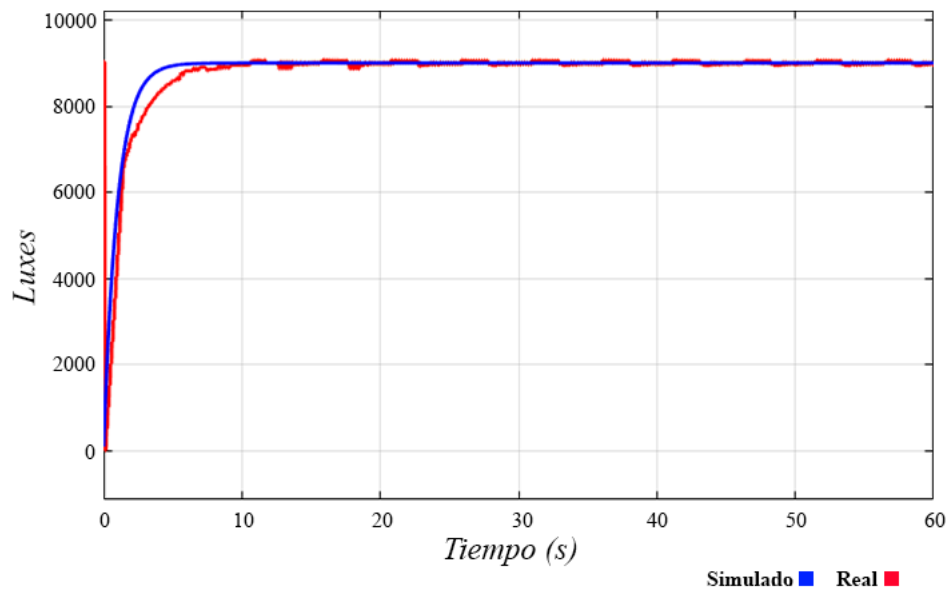


Figura 4. 18: Comparativa entre la simulación y la aplicación con el controlador Proporcional Integral Derivativo.  
Elaborado por: Autores

Analizando las dos figuras sobrepuestas en la figura 4.18, se puede apreciar que ambas son muy parecidas pero no se dio un resultado paralelo entre las dos gráficas. Si se hablara de utilizar este controlador PID para una aplicación de control iluminador inteligente, no existiría problema puesto que posee una buena respuesta en el tiempo.

### 4.3. Respuestas del sistema ante cambios en el tiempo.

La estabilidad de sistema es un factor importante al momento de elegir o diseñar un controlador, pero también lo es la respuesta del mismo ante cualquier alteración que pueda ocurrir. Para entender cuál de los controladores es el más eficiente se realizaron distintas pruebas a cada uno de ellos, nos abstenemos a utilizar los controladores PD y PID puesto que estos no tuvieron una buena respuesta en la planta.

### 4.3.1 Cambios en el tiempo por perturbaciones.

Las perturbaciones involucran variables no deseadas que se presentan cuando ocurre cualquier tipo de alteración en el sistema, de igual manera se espera que el controlador posea la capacidad de corregir dichas fallas para poder continuar con su labor como le fue definida.

#### 4.3.1.1 Perturbaciones en el Controlador Integrador.

Se definió un punto de operación de 12000 luxes y a los 20 segundos de estabilidad se realizó una perturbación de -2550 luxes, habiendo estabilizado el sistema se espera que hayan transcurrido 40 segundos de simulación y luego se remueve la perturbación, La respuesta se puede observar en la figura 4.19.

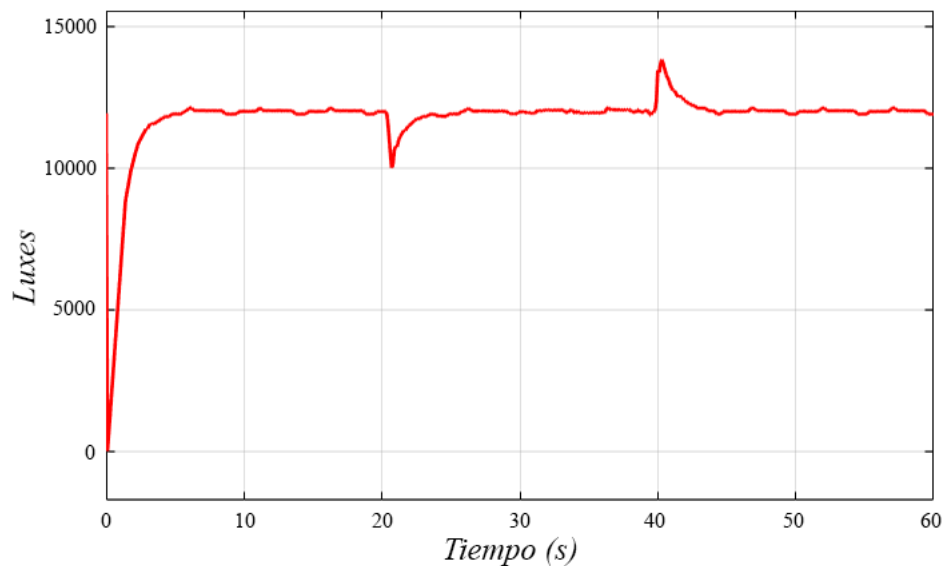


Figura 4. 19: Salida de la planta con controlador Integrador ante perturbaciones.  
Elaborado por: Autores

La planta presenta una excelente respuesta ante las perturbaciones, el tiempo de estabilización del sistema es de aproximadamente 3 segundos y el punto de estabilización es el deseado, la  $u$  de control de la planta es presentada en la figura 4.20.

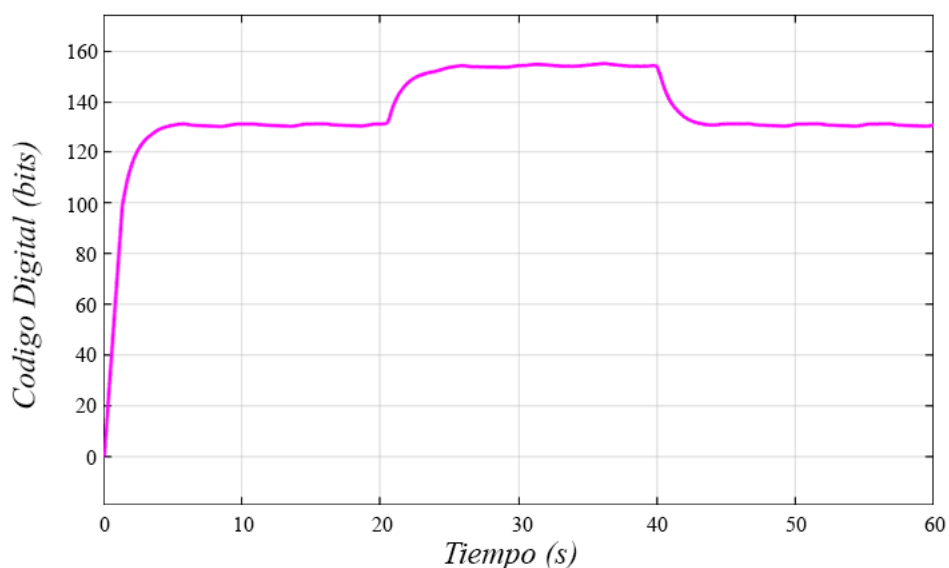


Figura 4. 20: Señal de control de la figura 4.19.

Elaborado por: Autores

En esta grafica de tiempo versus código digital se puede apreciar cómo reacciona el sistema ante la perturbación efectuado a los 20 segundos de haber arrancado el sistema, este sube el voltaje manipulando el actuador de la planta de tal manera que compensa la perdida de luz en el sistema, a los 40 segundos de haber arrancado disminuye el voltaje dado que la perdida de luz fue revertida.

#### 4.3.1.2 Perturbaciones en el Controlador Proporcional Integral.

Se definió al igual que en la prueba realizada en la sección 4.3.1.1 un punto de operación de 12000 luxes y a los 20 segundos de estabilidad se realizó una perturbación de -5000 luxes durante un tiempo de 20 segundos y se suprime está a los 40 segundos. La gráfica de esta prueba se muestra en la figura 4.21.

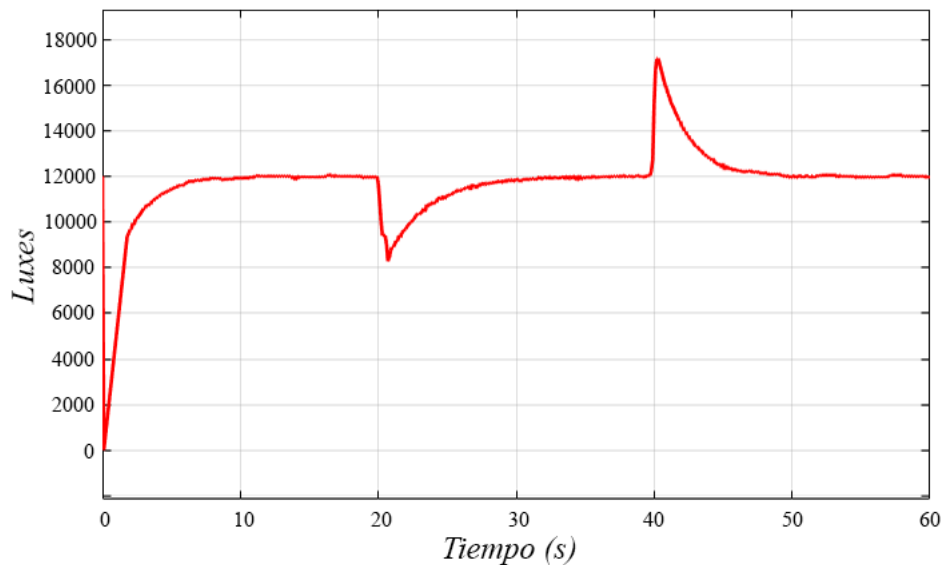


Figura 4. 21: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral ante perturbaciones.  
Elaborado por: Autores

Se le agrego una perturbación del 24 por ciento del valor de estabilización a los 20 segundos de su activación. El controlador estabiliza a aproximadamente 5 segundos después de recibir la perturbación y no presenta sobre nivel porcentual, se presenta la *u* de control en la figura 4.22.

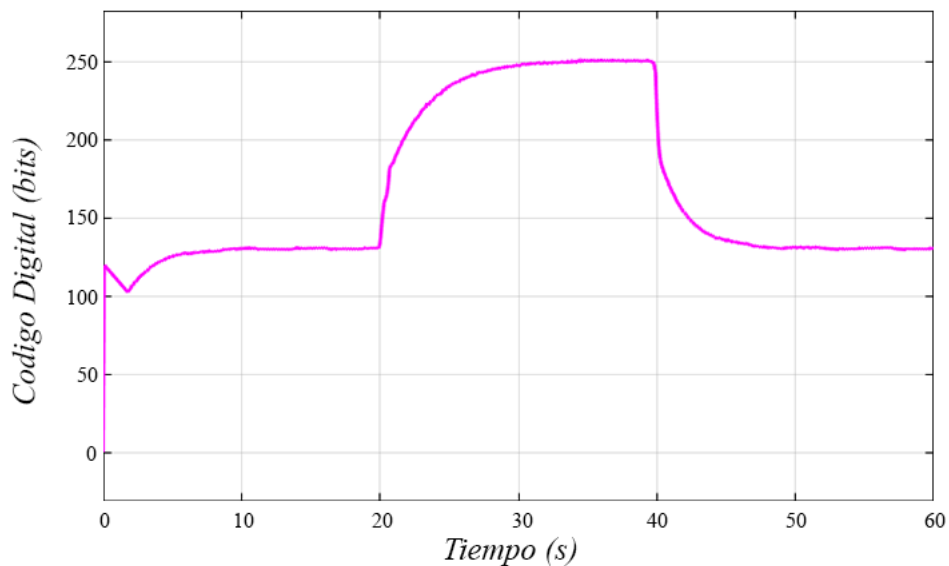


Figura 4. 22: Señal de control de la figura 4.21.  
Elaborado por: Autores

Gracias a las figura 4.22 se puede apreciar como hizo la planta para re estabilizar el nivel de luz al asignado; A los 20 segundos de haberse activado el sistema el controlador eleva el nivel de código digital de 130 bits a 250 bits dando un voltaje de 11.76 voltios, valor suficiente para compensar el déficit producido por la perturbación,

cuando la perturbación es removida el sistema regresa a su voltaje anterior de 6.11 voltios.

#### 4.3.1.3 Perturbaciones en el Controlador Proporcional Integral Derivativo.

Se trabajó en un punto de operación de 12000 luxes, se realizó una perturbación de 1450 luxes a los 20 segundos de haber definido el punto de operación y a los 40 segundos se removió dicha perturbación para ver cuál es la reacción del sistema, la respuesta de la misma se muestra en la figura 4.23.

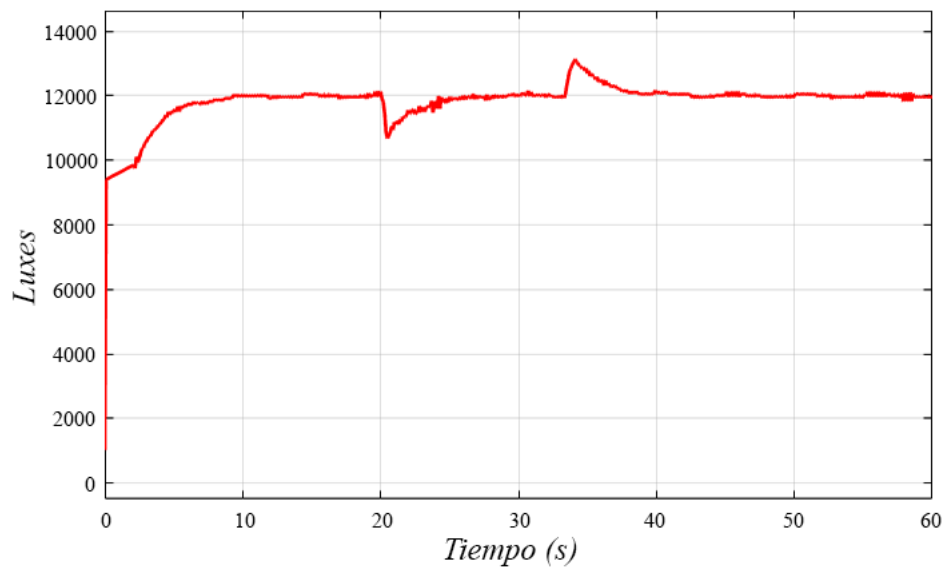


Figura 4. 23: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral Derivativo ante perturbaciones.

Elaborado por: Autores

La respuesta del sistema es muy buena, la estabilización ocurre en un tiempo de aproximadamente 2 segundos y no presenta oscilación o sobre nivel porcentual, la  $u$  de control es mostrada en la figura 4.24.

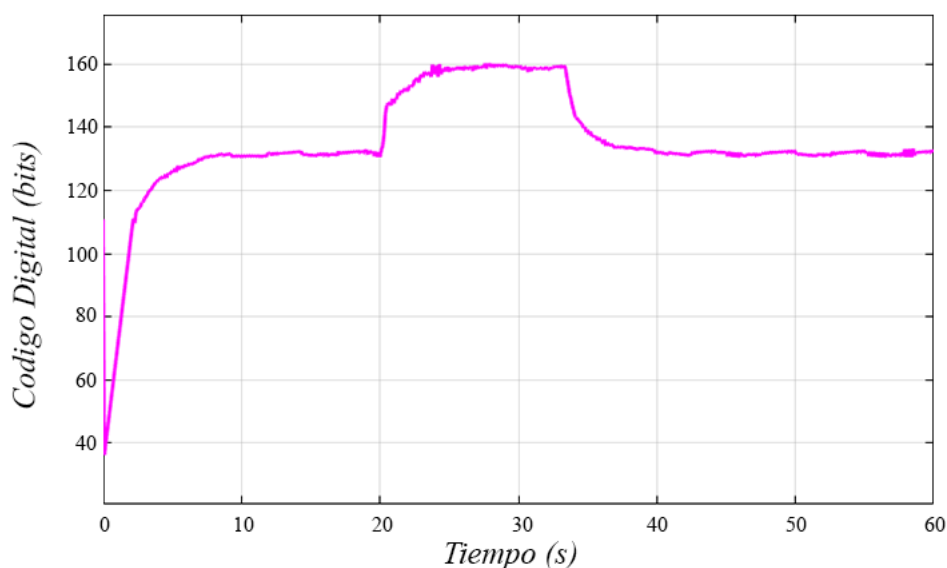


Figura 4. 24: Señal de control de la figura 4.23.

Elaborado por: Autores

En la gráfica presentada en la figura 4.24 se puede apreciar como el sistema elevó el rango de voltaje de la planta para poder nivelar la planta al punto especificado al setpoint de tal manera que compense por la perturbación ejercida en la planta.

### 4.3.2 Cambios por alteraciones en el valor prefijado.

A manera de analizar la respuesta de la planta se alteró el punto de operación del sistema y se observó cómo fue la reacción de cada uno de los controladores a utilizar con el fin que se pueda apreciar el más conveniente para su aplicación.

#### 4.3.2.1 Perturbaciones en el Controlador Integrador.

Para la realización de esta prueba se le pidió a la planta que establezca en un punto de 12000 luxes, luego de haber estabilizado se le cambia el zona de operación a 8000 luxes y luego a 4000 con el fin de ver si el sistema presenta problemas tales como sobre nivel porcentual u oscilación al realizar dicha prueba, la respuesta de la misma se muestra en la figura 4.25.

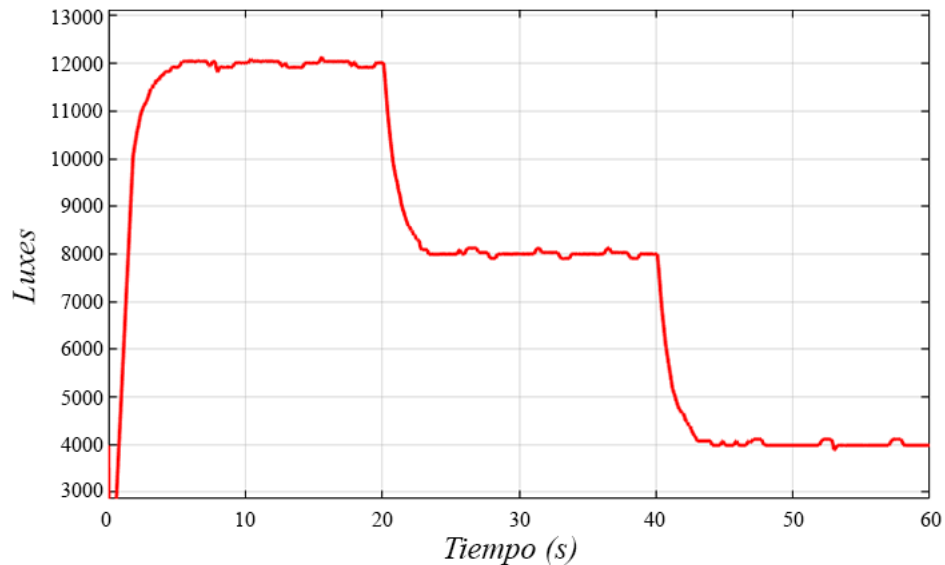


Figura 4. 25: Salida de la planta con controlador Integrador a tres puntos de operación.

Elaborado por: Autores

La planta se estabilizó en un tiempo de 3 segundos sin presentar problemas. Al haber transcurrido 20 segundos de haber arrancado el sistema se le solicita otro punto de operación de 8000 luxes, el cual estabilizó 3 segundos después de haber solicitado dicho punto. A los 40 segundos de operación se cambió el setpoint de 8000 a 4000 luxes y al igual que las anteriores dos veces estabiliza sin problema a un tiempo de 3 segundos. Se observan leves oscilaciones en la onda de luz pero no son perceptible en la cámara de la planta.

#### 4.3.2.2 Perturbaciones en el Controlador Proporcional Integral.

Se cambió el controlador a uno del tipo Proporcional Integral y se procede a efectuar la misma prueba realizada previamente para poder observar y comparar la reacción de este sistema en relación a los otros, la respuesta es presentada en la figura 4.26.

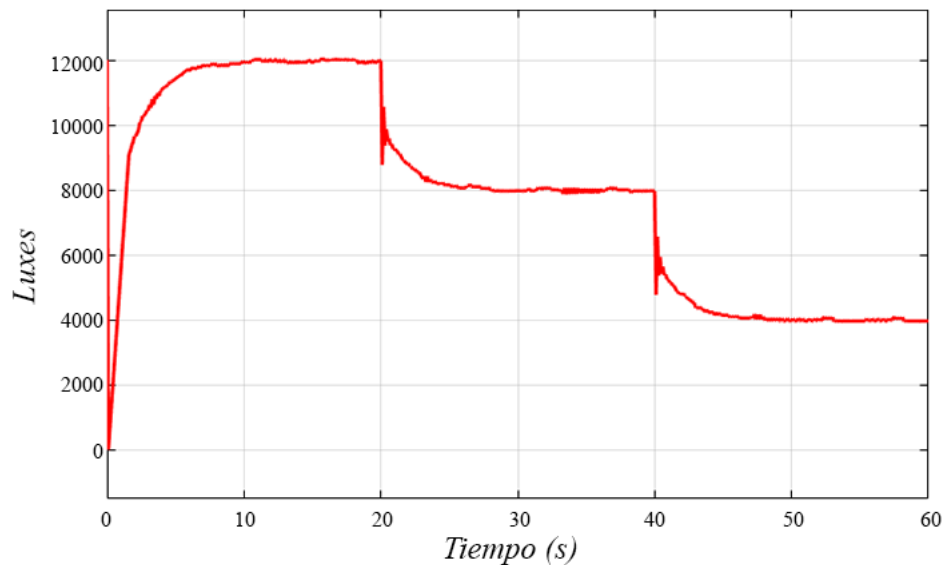


Figura 4. 26: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral a tres puntos de operación.

Elaborado por: Autores

Se aprecia que el sistema se estabiliza a aproximadamente 3 segundos de haber iniciado. Al haber transcurrido 20 segundos se disminuye en 4000 luxes al punto de operación, el sistema se estabilizó a aproximadamente a los 3 segundos, presentando un leve subnivel porcentual. Habiendo transcurrido 40 segundos de haber arrancado el sistema se disminuyó en 4000 luxes más el nivel de estabilización, el sistema reacciono de manera similar con un leve subnivel y estabilizando a tres segundos de haber sido modificado. Este controlador presento menos ruido oscilatorio que el controlador Integrador.

#### 4.3.2.3 Perturbaciones en el Controlador Proporcional Integral Derivativo.

Se cambia el controlador a uno del tipo Proporcional Integral Derivativo (PID) y se realiza la misma prueba efectuada a los anteriores controladores para ver su reacción ante el cambio del punto de operación en el tiempo, los resultados se observan en la figura 4.27.



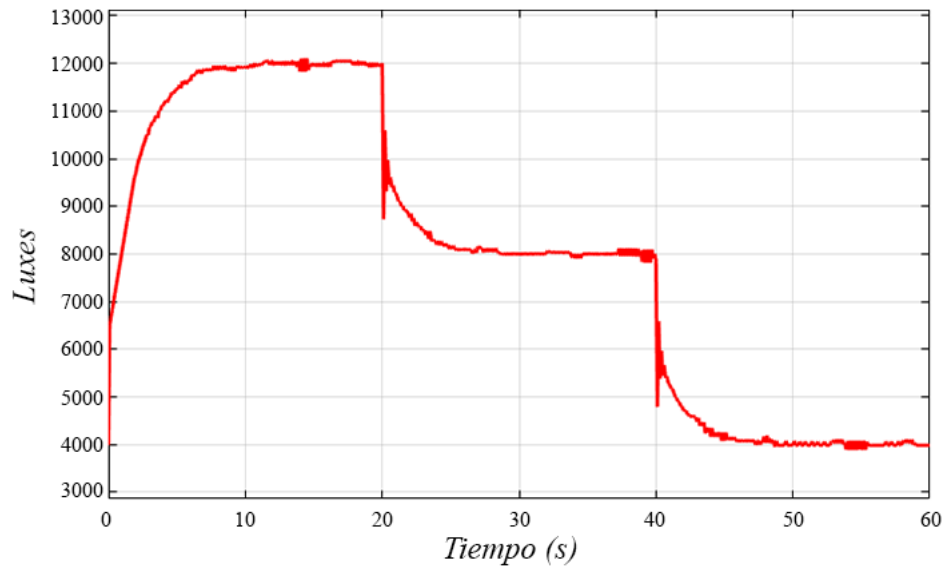


Figura 4. 27: Salida de la planta con controlador Proporcional Integral Derivativo a tres puntos de operación.

Elaborado por: Autores

Se define un punto de operación de 12000 luxes para empezar se estima que tarda un tiempo de 7 segundos en dar estabilización al sistema, al haber transcurrido 20 segundos se disminuye el nivel de estabilización de 12000 a 8000 luxes, el sistema tarda 5 segundos en estabilizar y presenta un leve subnivel porcentual. Habiendo transcurrido 40 segundos de haber dado inicio a la planta se reduce el setpoint de 8000 a 4000 luxes, nuevamente presenta subnivel porcentual y tarda 5 segundos en estabilizar.

#### 4.4. Respuesta de los controladores en tiempo real.

En la tabla 4.1 se puede observar los resultados de cada uno de los controladores.

Tabla 4. 1: Respuesta de los controladores.

Controlador	Constantes			Estabilización del sistema			Figura
	P	I	D	tiempo de estabilización	% sobre nivel porcentual	Observaciones	
P	234	0	0	$\infty$	$\infty$	Nunca estabiliza, extremadamente oscilatoria.	4.4
I	0.00525	0	0	7 seg	0%	Respuesta casi idéntica a la simulada. Presenta la menor cantidad de ruido entre las 5 pero presenta leve subnivel porcentual ante perturbaciones.	4.7
PI	0.0001314	0.01314	0	2 seg	0%	Presenta leve ruido y subnivel porcentual ante perturbaciones.	4.10
PD	0.9317	0	1	$\infty$	$\infty$	Nunca estabiliza, extremadamente oscilatoria.	4.13
PID	0.01314	0.01314	$1.314 \cdot 10^{-7}$	2 seg	0%	Presenta leve ruido y subnivel porcentual ante perturbaciones.	4.16

Elaborado por: Autores

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Cumplimiento de los Objetivos.**

Al inicio del documento en el punto 1.4 se definió los objetivos a tratar en este documento. Habiendo llegado al punto 4.3 se finalizó con cada uno de los objetivos específicos y el objetivo general que fueron designados.

#### **5.1.1 Objetivos específicos.**

Se seleccionaron los elementos y se procedió a ensamblar la estructura de la planta como fue presentado en el punto 3.2, se diseñó la placa de LEDs que fue conectada a los transistores conformando el área de fuerza de la planta y se procedió a diseñar el área de control compuesta por el sensor BH1750 y el Micro Controlador, esto fue desarrollado en el punto 3.2.5; Con la planta en lazo abierto ya desarrollada se continuó hallando la ecuación característica del sistema, esto fue desarrollado en el punto 3.3, en el punto 3.3.3 se realizaron pruebas simuladas en lazo cerrado para encontrar cada uno de los controladores clásicos respectivos y en el capítulo 4 se evaluó la planta en lazo cerrado frente a cada uno de los controladores.

#### **5.1.2 Objetivo General.**

Al haber concluido con cada uno de los objetivos específicos, se finaliza el objetivo general del proyecto de investigación, puesto que se logró desarrollar la planta de control de iluminación didáctica utilizando microcontroladores como lo es ATmega2560 con la cual se analizó el funcionamiento de cada uno de los tipos de controladores clásicos y sus distintas reacciones ante alteraciones.

### **5.2. Cumplimiento de la hipótesis.**

La hipótesis planteaba que mediante la implementación de equipo didáctico se iba a poder probar distintos controladores clásicos y visualizar sus señales en tiempo real. Con lo realizada hasta el momento se pudo cumplir con lo requerido para satisfacer lo mencionado, se elaboró una maqueta didáctica de fácil utilización la cual permite probar los distintos tipos de controladores clásicos sean P, I, PI, PD y PID, adicionalmente es de fácil manejo y muestra permite la observación de las distintas ondas del sistema.

### 5.3. Conclusiones.

Habiendo finalizado con el presente proyecto de investigación y de haber analizado los resultados, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Por medio del uso del sensor BH1750, el ATMEGA2560 y un circuito de accionamiento LED, se puede construir una planta de control que resulte eficiente y económica.
- El sensor de iluminación BH1750 funciona de manera correcta y con la exactitud demandada para la adquisición de datos en lazo abierto.
- Realizar la adquisición de datos para realizar el modelo matemático de la planta resulta de vital importancia para la implementación del sistema.
- La ecuación característica del sistema depende del sensor y estructura de la planta, la ecuación cambiara si la misma es alterada de cualquier forma.
- Se analizó cada tipo de controlador clásico por medio de simulación con el fin de descubrir cual posee la mejor respuesta para su aplicación, mostrando excelente respuestas de parte de los controladores I, PI y PID.
- Utilizando la planta didáctica diseñada se puede implementar con eficiencia los controladores clásicos y se consigue la respuesta de la planta ante ellos.
- Evaluando la respuesta de cada controlador se pudo apreciar que los controladores P y PD no son aplicables en la planta puesto que dan respuestas altamente oscilatorias y no estables.
- Con el análisis de cada controlador se decidió que el que poseía mejor respuesta ante perturbaciones y para su estabilización fue el controlador PI.

#### **5.4. RECOMENDACIONES.**

Una vez concluido el siguiente proyecto investigativo se consideran ciertos puntos a tomar en cuenta con respecto diseño, construcción e implementación de la planta que van a ser mencionados a continuación:

- La selección de materiales involucra un factor determinante para el desarrollo de la planta.
- Al momento de desarrollar la estructura de la planta se debe examinar que la misma sea hermética y que no entre luz puesto que esto realizaría interferencias en la lectura.
- Realizar un análisis previo por medio de simulación de cada uno de los controladores es de vital importancia puesto que esto permite que se conozca la reacción de los mismos en la planta.
- Se debe analizar igualmente los controladores clásicos ya aplicados en la planta, porque los mismos no siempre reacción como lo da su simulación.
- Los controladores P y PD no dan respuestas estables en el tiempo no se recomienda su uso al momento de aplicación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Anaya, G. (s/f). Regulador de Intensidad Luminosa. Recuperado el 27 de septiembre de 2016, a partir de [http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/electro/act\\_regulador\\_intensidad.pdf](http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/electro/act_regulador_intensidad.pdf)
- [2] Antscran. (2014). PID tutorial C code example using a Stellaris LM3S6965. Recuperado el 2 de julio de 2017, a partir de <http://coder-tronics.com/pid-tutorial-c-code-example-pt1/>
- [3] Arduino. (2016, septiembre 25). Arduino - ArduinoBoardMega2560. Recuperado el 25 de septiembre de 2016, a partir de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [4] Astrom, K. J. (2002). PID Control. Recuperado el 25 de septiembre de 2016, a partir de <http://www.cds.caltech.edu/~murray/courses/cds101/fa02/caltech/astrom-ch6.pdf>
- [5] Bai, Y. W., & Ku, Y. T. (2008). Automatic room light intensity detection and control using a microprocessor and light sensors. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(3), 1173–1176. <https://doi.org/10.1109/TCE.2008.4637603>
- [6] Bai, Y. W., & Ku, Y. T. (2010). Automatic room light intensity detection and control using a microprocessor and light sensors. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(3), 1173–1176. <https://doi.org/10.1109/TCE.2008.4637603>
- [7] Baklanov, A., & Grigoryeva, S. (2016). Control of LED Lighting Equipment with Robustness Elements. Recuperado el 2 de julio de 2017, a partir de [http://uni-obuda.hu/journal/Baklanov\\_Grigoryeva\\_Gyorok\\_69.pdf](http://uni-obuda.hu/journal/Baklanov_Grigoryeva_Gyorok_69.pdf)
- [8] Barr, M. (2001). Embedded Systems Programming. Recuperado el 3 de junio de 2017, a partir de [http://homepage.cem.itesm.mx/carbajal/Microcontrollers/ASSIGNMENTS/readings/ARTICLES/barr01\\_pwm.pdf](http://homepage.cem.itesm.mx/carbajal/Microcontrollers/ASSIGNMENTS/readings/ARTICLES/barr01_pwm.pdf)
- [9] Bhangdiya, V. K. (2016). Low power consumption of LED street light based on smart control system. En 2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC) (pp. 619–622). <https://doi.org/10.1109/ICGTSPICC.2016.7955375>

- [10] Cardenas, H. (2014). Marco Teórico. Recuperado el 3 de julio de 2017, a partir de <http://cireleeele.blogspot.com/2014/05/dispositivos-que-utilizaremos-en-las.html>
- [11] Chang, Q. S., Yang, S. H., & Chou, D. C. (2016). Simulation research of using PWM to control LED scenario energy-saving system #8212; The case of large underground parking lot: Preparation of papers in two-column format for ISNE 2016. En 2016 5th International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE) (pp. 1–2). <https://doi.org/10.1109/ISNE.2016.7543345>
- [12] Cruz, G., & Aidé, C. (2014, julio 28). Diseño de una red de sensores para control de iluminación basado en lógica difusa (Thesis). Recuperado a partir de <http://ri.uaq.mx/handle/123456789/1697>
- [13] Digi International Inc. (2016). Long Range 900 MHz OEM RF Module - Digi International. Recuperado el 1 de julio de 2017, a partir de <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/sub-1-ghz-modules/xbee-pro-900hp>
- [14] Grauyere, M., & Hernández, P. (2014). LÁMPARAS DE TECNOLOGÍA LED, UN AHORRO ENERGÉTICO.
- [15] Grossman, H. (2000, noviembre 28). US6153985 A. Recuperado a partir de <http://www.google.com/patents/US6153985>
- [16] Haoting, L., Qianxiang, Z., Jin, Y., Zhizhen, L., & Jie, L. (2017). Intelligent Luminance Control of Lighting Systems Based on Imaging Sensor Feedback. Recuperado el 30 de mayo de 2017, a partir de <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/2/321/htm>
- [17] He, X., Xiao, Z., & He, S. (2010). A design of LED adaptive dimming lighting system based on incremental PID controller (Vol. 7852, p. 78520W–78520W–7). <https://doi.org/10.1117/12.869677>
- [18] Ismail, A. H., Azmi, M. S. M., Hashim, M. A., Ayob, M. N., Hashim, M. S. M., & Hassrizal, H. B. (2013). Development of a webcam based lux meter. En 2013 IEEE Symposium on Computers Informatics (ISCI) (pp. 70–74). <https://doi.org/10.1109/ISCI.2013.6612378>
- [19] Karthiga, S. (2016). LDR Using Arduino Mega 2560. Recuperado el 16 de agosto de 2017, a partir de <http://www.c-sharpcorner.com/uploadfile/7d4524/ldr-using-arduinomega2560/>

- [20] Kim, B., Yin, V. H., & Jun, Q. (2016, junio 14). Organic light-emitting diode display with dynamic power supply control. Recuperado a partir de <http://www.google.com/patents/US9368067>
- [21] Kim, Y.-J. (2005, julio 28). US20050165989 A1. Recuperado a partir de <http://www.google.com/patents/US20050165989>
- [22] Kobayashi, K. (2016). Mobile electronic device with luminance control according to surrounding brightness and contact. Recuperado a partir de <http://www.google.com/patents/US9406262>
- [23] Kusriyanto, M., & Putra, B. D. (2016). Smart home using local area network (LAN) based arduino mega 2560. En 2016 2nd International Conference on Wireless and Telematics (ICWT) (pp. 127–131). <https://doi.org/10.1109/ICWT.2016.7870866>
- [24] Lum, K. C. P., Ng, S. L., & Black, I. (2000). CO2 laser cutting of MDF. *Optics & Laser Technology*, 32(1), 67–76. [https://doi.org/10.1016/S0030-3992\(00\)00020-7](https://doi.org/10.1016/S0030-3992(00)00020-7)
- [25] Mahajan, S. A., & Markande, S. D. (2016). Design of intelligent system for indoor lighting. En 2016 International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA) (pp. 1–4). <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2016.7860139>
- [26] MAI, Q. (2016). Analysis of the Design and Reliability of a New Type of Intelligent Led Illumination Control System. Recuperado el 19 de junio de 2017, a partir de <https://goo.gl/e2aYx5>
- [27] Olvera-Gonzalez, E., Alaniz-Lumbreras, D., Ivanov-Tsonchev, R., Villa-Hernández, J., Olvera-Olvera, C., González-Ramírez, E., ... Castaño, V. (2013). Intelligent lighting system for plant growth and development. *Computers and Electronics in Agriculture*, 92, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.11.012>
- [28] Oscar. (2013, octubre 13). Quadcopter PID Explained. Recuperado el 3 de julio de 2017, a partir de <https://oscarliang.com/quadcopter-pid-explained-tuning/>
- [29] Pomares, J., & Candelas, F. (s/f). Manual de la Práctica 4: Control de iluminacion mediante Arduino. Recuperado el 27 de septiembre de 2016, a partir de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11831/4/practica4.pdf>



- [30] PowerGuru. (2012). DC-DC Converter Technologies for Electric/Hybrid Electric Vehicles | PowerGuru - Power Electronics Information Portal. Recuperado el 3 de julio de 2017, a partir de <http://www.powerguru.org/dc-dc-converter-technologies-for-electrichybrid-electric-vehicles/>
- [31] Rahimi, D. S. (2016). Solar Mobile A Smart Solar Generator Control Unit. Recuperado el 19 de junio de 2017, a partir de [https://sonoma-dspace.calstate.edu/bitstream/handle/10211.3/177263/BagliettoJNunnJandSackB\\_SOMO2016.pdf?sequence=1](https://sonoma-dspace.calstate.edu/bitstream/handle/10211.3/177263/BagliettoJNunnJandSackB_SOMO2016.pdf?sequence=1)
- [32] Rawashdeh, M. (2016, septiembre 25). BH1750 Digital Light Sensor. Recuperado el 25 de septiembre de 2016, a partir de <http://www.instructables.com/id/BH1750-Digital-Light-Sensor/>
- [33] Rawashdeh, M. (s/f). BH1750 Digital Light Sensor. Recuperado el 25 de septiembre de 2016, a partir de <http://www.instructables.com/id/BH1750-Digital-Light-Sensor/>
- [34] Riley, S. J., & Telugu, M. (2017). Lighting the world with LEDs. Recuperado a partir de <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/121/20231>
- [35] Shirsath, Popalghat, Tarate, & Pimpale. (2016a). Embedded Wireless Light Intensity Control Using DTMF. Recuperado el 31 de mayo de 2017, a partir de <http://ijireeice.com/upload/2016/may-16/IJIREEICE%2014.pdf>
- [36] Shirsath, Popalghat, Tarate, & Pimpale. (2016b). Embedded Wireless Light Intensity Control Using DTMF. Recuperado el 31 de mayo de 2017, a partir de <http://ijireeice.com/upload/2016/may-16/IJIREEICE%2014.pdf>
- [37] STMicroelectronics. (2008). TIP2955, TIP3055-Complementary power transistors. Recuperado el 3 de julio de 2017, a partir de [https://www.electronicaembajadores.com/datos/pdf1/sm/smtr/tip2955\\_3055\\_st.pdf](https://www.electronicaembajadores.com/datos/pdf1/sm/smtr/tip2955_3055_st.pdf)
- [38] Sun, Y. (2016). Advances in Power and Energy Engineering: Proceedings of the 8th Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Suzhou, China, April 15-17, 2016. CRC Press.
- [39] Temel, S., Yağlı, S., & Gören, S. (s/f). Discrete Time Control Systems.

- [40] Vanderbilt. (2017, junio 3). Theory of Transistors and Other Semiconductor Devices. Recuperado el 3 de junio de 2017, a partir de <http://www.vanderbilt.edu/AnS/physics/brau/H182/Theory%20of%20Transistors.pdf>
- [41] Vanderbilt. (s/f). Theory of Transistors and Other Semiconductor Devices. Recuperado el 3 de junio de 2017, a partir de <http://www.vanderbilt.edu/AnS/physics/brau/H182/Theory%20of%20Transistors.pdf>
- [42] Wang, Y.-H., & Ji, X.-F. (2014). Greenhouse Illumination Control System. Recuperado el 1 de julio de 2017, a partir de [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-XTYY201411011.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-XTYY201411011.htm)
- [43] Yamashita, K. (2015). Illumination device and illumination control method. Recuperado a partir de <http://www.google.com/patents/US20150062861>
- [44] Yang, X. Z. (2014). FPGA-Based High Precision Illumination Measurement System: A Prototype Development and Evaluation. *Applied Mechanics and Materials*, 599–601, 944–947. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.599-601.944>
- [45] Yu, F., Zong, M., & Tian, X. (2012). Design and Implementation of White LED Lighting Automatic Control System. En *Electrical, Information Engineering and Mechatronics 2011* (pp. 1829–1836). Springer, London. [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2467-2\\_217](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2467-2_217)

# ANEXOS

## Anexo A: Hoja de datos del Sensor BH1750.

### Ambient Light Sensor IC Series

# Digital 16bit Serial Output Type

# Ambient Light Sensor IC



**BH1750FVI**

No.10046ECT01

#### ●Descriptions

BH1750FVI is an digital Ambient Light Sensor IC for I<sup>2</sup>C bus interface. This IC is the most suitable to obtain the ambient light data for adjusting LCD and Keypad backlight power of Mobile phone. It is possible to detect wide range at High resolution. ( 1 - 65535 lx ).

#### ●Features

- 1) I<sup>2</sup>C bus Interface ( f / s Mode Support )
- 2) Spectral responsibility is approximately human eye response
- 3) Illuminance to Digital Converter
- 4) Wide range and High resolution. ( 1 - 65535 lx )
- 5) Low Current by power down function
- 6) 50Hz / 60Hz Light noise reject-function
- 7) 1.8V Logic input interface
- 8) No need any external parts
- 9) Light source dependency is little. ( ex. Incandescent Lamp. Fluorescent Lamp. Halogen Lamp. White LED. Sun Light )
- 10) It is possible to select 2 type of I<sup>2</sup>C slave-address.
- 11) Adjustable measurement result for influence of optical window  
( It is possible to detect min. 0.11 lx, max. 100000 lx by using this function. )
- 12) Small measurement variation (+/- 20%)
- 13) The influence of infrared is very small.

#### ●Applications

Mobile phone, LCD TV, NOTE PC, Portable game machine, Digital camera, Digital video camera, Car navigation, PDA, LCD display

#### ●Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limits	Units
Supply Voltage	Vmax	4.5	V
Operating Temperature	Topr	-40~85	°C
Storage Temperature	Tstg	-40~100	°C
SDA Sink Current	Imax	7	mA
Power Dissipation	Pd	260*	mW

\* 70mm × 70mm × 1.6mm glass epoxy board. Derating in done at 3.47mW/°C for operating above Ta=25°C.

#### ●Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units
Vcc Voltage	Vcc	2.4	3.0	3.6	V
I <sup>2</sup> C Reference Voltage	VDVI	1.65	-	Vcc	V

## ●Electrical Characteristics ( Vcc = 3.0V, DVI = 3.0V, Ta = 25°C, unless otherwise noted )

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Supply Current	Icc1	—	120	190	μA	Ev = 100 lx ※ <sup>1</sup>
Powerdown Current	Icc2	—	0.01	1.0	μA	No input Light
Peak Wave Length	λp	—	560	—	nm	
Measurement Accuracy	S/A	0.96	1.2	1.44	times	Sensor out / Actual lx EV = 1000 lx ※ <sup>1</sup> , ※ <sup>2</sup>
Dark ( 0 lx ) Sensor out	S0	0	0	3	count	H-Resolution Mode ※ <sup>3</sup>
H-Resolution Mode Resolution	rHR	—	1	—	lx	
L-Resolution Mode Resolution	rLR	—	4	—	lx	
H-Resolution Mode Measurement Time	tHR	—	120	180	ms	
L-Resolution Mode Measurement Time	tLR	—	16	24	ms	
Incandescent / Fluorescent Sensor out ratio	rIF	—	1	—	times	EV = 1000 lx
ADDR Input 'H' Voltage	VAH	0.7 * VCC	—	—	V	
ADDR Input 'L' Voltage	VAL	—	—	0.3 * VCC	V	
DVI Input 'L' Voltage	VDVL	—	—	0.4	V	
SCL, SDA Input 'H' Voltage 1	VIH1	0.7 * DVI	—	—	V	DVI ≥ 1.8V
SCL, SDA Input 'H' Voltage 2	VIH2	1.26	—	—	V	1.65V ≤ DVI < 1.8V
SCL, SDA Input 'L' Voltage 1	VIL1	—	—	0.3 * DVI	V	DVI ≥ 1.8V
SCL, SDA Input 'L' Voltage 2	VIL2	—	—	DVI - 1.26	V	1.65V ≤ DVI < 1.8V
SCL, SDA, ADDR Input 'H' Current	IiH	—	—	10	μA	
SCL, SDA, ADDR Input 'L' Current	IiL	—	—	10	μA	
I <sup>2</sup> C SCL Clock Frequency	fSCL	—	—	400	kHz	
I <sup>2</sup> C Bus Free Time	tBUF	1.3	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C Hold Time ( repeated ) START Condition	tHDSTA	0.6	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C Set up time for a Repeated START Condition	tsUSTA	0.6	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C Set up time for a Repeated STOP Condition	tsUSTD	0.6	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C Data Hold Time	tHDDAT	0	—	0.9	μs	
I <sup>2</sup> C Data Setup Time	tsUDAT	100	—	—	ns	
I <sup>2</sup> C 'L' Period of the SCL Clock	tLOW	1.3	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C 'H' Period of the SCL Clock	tHIGH	0.6	—	—	μs	
I <sup>2</sup> C SDA Output 'L' Voltage	VOL	0	—	0.4	V	IOL = 3 mA

※1 White LED is used as optical source.

※2 Measurement Accuracy typical value is possible to change '1' by "Measurement result adjustment function".

※3 Use H-resolution mode or H-resolution mode2 if dark data ( less than 10 lx ) is need.

● Reference Data

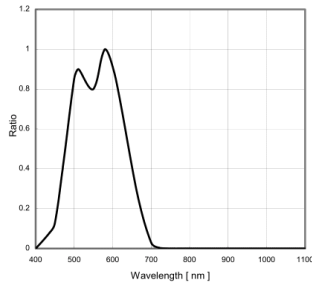


Fig.1 Spectral Response

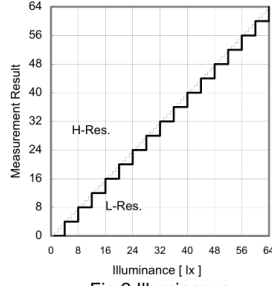


Fig.2 Illuminance - Measurement Result 1

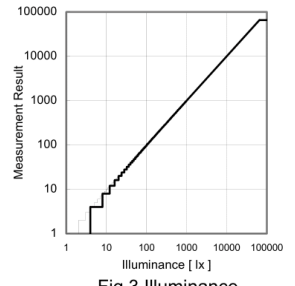


Fig.3 Illuminance - Measurement Result 2

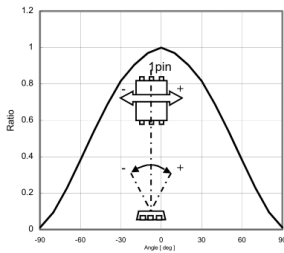


Fig.4 Directional Characteristics 1

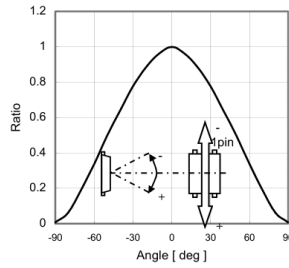


Fig.5 Directional Characteristics 2

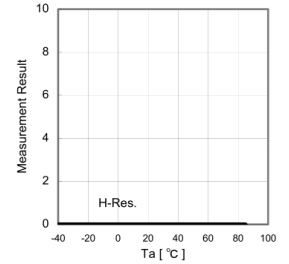


Fig.6 Dark Response

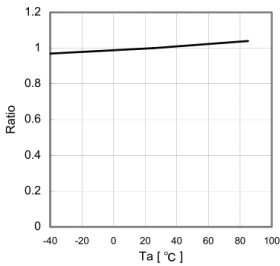


Fig.7 Measurement Accuracy Temperature Dependency

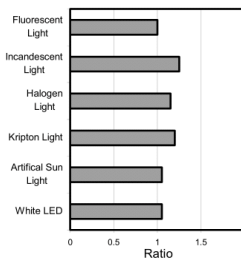


Fig.8 Light Source Dependency (Fluorescent Light is set to '1')

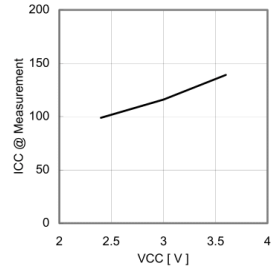


Fig.9 VCC - ICC (During measurement)

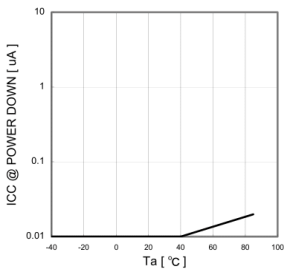


Fig.10 VCC - ICC@0 Lx (POWER DOWN)

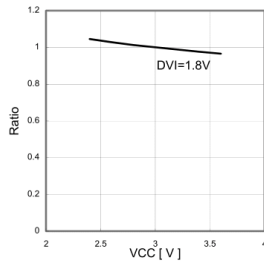


Fig.11 Measurement Result VCC Dependency

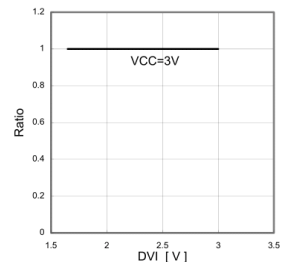
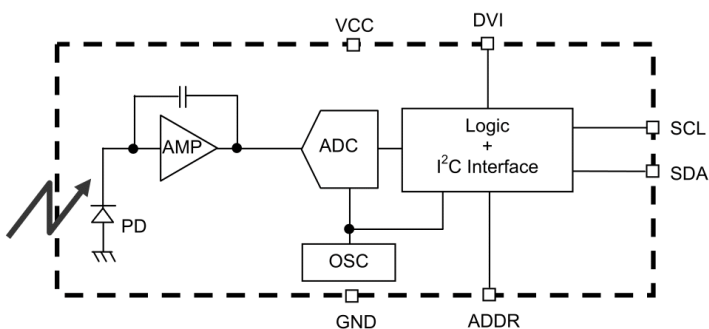


Fig.12 Measurement Result DVI Dependency

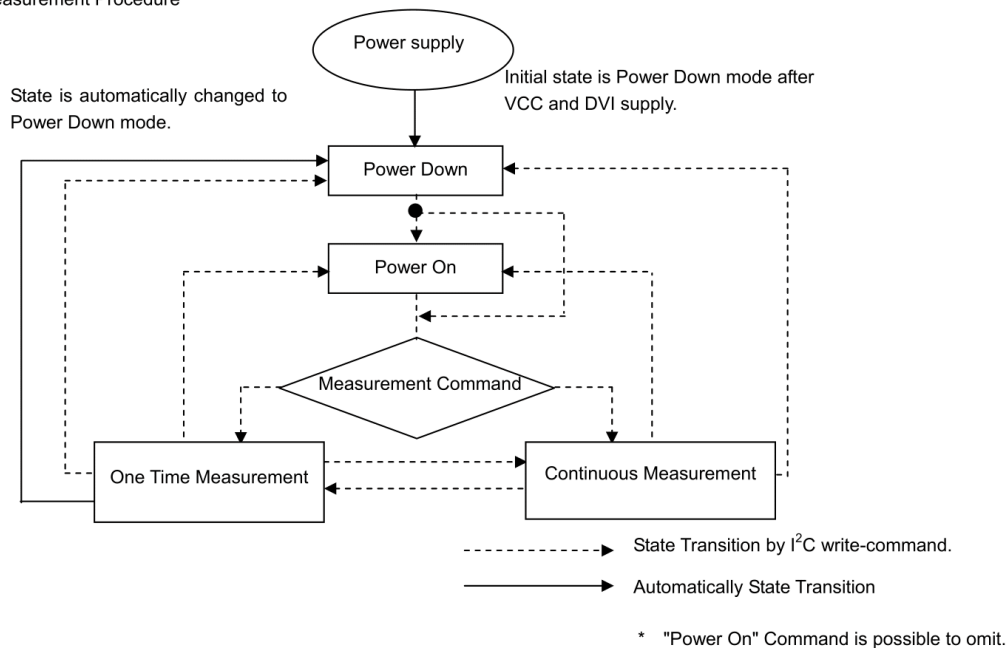
●Block Diagram



●Block Diagram Descriptions

- PD  
Photo diode with approximately human eye response.
- AMP  
Integration-OPAMP for converting from PD current to Voltage.
- ADC  
AD converter for obtainment Digital 16bit data.
- Logic + I<sup>2</sup>C Interface  
Ambient Light Calculation and I<sup>2</sup>C BUS Interface. It is including below register.  
Data Register → This is for registration of Ambient Light Data. Initial Value is "0000\_0000\_0000\_0000".  
Measurement Time Register → This is for registration of measurement time. Initial Value is "0100\_0101".
- OSC  
Internal Oscillator ( typ. 320kHz ). It is CLK for internal logic.

●Measurement Procedure



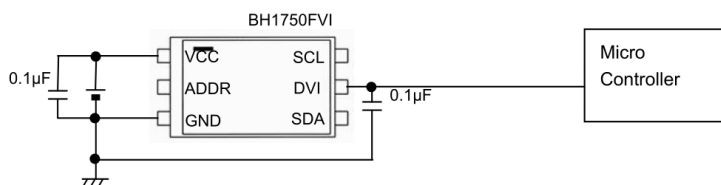
● Application circuit example of DVI terminal

The DVI terminal is an asynchronous reset terminal. Please note that there is a possibility that IC doesn't operate normally if the reset section is not installed after the start-up of Vcc.

(Please refer to the paragraph of "Timing chart for Vcc and DVI power supply sequence" )

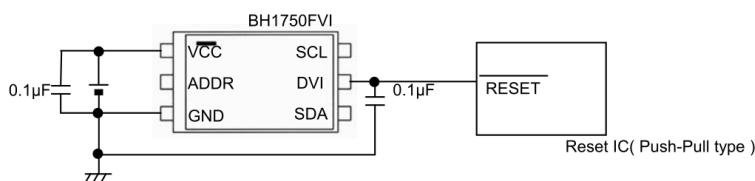
The description concerning SDA and the terminal SCL is omitted in this application circuit example. Please design the application the standard of the I2C bus as it finishes being satisfactory. Moreover, the description concerning the terminal ADDR is omitted. Please refer to the paragraph of "Timing chart for Vcc and DVI power supply sequence" about the terminal ADDR design.

ex 1) The control signal line such as CPU is connected.

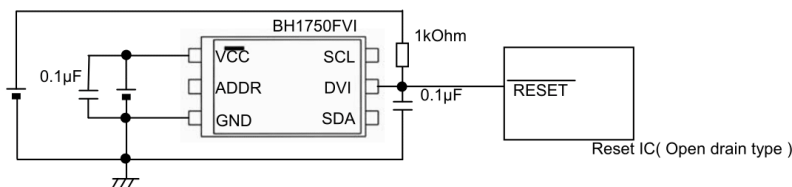


ex 2) Reset IC is used.

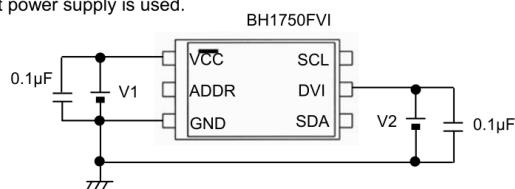
1, For Reset IC of the Push-Pull type



2, For Reset IC of the Open drain output

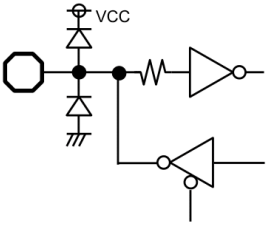
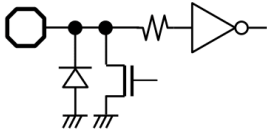
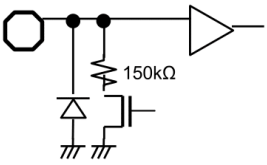
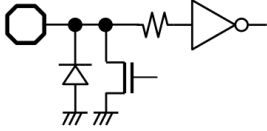


ex 3) A different power supply is used.



※ Power supply of DVI must stand up later than power supply of VCC stand up, because it is necessary to secure reset section ( 1µs or more ).

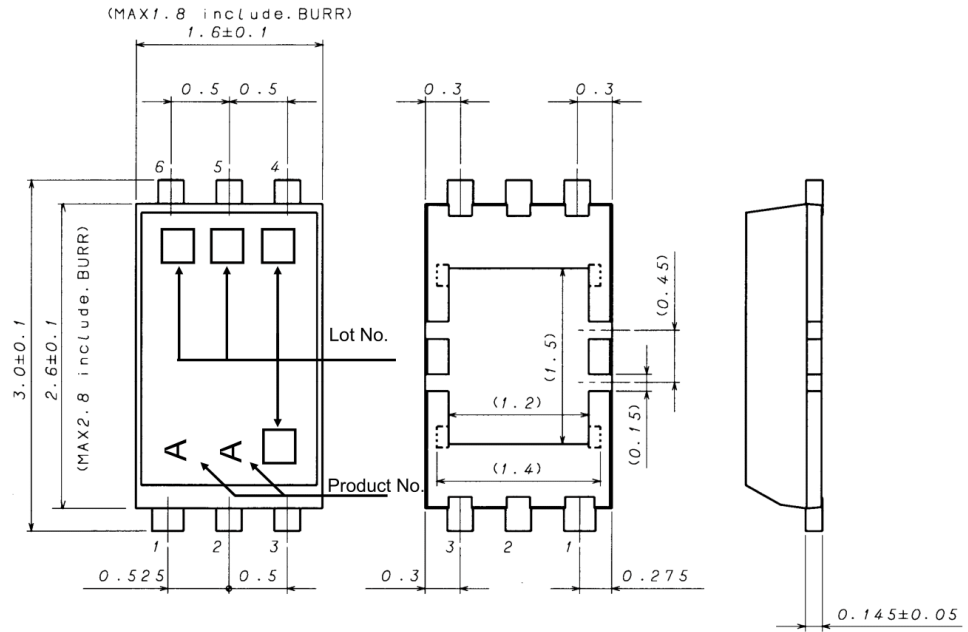
## ● Terminal Description

PIN No.	Terminal Name	Equivalent Circuit	Function
1	VCC		Power Supply Terminal
2	ADDR		I <sup>2</sup> C Slave-address Terminal ADDR = 'H' ( ADDR $\geq$ 0.7V <sub>CC</sub> ) "1011100" ADDR = 'L' ( ADDR $\leq$ 0.3V <sub>CC</sub> ) "0100011" ADDR Terminal is designed as 3 state buffer for internal test. So that please take care of V <sub>CC</sub> and DVI supply procedure. Please see P6.
3	GND		GND Terminal
4	SDA		I <sup>2</sup> C bus Interface SDA Terminal
5	DVI		SDA, SCL Reference Voltage Terminal And DVI Terminal is also asynchronous Reset for internal registers. So that please set to 'L' ( at least 1μs, DVI $\leq$ 0.4V ) after V <sub>CC</sub> is supplied. BH1750FVI is pulled down by 150kΩ while DVI = 'L'.
6	SCL		I <sup>2</sup> C bus Interface SCL Terminal

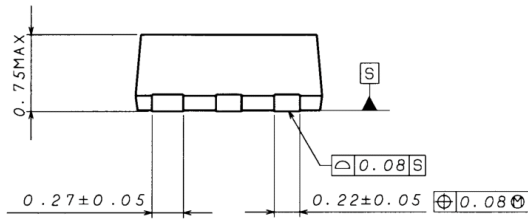
※These values are design-value, not guaranteed.



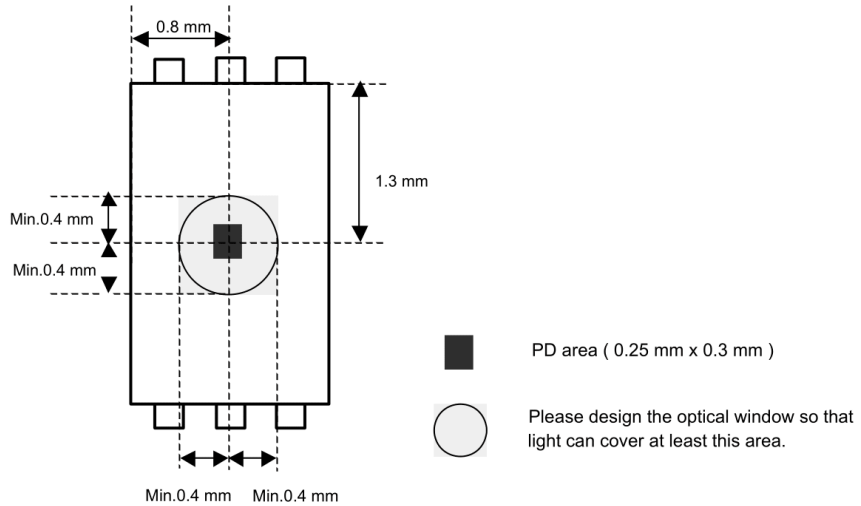
● Package Outlines



WSOF6I ( Unit : mm )



● About an optical design on the device

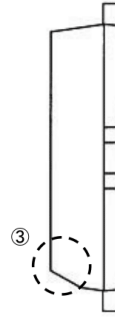
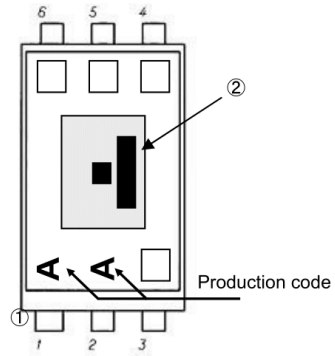


## ●The method of distinguishing 1pin.

There is some method of distinguishing 1pin.

- ① Distinguishing by 1Pin wide-lead
- ② Distinguishing by die pattern
- ③ Distinguishing by taper part of 1-3pin side

② (by die patern) is the easiest method to distinguish by naked eye.



## ●Cautions on use

## 1) Absolute Maximum Ratings

An excess in the absolute maximum ratings, such as supply voltage (  $V_{max}$  ), temperature range of operating conditions (  $T_{opr}$  ), etc., can break down devices, thus making impossible to identify breaking mode such as a short circuit or an open circuit. If any special mode exceeding the absolute maximum ratings is assumed, consideration should be given to take physical safety measures including the use of fuses, etc.

## 2) GND voltage

Make setting of the potential of the GND terminal so that it will be maintained at the minimum in any operating state. Furthermore, check to be sure no terminals are at a potential lower than the GND voltage including an actual electric transient.

## 3) Short circuit between terminals and erroneous mounting

In order to mount ICs on a set PCB, pay thorough attention to the direction and offset of the ICs. Erroneous mounting can break down the ICs. Furthermore, if a short circuit occurs due to foreign matters entering between terminals or between the terminal and the power supply or the GND terminal, the ICs can break down.

## 4) Operation in strong electromagnetic field

Be noted that using ICs in the strong electromagnetic field can malfunction them.

## 5) Inspection with set PCB

On the inspection with the set PCB, if a capacitor is connected to a low-impedance IC terminal, the IC can suffer stress. Therefore, be sure to discharge from the set PCB by each process. Furthermore, in order to mount or dismount the set PCB to/from the jig for the inspection process, be sure to turn OFF the power supply and then mount the set PCB to the jig. After the completion of the inspection, be sure to turn OFF the power supply and then dismount it from the jig. In addition, for protection against static electricity, establish a ground for the assembly process and pay thorough attention to the transportation and the storage of the set PCB.

## 6) Input terminals

In terms of the construction of IC, parasitic elements are inevitably formed in relation to potential. The operation of the parasitic element can cause interference with circuit operation, thus resulting in a malfunction and then breakdown of the input terminal. Therefore, pay thorough attention not to handle the input terminals; such as to apply to the input terminals a voltage lower than the GND respectively, so that any parasitic element will operate. Furthermore, do not apply a voltage to the input terminals when no power supply voltage is applied to the IC. In addition, even if the power supply voltage is applied, apply to the input terminals a voltage lower than the power supply voltage or within the guaranteed value of electrical characteristics.

## 7) Thermal design

Perform thermal design in which there are adequate margins by taking into account the power dissipation (  $P_d$  ) in actual states of use.

## 8) Treatment of package

Dusts or scratch on the photo detector may affect the optical characteristics. Please handle it with care.

## 9) Rush current

When power is first supplied to the CMOS IC, it is possible that the internal logic may be unstable and rush current may flow instantaneously. Therefore, give special consideration to power coupling capacitance, power wiring, width of GND wiring, and routing of connections.

## 10) The exposed central pad on the back side of the package

There is an exposed central pad on the back side of the package. But please do it non connection. ( Don't solder, and don't do electrical connection ) Please mount by Footprint dimensions described in the Jisso Information for WSOF6I. This pad is GND level, therefore there is a possibility that LSI malfunctions and heavy-current is generated.

**Anexo B: Hoja de datos del transistor TIP3055.**

# TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

## Complementary Silicon Power Transistors

Designed for general-purpose switching and amplifier applications.

### Features

- DC Current Gain –  
 $h_{FE} = 20-70 @ I_C$   
 $= 4.0 A_{dc}$
- Collector–Emitter Saturation Voltage –  
 $V_{CE(sat)} = 1.1 V_{dc} (Max) @ I_C$   
 $= 4.0 A_{dc}$
- Excellent Safe Operating Area
- These are Pb–Free Devices\*

### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector – Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	Vdc
Collector – Emitter Voltage	$V_{CER}$	70	Vdc
Collector – Base Voltage	$V_{CB}$	100	Vdc
Emitter – Base Voltage	$V_{EB}$	7.0	Vdc
Collector Current – Continuous	$I_C$	1.5	A <sub>dc</sub>
Base Current	$I_B$	7.0	A <sub>dc</sub>
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	$P_D$	90 0.72	W W/ $^\circ C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	–65 to +150	$^\circ C$

### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction–to–Case	$R_{\theta JC}$	1.39	$^\circ C/W$
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	$R_{\theta JA}$	35.7	$^\circ C/W$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

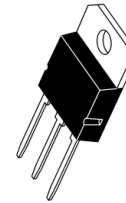
\*For additional information on our Pb–Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



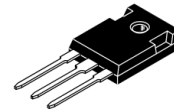
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

**15 AMPERE  
POWER TRANSISTORS  
COMPLEMENTARY SILICON  
60 VOLTS, 90 WATTS**



SOT-93 (TO-218)  
CASE 340D  
STYLE 1



TO-247  
CASE 340L  
STYLE 3

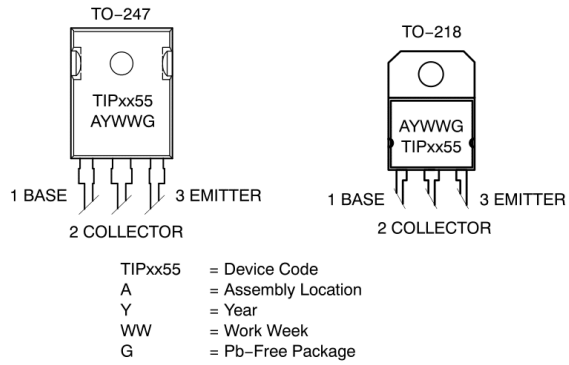
**NOTE: Effective June 2012 this device will be available only in the TO-247 package. Reference FPCN# 16827.**

### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

## TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

### MARKING DIAGRAMS



### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
TIP3055G	SOT-93 (TO-218) (Pb-Free)	30 Units / Rail
TIP2955G	SOT-93 (TO-218) (Pb-Free)	30 Units / Rail
TIP3055G	TO-247 (Pb-Free)	30 Units / Rail
TIP2955G	TO-247 (Pb-Free)	30 Units / Rail

## TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

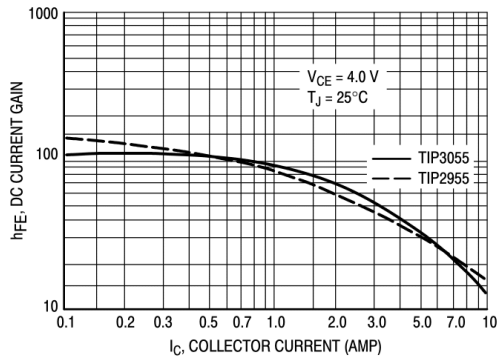
### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>C</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector-Emitter Sustaining Voltage (Note 1) (I <sub>C</sub> = 30 mA, I <sub>B</sub> = 0)	V <sub>CEO(sus)</sub>	60	–	Vdc
Collector Cutoff Current (V <sub>CE</sub> = 70 Vdc, R <sub>BE</sub> = 100 Ohms)	I <sub>CER</sub>	–	1.0	mA
Collector Cutoff Current (V <sub>CE</sub> = 30 Vdc, I <sub>B</sub> = 0)	I <sub>CEO</sub>	–	0.7	mA
Collector Cutoff Current (V <sub>CE</sub> = 100 Vdc, V <sub>BE(off)</sub> = 1.5 Vdc)	I <sub>CEV</sub>	–	5.0	mA
Emitter Cutoff Current (V <sub>BE</sub> = 7.0 Vdc, I <sub>C</sub> = 0)	I <sub>EBO</sub>	–	5.0	mA
<b>ON CHARACTERISTICS (Note 1)</b>				
DC Current Gain (I <sub>C</sub> = 4.0 A, V <sub>CE</sub> = 4.0 Vdc) (I <sub>C</sub> = 10 A, V <sub>CE</sub> = 4.0 Vdc)	h <sub>FE</sub>	20 5.0	70 –	–
Collector-Emitter Saturation Voltage (I <sub>C</sub> = 4.0 A, I <sub>B</sub> = 400 mA) (I <sub>C</sub> = 10 A, I <sub>B</sub> = 3.3 A)	V <sub>CE(sat)</sub>	– –	1.1 3.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage (I <sub>C</sub> = 4.0 A, V <sub>CE</sub> = 4.0 Vdc)	V <sub>BE(on)</sub>	–	1.8	Vdc
<b>SECOND BREAKDOWN</b>				
Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased (V <sub>CE</sub> = 30 Vdc, t = 1.0 s; Nonrepetitive)	I <sub>s/b</sub>	3.0	–	A
<b>DYNAMIC CHARACTERISTICS</b>				
Current Gain — Bandwidth Product (I <sub>C</sub> = 0.5 A, V <sub>CE</sub> = 10 Vdc, f = 1.0 MHz)	f <sub>T</sub>	2.5	–	MHz
Small-Signal Current Gain (V <sub>CE</sub> = 4.0 Vdc, I <sub>C</sub> = 1.0 A, f = 1.0 kHz)	h <sub>fe</sub>	15	–	kHz

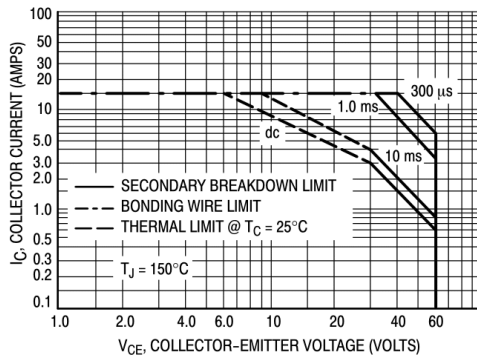
NOTE: For additional design curves, refer to electrical characteristics curves of 2N3055.

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

**TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)**



**Figure 1. DC Current Gain**



**Figure 2. Maximum Rated Forward Bias Safe Operating Area**

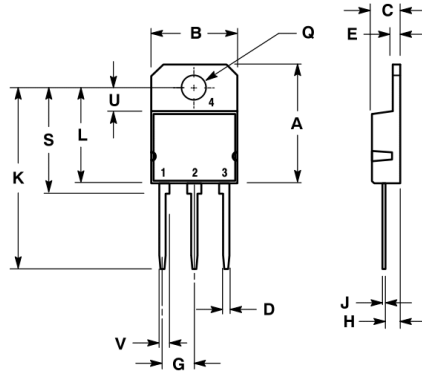
There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate  $I_C - V_{CE}$  limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 2 is based on  $T_C = 25^\circ\text{C}$ ;  $T_{J(pk)}$  is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated for temperature.

# TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

## PACKAGE DIMENSIONS

SOT-93 (TO-218)  
CASE 340D-02  
ISSUE E

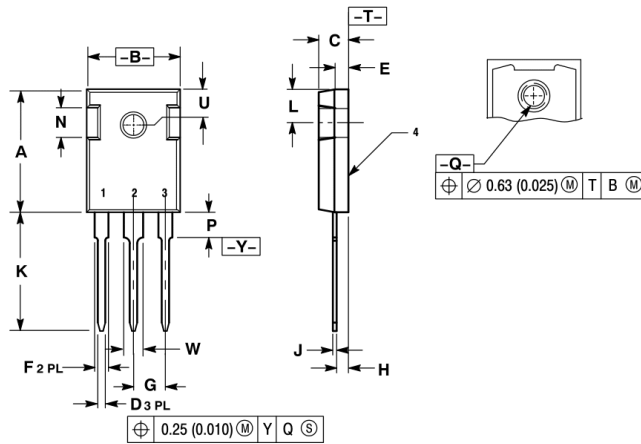


NOTES:  
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	---	20.35	---	0.801
B	14.70	15.20	0.579	0.598
C	4.70	4.90	0.185	0.193
D	1.10	1.30	0.043	0.051
E	1.17	1.37	0.046	0.054
G	5.40	5.55	0.213	0.219
H	2.00	3.00	0.079	0.118
J	0.50	0.78	0.020	0.031
K	31.00 REF		1.220 REF	
L	---	16.20	---	0.638
Q	4.00	4.10	0.158	0.161
S	17.80	18.20	0.701	0.717
U	4.00 REF		0.157 REF	
V	1.75 REF		0.069	

STYLE 1:  
PIN 1. BASE  
2. COLLECTOR  
3. EMITTER  
4. COLLECTOR

TO-247  
CASE 340L-02  
ISSUE F



NOTES:  
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	20.32	21.08	0.800	0.830
B	15.75	16.26	0.620	0.640
C	4.70	5.30	0.185	0.209
D	1.00	1.40	0.040	0.055
E	1.90	2.60	0.075	0.102
F	1.65	2.13	0.065	0.084
G	5.45 BSC		0.215 BSC	
H	1.50	2.49	0.059	0.098
J	0.40	0.80	0.016	0.031
K	19.81	20.83	0.780	0.820
L	5.40	6.20	0.212	0.244
N	4.32	5.49	0.170	0.216
P	---	4.50	---	0.177
Q	3.55	3.65	0.140	0.144
U	6.15 BSC		0.242 BSC	
W	2.87	3.12	0.113	0.123

STYLE 3:  
PIN 1. BASE  
2. COLLECTOR  
3. EMITTER  
4. COLLECTOR



### Anexo C: Tabla Completa

TABLA DEL SISTEMA EN LAZO ABIERTO			
CD	Luxes	Luxes en MatLab	Error
1	74	92.11	19.7%
2	153	167.19	8.5%
3	230	242.25	5.1%
4	303	317.30	4.5%
5	379	392.33	3.4%
6	462	467.34	1.1%
7	531	542.34	2.1%
8	606	617.33	1.8%
9	694	692.30	-0.2%
10	758	767.25	1.2%
11	847	842.19	-0.6%
12	919	917.11	-0.2%
13	987	992.02	0.5%
14	1060	1066.91	0.6%
15	1135	1141.79	0.6%
16	1226	1216.65	-0.8%
17	1286	1291.50	0.4%
18	1383	1366.33	-1.2%
19	1436	1441.14	0.4%
20	1513	1515.94	0.2%
21	1586	1590.73	0.3%
22	1661	1665.50	0.3%
23	1764	1740.25	-1.4%
24	1811	1814.99	0.2%
25	1917	1889.71	-1.4%
26	1960	1964.42	0.2%
27	2065	2039.11	-1.3%
28	2146	2113.79	-1.5%
29	2186	2188.45	0.1%
30	2272	2263.10	-0.4%
31	2342	2337.73	-0.2%
32	2409	2412.34	0.1%
33	2484	2486.94	0.1%
34	2560	2561.53	0.1%
35	2634	2636.10	0.1%
36	2708	2710.65	0.1%
37	2781	2785.19	0.2%

38	2857	2859.72	0.1%
39	2930	2934.23	0.1%
40	3052	3008.72	-1.4%
41	3079	3083.20	0.1%
42	3184	3157.66	-0.8%
43	3227	3232.11	0.2%
44	3306	3306.55	0.0%
45	3375	3380.96	0.2%
46	3451	3455.37	0.1%
47	3524	3529.76	0.2%
48	3655	3604.13	-1.4%
49	3681	3678.49	-0.1%
50	3799	3752.83	-1.2%
51	3821	3827.16	0.2%
52	3939	3901.47	-1.0%
53	3969	3975.77	0.2%
54	4043	4050.05	0.2%
55	4115	4124.32	0.2%
56	4191	4198.57	0.2%
57	4264	4272.81	0.2%
58	4390	4347.03	-1.0%
59	4414	4421.24	0.2%
60	4485	4495.43	0.2%
61	4560	4569.61	0.2%
62	4633	4643.77	0.2%
63	4751	4717.92	-0.7%
64	4780	4792.05	0.3%
65	4854	4866.17	0.3%
66	4982	4940.28	-0.8%
67	5012	5014.36	0.0%
68	5080	5088.44	0.2%
69	5168	5162.50	-0.1%
70	5223	5236.54	0.3%
71	5342	5310.57	-0.6%
72	5368	5384.58	0.3%
73	5474	5458.58	-0.3%
74	5593	5532.57	-1.1%
75	5594	5606.54	0.2%
76	5662	5680.49	0.3%
77	5738	5754.43	0.3%
78	5815	5828.36	0.2%
79	5910	5902.27	-0.1%
80	5957	5976.16	0.3%
81	6070	6050.04	-0.3%
82	6126	6123.91	0.0%

83	6177	6197.76	0.3%
84	6286	6271.60	-0.2%
85	6319	6345.42	0.4%
86	6395	6419.23	0.4%
87	6506	6493.02	-0.2%
88	6543	6566.80	0.4%
89	6613	6640.56	0.4%
90	6757	6714.31	-0.6%
91	6760	6788.05	0.4%
92	6834	6861.77	0.4%
93	6974	6935.47	-0.6%
94	6979	7009.16	0.4%
95	7112	7082.84	-0.4%
96	7176	7156.50	-0.3%
97	7247	7230.15	-0.2%
98	7292	7303.78	0.2%
99	7347	7377.40	0.4%
100	7469	7451.00	-0.2%
101	7549	7524.59	-0.3%
102	7586	7598.16	0.2%
103	7673	7671.72	0.0%
104	7786	7745.27	-0.5%
105	7781	7818.80	0.5%
106	7906	7892.31	-0.2%
107	7999	7965.82	-0.4%
108	8047	8039.30	-0.1%
109	8128	8112.78	-0.2%
110	8159	8186.23	0.3%
111	8217	8259.68	0.5%
112	8296	8333.11	0.4%
113	8434	8406.52	-0.3%
114	8490	8479.92	-0.1%
115	8510	8553.31	0.5%
116	8585	8626.68	0.5%
117	8715	8700.04	-0.2%
118	8752	8773.38	0.2%
119	8880	8846.71	-0.4%
120	8939	8920.03	-0.2%
121	8970	8993.33	0.3%
122	9100	9066.61	-0.4%
123	9096	9139.89	0.5%
124	9167	9213.14	0.5%
125	9278	9286.39	0.1%
126	9339	9359.62	0.2%
127	9413	9432.83	0.2%

128	9534	9506.03	-0.3%
129	9530	9579.22	0.5%
130	9614	9652.39	0.4%
131	9754	9725.55	-0.3%
132	9751	9798.69	0.5%
133	9835	9871.82	0.4%
134	9971	9944.94	-0.3%
135	9971	10018.04	0.5%
136	10093	10091.12	0.0%
137	10186	10164.20	-0.2%
138	10256	10237.26	-0.2%
139	10336	10310.30	-0.2%
140	10409	10383.33	-0.2%
141	10468	10456.35	-0.1%
142	10529	10529.35	0.0%
143	10551	10602.34	0.5%
144	10652	10675.31	0.2%
145	10772	10748.27	-0.2%
146	10768	10821.22	0.5%
147	10840	10894.15	0.5%
148	10975	10967.07	-0.1%
149	11065	11039.97	-0.2%
150	11105	11112.86	0.1%
151	11205	11185.74	-0.2%
152	11214	11258.60	0.4%
153	11353	11331.45	-0.2%
154	11429	11404.29	-0.2%
155	11496	11477.11	-0.2%
156	11575	11549.91	-0.2%
157	11643	11622.70	-0.2%
158	11723	11695.48	-0.2%
159	11710	11768.25	0.5%
160	11790	11841.00	0.4%
161	11935	11913.74	-0.2%
162	11955	11986.46	0.3%
163	12059	12059.17	0.0%
164	12155	12131.86	-0.2%
165	12150	12204.54	0.4%
166	12298	12277.21	-0.2%
167	12369	12349.87	-0.2%
168	12413	12422.51	0.1%
169	12509	12495.13	-0.1%
170	12586	12567.75	-0.1%
171	12659	12640.34	-0.1%
172	12732	12712.93	-0.2%

173	12772	12785.50	0.1%
174	12820	12858.06	0.3%
175	12954	12930.60	-0.2%
176	12992	13003.13	0.1%
177	13100	13075.65	-0.2%
178	13173	13148.15	-0.2%
179	13234	13220.64	-0.1%
180	13318	13293.11	-0.2%
181	13391	13365.58	-0.2%
182	13464	13438.02	-0.2%
183	13515	13510.46	0.0%
184	13577	13582.88	0.0%
185	13634	13655.29	0.2%
186	13754	13727.68	-0.2%
187	13756	13800.06	0.3%
188	13904	13872.42	-0.2%
189	13940	13944.78	0.0%
190	14009	14017.12	0.1%
191	14118	14089.44	-0.2%
192	14194	14161.75	-0.2%
193	14261	14234.05	-0.2%
194	14342	14306.34	-0.2%
195	14342	14378.61	0.3%
196	14500	14450.87	-0.3%
197	14553	14523.11	-0.2%
198	14614	14595.34	-0.1%
199	14670	14667.56	0.0%
200	14704	14739.76	0.2%
201	14757	14811.95	0.4%
202	14897	14884.13	-0.1%
203	14944	14956.29	0.1%
204	15039	15028.44	-0.1%
205	15107	15100.58	0.0%
206	15175	15172.70	0.0%
207	15252	15244.81	0.0%
208	15335	15316.91	-0.1%
209	15381	15388.99	0.1%
210	15475	15461.06	-0.1%
211	15546	15533.12	-0.1%
212	15569	15605.16	0.2%
213	15678	15677.19	0.0%
214	15735	15749.21	0.1%
215	15837	15821.21	-0.1%
216	15865	15893.20	0.2%
217	15948	15965.18	0.1%

218	16050	16037.14	-0.1%
219	16128	16109.09	-0.1%
220	16196	16181.03	-0.1%
221	16261	16252.95	0.0%
222	16329	16324.87	0.0%
223	16380	16396.76	0.1%
224	16480	16468.65	-0.1%
225	16556	16540.52	-0.1%
226	16625	16612.38	-0.1%
227	16665	16684.22	0.1%
228	16766	16756.05	-0.1%
229	16841	16827.87	-0.1%
230	16891	16899.67	0.1%
231	16955	16971.47	0.1%
232	17050	17043.24	0.0%
233	17119	17115.01	0.0%
234	17195	17186.76	0.0%
235	17260	17258.50	0.0%
236	17307	17330.23	0.1%
237	17386	17401.94	0.1%
238	17480	17473.64	0.0%
239	17538	17545.33	0.0%
240	17614	17617.00	0.0%
241	17688	17688.67	0.0%
242	17754	17760.31	0.0%
243	17816	17831.95	0.1%
244	17899	17903.57	0.0%
245	17973	17975.18	0.0%
246	18052	18046.78	0.0%
247	18114	18118.36	0.0%
248	18196	18189.93	0.0%
249	18256	18261.49	0.0%
250	18335	18333.03	0.0%
251	18398	18404.56	0.0%
252	18473	18476.08	0.0%
253	18542	18547.59	0.0%
254	18617	18619.08	0.0%
255	18684	18690.56	0.0%



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **HOLGUIN WEBER, EDUARDO JAVIER** con C.C: # 0919663609 Y **PAREDES RUIZ, KAREN ELINE** con C.C: # 0923812861, autores del Trabajo de Titulación: **ANALIZAR LOS CONTROLADORES CLÁSICOS, UTILIZANDO UNA PLANTA DIDÁCTICA DE ILUMINACIÓN LED, BASADA EN MICROCONTROLADORES** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 14 de Septiembre del 2017

---

Holguín Weber, Eduardo Javier

C.C: 0919663609

---

Paredes Ruiz, Karen Eline

C.C: 0923812861



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Analizar los controladores clásicos, utilizando una planta didáctica de iluminación LED, basada en microcontroladores		
<b>AUTOR(ES)</b>	Holguín Weber, Eduardo Javier Paredes Ruiz Karen Eline		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Vega Ureta, Nino Tello		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	14 de Septiembre del 2017	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	115
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Control de procesos, Teoría de control, Microcontroladores, Diseño electrónico industrial,		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Iluminación led; Didáctica; Controladores PID; I2C; Sensor Fotodiodo; Ahorro de energía.		

#### RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

Utilizando una tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 que cumple la función de adquisición de datos mediante un sensor de luz BH1750 que funciona a través de una comunicación I2C, la misma que proporciona la cantidad de luxes presentes dentro de las áreas de 0 a 65535; y regula la luz de la habitación a los niveles requeridos. Este proyecto tiene como objeto demostrar el diseño y desarrollo de un sistema que analiza los controladores clásicos que son P, I, PD, PI y PID a través de la elaboración una planta didáctica de iluminación led, que estabiliza la intensidad de los niveles de luz en un área específica. Esto se podría aplicar un algo tan simple como el control de la iluminación en un hogar para ahorrar algo de dinero en las facturas, a los procesos complejos que tienen la necesidad de un nivel estable de la luz para la conservación del producto o el cuidado de los seres vivos; el sistema apunta a ser implementada en la universidad para que los alumnos puedan hacer uso de ella con el fin de brindar conocimientos prácticos acerca del uso y diseño de los procesos de control a los futuros estudiantes.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-99-015-0992 +593-98-589-7570	E-mail: eduholg@hotmail.com karen_eline20@hotmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:</b>	<b>Nombre:</b> Mendoza Merchán Eduardo Vicente	
<b>COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Teléfono:</b> +593-98-508-6815	
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:eduardo.mendoza@cu.ucsg.edu.ec">eduardo.mendoza@cu.ucsg.edu.ec</a>	

#### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	