



U.M.S.N.H.



**SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACION PARA UN
PROTOTIPO BASE**

TESIS

**Para obtener el Titulo de
INGENIERO ELECTRICISTA**

Presenta:

P.I.E. Irving Tinoco Pèrez

Asesor de Tesis:

Dr. Gilberto Gonzáles Avalos

Morelia Mich.

Enero del 2007

A mis Padres

Agradecimientos

A dios, por estar conmigo todos los días de mi vida, permitirme lograr todo lo que me propuse y por tener a mis padres y hermanos en todo momento.

A mis padres, por darme la vida y libertad para vivirla, quienes son y siempre serán un modelo a seguir, por su fuerza para superar contratiempos, por sus consejos, paciencia y comprensión. Y que con su apoyo y sacrificio me han enseñado a ser una persona de bien, inculcándome el deseo de tener una profesión, este trabajo es de ustedes.

A mis hermanos, por brindarme su cariño, apoyarme en todo momento y que al compartirme sus conocimientos y habilidades hicieron que el camino recorrido a lo largo de la carrera fuera menos pesado.

A mi novia, que me brindo su amor, apoyo y me impulso para seguir adelante en momentos difíciles.

Mi mas sincero agradecimiento a mi asesor de tesis Dr. Gilberto Gonzáles Avalos, por su colaboración, por compartir sus conocimientos y por dedicarme tiempo en la realización de la tesis.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente me apoyaron en el transcurso de mi carrera, dándome consejos y apoyándome, gracias.

Resumen

SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACION PARA UN PROTOTIPO BASE.

En este trabajo se presenta un desarrollo de una estrategia de control de la iluminación para ambientes interiores.

Se describe también el sistema de instrumentación electrónico, el sensor y el actuador, así como el *software* desarrollado para las distintas etapas del trabajo, detallando el sistema de medición, la obtención de tablas, así como la implementación y sintonización del controlador de iluminación proporcional (P) y proporcional – integral (PI).

En este proyecto de sistema de iluminación se describe el funcionamiento y el *software* de inicialización de las tarjetas de adquisición de datos **Vernier LabPRO®** y **National Instrument™ NI USB-6008/6009**.

Se presentan también los resultados de varias pruebas realizadas, las cuales van desde distancias muy cortas, hasta distancias relativamente largas.

CONTENIDO

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Lista de símbolos y abreviaciones	vii

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Iluminación.	1
1.2. Objetivo.	1
1.3. Estructura de la Tesis.	2

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES SOBRE LA ILUMINACIÓN Y SU CONTROL.	3
2.1. Introducción.	3
2.2. Importancia de la iluminación.	5
2.3. Proyectos de sistemas de control de iluminación.	6
2.3.1. El uso de la Actividad Acústica en Ferroelectricos para el Control de la Intensidad de la Luz.	6
2.3.2. Iluminación en estado sólido.	6
2.3.3. Sistema de iluminación controlado a través de una red de LIN (red local de la interconexión) para el uso automotor.	7
2.4. Medición de iluminación.	7
2.5. Clasificación de lámparas.	8

CAPÍTULO 3

CONTROL DE ILUMINACIÓN EN LAZO ABIERTO.	18
3.1. Introducción.	18
3.2. Necesidad de un control de iluminación.	19
3.3. Esquema propuesto de un control de iluminación.	20
3.3.1. Diseño de la fuente de poder.	20
3.3.1.1. Diagrama esquemático propuesto.	25
3.3.2. Etapa de acondicionamiento.	29

3.4. Descripción del sensor de iluminación LS-BTA.	30
3.5. Instrumentación virtual de un control de iluminación.	31
3.5.1. Descripción de los bloques de Vernier LabPRO®.	31
3.5.2. Descripción de los bloques de NI USB-6008/6009.	33
3.5.3. Funcionamiento del programa.	34
3.6. Diseño del prototipo base.	37
3.7. Control de iluminación en lazo abierto.	37
3.8. Pruebas realizadas.	39

CAPÍTULO 4

CONTROL DE ILUMINACIÓN EN LAZO CERRADO.	50
4.1. Introducción.	50
4.2. Control de iluminación en lazo cerrado.	51
4.2.1. Instrumentación virtual de la fórmula (Control on - off).	53
4.2.2. Prueba de la instrumentación virtual de la fórmula (Control on - off).	55
4.3. Control de iluminación usando un Control Proporcional (P).	56
4.3.1. Instrumentación virtual del Control Proporcional (P).	56
4.3.2. Funcionamiento del Control Proporcional (P).	57
4.3.3. Pruebas realizadas del Control Proporcional (P).	59
4.4. Control de iluminación usando un Control Proporcional – Integral (PI).	60
4.4.1. Instrumentación virtual del Control Proporcional – Integral (PI).	61
4.4.2. Funcionamiento del Control Proporcional – Integral (PI).	62
4.4.3. Pruebas realizadas del Control Proporcional – Integral (PI).	64

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.	66
5.1. Conclusiones.	66
5.2. Observaciones.	67

Referencias	69
--------------------	----

Lista de símbolos y abreviaciones

nm	nanometros.
LED	Diodo electroluminoso.
lm	Lúmenes.
w	Watts.
lm/w	Eficacia.
CRI	Índice de la representación del color.
LIN	Red local de interconexión.
I	Intensidad Luminosa.
cd	Candelas.
Φ	Flujo luminoso.
m ²	Metros cuadrados.
E	Iluminación.
lx	Luxes.
B	Brillo fotométrico.
Stilbs	Luminancia.
HID	Alta intensidad de descarga.
VSAP	Vapor de sodio de alta presión.
VSBP	Vapor de sodio de baja presión.
SCLA	Sistema de control de lazo abierto.
v	Volts.
A	Amperes.
CD	Corriente directa.
CA	Corriente alterna.
TP	Transformador de poder.
PR	Puente rectificador.
V _{omaxr}	Voltaje máximo de salida del regulador.
I _{pkmaxr}	Corriente pico máxima del regulador.
°C	Grados centígrados.
C	Condensador.
R	Resistencia.
D	Diodos.
SW	Swich.

GND	Tierra física.
ROC	Rectificadores de onda completa.
V_{CD}	Voltaje de directa.
I_{CD}	Corriente de directa.
V_m	Voltaje máximo o voltaje pico de la onda senoidal.
V_{RMS}	Voltaje de CA (Senoidal) en unidades RMS.
$I_p = I_m$	Corriente máxima del transformador.
π	Pi.
θ_c	Angulo de conducción.
r	Factor de rizado.
f	Frecuencia de trabajo del TP.
Hz	Hertz.
μ	micros.
F	Farads.
Ω	ohms.
A_v	Ganancia de voltaje.
V_i	Voltaje de entrada.
V_o	Voltaje de salida.
AO	Amplificador operacional.
K	Kilo.
cm	centímetros.
e	Error.
P	Control Proporcional.
I	Control Integral.
PI	Control Proporcional – Integral.
PD	Control Proporcional – Derivativo.
PID	Control Proporcional – Integral – Derivativo.
k_p	Ganancia proporcional.
Ki	Ganancia integral.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Iluminación.

En la actualidad las necesidades de conservación y ahorro de energía tanto a escala mundial como nacional, han tomado una importancia de primer orden, por lo que una cantidad considerable de empresas han desarrollado y mejorado los sistemas de servicio que necesitan las instalaciones ya sea en el ámbito comercial, educacional, hospitalario, etc. para satisfacer las necesidades de ahorro de energía.

Los componentes eficientes ahorran energía utilizando tecnologías avanzadas para reducir el consumo eléctrico, sin embargo, la eficiencia de iluminación no termina con instalación de estos componentes. La iluminación tiene como característica de diseño proporcionar el nivel de luxes requeridos dependiendo de la actividad desarrollada, tomando en cuenta que los controladores de iluminación ofrecen un ahorro de energía mayor o igual que las lámparas eficientes.

Dentro de los sistemas de control actuales se puede encontrar desde dispositivos integrales de tamaño reducido hasta sistemas que utilizan computadoras centrales que cuenten con funciones de manejo de energía (control de equipos), de este tipo de controladores surge la idea de mejorar los niveles de iluminación integrales manejados desde una computadora, con ayuda de tarjetas de adquisición de datos.

1.2 Objetivo.

El objetivo general de este proyecto de tesis, es diseñar un controlador que permita obtener un desempeño eficaz y aceptablemente preciso de la iluminación. Es decir, que dado un valor de iluminación, el controlador sea capaz de dar una respuesta satisfactoria, dentro de un error aceptable.

El objetivo se enmarca en un proyecto más general, que es obtener el nivel adecuado de iluminación en diferentes áreas de trabajo, manejando estos niveles de iluminación desde una terminal ó PC. Es importante resaltar que este proyecto de tesis es un prototipo para manejar los niveles de iluminación.

1.3 Estructura de la Tesis.

La tesis se encuentra dividida en cinco capítulos y referencias bibliográficas, pretendiendo que se encuentre en este trabajo una referencia cómoda y fácil del tema para futuros proyectos de iluminación.

El capítulo 2, “Antecedentes sobre la iluminación y su control”, en este capítulo se habla de cómo se mejoraron las fuentes de iluminación a través del tiempo, así como algunos sistemas de iluminación que se tenían y otros desarrollados actualmente para controlar la iluminación. Trata también de cómo se mide la iluminación y la clasificación de lámparas.

El capítulo 3, “Control de iluminación en lazo abierto”, en este capítulo se determina los dispositivos a usar para un sistema de iluminación en lazo abierto, así también se menciona la configuración y funcionamiento de las tarjetas de adquisición de datos, iniciando por la descripción de bloques que los conforman. Se trata del diseño del prototipo base y como se realiza el control de lazo abierto, con sus respectivas pruebas.

El capítulo 4, “Control de iluminación en lazo cerrado”, en este capítulo se trata de cómo los sistemas de control de lazo cerrado son los mejores y más precisos en comparación con los sistemas de lazo abierto. Como influyen los controladores P y PI para la obtención de la respuesta deseada, abordando el tema principal de esta tesis, que es el control de iluminación para un prototipo base.

El capítulo 5, “Conclusiones y Observaciones”, se describen los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de esta tesis, así como las ideas que se pretenden incorporar a este proyecto en el futuro.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES SOBRE LA ILUMINACIÓN Y SU CONTROL

2.1 Introducción.

La iluminación ha ido evolucionando desde el descubrimiento del fuego en la prehistoria, ya que se comprendió que no sólo servía para lograr calor y cocer alimentos, sino que con el lograban iluminar sus cavernas, por lo cual el fuego fue el primer medio de iluminación utilizado por el hombre desde hace muchos miles de años.

Desde su descubrimiento se mejoraron las fuentes que proporcionaban la iluminación conforme el tiempo avanzó y con ello los métodos para su obtención, ya que se utilizaba madera, carbón de leña y grasas animales como combustibles.

Pero no fue hasta que en Egipto y Creta fueron perfeccionándose, utilizando estopa o paja envuelta alrededor del trozo de madera, bañadas en cera de abejas y resina, ya en los siglos XIII y XIV, se inventó la vela.

En la Edad Media aparecen las linternas con pabilos internos y para la iluminación de lugares grandes se usan los hacheros y los candelabros de hierro forjado, en este tiempo también surgieron los primeros ejemplos de autómatas que funcionaban con luz solar en la antigua Etiopía. En el año 1500 A.C., *Amenhotep*, hermano de *Hapu*, construyó una estatua de *Memon*, el rey de Etiopía, que emitía sonidos cuando la iluminan los rayos del sol al amanecer [2]

En el año 1795, en Inglaterra, *Guillermo Murdock* construyó la primera instalación de luz a gas, para iluminar una fábrica donde tuvo la necesidad de controlar la iluminación para la seguridad de la fábrica, desde ese momento comenzaron a difundirse las primeras lámparas de gas.

En los Estados Unidos de América, en el año 1859 aparecen las primeras lámparas de querosén, pero en el Siglo XIX, se comienzan a realizar experimentos de iluminación eléctrica pero ya se tenía una idea clara de controlar la iluminación y los primeros experimentos fueron realizados por el químico británico sir *Humphry Davy*,

quien fabricó arcos eléctricos y provocó la incandescencia de un fino hilo de platino en el aire al hacer pasar una corriente a través de él.

En 1844, el francés *Foucault* basado en los descubrimientos de *Davy* fabricó una lámpara de arco, que producía luz por descarga eléctrica entre dos electrodos de carbón, sistema que se utilizó para el alumbrado de las calles.

El 27 de octubre de 1879, el inventor estadounidense *Thomas Alva Edison* logró que su lámpara de filamento de carbono permaneciera encendida en Nueva York durante dos días y dio inicio a la era de la iluminación moderna.

En 1906, los estadounidenses *Just* y *Haran* construyeron una lámpara eléctrica que reemplazaba el carbono por tungsteno, haciendo que al año siguiente los filamentos de carbono fueron sustituidos por filamentos de volframio, y en 1913 se desarrollaron las lámparas incandescentes rellenas de gas llegando a la bombilla eléctrica perfeccionada técnicamente, que en la actualidad tiene una duración de unas 2000 horas [1].

La lámpara fluorescente se fabricó en 1938. Los tubos de vidrio se llenan de un gas especial, por ejemplo neón, o sustancias fluorescentes, que asociadas con descargas eléctricas o con ciertas sustancias, se convierten en luminosidad.

Durante el período de recuperación que siguió a la segunda Guerra Mundial, lo importante era la productividad. La lámpara fluorescente tubular se convirtió en la fuente de luz dominante porque con ella era posible iluminar fábricas y oficinas sin sombras y comparativamente sin calor, aprovechando al máximo el espacio disponible.

En la década de 70's aumentó el precio del petróleo y los costos energéticos se convirtieron en una parte importante de los costos de explotación. El mercado demandaba lámparas fluorescentes que produjeran la misma cantidad de luz con un menor consumo eléctrico, por lo que se perfeccionó el diseño de la lámpara de varias maneras.

A medida que se aproximaba el fin de siglo, aumenta la conciencia de los problemas ambientales globales. Factores como el mejor aprovechamiento de las materias primas escasas, el reciclaje o la seguridad en el vertido de los productos y la continua preocupación por el consumo de energía (sobre todo de la generada a partir de combustibles fósiles) influyen en el diseño de las lámparas actuales [8].

2.2 Importancia de la iluminación.

Desde que surgió la inquietud del hombre prehistórico para controlar el fuego para llevarlo a sus cuevas hasta nuestros días por controlar dichas fuentes de iluminación para que proporcione un nivel de luz satisfactorio, se llegó a pensar que la teoría de control conduciría a un método de diseño de sistemas de control definido, sencillo y que pudiera ser mecanizado, pero hasta el momento algunos sistemas de control de iluminación no han sido sencillos de diseñar ya que en todo sistema de control, el objetivo es mantener la variable a controlar dentro de ciertos límites permisibles por el sistema.

Con el afán de controlar la iluminación también se desarrolló una ciencia de estudio para su control llamada “**Domótica**”. La Domótica está definida como la integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto o establecimiento, tomando en cuenta otras aplicaciones para el confort y seguridad de las personas que lo habitan o trabajan, utilizando todos los recursos posibles [3].

Algunas de las aplicaciones contenidas dentro de La Domótica son:

- Control y Optimización de Energía Eléctrica.
- Sistema de Alimentación Interrumpida.
- Control de Iluminación.
- Sistema de Protección Contra Incendios.
- Sistema de Control de Aire Acondicionado.
- Sistema Integrado de Seguridad.
- Sistema de Gestión y Control de Habitaciones
- Sistema de Control de Parking.
- Sistemas de Comunicaciones.
- Sistemas de Distribución de TV
- Megafonía.

- Sistema de Control de Salas de Reuniones y Salas Multifuncionales.
- Cableado Estructurado del Edificio.

2.3 Proyectos de Sistemas de Control de iluminación.

Debido a la influencia de la tecnología sobre los sistemas actuales de iluminación se plasma un sinnúmero de aplicaciones luminotécnicas representándose en los elementos electrónicos del control de la iluminación.

Las aplicaciones luminotécnicas que se han desarrollado para los sistemas de control de iluminación están enfocadas a diferentes propósitos, tomando en cuenta la intensidad de iluminación. A continuación se muestran algunos de los proyectos donde se controla la cantidad de iluminación para diferentes aplicaciones.

2.3.1 El uso de la Actividad Acústica en Ferroelectricos para el Control de la Intensidad de la Luz.

El método usado para este proyecto es difracción ligera de *Bragg* en la onda hipersónica en cristal girotrópica. En este caso la intensidad difractada de luz es dependiente de la frecuencia del sonido por la Ley de los cuadrados. Cambiando la intensidad de luz por la modificación de la frecuencia del generador en la cual se excita la onda acústica. Electrónicamente se incrementa o decrementa la intensidad de la luz, fluyendo con alta exactitud porque la frecuencia de vibraciones electromagnéticas se determina con precisión. Usando previamente la calibración estándar, es posible medir y cambiar la intensidad de luz a un valor necesario.

En este proyecto la actividad acústica y la dispersión ligera de *Bragg* en ondas hipersónicas se han utilizado para modelar en la tecnología ofrecida midiendo de la intensidad de luz láser con la longitud de onda 632.8 nm en el cristal ferroelectrico [4].

2.3.2 Iluminación en Estado Sólido.

Los ahorros de la energía y los costos de mantenimiento reducidos son las características principales que llamaron la atención de la comunidad interesada en la iluminación general. Probando la utilidad de los LED's (diodos electroluminosos) para desplazar fuentes de luz tradicionales como lámparas incandescentes y fluorescentes

en usos generales, estos tienen que demostrar sus capacidades en usos generales de la iluminación.

Los LED amarillos con eficiencias luminosas mayores de 100 lm/w, no pueden competir con las lámparas fluorescentes en usos de oficina porque la eficiencia luminosa no es el único parámetro que hace una lámpara fluorescente conveniente para este uso. En uso residencial de la iluminación, el costo, el color, y la vida ligera son los parámetros más importantes.

Actualmente, la comunidad interesada en desarrollar fuentes de luz de estado sólido está apuntando alta eficiencia luminosa, mayor de 200 lm/W, y el alto índice de la representación de color (CRI), mayor de 90, para el alto-brillo LED's blancos. Estos parámetros pueden no hacer del LED fuentes de luz fácilmente aceptables para los usos generales de la iluminación, por lo tanto, la meta es introducir los parámetros relevantes de la iluminación a esos interesados en desarrollar fuentes de luz de estado sólido y ayudarles a entender las necesidades de la comunidad de la iluminación [5].

2.3.3 Sistema de iluminación para un autobús controlado a través de una red LIN (red local de la interconexión).

El proyecto propone un sistema de iluminación inteligente para el ambiente interior del autobús usando LED's (diodos electroluminosos) controlados a través de una red de comunicaciones automotora. El sistema consiste en un control central principal y esclavos que encienden módulos, usando una red de LIN para realizar la comunicación. Los esclavos son los módulos independientes de la iluminación que proveen un grupo de los LED y miden el nivel de la iluminación del ambiente. El amo fija los parámetros de la iluminación, el contador de tiempo y el encendido, él establece la comunicación con otros sistemas del autobús a través de la entrada del área del regulador [6].

2.4 Medición de iluminación.

Con el fin de determinar una iluminación apropiada se toman en cuenta las siguientes características que determinan la visibilidad relativa de un objeto, como lo son:

- **Intensidad Luminosa (I).** Se define como la intensidad de luz en una dirección determinada expresada en Candelas (cd) y dando información al flujo luminoso en su origen, frecuentemente se realizan medidas de potencia en candelas en distintos ángulos de la lámpara, aunque la realización de las mediciones son trabajos de laboratorio.
- **Flujo Luminoso (Φ).** Esta definido como la luz emitida por unidad de tiempo expresado en Lumen (lm). El lumen es el flujo de luz que incide en una superficie de 1 m² de una fuente de luz.
- **Iluminación (E).** Se define como la densidad de flujo luminoso sobre una superficie expresado en luxes (lx). Las lecturas de lx sirven para indicar el nivel de iluminación en un punto determinado o sobre una superficie.
- **Luminancia o Brillo Fotométrico (B).** Es la intensidad luminosa de una superficie en una dirección dada por unidad de área proyectada de la misma. Todos los objetos visuales tienen brillo, es lo que el ojo ve. Las luminancias altas como de las fuentes de luz se expresan en Stilbs.
- **Reflexión.** Es cuando la superficie devuelve un haz de luz se dice que es reflejado. La reflexión es de diferentes tipos, especular, difusa, difusa dirigida y mixta.
- **Transmisión.** Se define como los rayos de luz que pasan a través de materiales translucidos.
- **Polarización.** Se dice polarización cuando las ondas de luz vibran solamente en un plano.

Las características mencionadas son necesarias para desarrollar y determinar la cantidad y tipo de iluminación que proporcione el máximo rendimiento visual y cumpla con la exigencia de seguridad y comodidad [7].

2.5 Clasificación de lámparas.

En la actualidad el progreso tecnológico ha permitido producir diferentes tipos de lámparas, los principales factores que han influido en su desarrollo han sido fuerzas externas al mercado, por ejemplo, la producción de las lámparas de filamentos que se utilizaban a principios de siglo sólo fue posible cuando se dispuso de buenas bombas de vacío y del proceso de trefilado del tungsteno.

Fue la generación y distribución de electricidad a gran escala, para satisfacer la demanda de iluminación eléctrica, la que determinó el crecimiento del mercado. La iluminación eléctrica ofrecía muchas ventajas en comparación con la luz generada por gas o aceite, como la estabilidad de la luz, el escaso mantenimiento, la mayor seguridad que supone no tener un filamento desnudo y la ausencia de subproductos locales de combustión.

En la figura 2.1 se muestra como se clasifican los diferentes tipos de lámparas.

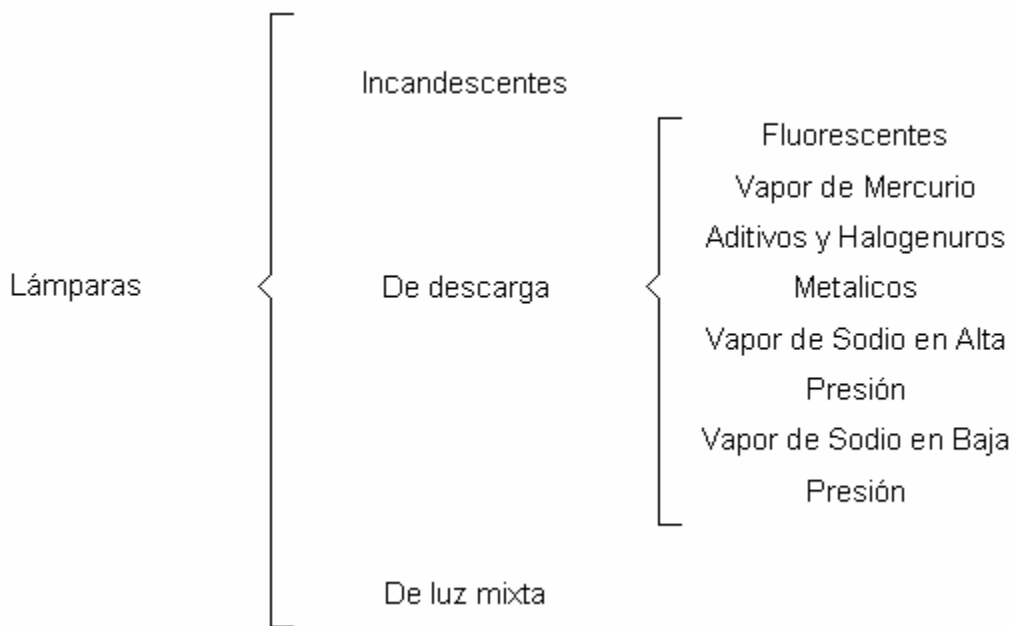


Figura 2.1 Clasificación de fuentes luminosas

Lámparas Incandescentes.

A través de un filamento metálico de cierta resistencia eléctrica (frecuentemente tungsteno, alojado al vacío dentro de una ampolla de vidrio en la atmósfera de un gas inerte), se hace pasar corriente eléctrica lo que produce el filamento llegue a un punto de incandescencia emitiendo así radiaciones luminosas y caloríficas, ver figura 2.2. Las radiaciones electromagnéticas emitidas por una lámpara incandescente son de 90 a 95 % infrarrojas y 10 % a 15 % visibles lo que las convierte en buenas fuentes de calor [7].

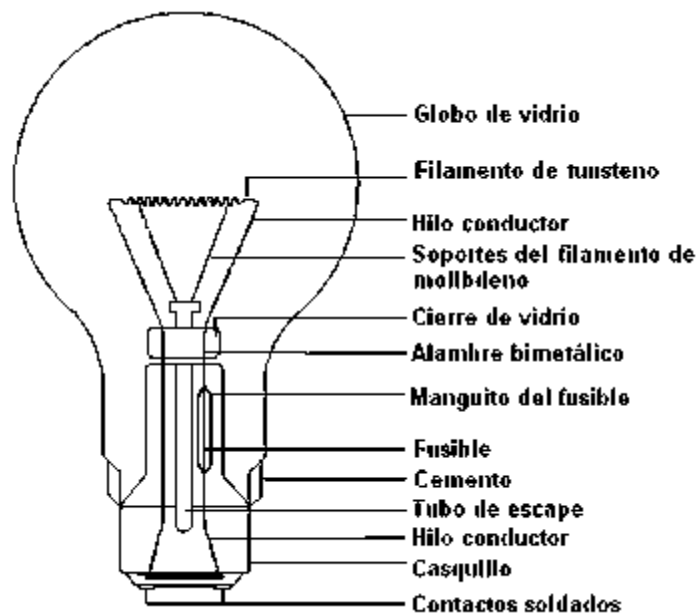


Figura 2.2 Diagrama esquemático, Lámpara incandescente.

En la tabla 2.1 se muestran los datos técnicos de lámparas incandescentes a diferentes potencias de operación.

Tabla 2.1 Datos técnicos de Lámparas Incandescentes.

Potencia Watts	Flujo Luminoso lumenes	Eficacia lm/W	Vida horas	Depreciación luminosa
10	78	7.8	1000	90.0 %
15	120	8.0	1000	90.0 %
25	250	10.0	1000	90.0 %
40	415	10.4	1000	87.5 %
50	440	8.8	1000	90.0 %
60	675	11.3	1000	93.0 %
75	1090	14.5	1000	92.0 %
100	1410	14.1	1000	90.0 %
150	2200	14.7	1000	89.5 %
200	3250	16.3	1000	90.0 %
300	5290	17.6	1000	89.0 %
500	10100	20.2	1000	89.0 %
1000	19500	19.5	1000	82.0%

Lámpara de Descarga Eléctrica.

La descarga eléctrica es una técnica utilizada en las modernas fuentes de luz para el comercio y la industria, debido a que la producción de luz es más eficaz. Algunos tipos de lámparas combinan la descarga eléctrica con la fotoluminiscencia.

Una corriente eléctrica que pasa a través de un gas excita los átomos y moléculas para emitir radiación con un espectro característico de los elementos presentes. Normalmente se utilizan dos metales, sodio y mercurio, porque sus características dan lugar a radiaciones útiles en el espectro visible. Ninguno de estos metales emite un espectro continuo y las lámparas de descarga tienen espectros selectivos. La reproducción del color nunca será idéntica a la obtenida con espectros continuos. Las lámparas han demostrado ser una fuente de luz práctica para la iluminación de edificios o exteriores [8].

Dentro de este tipo de lámparas de descarga eléctrica se encuentran las siguientes:

a) Lámparas Fluorescentes.

Produce luz debido al fenómeno de fluorescencia por medio de descarga eléctrica de un tubo cuya longitud es mucho mayor que su diámetro y en una atmósfera de vapor de mercurio de baja presión (ver figura 2.3). La radiación del mercurio en estas condiciones no es visible, por lo que se utilizan polvos fluorescentes, los cuales tienen la propiedad de cambiar la longitud de onda ultravioleta a longitudes del espectro visibles [7].

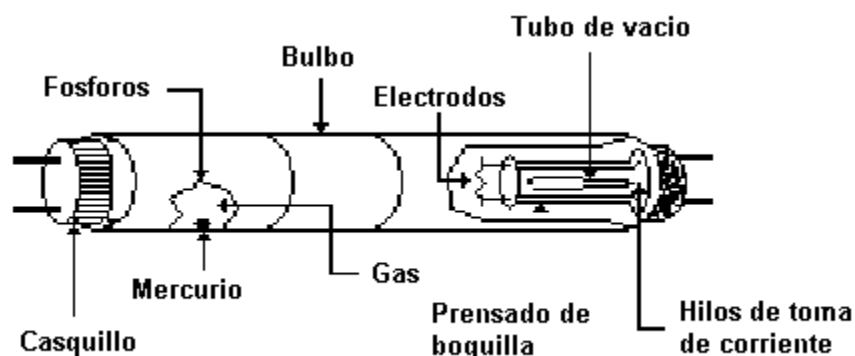


Figura 2.3 Diagrama esquemático de la lámpara fluorescente.

Una lámpara de luz de día hace resaltar los colores azules, disminuyendo los rojos; una lámpara blanco calido resalta los colores rojos mientras que los azules los desplaza hacia el gris; lámpara de luz fría es de aplicación intermedia reproduciendo los colores naranja, verde y amarillo opacando un poco los colores azules.

De acuerdo a la tecnología de arranque de lámparas fluorescentes se dividen en tres grupos:

- Arranque instantáneo. También reciben el nombre de SLIME LINE y se identifican por su casquillo de un sólo contacto en cada extremo. Este tipo de lámpara no requiere calentamiento previo ni arrancador pero requieren un elevado voltaje de arranque.
- Arranque rápido. Las lámparas encienden en forma suave y con ligero retardo de hasta dos segundos. El balastro no suministra tanto voltaje de arranque pero hace que los cátodos de las lámparas estén siempre calientes.
- Arranque de precalentamiento. Estas lámparas requieren además de balastro, un arrancador, las lámparas para poder operar deben pasar una corriente mayor a la de operación.

b) Lámparas de Vapor de Mercurio.

Estas lámparas pertenecen a la familia de lámparas de Alta Intensidad de Descarga (HID), ver figura 2.4. La luz se produce al paso de una corriente eléctrica a través de un gas de mercurio gasificado de baja presión. Este tipo de lámparas llevan un tubo de descarga gaseosa que está alojado en el interior de un bulbo protector, este tubo de descarga opera a presiones y densidades de corriente de magnitud suficiente alta para producir la radiación visible [8].

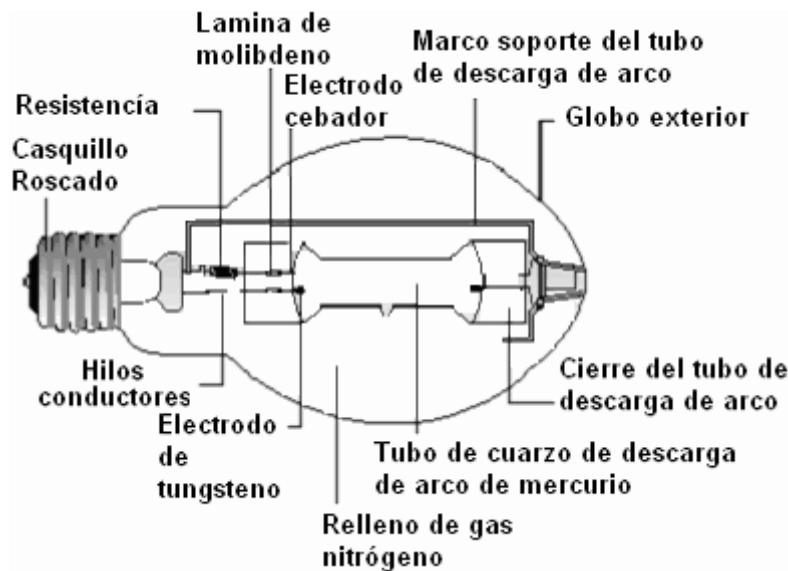


Figura 2.4 Componentes de una lámpara de Mercurio

La cantidad de mercurio puro que contiene una lámpara se gradúa con exactitud y también incluye Argón para facilitar la descarga eléctrica, en la tabla 2.2 se muestran los datos técnicos de la lámpara a diferentes potencias de operación.

Tabla 2.2 Datos técnicos de lámparas de Mercurio.

Potencia Watts	Fujo luminoso Lumenes	Eficacia lum/W	Vida Horas	Depreciación Luminosa
100	4200	42.0	24000	82 %
175	8600	49.1	24000	89 %
250	12100	48.4	24000	84 %
400	22500	56.3	24000	86 %
1000	63000	63.0	24000	77 %

c) Lámparas de Aditivos y Halogenuros Metálicos.

Es otra lámpara de alta intensidad descarga se caracteriza por su luz blanca y ser la de mejor rendimiento de color con alta eficacia lumínica. Cuando se requiere de iluminación de gran calidad en la reproducción de colores y en locales con altura superior a tres metros esta fuente de iluminación es la adecuada. Sus aplicaciones son versátiles empleándose en interiores y exteriores, y especialmente recomendables para centros comerciales, clubes deportivos, alumbrado decorativo y espectacular [7].

A este tipo de lámparas (ver figura 2.5), se le conoce como Halogenuros Metálicos, permitiendo reducir necesidades de potencia eléctrica así como también las dimensiones de diseño. Esta característica permite emplearlas en aplicaciones de baja altura (entre 3 y 5 metros) dentro de oficinas, auditorios centros comerciales, tiendas de ropa, joyerías, etc.

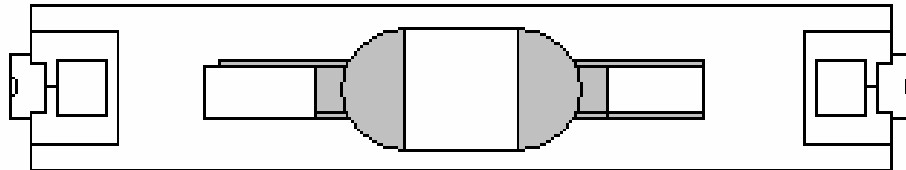


Figura 2.5 Lámpara de Aditivos metálicos.

En la tabla 2.3 se muestran los datos técnicos de este tipo de lámpara tomando en cuenta los diferentes valores de potencia.

Tabla 2.3 Datos técnicos de lámparas de Aditivos Metálicos.

Potencia Watts	Flujo luminoso Lumenes	Eficacia lum/W	Vida Horas	Depreciación Luminosa	Observaciones
70	5200	74.3	10000	80.0 %	Blanco Calido
70	5500	78.6	10000	80.0 %	Blanco Frio
150	12000	80.0	10000	80.0 %	Blanco Calido
150	12500	83.3	10000	80.0 %	Blanco Frio
250	19000	76.0	10000	80.0 %	Luz de dia
400	33000	82.5	10000	80.0 %	Luz de dia
175	13000	74.3	10000	77.0 %	AM
250	20500	82.0	10000	83.0 %	AM
400	36000	90.0	20000	90.0 %	AM
1000	110000	110.0	12000	80.0 %	AM
1500	155000	103.3	3000	92.0 %	AM

d) Lámparas de Vapor de Sodio en Alta Presión (VSAP).

Tienen el mismo principio que las HID pero varía en sus componentes y geometría como se muestra en la figura 2.6. Sus componentes son sodio, mercurio y gas noble que pueden ser argón o xenón; el principal productor de la luz es el sodio a diferencia de las lámparas de mercurio se encuentra en alta presión, el mercurio funciona como corrector de color y controlador de voltaje, el xenón se utiliza para iniciar la descarga [8].

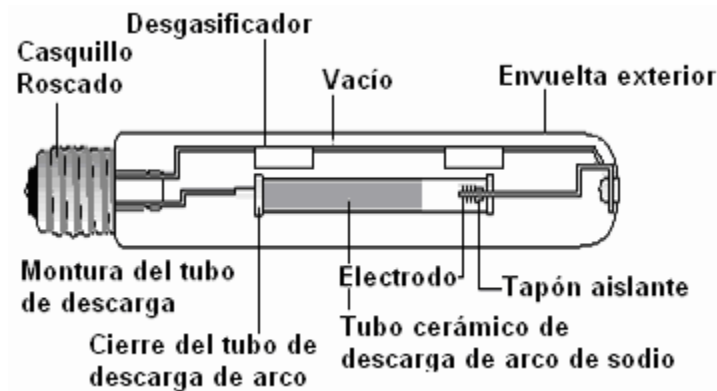


Figura 2.6 Lámpara de Sodio de Alta Presión.

La tabla 2.4 muestra los diferentes valores de potencia a los que trabaja las lámparas de sodio de alta presión.

Tabla 2.4 Datos técnicos de Lámparas de vapor de sodio de alta presión.

Potencia Watts	Fujo luminoso Lumenes	Eficacia lum/W	Vida Horas	Depreciación Luminosa
35	2250	64.3	24000	90 %
50	4000	80.0	24000	90 %
70	6300	90.0	24000	90 %
100	9500	95.0	24000	90 %
150	16000	106.7	24000	90 %
250	28500	114.0	24000	90 %
400	50000	125.0	24000	90 %
1000	140000	140.0	24000	90 %

e) Lámparas de Vapor de Sodio en Baja Presión (VSBP).

El principio de operación es el mismo sólo que el gas se encuentra a baja presión y su geometría es de mayores dimensiones llegando hasta un metro. Es de mayor eficacia como se muestra en la tabla 2.5, pero también de menor rendimiento tan sólo del 20 %, su brillantez es monocromática en diferentes tonos de amarillo y es mayormente utilizada para iluminación de seguridad ya que ofrece mayor eficacia luminosa.

Tabla 2.5 Datos técnicos de Lámparas de vapor de sodio de baja presión.

Potencia Watts	Fujo luminoso Lumenes	Eficacia lum/W	Vida Horas	Depreciación Luminosa
18	1800	100.0	10000	100.0 %
35	4800	137.1	24000	100.0 %
55	8000	145.5	24000	100.0 %
90	13500	150.0	24000	100.0 %
135	22500	166.7	24000	100.0 %
180	33000	183.3	24000	100.0 %

Lámparas de Luz Mixta.

Las lámparas de luz mixta fueron creadas para corregir la luz azulada de las lámparas de mercurio y para esto se adiciona dentro del mismo bulbo un filamento incandescente. Estas lámparas se pueden conectar a la red eléctrica sin necesidad de emplear un balastro, puesto que el filamento además de actuar como fuente luminosa, también actúa como resistencia limitante de la corriente eléctrica. Normalmente opera a 220 V, ver figura 2.7 [7].

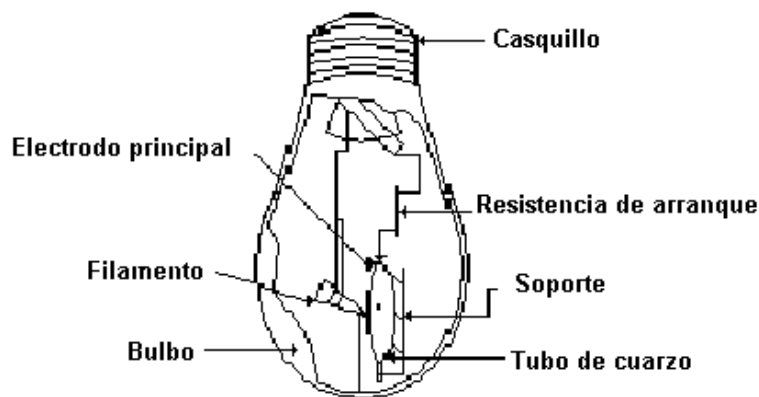


Figura 2.7 Diagrama esquemático, Lámpara Luz Mixta

Este tipo de lámpara sustituye a lámparas incandescentes de altas potencias como se muestra en los datos técnicos de la tabla 2.6, su índice de reproducción de colores es de los más altos, pero su eficacia lumínica es baja, redundando en altos consumos de energía.

Tabla 2.6 Datos técnicos de Lámparas de Luz Mixtas

Potencia Watts	Fujo luminoso Lumenes	Eficacia lum/W	Vida Horas	Depreciación Luminosa	Observaciones
160	3000	18.8	6000	57.0 %	Luz Mixta
250	5500	22.0	6000	65.0 %	Luz Mixta
500	12500	25.0	6000	74.0 %	Luz Mixta
500	10950	21.9	2000	96.0 %	Iodo Cuarzo
1000	21400	21.4	2000	96.0 %	Iodo Cuarzo
1500	35800	23.9	2000	96.0 %	Iodo Cuarzo

Para determinar la iluminación apropiada de una zona se deben tomar en cuenta los siguientes pasos:

- Analizar la tarea visual a desarrollar.
- Seleccionar el equipo de alumbrado que proporcione la luz requerida de la manera más satisfactoria.

En el Capítulo 3 se tomarán en cuenta las características mencionadas en este capítulo para llevar a cabo la realización de un sistema de iluminación en Lazo Abierto.

CAPÍTULO 3

CONTROL DE ILUMINACIÓN EN LAZO ABIERTO

3.1 Introducción.

En la actualidad existen numerosos sistemas de control, los cuales están formados por subsistemas y procesos que se unen con el fin de controlar las salidas de los sistemas, una de las muchas aplicaciones que tienen los sistemas de control es la **iluminación**, que es el caso de estudio para este proyecto.

En los sistemas de Control de Lazo Abierto (SCLA) la salida no afecta la acción de control, esto es que en el SCLA no se monitorea la salida con respecto de la entrada.

Por ejemplo al encender la iluminación en el área de trabajo no se indica cual es el voltaje o la corriente con el cual se está trabajando, cual es la cantidad de iluminación en luxes que se esta proporcionando para el área de trabajo, etc., y sólo se limita a una condición operativa fija.

Durante los últimos años se han hecho estudios de modelos sobre la intensidad de iluminación y niveles de iluminación sobre las áreas de dificultad, desafortunadamente estos modelos son complejos y difíciles para la mayoría de los diseñadores, ya que para ajustar la iluminación en razón de la visibilidad es necesario aumentar la intensidad de la luz para ver detalles de poco contraste [9].

En este capítulo, se determina cual es el tipo de lámpara que se usará y que cumpla con las condiciones de trabajo establecidos para un prototipo base, ya establecida la lámpara a utilizar se diseñará y armará un sistema de control de iluminación para dicha lámpara utilizando las siguientes tarjetas de adquisición de datos:

- **Vernier LabPRO®**
- **National Instrument™ NI USB-6008/6009**

3.2 Necesidad de un control de iluminación.

Debido a que la iluminación debe ser multifuncional al igual que muchos ambientes, como en salas de usos múltiples donde la iluminación puede cambiar y con ella la impresión que produce haciendo que las dimensiones se transformen creando un ambiente agradable, simplemente ajustando la intensidad de acuerdo con sus actividades como por ejemplo: ajuste para las asambleas generales, para las presentaciones audiovisuales, para los eventos especiales, etc., por lo tanto un nivel de iluminación correcto es un factor importante para el ámbito laboral.

Debido a las razones anteriormente dadas se ha tenido la necesidad de diseñar un sistema de control que proporcione los niveles correctos de iluminación requerido para un área de trabajo en específico basándose en la **Norma Oficial Mexicana (NOM-025-STPS-1993: Relativa a las condiciones de iluminación que deben de tener los centros de trabajo)**, además de tener ahorro de energía eléctrica, también se puede acompañar de una larga duración de sus instalaciones y equipos y por lo tanto reducción de costos.

“Más luz con menos calor generado por los equipos de iluminación, también prolongación de la vida útil y mayor rentabilidad”

Con estos sistemas de control se puede cambiar de una iluminación a otra o crear diferentes niveles de iluminación en cualquier espacio, controlando las zonas a iluminar, cambiando el nivel de iluminación de una actividad a la siguiente con tiempos de desvanecimiento variables: desde instantáneo hasta tiempos largos manejándolos desde una terminal remota.

En la actualidad los sistemas de iluminación son de gran importancia, tanto como en el hogar como en la industria, ya que una buena iluminación hace un buen espacio de vivienda o un buen lugar de trabajo.

3.3 Esquema propuesto de un control de iluminación.

En el esquema propuesto para el SCLA como primer paso se determina el tipo de lámpara a utilizar tomando en cuenta las siguientes características:

- Lámparas bajo voltaje ± 12 v.
- Operación con corriente directa (CD).
- Corriente máxima de trabajo 1 ampere (A) (si no se encuentra un tipo de lámpara que trabaje a esa corriente, se selecciona la inmediata superior)

Tomando en cuenta las características antes mencionadas se seleccionaron los siguientes tipos de lámparas:

- **BAB Lámpara Reflectora de Halógeno MR16 20w/12v.**
- **JC Lámpara Halógena Minican G4 20w/12v.**

Debido a que las lámparas seleccionadas trabajan con un máximo de 1.6 amperes se tiene la necesidad de diseñar una Fuente de Poder que suministre de 0 – 3 A para que alimente el sistema analógico.

3.3.1 Diseño de la Fuente de Poder.

Existen diferentes tipos de fuentes las cuales pueden ser reguladas, fijas y ajustables.

- Fuentes reguladas, son aquellas en que la operación interna es la que se encarga de realizar las autocorrecciones necesarias para que a la salida entregue el voltaje establecido.
- Fuentes fijas, como su nombre la indica el voltaje de salida no varía con respecto al voltaje preestablecido por el diseñador.
- Fuentes ajustables las cuales tienen la característica que el usuario puede ajustar el voltaje de salida al nivel que necesite en cada momento.

Para el diseño de la fuente se consideró un margen de voltaje, por lo tanto el voltaje mínimo que se maneja para esta fuente es de 0 v, hasta un máximo de 12 v,

puesto que estos rangos de voltaje son los requeridos para la fuente de poder que se esta diseñando.

En el diseño para una fuente de alimentación regulada y para su correcto funcionamiento consta de 4 etapas de funcionamiento básicas las cuales se muestran en el diagrama de bloques mostrado en la figura 3.1.



Figura 3.1 Etapas de funcionamiento básicas.

Estas cuatro etapas de funcionamiento se describen a continuación:

a) Primera etapa.

Transformador de Poder

El transformador de poder (TP) permite obtener un voltaje menor al producido por la fuente de energía eléctrica de corriente alterna (CA).

En este caso el TP requerido para la realización de la fuente es un **Transformador Elevador de Corriente**, debido a que en la selección de las lámparas se determinó usar lámparas con una corriente mayor de 1 A y un voltaje de salida de 12 v.

Los datos eléctricos del transformador elevador de corriente se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos eléctricos del TP

Transformador		
ISB® CAT B12-50		
Capacidad	50 Watts (w)	
Entrada	127 v ~	±10%
Salida	12 v ~	

b) Segunda etapa.**Rectificación.**

La segunda etapa de funcionamiento queda constituida por la rectificación, en este caso la rectificación es a base de cuatro diodos con un arreglo de **Tipo Puente** donde la señal inducida al secundario será inducida nuevamente a través del arreglo tipo puente pero ahora a una señal más parecida a la de CD, como se muestra en la figura 3.2.

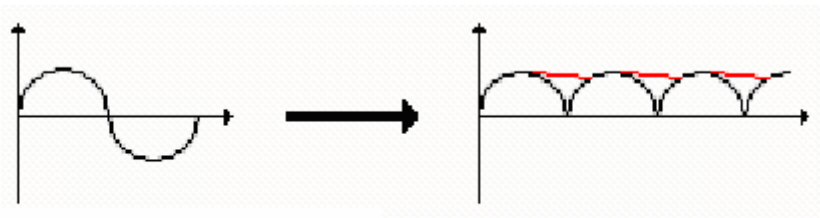
**Señal inducida por el secundario****Señal inducida por el rectificador**

Figura 3.2 Proceso de la señal inducida al pasar por la primera y la segunda etapa.

Debido a que la señal todavía es pulsante, la corriente proporcionada no es la requerida para alimentar un dispositivo eléctrico.

c) Tercera Etapa.**Filtro.**

Esta etapa, tiene como función, reducir a un mínimo la componente de rizo y elevar el valor promedio de tensión directa (como se muestra en la figura 3.3), para así poder alimentar el dispositivo eléctrico.

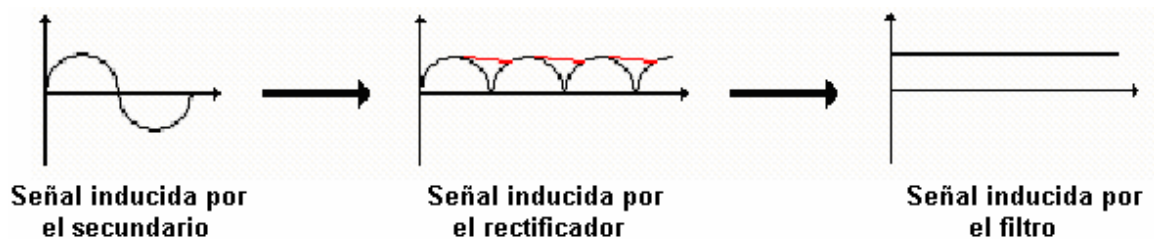
**Señal inducida por el secundario****Señal inducida por el rectificador****Señal inducida por el filtro**

Figura 3.3 Proceso de la obtención de la señal de CD.

d) Cuarta Etapa.

Regulador De Voltaje.

Los reguladores de voltaje más populares son los reguladores de CD de tres terminales, y existen gran variedad de esta familia de reguladores como: fijos, ajustables, negativos y positivos los cuales se muestran en la figura 3.4.

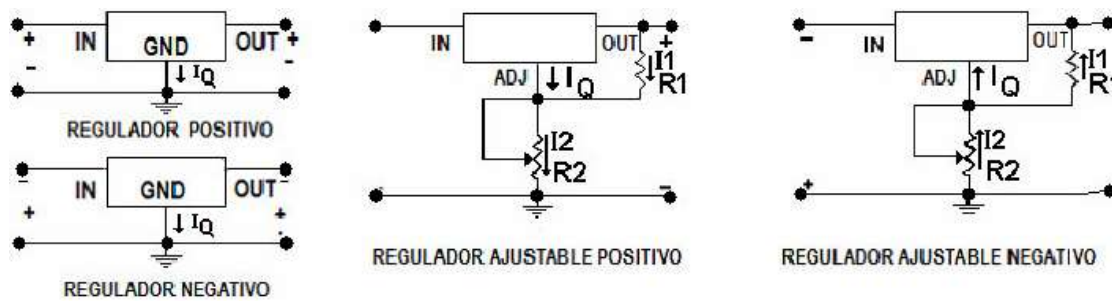


Figura 3.4 Reguladores ajustables.

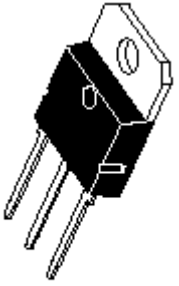
El regulador seleccionado para la fuente de alimentación es el regulador positivo LM7812 y las características eléctricas del regulador de voltaje se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Características del regulador de voltaje.

	Regulador LM7812	
	Voltaje de salida	$V_{omax} = 12.5 \text{ v} \pm 4\%$
	Corriente pico	$I_{pkmaxr} = 2.2 \text{ A}$
	Temperatura de operación	$-40 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Debido a que se necesita una fuente de alimentación que nos proporcione más de 1A se tendrá que añadir uno o varios transistores de potencia para que nos proporcione la corriente deseada ya que la función del transistor de potencia consiste en soportar la alta corriente que necesitamos, en este caso se seleccionó el transistor de potencia TIP2955 con las siguientes características mostradas en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Características del transistor de potencia.

 CASE 340D-02	Transistor de Potencia	
	Material	Silicón
	Voltaje máximo	$V_{\max} = 60 \text{ v}$
	Corriente máxima	$I_{\max} = 15 \text{ A}$
	Potencia máxima	$P_{\max} = 90 \text{ w}$

El regulador LM7812 tiene diferentes aplicaciones dependiendo de las necesidades de diseño, una de ellas es el Regulador de Voltaje de Alta Corriente mostrada en la figura 3.5, al utilizar esta aplicación típica del regulador LM7812 proporcionará más corriente a su salida y estará regulada.

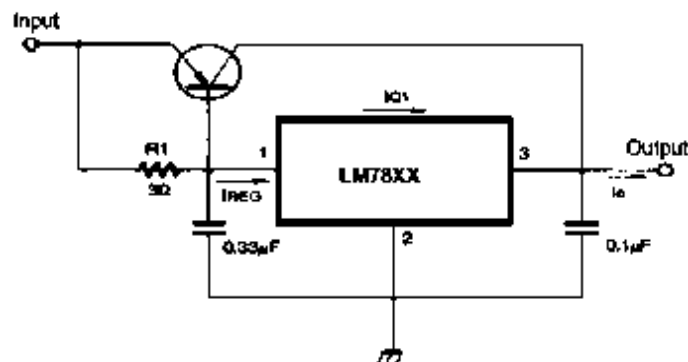


Figura 3.5 Regulador de voltaje de alta corriente.

Con el fin de mejorar la respuesta a los posibles transitorios, evitar auto oscilaciones y mejorar el filtrado, se utilizan unos condensadores electrolíticos de baja capacidad a la entrada y salida del regulador.

En resumen la tensión suministrada por el secundario del transformador TP, se rectifica mediante el arreglo puente rectificador (PR), y posteriormente se filtrara mediante el condensador electrolítico C_1 el cual se cargarán a la tensión de pico para así obtener una señal de CD.

3.3.1.1 Diagrama esquemático propuesto.

En la figura 3.6 se muestra el diagrama esquemático propuesto para la fuente de alimentación y así pasar al siguiente paso que es la realización de los cálculos para los componentes antes mencionados.

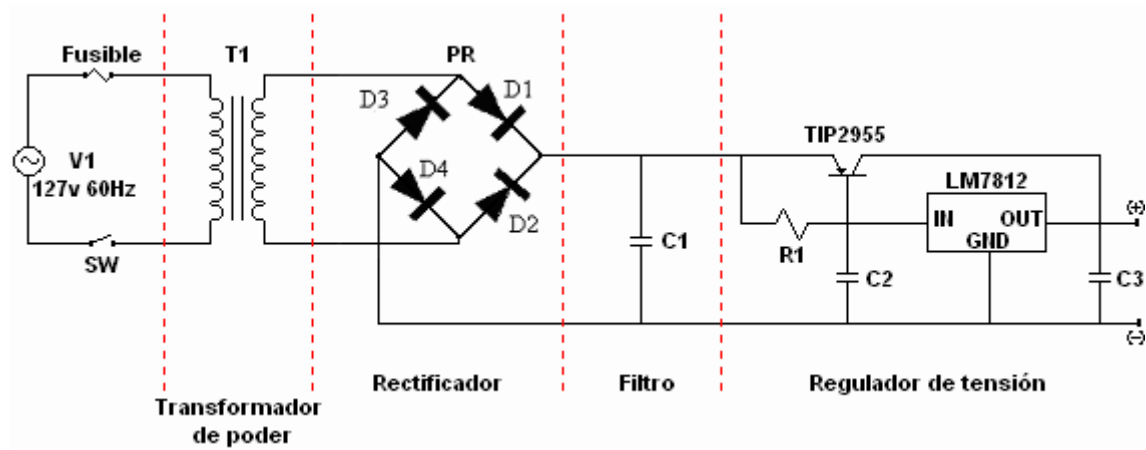


Figura 3.6 Diagrama esquemático de la fuente de alimentación.

Para los Rectificadores de Onda Completa (ROC), se tienen las siguientes ecuaciones para determinar voltaje de CD (V_{CD}) y la corriente de CD (I_{CD}).

$$V_{CD} = \left(\frac{2}{\pi} \right) V_m \quad (3.1)$$

$$V_{CD} = \left(\frac{(2)(\sqrt{2})(V_{RMS})}{\pi} \right) \quad (3.2)$$

$$V_{CD} = 0.636V_m \quad (3.3)$$

$$V_{CD} = 0.9V_{RMS} \quad (3.4)$$

donde

V_m Voltaje máximo o voltaje pico de la onda senoidal.

V_{RMS} Voltaje de C.A. (Senoidal) en unidades RMS.

Datos tomados del TP

$$P = 50W$$

$$V_{RMS} = 13.2V$$

$$I_m = 5A$$

por lo tanto sustituyendo los valores obtenidos del TP en la ecuación (3.4) para obtener

$$V_{CD}.$$

$$V_{CD} = 0.9V_{RMS}$$

$$V_{CD} = (0.9)(13.2) = 11.88V$$

ya determinados los parámetros de voltaje de la **Primera Etapa**, se calculara el ángulo de conducción de los diodos por la corriente pico $I_p = I_m$ por medio de la ecuación (3.5).

$$\theta_c = \theta_2 - \theta_1 \quad (3.5)$$

donde

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{1 - (r)(\sqrt{3})}{1 + (r)(\sqrt{3})} \right) \quad (3.6)$$

$$\theta_2 = 180 - \tan^{-1} \left(\frac{\pi}{(2)(r)(\sqrt{3})(1 - (r)(\sqrt{3}))} \right) \quad (3.7)$$

y donde

r Factor de rizado (debe ser menor al 5 %).

Al hacer la sustitución en las ecuaciones (3.6) y (3.7), se toma el valor de r máximo permisible.

$$r = 5\% = 0.05$$

$$\theta_1 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{1 - (0.05)(\sqrt{3})}{1 + (0.05)(\sqrt{3})} \right) = \text{sen}^{-1} \left(\frac{0.9133}{1.0866} \right) = \text{sen}^{-1}(0.8405) = 63.55^\circ$$

para θ_2

$$\theta_2 = 180 - \text{tg}^{-1} \left(\frac{\pi}{(2)(0.05)(\sqrt{3})(1 - (0.05)(\sqrt{3}))} \right) = 180 - \text{tg}^{-1} \left(\frac{\pi}{0.1582} \right) = 180 - \text{tg}^{-1}(19.8577)$$

$$\theta_2 = 180 - 96.7968 = 83.2032^\circ$$

sustituyendo los valores de θ_1 y θ_2 en la ecuación (3.5)

$$\theta_c = 83.2032 - 63.55 = 19.6532$$

sustituyendo θ_c en la ecuación (3.8)

$$I_m = I_{CD} \left(\frac{180^\circ}{\theta_c} \right) \quad (3.8)$$

y despejando I_{CD}

$$I_{CD} = \frac{5}{\left(\frac{180^\circ}{19.6532} \right)} = 0.5459A$$

se sustituye I_{CD} en la ecuación (3.9), para determinar el valor de C_1

$$C_1 = \frac{I_{CD}}{(4)(\sqrt{3})(f)(r)(V_m)} \quad (3.9)$$

donde

$$f = 60Hz \quad \text{Frecuencia de trabajo del TP.}$$

Al suponer un valor de rizado igual al 5% se calculara el valor de V_m por medio de la ecuación (3.10), y que debe proporcionar a la salida del rectificador con la acción del filtro.

$$V_m = V_{CD} (1 + (r)(\sqrt{3})) \quad (3.10)$$

sustituyendo la ecuación (3.10) en la ecuación (3.9) se tiene

$$C_1 = \frac{I_{CD}}{(4)(\sqrt{3})(f)(r)(V_{CD}(1 + (r)(\sqrt{3})))} \quad (3.11)$$

sustituyendo valores en la ecuación (3.11)

$$C_1 = \frac{0.5459}{(4)(\sqrt{3})(60)(0.05)((11.88)(1 + (0.05)(\sqrt{3})))} = \frac{0.5459}{(4)(\sqrt{3})(60)(0.05)(12.9088)}$$

$$C_1 = \frac{0.5459}{268.3043} = 2034.629 \mu F$$

como el valor obtenido no es un valor comercial se selecciona el inmediato que es $2200 \mu F$ pero se tomo en cuenta el doble del valor obtenido que es $4700 \mu F$ garantizando así que el rizado se mucho menor del 5%, haciendo que la **Tercera Etapa** tenga un filtrado mas confiable.

Para la **Cuarta Etapa** los valores de los capacitores C_2 , C_3 y la resistencia R_1 toman un valor pequeño para que la salida del regulador de voltaje sea siempre 12 v y la corriente de salida sea de 0 - 3 A, dependiendo de carga.

En este caso los valores son los siguientes:

$$C_2 = 0.33 \mu F$$

$$C_3 = 0.1 \mu F$$

$$R_1 = 3 \Omega$$

3.3.2 Etapa de Acondicionamiento.

El propósito de la etapa de acondicionamiento es elevar el voltaje que proporciona la tarjeta de adquisición de datos **NI USB-6008/6009** a un valor de operación adecuado para el funcionamiento de la lámpara. Las características requeridas para la etapa de acondicionamiento se muestran en el diagrama mostrado en la figura 3.7.

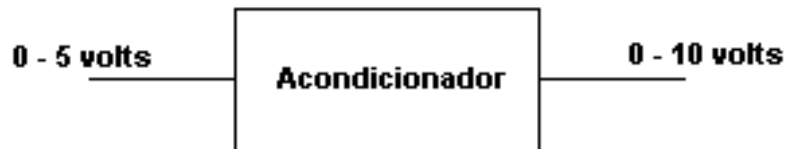


Figura 3.7 Diagrama de acondicionamiento.

Para la etapa de acondicionamiento se diseñó un convertidor de CD a CD que se muestra en la figura 3.8, ya que las lámparas seleccionadas funcionan con un voltaje de 0 - 12 v, debido a esto se propuso que el convertidor tenga una ganancia en lazo cerrado (A_v) de 2.

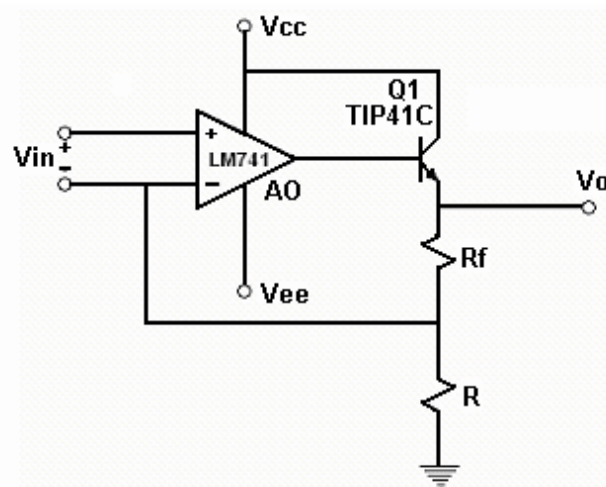


Figura 3.8 Esquema propuesto del convertidor de voltaje a voltaje.

Para la obtención de $A_v = 2$ se determina por medio de la ecuación (3.12)

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R} \quad (3.12)$$

se observa que para obtener $A_v = 2$ el valor de las resistencias R_f y R debe ser del mismo valor, en este caso el valor de las resistencias es de 10KΩ.

$$R_f = R = 10K\Omega$$

sustituyendo los valores de V_{in} , V_{cc} , V_{ee} , R_f y R en el diagrama propuesto del convertidor se obtuvo el voltaje requerido para el funcionamiento del convertidor.

3.4 Descripción del sensor de Iluminación LS-BTA.

El sensor de luz LS-BTA usado, aproxima la respuesta del ojo humano a un espectro aproximadamente igual como se muestra en la figura 3.9.

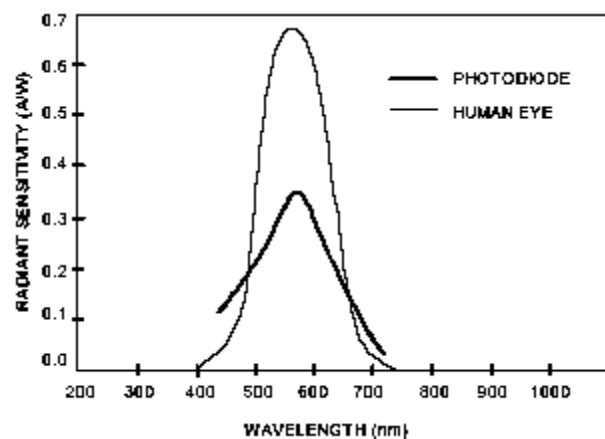


Figura 3.9 Respuesta espectral al fotodiodo.

Y tiene la característica de medir la intensidad de luz para diferentes aplicaciones, algunas de ellas se mencionan a continuación.

- Realizan el inverso cuadrado de la intensidad de luz usando diferentes puntos.
- Estudia el comportamiento de filtros polarizados.
- Demuestra el parpadeo de lámparas fluorescentes y otras lámparas.
- Estudia el transporte de la energía solar.
- Realiza estudios de reflectividad.
- Estudia la intensidad de la luz en varias partes de la casa o la escuela.

Este tipo de sensor de luz (ver figura 3.10), usa un fotodiodo de silicón (Hamamatsu S1133), el cual produce un voltaje proporcional a las variaciones de intensidad de la luz.



Figura 3.10 Sensor de luz.

Contando con tres escalas de iluminación diferentes que se seleccionan con un interruptor situado en la parte lateral de la caja, estas escalas con las que trabaja el sensor se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Rangos de resolución.

Resolución	
0 - 600 lux	0.2 lux
0 - 6000 lux	2 lux
0 - 150000 lux	200 lux

El rango 0-600 lux es seleccionado cuando el switch esta a la mita de la posición. Este es el rango más sensitivo y es usado para niveles bajos de iluminación.

El rango 0-6000 es seleccionado cuando el switch esta en la posición de arriba. Este es el mejor para niveles interiores de luz.

El rango 0-150000 lux es seleccionado cuando el switch esta en la posición de abajo y es usado principalmente para mediciones en luz solar.

3.5 Instrumentación Virtual de un Control de Iluminación.

Para el control de iluminación se realizó un programa en **LabVIEW** para controlar las tarjetas de adquisición de datos y está conformado de seis bloques fundamentales donde se inicializan componentes de dichas tarjetas, a continuación se describen cada uno de estos bloques y su función que realizan.

3.5.1 Descripción de los bloques de Vernier LabPRO®.

La tarjeta de adquisición de datos **Vernier LabPRO®** consta de cuatro bloques fundamentales para su programación los cuales se describen a continuación.

a) Bloque *init&ChannelSetup_2 Source.vi*.

Este bloque inicial de la tarjeta de adquisición de datos mostrado en la figura 3.11 consta de cuatro canales analógicos y dos digitales, en cada uno de estos canales se pueden configurar las diferentes aplicaciones que tiene esta tarjeta así como diferenciadores de voltaje y corriente, sensores de diferentes tipos, medidores de tensión, etc.

En este caso de estudio se configuraron tres canales analógicos donde dos de ellos son auto identificables, esto es que detectan automáticamente el sensor conectado a la tarjeta y el tercer canal se configuró para medición de voltaje de salida.



Figura 3.11 Bloque *init&ChannelSetup_2 Source.vi*.

b) Bloque *RTSamplingSetup*.

El Bloque *RTSamplingSetup* mostrado en la figura 3.12, se encarga de hacer la recolección de datos en tiempo real, activando primero los canales configurados en el bloque inicial (*init&ChannelSetup_2 Source.vi*), y después toma el valor medido especificado en un tiempo, haciendo que la PC recobre el valor leído en *RTReadParseExpress*.



Figura 3.12 Bloque *RTSamplingSetup*

c) Bloque *RTReadParsed*.

El Bloque *RTReadParsed* mostrado en la figura 3.13, tiene como función recolectar los datos continuamente, hasta la recolección sea terminada por el usuario.

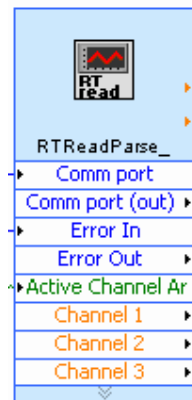


Figura 3.13 Bloque RTReadParsed

d) Bloque *StopRsetClose*

La función del bloque *StopRsetClose* mostrado en la figura 3.14, es proporcionar un alto a la aplicación analógica y digital, dar un reset a la tarjeta de adquisición de datos **Vernier LabPRO®** y cerrar los puertos configurados por el usuario.

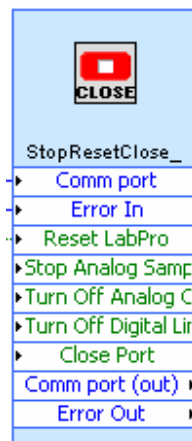


Figura 3.14 Bloque StopResetClose

3.5.2 Descripción de los bloques de National Instrument™ NI USB-6008/6009.

Para la configuración de la tarjeta de adquisición de datos **National Instrument™ NI USB-6008/6009** sólo se tienen dos bloques uno de entrada y uno de salida.

En el bloque de voltaje analógico de entrada que se muestra en la figura 3.15, se selecciona el rango de voltaje, se selecciona el modo de entrada los datos ya sea una muestra o continua, el número de muestras en un tiempo determinado, la frecuencia a la que se trabaja y determina si el reloj es interno o externo.

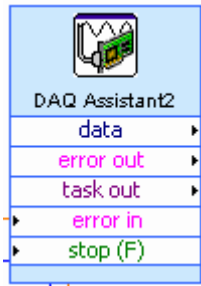


Figura 3.15 Bloque de entrada

En el bloque de voltaje analógico de salida mostrado en la figura 3.16, se configura la terminal de salida a utilizar en este caso la terminal de salida seleccionada es la terminal 13 (GND) y 14 (AO 0) para obtener un voltaje de salida en un rango de 0 - 5 v, y con las mismas aplicaciones que tiene el bloque de entrada.



Figura 3.16 Bloque de salida

3.5.3 Funcionamiento del programa.

Como primer paso del funcionamiento del programa se tienen que configurar las tarjetas de adquisición de datos, en el caso de la tarjeta **National Instrument™ NI USB-6008/6009** se tiene que configurar las terminales de salida, y para la tarjeta **Vernier LabPRO®**, se configura cada uno de los 3 canales analógicos a utilizar.

Los canales analógicos 1 y 2 son configurados como autoidentificables y el numero 3 se configuró como sensor de voltaje, activando así el bloque *init&ChannelSetup_2 Source.vi*.

Al terminar la configuración de las tarjetas, el funcionamiento del programa parte del voltaje proporcionado por la tarjeta **National Instrument™ NI USB-6008/6009** donde se proporciona una variación de voltaje hecha por el dial, comparando cada uno de los datos mandados y haciendo que esta variación de voltaje sea captada por *waveform chart 2* (grafica de la señal).

Cuando estas variaciones de voltaje se realizan la lámpara proporciona una cantidad de iluminación en luxes, los cuales son captados por el sensor, haciendo que los bloques *RTReadParse* y *RTSamplingSetup* se activen recolectando los datos proporcionados por el sensor, inmediatamente después establece que la adquisición de datos se esté tomando en un tiempo real configurado en el bloque dos el cual esta recolectando 10 muestras/segundo en intervalos de tiempo de 0.1 segundos/muestra.

En el bloque *RTSamplingSetup* se obtiene los datos mandados por el sensor de luz y el de tensión, los datos adquiridos del sensor de luz se monitorean con *waveform chart* y la tensión de salida se manda a *waveform chart 2* para así comparar el voltaje de entrada con el de salida.

Los bloques de la tarjeta **National Instrument™ NI USB-6008/6009** así como el bloque *RTReadParse* de la tarjeta **Vernier LabPRO®** están encerrados en un ciclo “while” como se muestra en la figura 3.17, este ciclo hace que no sólo se recolecte un dato sino que siga recolectando datos hasta que el usuario oprima el botón de paro.

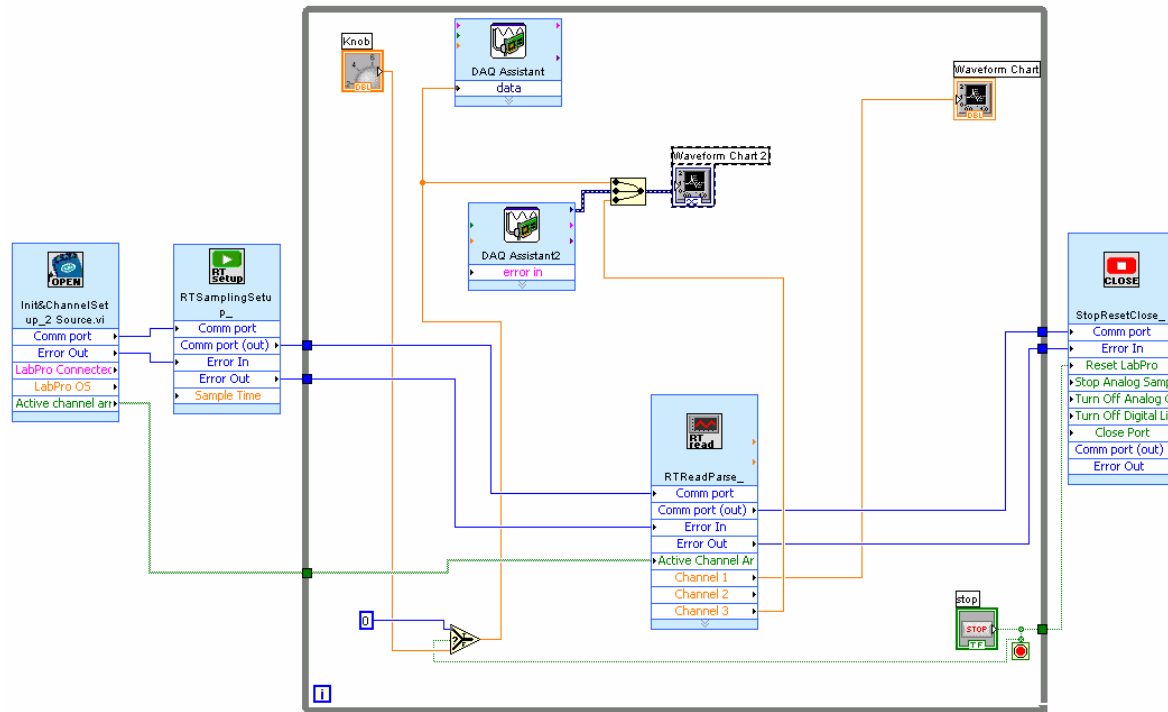


Figura 3.17 Diagrama de bloques del programa.

En la figura 3.17 se muestra como los bloques de la tarjeta **Vernier LabPRO®** están interconectados desde el bloque *Init&ChannelSetup_2* hasta *StopResetClose* por *Comm port* y el *Error*.

Donde *Comm port* está configurando el puerto de la tarjeta **Vernier LabPRO®** y monitoreando el error desde el bloque *Init&ChannelSetup_2* hasta *StopResetClose*.

La función que realiza *Active Channel Array* es activar los canales de salida donde se están monitoreando las variaciones de iluminación y de voltaje de salida en los *Waveform Chart*.

La función *Reset LabPRO* del bloque *StopResetClose* da un reset a la tarjeta de adquisición, esta aplicación esta conectada al stop del ciclo "while", haciendo que el *stop* proporcione el paro general de las aplicaciones del programa.

3.6 Diseño del prototipo base.

Para obtener una mejor medición de la iluminación se diseñó un espacio de trabajo en el cual la cantidad de iluminación sea igual a 0 lx o lo más cercano a 0.

Para cumplir con este requerimiento se diseñó un espacio cerrado completamente simulando un cuarto oscuro y así evitar filtraciones de luz.

Las dimensiones del prototipo de cuarto son de 50×55 cm, considerando lo alto de la lámpara como se muestra en la figura 3.18

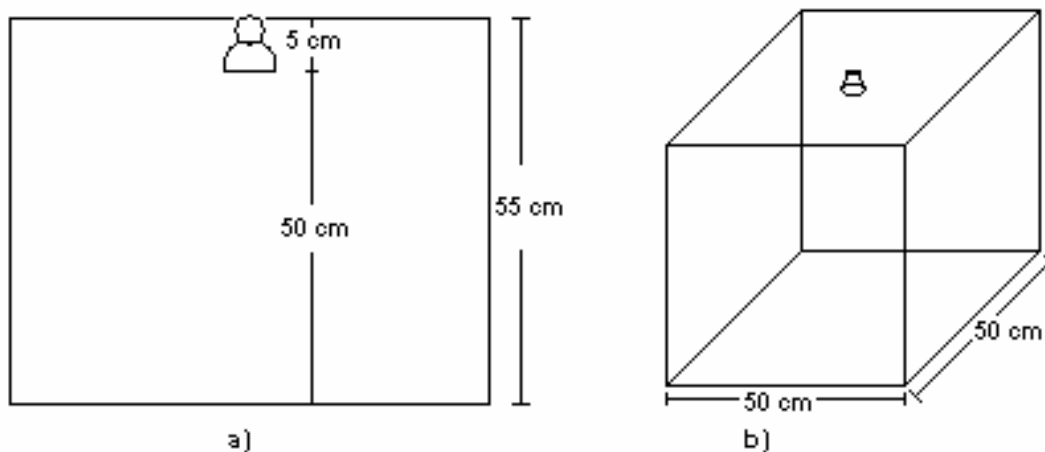


Figura 3.18 Dimensiones del prototipo de cuarto.

a) Vista frontal b) Vista isométrica.

Para las mediciones a diferentes distancias dentro del prototipo de cuarto existe una pared movable con medidas a 10, 20, 30, 40 y 50 cm a partir de la lámpara como se muestra en la figura 3.18 a).

3.7 Control de Iluminación en Lazo Abierto.

El control de iluminación en lazo abierto tiene el propósito de controlar remotamente el nivel de iluminación desde una computadora, la cual va adquiriendo los datos sensados que proporciona el sensor de iluminación, pasando estos datos por la tarjeta de adquisición de datos **Vernier LabPRO®** mandando el valor de los mismos y graficándolos en la PC.

El funcionamiento del sistema de control de lazo abierto diseñado parte de la cantidad de voltaje suministrado por la tarjeta de adquisición de datos **Nacional Instrument™ NI USB-6008/6009**, siendo regulado el voltaje por el programa hecho en la PC con el programa de diseño **LabVIEW**.

El voltaje proporcionado por la tarjeta es suministrado para alimentar el acondicionador, haciendo que se aumente el voltaje de salida y por ende la corriente, dicho acondicionador es energizado por fuente de poder diseñada y construida.

Al energizar el acondicionador con la fuente de poder esta proporciona una corriente de salida elevada que al pasar por el transistor de potencia TIP41C hace que la corriente proporcionada polarice el amplificador operacional (AO) y fluya por el colector hacia al emisor haciendo que se aumente la corriente en la salida del acondicionador.

El voltaje y la corriente proporcionada por el acondicionador alimenta a la lámpara para su funcionamiento (aunque las características eléctricas a la que trabaja la lámpara es de 12 v, 1.6 A y la tensión de salida del acondicionador es 10 v, 1.3 A, la lámpara trabajó adecuadamente aunque no al 100 % pero si a un 84 %), ya que la lámpara está en funcionamiento proporcionando una iluminación en luxes que es captada por el sensor de luz de la tarjeta de adquisición de datos **Vernier LabPRO®** proporcionando la cantidad sensada de luxes a las diferentes escalas de voltaje manejadas por medio del programa diseñado para este tipo de adquisición de datos.

El sistema de control de iluminación en lazo abierto diseñado se muestra en la figura 3.19.

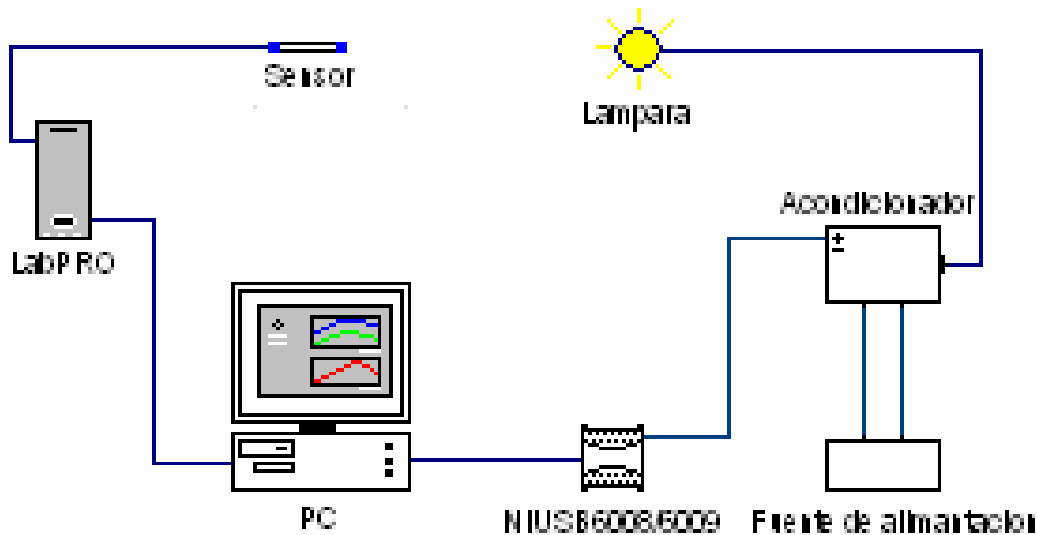


Figura 3.19 Sistema de control de iluminación en lazo abierto.

Ya que se comprobó el buen funcionamiento del sistema de control de iluminación se procedió a realizar las pruebas correspondientes en el espacio de trabajo establecido, en este caso las pruebas realizadas se hicieron a intervalos diferentes de distancias y a diferentes valores de voltaje.

3.8 Pruebas realizadas.

Para la realización de las pruebas, el espacio de trabajo establecido es un espacio cerrado completamente simulando un cuarto oscuro para que así no se filtrara ningún haz de luz y los luxes iniciales fueran iguales o casi igual a cero. La distancia inicial se estableció de 10 cm, con variaciones de 10 cm a partir de la inicial hasta una distancia de 50 cm.

Otra de las consideraciones tomadas para la medición es la selección de la escala de trabajo en este caso se seleccionó la escala del sensor de 0 – 6000 lx, ya que con la escala menor de 0 – 600 lx se satura a 2.3 v con una medición de iluminación de 770 lx y con la escala mas grande de 0 – 150,000 lx el sensor marca un nivel de iluminación de 47 lx a un voltaje de cero volts, por lo tanto la escala de trabajo más apta para estas mediciones es de 0 – 6000 lx aunque se satura a un valor de voltaje de 4 v.

BAB Lámpara Reflectora de Halógeno MR16 20w/12v,

Prueba 1.

A 10 cm de distancia las variaciones de iluminación con respecto a la variación del voltaje aplicado se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Datos obtenidos a 10 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente	Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0	2.3	785.79	1.05
0.2	2.07	0.17	2.4	1012.31	1.07
0.4	2.07	0.36	2.5	1285.82	1.1
0.6	2.07	0.54	2.6	1605.23	1.12
0.8	2.07	0.64	2.7	1977.1	1.14
1	2.07	0.69	2.8	2410.88	1.17
1.1	4.13	0.71	2.9	2875.31	1.19
1.2	7.27	0.75	3	3433.72	1.21
1.3	13.43	0.78	3.1	4051.36	1.23
1.4	23.75	0.8	3.2	4751.71	1.25
1.5	41.32	0.84	3.3	5526.31	1.27
1.6	66.1	0.86	3.4	6377.67	1.29
1.7	103.3	0.89	3.5	7325.93	1.32
1.8	155.52	0.92	3.6	8460	1.34
1.9	230.32	0.94	3.7	8460	1.36
2	325.38	0.97	3.8	8460	1.38
2.1	462.25	0.99	3.9	8460	1.39
2.2	599.12	1.02	4	8460	1.4

De los datos obtenidos a la distancia de 10 cm, se obtuvo el comportamiento mostrado en la figura 3.20.

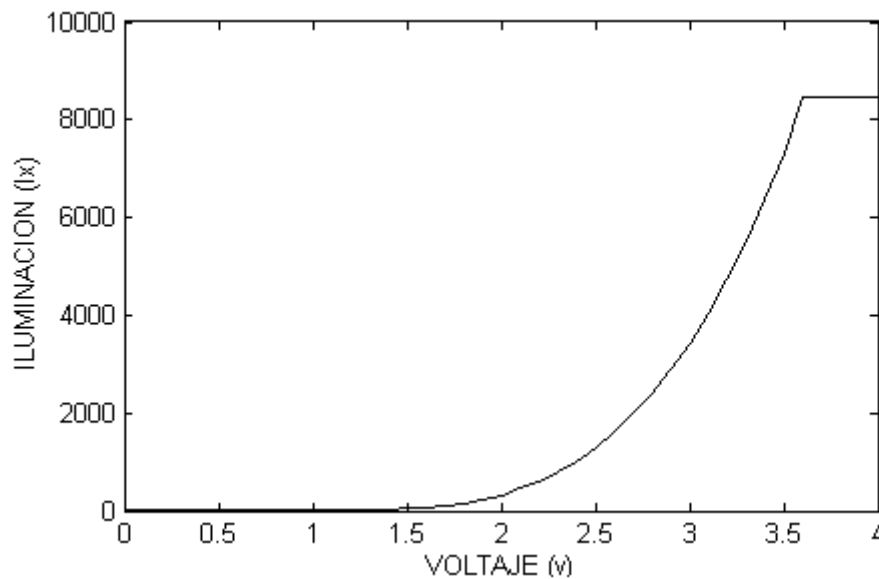


Figura 3.20 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje 10 cm.

Prueba 2

A 20 cm de distancia la cantidad de luxes captados por el sensor disminuía con el aumento de la distancia como se muestra en la tabla 3.6

Tabla 3.6 Datos obtenidos a 20 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0
0.2	2.07	0.16
0.4	2.07	0.31
0.6	2.07	0.51
0.8	2.07	0.64
1	2.07	0.69
1.1	2.07	0.71
1.2	4.13	0.76
1.3	4.13	0.79
1.4	8.26	0.81
1.5	12.4	0.84
1.6	20.66	0.87
1.7	30.99	0.9
1.8	45.45	0.93
1.9	66.11	0.95
2	90.9	0.98
2.1	124.99	1.01
2.2	169.41	1.04

Voltaje	Luxes	Corriente
2.3	218.92	1.06
2.4	285.97	1.09
2.5	357.47	1.11
2.6	450.18	1.14
2.7	551.6	1.16
2.8	667.4	1.18
2.9	809.58	1.2
3	962.79	1.23
3.1	1106.36	1.25
3.2	1326.39	1.27
3.3	1545.35	1.3
3.4	1782.77	1.32
3.5	2047.47	1.34
3.6	2317.04	1.36
3.7	2549.03	1.38
3.8	2741.03	1.39
3.9	2869.42	1.4
4	2869.42	1.41

El comportamiento de la iluminación con respecto al voltaje a una distancia de 20 cm es igual al comportamiento mostrado en la figura 3.21, con la diferencia de la disminución de la cantidad de luxes.

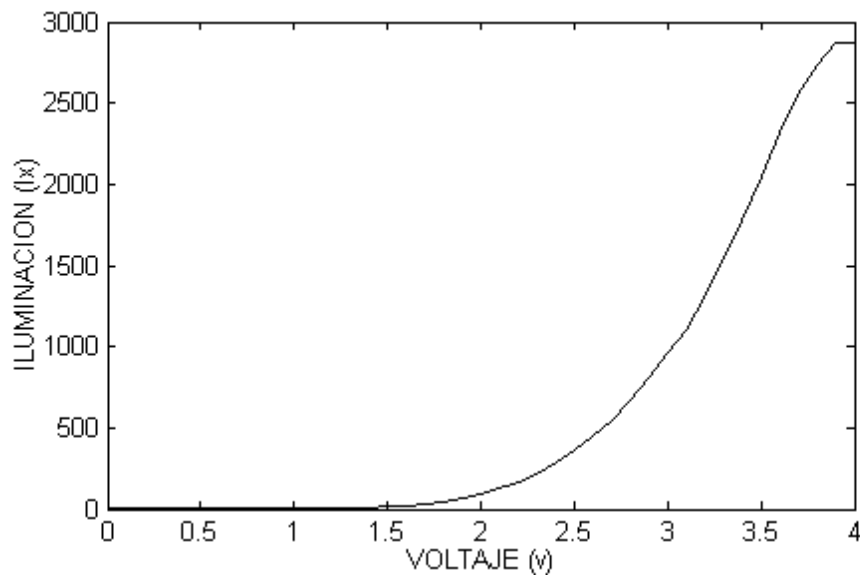


Figura 3.21 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje a 20 cm.

Prueba 3

A 30 cm de distancia la cantidad de luxes captados por el sensor sigue disminuyendo con el aumento de la distancia como se muestra en la tabla 3.7, por lo tanto debido a estos incrementos de distancia el sensor seguirá captando disminuciones de luxes.

Tabla 3.7 Datos obtenidos a 30 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0
0.2	2.07	0.17
0.4	2.07	0.32
0.6	2.07	0.52
0.8	2.07	0.63
1	2.07	0.71
1.1	2.07	0.74
1.2	3.1	0.78
1.3	4.13	0.8
1.4	4.13	0.83
1.5	6.2	0.86
1.6	10.33	0.89
1.7	14.46	0.92
1.8	20.66	0.94
1.9	30.99	0.97
2	41.31	1
2.1	55.78	1.03
2.2	75.4	1.06

Voltaje	Luxes	Corriente
2.3	99.16	1.08
2.4	126.02	1.11
2.5	157.01	1.13
2.6	198.33	1.16
2.7	241.78	1.18
2.8	297.5	1.21
2.9	357.47	1.23
3	421.45	1.25
3.1	502.86	1.28
3.2	586.63	1.3
3.3	677.63	1.33
3.4	782.92	1.34
3.5	904.75	1.37
3.6	1022.77	1.39
3.7	1125.8	1.4
3.8	1206.24	1.41
3.9	1254.64	1.42
4	1282.85	1.42

El comportamiento de la señal a una distancia de 30 cm es igual al comportamiento mostrado en la figura 3.20 y 3.21, con la disminución de la cantidad de luxes captados.

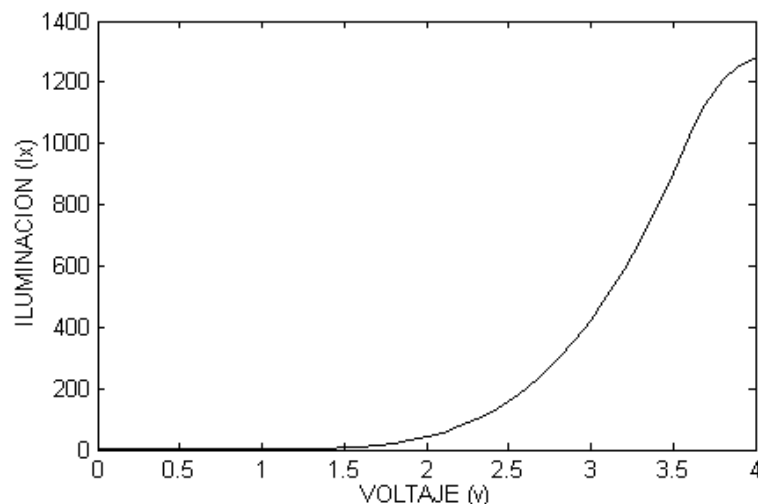


Figura 3.22 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje a 30 cm.

Prueba 4

Con una distancia de 40 cm la cantidad de luxes adquiridos por el sensor continúan disminuyendo como se muestra en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Datos obtenidos a 40 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente	Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0	2.3	97.1	1.06
0.2	2.07	0.17	2.4	121.89	1.09
0.4	2.07	0.32	2.5	148.71	1.12
0.6	2.07	0.5	2.6	183.87	1.15
0.8	2.07	0.68	2.7	225.19	1.17
1	2.07	0.7	2.8	264.344	1.19
1.1	2.07	0.71	2.9	316.09	1.21
1.2	4.13	0.76	3	371.84	1.24
1.3	4.13	0.79	3.1	427.71	1.26
1.4	6.2	0.81	3.2	504.02	1.29
1.5	9.29	0.83	3.3	580.46	1.3
1.6	12.4	0.85	3.4	661.16	1.32
1.7	18.59	0.87	3.5	747.87	1.34
1.8	24.79	0.91	3.6	826.34	1.36
1.9	33.05	0.95	3.7	880.09	1.38
2	45.45	0.99	3.8	917.64	1.4
2.1	59.91	1.01	3.9	926.2	1.41
2.2	76.44	1.04	4	944.13	1.41

La señal obtenida tiene las mismas características de comportamiento como las mostradas en las figuras 3.20, 3.21 y 3.22.

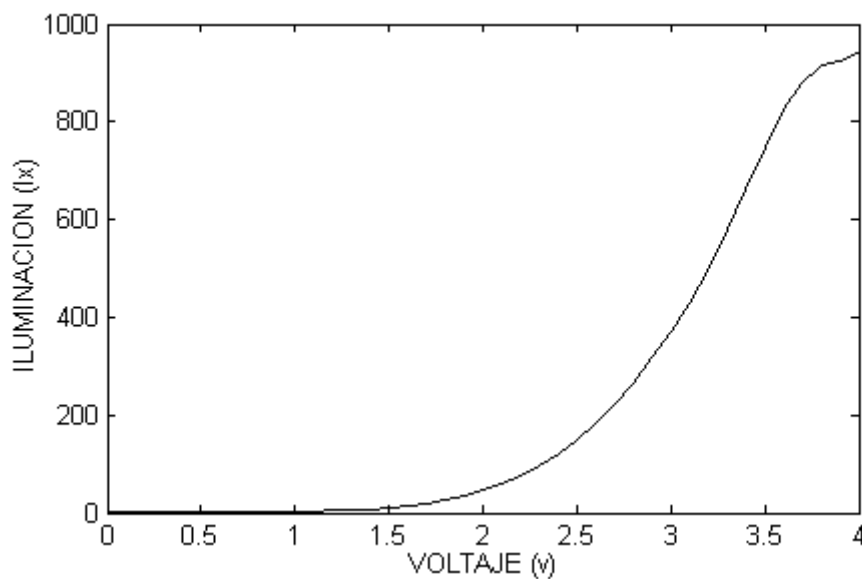


Figura 3.23 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje a 40 cm.

Prueba 5

A 50 cm de distancia, disminuyó la cantidad de luxes captados por el sensor como se muestra en la tabla 3.9, aunque el haz de luz proporcionado por la lámpara se amplió mas conforme aumentaba la distancia.

Tabla 3.9 Datos obtenidos a 50 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente	Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0	2.3	74.37	1.06
0.2	2.07	0.17	2.4	92.97	1.09
0.4	2.07	0.32	2.5	113.63	1.13
0.6	2.07	0.5	2.6	140.48	1.16
0.8	2.07	0.68	2.7	167.34	1.18
1	2.07	0.7	2.8	202.46	1.21
1.1	2.07	0.71	2.9	241.71	1.23
1.2	4.13	0.76	3	287.17	1.25
1.3	4.13	0.79	3.1	332.75	1.27
1.4	6.2	0.81	3.2	380.13	1.3
1.5	8.26	0.83	3.3	440.91	1.33
1.6	10.33	0.85	3.4	508.15	1.34
1.7	14.46	0.87	3.5	572.7	1.36
1.8	18.59	0.91	3.6	640.41	1.37
1.9	24.79	0.95	3.7	700.35	1.39
2	35.12	0.99	3.8	741.7	1.4
2.1	45.45	1	3.9	766.92	1.41
2.2	57.85	1.04	4	780.79	1.41

Debido a que la señal mostrada en la figura 3.24 es similar a las señales mostradas en las figuras 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23, seria posible determinar una función matemática de $Luxes = f(voltaje)$.

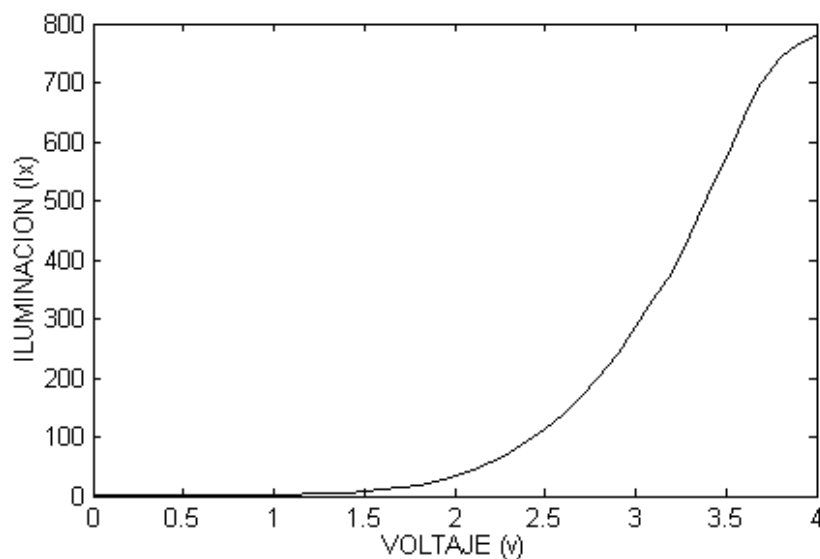


Figura 3.24 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje a 50 cm.

JC Lámpara Halógena Minican G4 20w/12v.

Prueba 1.

A 10 cm de distancia la cantidad de luxes captados es menor como se muestra en la tabla 3.10, debido a que la iluminación es distribuida y no concentrada como en la lámpara **BAB Lámpara Reflectora de Halógeno MR16 20w/12v.**

Tabla 3.10 Datos obtenidos a 10 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0
0.2	2.07	0.18
0.4	2.07	0.39
0.6	2.07	0.51
0.8	2.07	0.58
1	2.07	0.64
1.1	2.07	0.67
1.2	2.07	0.69
1.3	4.13	0.72
1.4	4.13	0.74
1.5	6.2	0.77
1.6	8.26	0.79
1.7	8.26	0.82
1.8	12.4	0.84
1.9	16.53	0.86
2	20.66	0.88
2.1	24.79	0.91
2.2	30.99	0.93

Voltaje	Luxes	Corriente
2.3	37.19	0.95
2.4	45.45	0.97
2.5	55.78	0.99
2.6	68.18	1.02
2.7	80.57	1.04
2.8	109.5	1.06
2.9	128.09	1.08
3	150.81	1.09
3.1	173.54	1.11
3.2	198.2	1.13
3.3	221.12	1.15
3.4	252.18	1.17
3.5	285.17	1.19
3.6	314.09	1.2
3.7	336.81	1.22
3.8	359.27	1.23
3.9	361.6	1.23
4	371.8	1.23

Con los datos obtenidos en la medición se obtuvo el comportamiento de la señal mostrada en la figura 3.25.

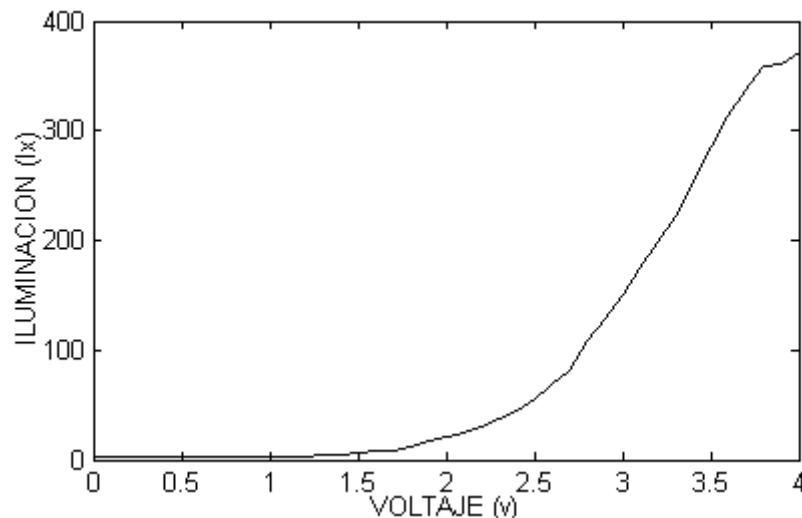


Figura 3.25 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje a 10 cm.

Prueba 2

A 20 cm de distancia la cantidad de luxes captados es menor como se muestra en la tabla 3.11, que los registrados en la prueba 1 a 10 cm de distancia.

Tabla 3.11 Datos obtenidos a 20 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente	Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0	2.3	20.66	0.95
0.2	2.07	0.19	2.4	24.79	0.97
0.4	2.07	0.39	2.5	28.92	0.99
0.6	2.07	0.51	2.6	33.05	1.02
0.8	2.07	0.59	2.7	39.25	1.04
1	2.07	0.63	2.8	45.45	1.06
1.1	2.07	0.66	2.9	53.71	1.08
1.2	2.07	0.69	3	61.98	1.09
1.3	4.13	0.71	3.1	72.31	1.11
1.4	4.13	0.74	3.2	82.64	1.13
1.5	4.13	0.77	3.3	92.97	1.15
1.6	4.13	0.79	3.4	105.36	1.17
1.7	6.2	0.82	3.5	119.82	1.19
1.8	8.26	0.84	3.6	134.29	1.2
1.9	8.26	0.86	3.7	144.65	1.22
2	10.33	0.89	3.8	150.86	1.23
2.1	12.4	0.91	3.9	161.14	1.23
2.2	16.53	0.93	4	163.24	1.23

Se observa que el comportamiento de la señal mostrada en la figura 3.26 sigue teniendo el mismo comportamiento, pero con menor cantidad de luxes.

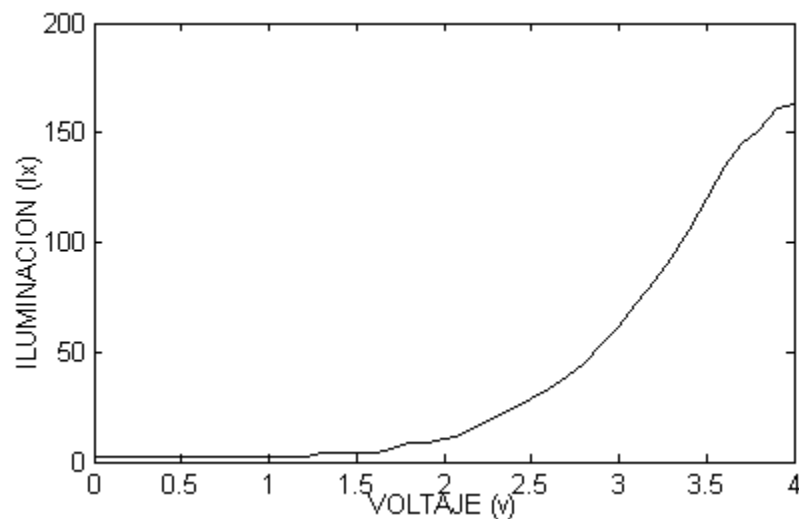


Figura 3.26 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje a 20 cm.

Prueba 3

A 30 cm de distancia se observa el mismo comportamiento que en las pruebas anteriores con este tipo de lámpara y con la disminución de luxes sensados (ver tabla 3.12).

Tabla 3.12 Datos obtenidos a 30 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente	Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0	2.3	14.46	0.95
0.2	2.07	0.19	2.4	16.53	0.97
0.4	2.07	0.39	2.5	20.66	1
0.6	2.07	0.51	2.6	22.73	1.02
0.8	2.07	0.59	2.7	28.92	1.04
1	2.07	0.64	2.8	33.05	1.06
1.1	2.07	0.67	2.9	37.19	1.08
1.2	2.07	0.69	3	43.38	1.1
1.3	2.07	0.72	3.1	49.58	1.11
1.4	4.13	0.75	3.2	57.85	1.13
1.5	4.13	0.77	3.3	66.11	1.15
1.6	4.13	0.79	3.4	72.31	1.17
1.7	4.13	0.82	3.5	82.64	1.19
1.8	6.2	0.84	3.6	92.97	1.21
1.9	6.2	0.86	3.7	99.16	1.22
2	8.26	0.89	3.8	105.36	1.23
2.1	10.33	0.91	3.9	111.56	1.24
2.2	12.4	0.93	4	115.63	1.24

En la figura 3.27 se observa que la cantidad de luxes se mantiene constante en algunas variaciones de voltaje, haciendo que no varíe mucho la cantidad de iluminación.

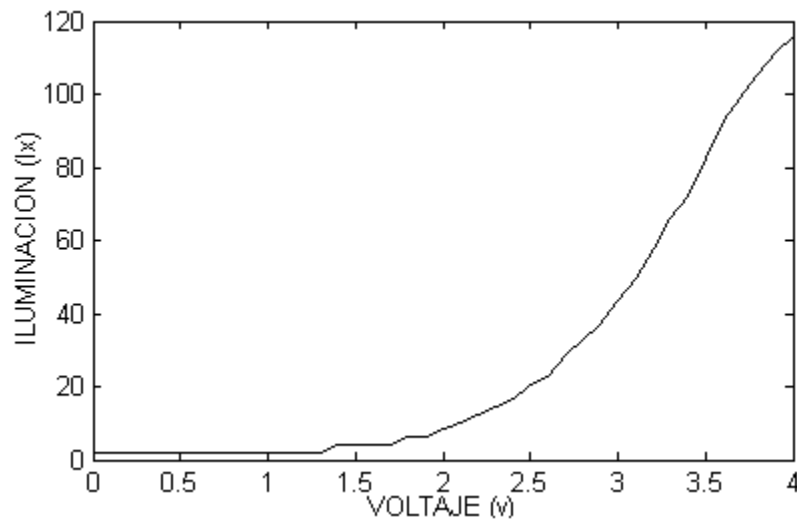


Figura 3.27 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje a 30 cm.

Prueba 4

A 40 cm de distancia hay decrecimiento de la cantidad de luxes captados (ver la tabla 3.13), en comparación con la prueba inicial.

Tabla 3.13 Datos obtenidos a 40 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente	Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0	2.3	12.4	0.95
0.2	2.07	0.19	2.4	14.46	0.97
0.4	2.07	0.38	2.5	16.53	1
0.6	2.07	0.51	2.6	20.66	1.02
0.8	2.07	0.58	2.7	22.73	1.04
1	2.07	0.64	2.8	26.86	1.06
1.1	2.07	0.67	2.9	30.99	1.08
1.2	2.07	0.69	3	35.12	1.1
1.3	2.07	0.72	3.1	41.32	1.12
1.4	4.13	0.74	3.2	47.52	1.13
1.5	4.13	0.77	3.3	53.71	1.15
1.6	4.13	0.79	3.4	59.91	1.17
1.7	4.13	0.82	3.5	68.18	1.19
1.8	4.13	0.84	3.6	76.44	1.21
1.9	6.2	0.86	3.7	82.64	1.22
2	8.26	0.89	3.8	88.74	1.23
2.1	8.26	0.91	3.9	92.97	1.24
2.2	10.33	0.93	4	95.03	1.24

En la figura 3.28 se observa que a medida que se incrementa la distancia del sensor con respecto de la lámpara, hay lapsos constantes de iluminación.

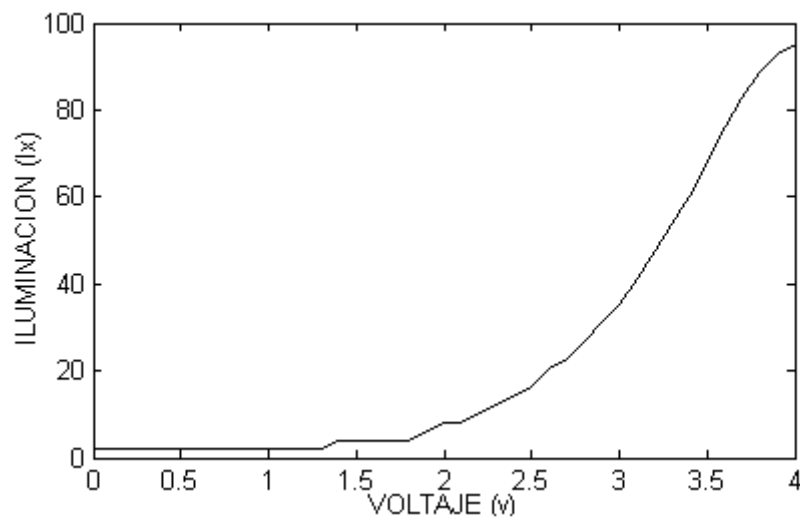


Figura 3.28 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje a 40 cm.

Prueba 5

A 50 cm de distancia hay el mismo comportamiento que en las pruebas anteriores, con el aumento de distancia, hay un decrecimiento de luxes captados por el sensor (ver tabla 3.14).

Tabla 3.14 Datos obtenidos a 50 cm de distancia.

Voltaje	Luxes	Corriente
0	2.07	0
0.2	2.07	0.18
0.4	2.07	0.38
0.6	2.07	0.52
0.8	2.07	0.58
1	2.07	0.64
1.1	2.07	0.67
1.2	2.07	0.69
1.3	2.07	0.72
1.4	4.13	0.74
1.5	4.13	0.77
1.6	4.13	0.79
1.7	4.13	0.81
1.8	4.13	0.84
1.9	6.2	0.86
2	6.2	0.88
2.1	8.26	0.91
2.2	10.33	0.93

Voltaje	Luxes	Corriente
2.3	10.33	0.95
2.4	12.4	0.97
2.5	16.53	0.99
2.6	18.59	1.01
2.7	22.66	1.04
2.8	24.79	1.06
2.9	28.92	1.08
3	33.05	1.1
3.1	37.19	1.11
3.2	43.38	1.13
3.3	49.58	1.15
3.4	53.71	1.17
3.5	61.98	1.19
3.6	68.18	1.21
3.7	74.37	1.22
3.8	78.51	1.23
3.9	82.64	1.24
4	84.7	1.24

Debido a que el comportamiento mostrado en la figura 3.29, es similar en todas las pruebas, es posible determinar una ecuación general para estos tipos de lámparas.

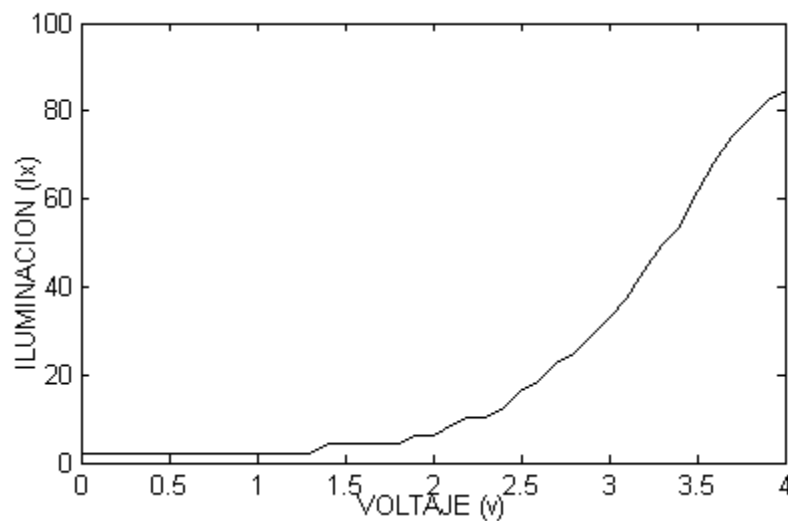


Figura 3.29 Comportamiento del nivel de iluminación con respecto al voltaje a 50 cm.

CAPÍTULO 4

CONTROL DE ILUMINACIÓN EN LAZO CERRADO O RETROALIMENTADO

4.1 Introducción.

Los sistemas de control en lazo cerrado o retroalimentados tienen la ventaja de ser más precisos, menos sensibles al ruido, a perturbaciones y a cambios en el entorno, y mantienen una relación entre la salida del sistema y la referencia de entrada, implicando el uso de una acción de control, a diferencia del los Sistema de Control en Lazo Abierto donde la salida del sistema no se monitorea y no son precisos [10].

En la mayoría de los sistemas de control se usan dispositivos independientes como elementos de medición, estos elementos están basados en la medición de la salida de la planta y la obtención de una señal de error actuante con respecto a la señal de referencia.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de bloques en lazo cerrado generalizado, donde el punto de suma entrega la suma algebraica de la señal de entrada y la señal de salida que pasa por medio de la retroalimentación donde la salida se resta con la entrada proporcionando una señal de actuación, donde a la señal de actuación se conoce como error (e).

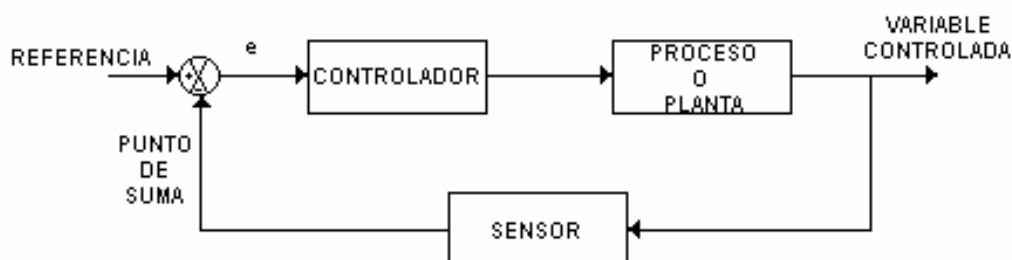


Figura 4.1 Configuración de bloques en Lazo Cerrado.

Una característica de los Sistemas de Lazo Cerrado es la compensación de perturbaciones ya que al medir la respuesta de la variable controlada comparándola en el punto de suma, si existe diferencia entre las dos respuestas acciona la planta por medio del e , si no hay diferencia, la planta no se acciona, ya que el valor obtenido en la planta es la respuesta deseada [11].

Existen diferentes tipos de controles automáticos que dependiendo del error de la acción de control se clasifican como sigue:

- Controlador on – off.
- Control Proporcional (P).
- Control Integral (I).
- Control Proporcional – Integral (PI).
- Control Proporcional – Derivativo (PD).
- Control Proporcional – Integral – Derivativo (PID).

En este capítulo, se realiza un Sistema de Control de Lazo Cerrado para obtener el nivel de iluminación deseado dentro del prototipo base, y utilizando alguno de los 5 diferentes tipos de controladores.

4.2 Control de Iluminación en Lazo Cerrado.

Para la realización del sistema de control de iluminación en lazo cerrado se toma como referencia los datos de Lazo Abierto implementándoles una retroalimentación, como se muestra en la figura 4.2, para obtener el control de la iluminación.

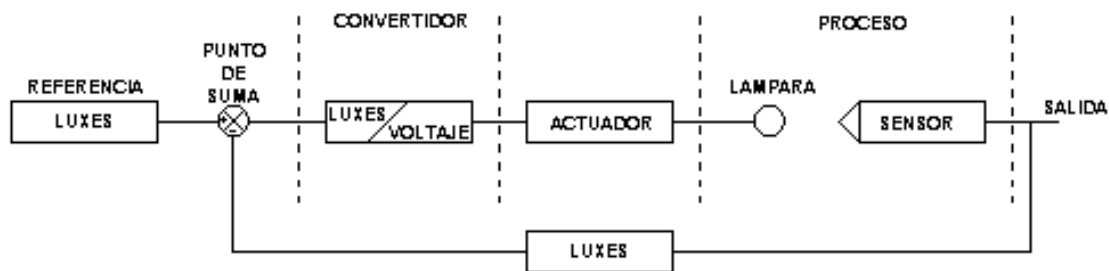


Figura 4.2 Esquema propuesto de lazo cerrado.

Se observa en la figura 4.2 la creación de un nuevo bloque, este bloque surge con la finalidad de controlar desde la referencia la cantidad de luxes que se desea medir en la salida del sistema, por ejemplo: dar una cantidad de 100 luxes y obtener los mismos a la salida.

La creación del nuevo bloque **Convertidor** mostrado en la figura 4.2 es parte del comportamiento de la iluminación con respecto de las variaciones de voltaje que se hicieron en el Capítulo 3.

En este caso del sistema de control de lazo cerrado, el tipo de lámpara con la que se trabaja es **BAB Lámpara Reflectora de Halógeno MR16 20w/12v**, con la distancia seleccionada de 30 cm, cuyo comportamiento se muestra en la figura 4.3.

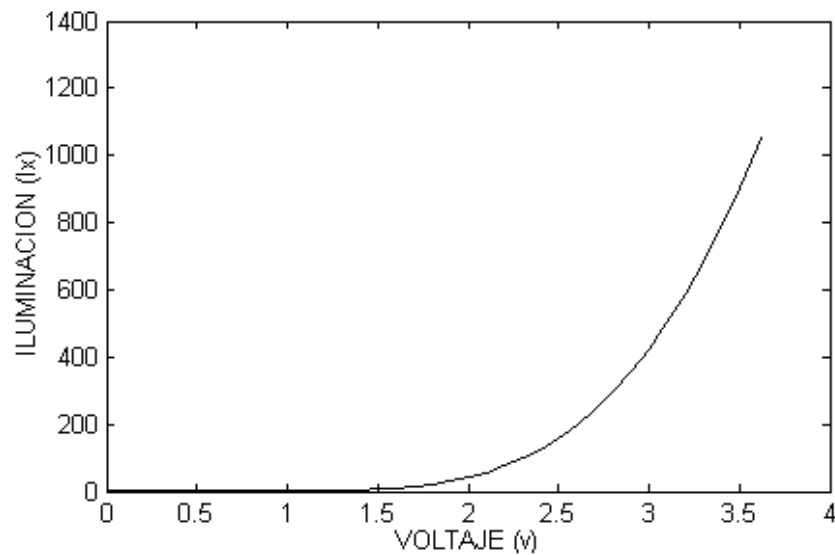


Figura 4.3 Comportamiento de la señal a 30 cm.

El comportamiento mostrado en la figura 4.3 es similar al comportamiento exponencial de una señal, debido a esta similitud (ver figura 4.4), se determinó utilizar la ecuación correspondiente a esta señal obtenida.

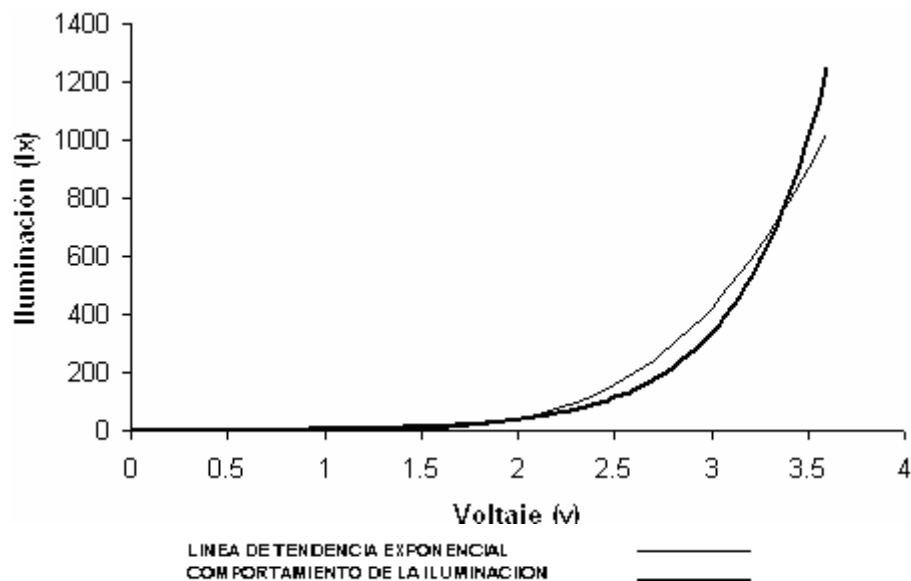


Figura 4.4 Comparación de señales.

De las mediciones hechas en el Capítulo III de la lámpara **BAB Reflectora de Halógeno**, se obtiene un valor de iluminación en respuesta de las variaciones de voltaje por lo cual se determinó la ecuación (4.1).

$$y = 0.5582e^{2.0909x} \quad (4.1)$$

donde

y denota Iluminación (luxes)

x denota Voltaje (v)

con un factor de correlación de 0.95 o 95% de exactitud.

Para la obtención de la ecuación (4.1) se utilizó el programa **Microsoft Excel** graficando los datos obtenidos y utilizando la línea de tendencia exponencial obteniendo la ecuación del grafico.

En la ecuación (4.1) se observa lo dicho anteriormente, por lo tanto se realiza el despeje de la variable de voltaje, descrito en este caso como “ x ”, dando como resultado la ecuación (4.2).

$$x = \frac{\left(\frac{\ln(y)}{0.5582} \right)}{2.0909} \quad (4.2)$$

Con la obtención de la ecuación (4.2) se controla la iluminación con un valor en la referencia en luxes y obtiene resultados en volts para mejor medición de los parámetros.

4.2.1 Instrumentación virtual de la fórmula (Control on - off).

En el programa hecho en **LabVIEW** para el sistema de control de iluminación en lazo abierto se añade un nuevo bloque llamado “Fórmula”, en el cual se implementa la ecuación (4.2) para el control de la referencia, dicho bloque se muestra en la figura 4.4.

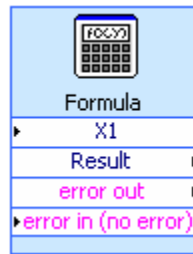


Figura 4.5 Bloque fórmula.

En la figura 4.5 se muestra como se implemento bloque “fórmula” en el programa desarrollado en **LabVIEW**.

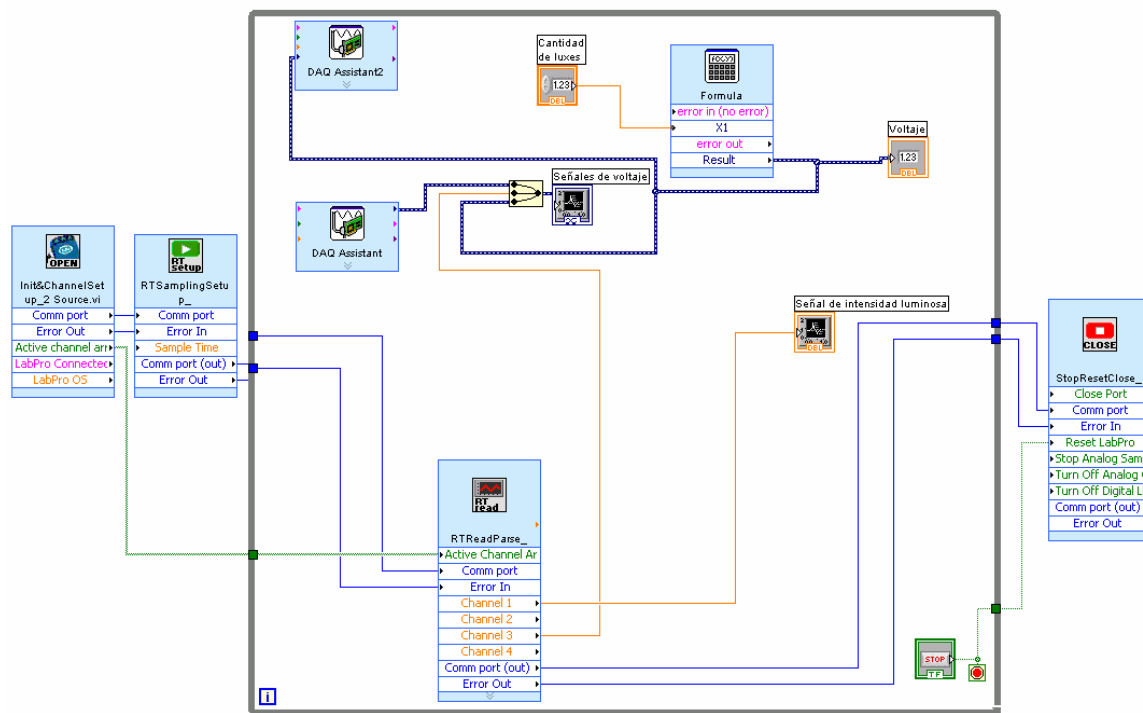


Figura 4.6 Diagrama del programa con el bloque fórmula.

La función que realiza el nuevo bloque es cambiar el funcionamiento del programa, ya que el programa implementado en lazo abierto funciona con las variaciones de voltaje de referencia manejados desde un dial, a diferencia del programa usado en lazo cerrado, donde ahora las variaciones de referencia son con respecto a la cantidad de luxes que se desean obtener, monitoreando el voltaje obtenido a las variaciones de luxes.

4.2.2 Prueba de la instrumentación virtual de la fórmula (Control on - off).

Para comprobar el funcionamiento del programa del sistema de control de lazo cerrado se realizó una prueba, en la cual se selecciona un valor de referencia de 100 luxes y para así obtener esa cantidad a la salida del sistema.

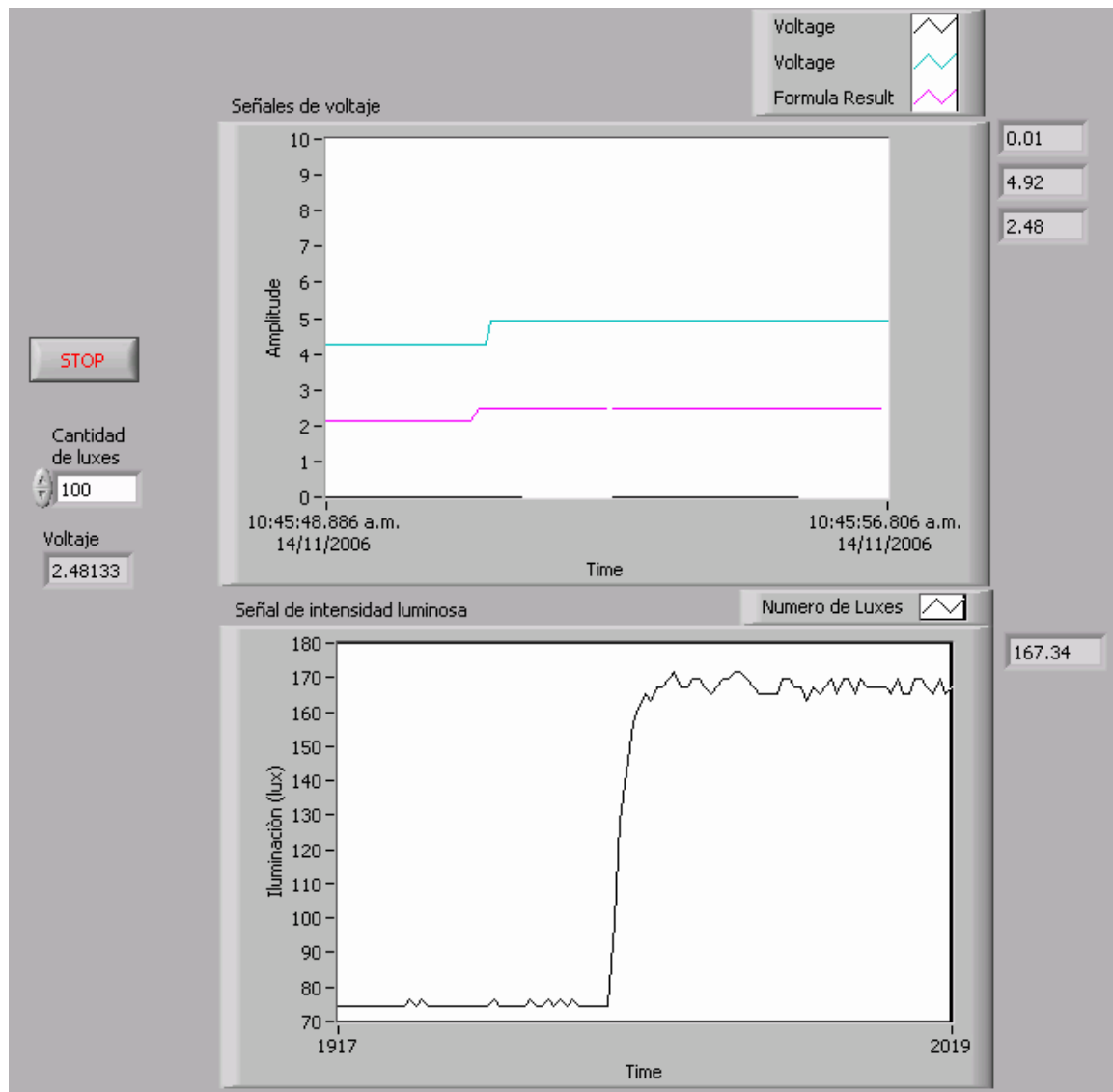


Figura 4.7 Monitor de señales.

En la figura 4.7 se muestra como se selecciono el valor de referencia de 100 luxes con una respuesta de voltaje de 4.92 a esa cantidad de iluminación, obteniendo a la salida del sistema una cantidad de iluminación de 167.34 luxes, y dando como respuesta un valor de voltaje de 4.92 haciendo funcionar la lámpara.

Lo que indica que la retroalimentación funcionó adecuadamente con la implementación de la ecuación matemática en el programa, aunque no se obtuvo la respuesta deseada de 100 luxes, por lo tanto es necesario agregar un controlador para obtener la cantidad requerida de iluminación.

4.3 Control de Iluminación usando un Controlador Proporcional (P).

El control proporcional es la base de los tres controladores automáticos, si está presente la acción integral y la derivativa, éstos son sumados al control proporcional, significando el cambio en la salida del controlador, el cual es múltiplo o ganancia del porcentaje de cambio en la medición.

En la figura 4.8 se muestra el diagrama de bloques implementando la ganancia k_p del control proporcional.

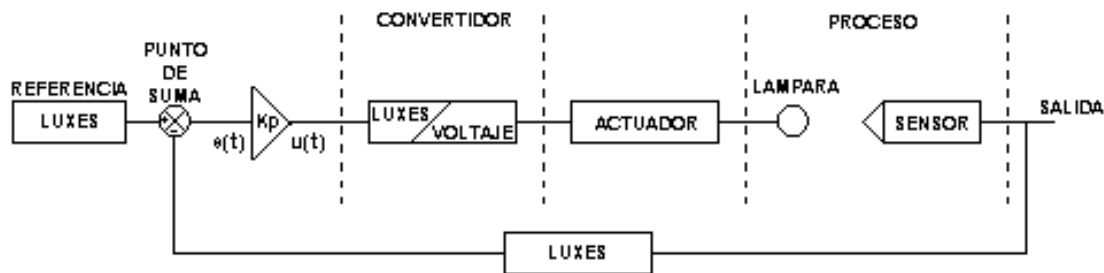


Figura 4.8 Diagrama de bloques del control P.

Para esta acción de control la relación entre la salida del controlador y la señal del error actuante es la mostrada en la ecuación (4.3).

$$u(t) = k_p e(t) \quad (4.3)$$

donde la ganancia proporcional k_p actúa como un amplificador con ganancia ajustable.

4.3.1 Instrumentación virtual del Control Proporcional (P).

Para la instrumentación virtual del control P mostrado en la figura 4.8, en primer lugar se determina el error entre la señal de referencia y la de salida, ya obtenido el

error, se realiza la operación descrita en la ecuación (4.3), variando la ganancia k_p para la obtención de la iluminación deseada.

Para la obtención del error se comparó el valor de referencia con el error de salida, esta señal es enviada a el convertidor de luxes a voltaje y el acondicionador con lo cual se tiene un voltaje en función del nivel de iluminación.

Posteriormente la señal es comparada con el valor de referencia obteniendo el error, inmediatamente después, el error es amplificado con la acción proporcional, antes de aplicarlo al actuador la señal es acondicionada.

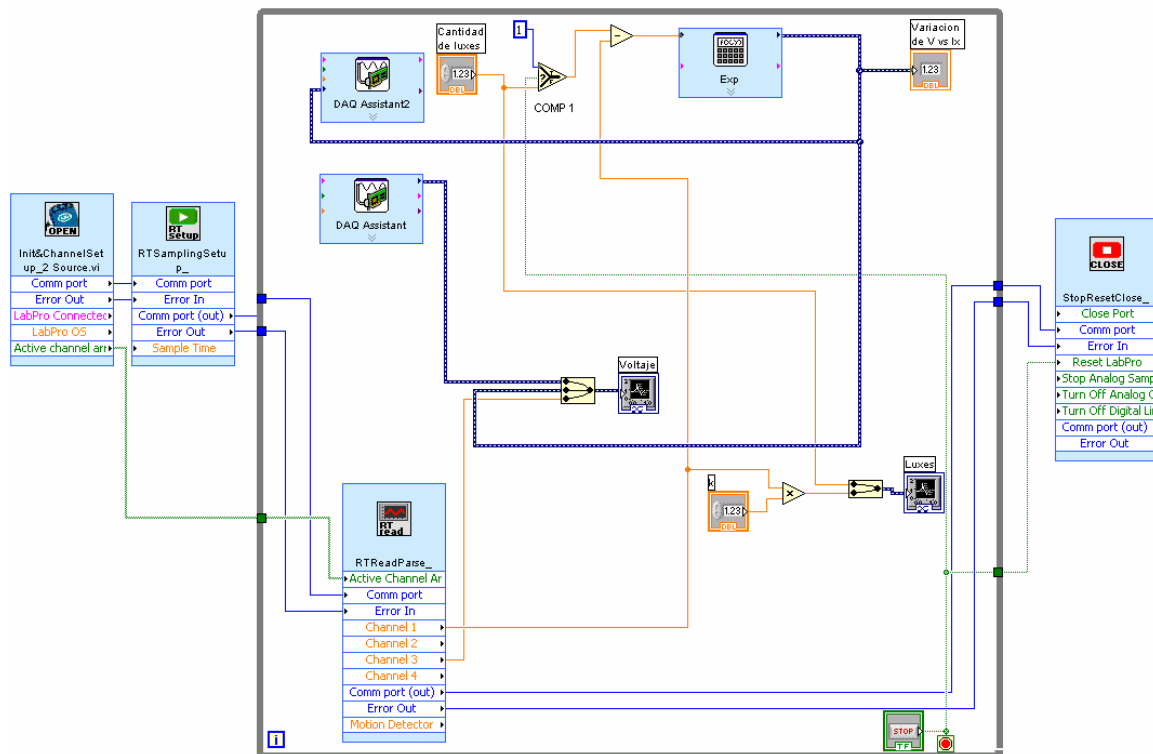


Figura 4.9 Diagrama del programa con el control P.

El comparador *COMP 1* mostrado en la figura 4.9, tiene como función apagar la lámpara cada que se termine el proceso de iluminación.

4.3.2 Funcionamiento del Control Proporcional (P).

En el funcionamiento del programa del sistema de control de lazo cerrado con el control proporcional se seleccionó el mismo valor de referencia antes aplicado de 100

luxes, en el cual se espera una respuesta más satisfactoria con respecto al valor de referencia, el cual se podrá lograr con la variación de la ganancia k_p .

El valor de k_p se ha variado hasta lograr el valor óptimo (ver figura 4.10) y así obtener una señal adecuada que corresponda en el 100% de exactitud.

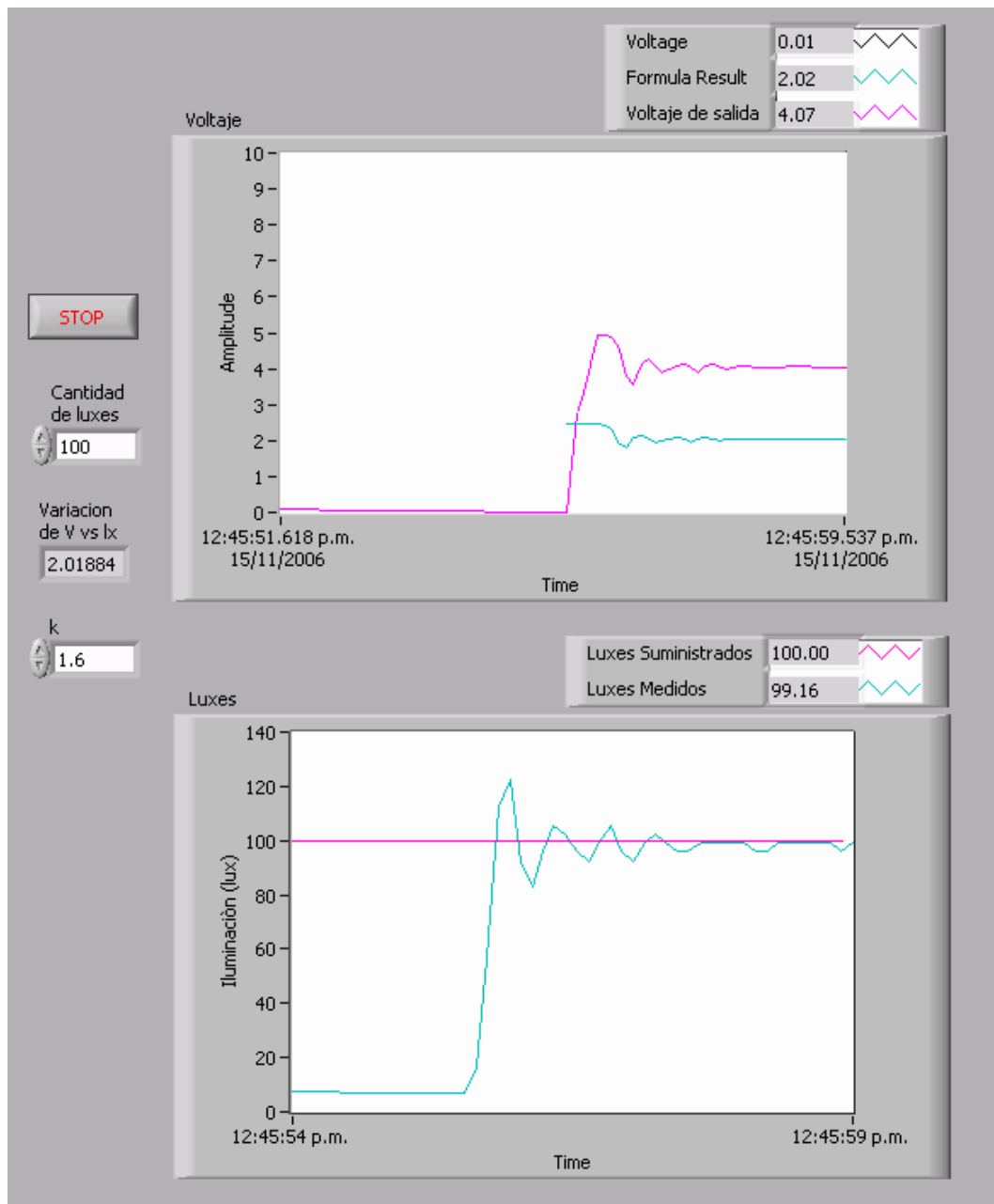


Figura 4.10 Monitor de señal del control P.

En la figura 4.9 se observa que no se ha logrado obtener una señal que corresponda al 100% de exactitud por lo tanto es necesario pasar a la siguiente etapa, que es implementar el siguiente controlador para obtener el mismo valor de referencia a la salida del sistema.

4.3.3 Pruebas realizadas del Control Proporcional (P).

Con la comprobación del funcionamiento del control proporcional se procede a realizar más pruebas, con la misma distancia y diferentes valores de iluminación de referencia.

En un sistema de instrumentación y control, la exactitud es una variable de mucho interés para conocer el comportamiento de la salida respecto a la deseada. La exactitud se calcula por medio de la ecuación (4.4).

$$Exactitud = \frac{(Valor \text{ verdadero}) - (Valor \text{ medido})}{Valor \text{ verdadero}} \quad (4.4)$$

La exactitud de los valores obtenidos se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Comparación de datos con el control P.

Valor de referencia (Luxes)	Valor de salida del control P (Luxes)	Exactitud (%)
100	99.16	0.84
200	198.329	0.83
300	304.105	-1.36
400	399.964	0.01
500	509.046	-1.80
600	601.600	-0.26
700	700.764	-0.10
800	790.012	1.24
900	882.566	1.93
1000	955.288	4.47

En valores obtenidos con el control proporcional se aprecia una variación de las cantidad de luxes de salida en los valores de 800, 900 y 1000 luxes, esto es debido a que la lámpara trabaja con voltaje de 12 volts y solo se esta alimentando con 10 volts.

Haciendo que el valor de salida tome una curvatura por lo que hay una disminución de los luxes esperados, si el comportamiento de la señal es constante se tendrían mediciones más precisas, sin embargo antes de este comportamiento la respuesta es satisfactoria.

Para corregir el error obtenido de los valores de 800, 900 y 1000 luxes, se tendrá que aumentar el valor de la ganancia proporcional, teniendo una respuesta más satisfactoria, pero se modificaría el nivel de iluminación en los valores menores.

4.4 Control de Iluminación usando un Controlador Proporcional Integral (PI).

La acción integral proporciona una señal cuya rapidez es proporcional a la magnitud del error o como se dice “a grandes errores correcciones rápidas”, esto se debe a que no solamente responde a la magnitud del error si no que también, al tiempo que dura ese error.

Esta acción hace que la salida comience a cambiar y continúe cambiando en tanto el error exista, actuando sobre la salida para que cambie hasta un valor correcto para mantener la medición en el valor de referencia.

En la figura 4.11 se muestra el diagrama de bloques implementando la ganancia k_p del control proporcional y la ganancia k_i del control integral.

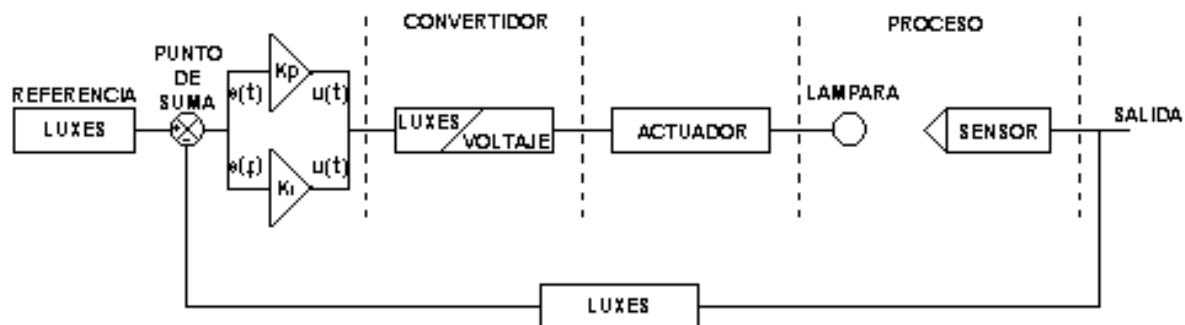


Figura 4.11 Diagrama de bloques del control PI.

La acción de control proporcional e integral esta definida con la ecuación (4.4).

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) \quad (4.5)$$

Las ganancias k_p y k_i son ajustables para hacer la acción de control adecuadamente y en un tiempo corto.

4.4.1 Instrumentación virtual del Control Proporcional – Integral (PI).

Para la instrumentación virtual del control PI, como primer paso es diseñar la acción de control integral y después sumar a la acción de control proporcional (ver figura 4.10).

La acción de control integral (I) ó reset se realiza por medio de un bloque (ver figura 4.12), el cual trabaja en el dominio del tiempo, dicho bloque puede realizar una o varias funciones matemáticas de señales dominantes en el tiempo.

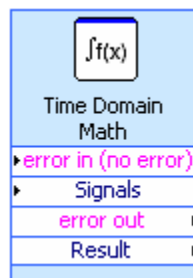


Figura 4.12 Bloque Time Domain Math.

En este caso la señal matemática seleccionada es una señal integral como se muestra en la figura 4.13, realizando la operación de la integral del error y multiplicando el resultado por el valor de k_i , el cual se diseñó para que fuera variable.

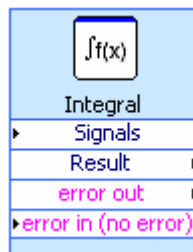


Figura 4.13 Bloque Integral.

Con la obtención de la acción de control integral, se procede a realizar la suma del control P y el control I, como se indica en la ecuación 4.4, la implementación de esta suma de los controladores dentro del programa se muestra en la figura 4.14.

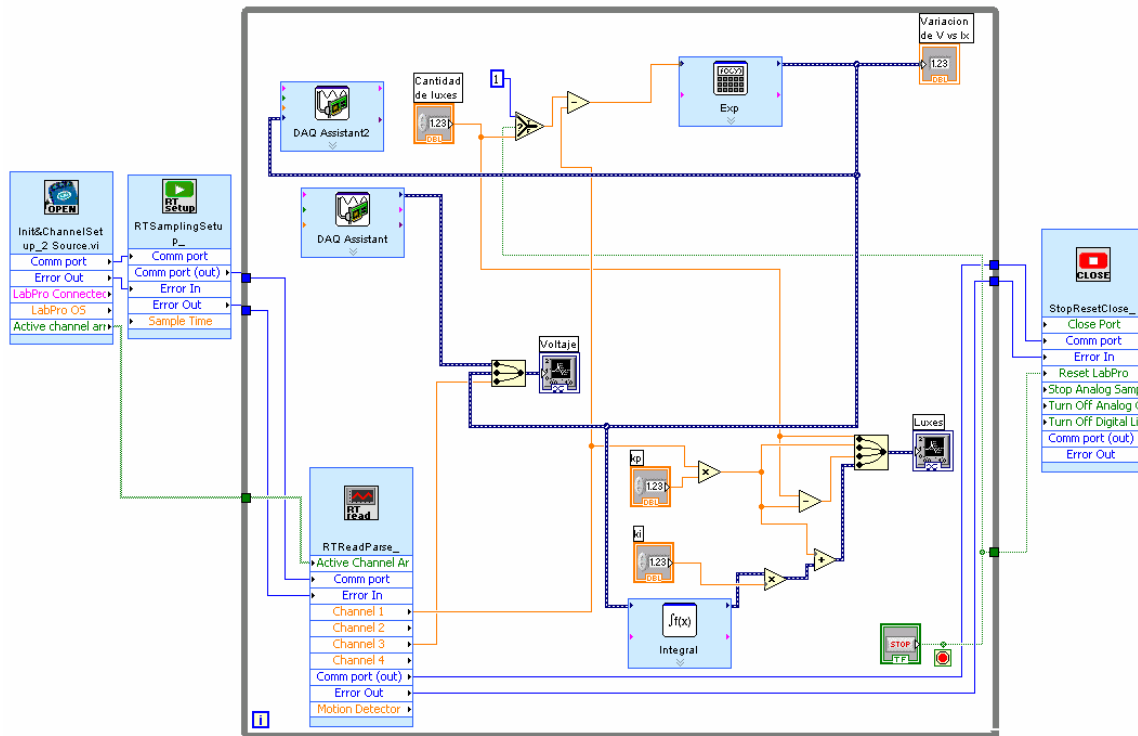


Figura 4.14 Diagrama del programa con el control PI.

Con la implementación de la acción de control integral se espera una respuesta más rápida que la obtenida por la acción de control proporcional y una reducción del error para así obtener una respuesta satisfactoria.

4.4.2 Funcionamiento del Control Proporcional – Integral (PI).

Para la prueba de la acción de control proporcional – integral se seleccionó el mismo valor de referencia antes aplicado de 100 luxes, aplicando el valor obtenido de la ganancia k_p de 1.6 y se variará el valor de k_i para así obtener una respuesta satisfactoria de la cantidad de luxes de salida con respecto de la entrada.

Al realizar la medición primero se produce una respuesta proporcional, y luego una respuesta integral o de reset es agregada a la proporcional, si existe más acción

integral en el controlador, más rápido cambia la salida en función del tiempo y cuando sea menor número de reset, mayor será la acción integral.

El valor de la ganancia k_i se modificó hasta obtener el valor de 0.35, con el cual se logra una respuesta más cercana al valor de referencia (ver figura 4.15).

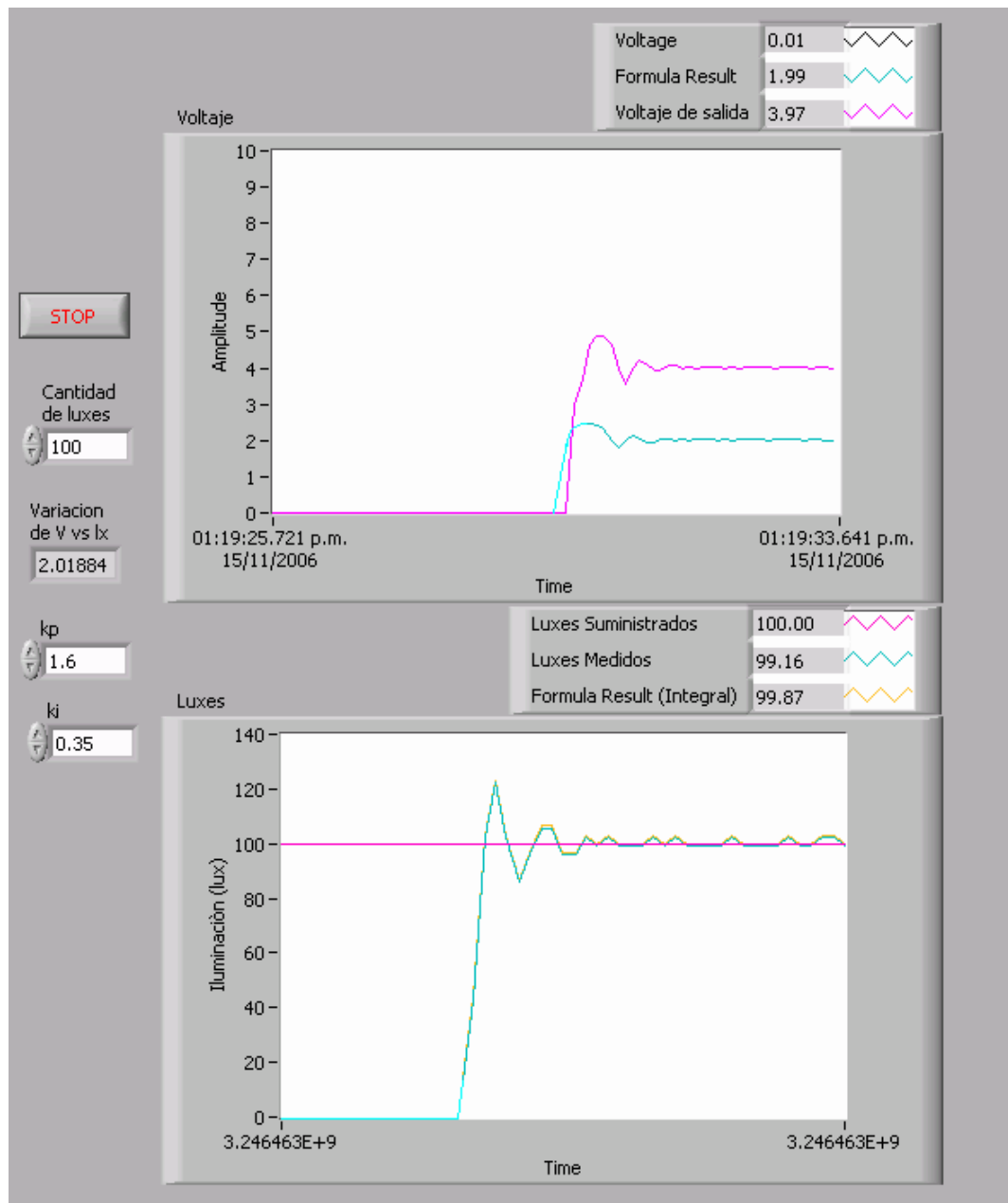


Figura 4.15 Monitor de señal del control PI.

Se observa en la figura 4.12 una mejoría en la cantidad de luxes de salida en comparación con el valor de referencia correspondiendo a una aproximación del 99.87 %, y por ende una reducción del error con la implementación de la acción de control proporcional – integral.

4.4.3 Pruebas realizadas del Control Proporcional – Integral (PI).

Con el funcionamiento del control proporcional – integral se procede a realizar más pruebas, con la misma distancia y diferentes valores de iluminación de referencia.

Tabla 4.2 Comparación de datos con el control PI.

Valor de referencia (Luxes)	Valor de salida del control PI (Luxes)	Exactitud %
100	99.87	0.13
200	199.152	0.42
300	298.384	0.53
400	407.507	-1.87
500	503.407	-0.68
600	599.299	0.11
700	695.272	0.67
800	787.764	1.53
900	870.426	3.28
1000	956.389	4.36

En los valores obtenidos con la acción de control proporcional – integral se aprecia la misma variación de la cantidad de luxes de salida en los valores de 800, 900 y 1000 luxes, esto es debido al fenómeno antes descrito del voltaje de trabajo de la lámpara.

La respuesta obtenida con la acción de control proporcional – integral es un menor margen de error, haciendo que las mediciones realizadas fueran más cercanas al valor de referencia.

En este tipo de controlador proporcional – integral se puede corregir el error como en el control proporcional, solamente variando la ganancia proporcional, ya que el comportamiento es similar.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

5.1 Conclusiones.

El sistema de control de iluminación propuesto es tan sólo el inicio de otra forma de diseñar y construir sistemas de iluminación más eficientes. La solución propuesta en este proyecto para la obtención de niveles de iluminación establecidos en la **Norma Oficial Mexicana (NOM)**, están basados en la prueba y el error, esto es que para llegar a una solución aceptable se realizaron diferentes pruebas comprobando su comportamiento.

En este trabajo de tesis se diseñó y construyó un prototipo base para el control interno de su iluminación. Asimismo, se introdujo un sensor de iluminación comercial que podría tener gran aplicación para instrumentar algunos sistemas por su facilidad y versatilidad en su uso.

El diseño realizado del sistema de control de iluminación en lazo abierto se hizo con la finalidad de observar el comportamiento de la iluminación con respecto al voltaje y así poder obtener una función de transferencia o una ecuación matemática que corresponda a la señal obtenida en las gráficas mostradas de las diferentes distancias. Dicho comportamiento corresponde a una señal de forma exponencial, el cual a una variación de voltaje modifica la cantidad de iluminación, haciendo que el propósito del sistema de lazo abierto se cumpliera satisfactoriamente, aunque no se tiene un control adecuado del nivel de iluminación. Debido a esta respuesta se tuvo la necesidad de realizar un control de lazo cerrado para obtener una respuesta más precisa, tomando en cuenta el comportamiento de la señal visto en el Capítulo 3, sección 3.7.

El propósito del control de iluminación en lazo cerrado fue usar la función principal de los controladores, que es modificar la dinámica del sistema de lazo abierto para obtener las características deseadas en lazo cerrado, implementando un controlador para obtener una respuesta satisfactoria que al compararla con el valor de referencia tuviera el 100 % de exactitud o con un mínimo de error.

Al comparar la respuesta obtenida de la retroalimentación con el valor deseado se mejoró, pero todavía existía un margen de error considerable. Este error se tenía que disminuir hasta aproximarse al valor de referencia, para cumplir con el objetivo del proyecto.

Con la aplicación del control proporcional se obtuvo una notoria mejoría del nivel de iluminación de salida, esta mejoría se logró modificando el valor de la ganancia k_p , hasta llegar a un valor que se aproximara lo suficiente al valor de referencia, aunque sin llegar al resultado deseado, pero con la implementación del control proporcional – integral, se obtuvo un mínimo de error entre el valor de referencia y el valor de salida, dejando el valor de k_p constante y ahora modificando el valor de la ganancia k_i , también la señal de salida se modificó haciendo más rápida, cumpliendo así con los objetivos planteados al inicio de este proyecto.

Si en el proyecto realizado se requiere hacer otras pruebas con otros tipos de lámparas, también es necesario cambiar los valores de la ganancia k_p y k_i , para así obtener también los valores de voltaje que correspondan a esa iluminación y haciendo que el proyecto satisfaga las necesidades del usuario para diferentes lámparas, que estén dentro de las características de diseño.

El proyecto desarrollado puede ser utilizado para diversos valores de iluminación deseada, ya que el programa desarrollado en **LabVIEW** permite tener una interfaz grafica sencilla para el uso del usuario.

Finalmente, este trabajo tiene como intención el usar sensores y tarjetas de adquisición de datos comerciales de bajo costo que pueden ser utilizados en docencia o investigación.

5.2 Observaciones.

Al hacer las primeras pruebas del sistema de control de iluminación se observo que había un voltaje remanente en la señal de salida, este voltaje no se observó cuando se probó el acondicionador con la fuente ya que se trabajaba con un voltaje fijo, cuando el valor de tensión de entrada se modificó por medio de la PC se observó dicho voltaje

en la gráfica de monitoreo y a su vez encendiendo la lámpara, por lo tanto al alimentarlo con una fuente externa de -12 v el voltaje remanente desapareció.

Nota: El acondicionador al ser energizado con la fuente de poder diseñada se contemplo que podía trabajar sin esa alimentación y de hecho funciona bien sólo aparece ese detalle.

Cada una de las etapas que se diseñaron e hicieron para el funcionamiento del sistema de control de iluminación como los son la fuente de poder y el acondicionador funcionaron adecuadamente en la prueba de las mismas.

Las pruebas realizadas en el espacio propuesto de trabajo con los diferentes tipos de lámparas se hicieron a diferentes distancias, en cada una de ellas se realizaron mediciones con diferentes intervalos de tensión para así poder observar su comportamiento debido a estos incrementos.

La respuesta que se obtuvo con sólo la retroalimentación del sistema no cumplió con el requisito de obtener una cantidad de iluminación igual al de referencia, por tal motivo se diseño el control proporcional.

Para el buen funcionamiento del control P, la ganancia se modificó con valores altos, ya que el hecho de tener una ganancia demasiado grande reducía el error estacionario, pero debido a que se esta trabajando a valores bajos de iluminación, la ganancia k_p no es tan grande en este caso.

Con el control P se tiene una respuesta satisfactoria aunque no cumple con el 100 % de exactitud por esta razón se diseño un controlador PI.

El control proporcional – integral tiene la función de hacer más rápida la respuesta del sistema y también reducir el error variando la ganancia k_i para obtener una respuesta satisfactoria, en la cual si se obtuvo una mejoría en la señal y el tiempo de respuesta del controlador.

Referencias

1. Educar. Página principal. Estados Unidos. 17 de Mayo del 2006.
<http://www.educar.org/inventos/iluminacion.asp>
2. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza. Área de Ingeniería de Sistemas y Automática. 11 de Junio del 2006.
http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/automatas_en_la_historia.htm.
3. Técnica y Gestión S.A. Pagina principal. 8 de Nov. De 2006.
<http://www.tecnicaygestionsa.com.ar/>
4. Farkhad R., “*Application of acoustical activity in ferroelectrics for control of light intensity*”, *IEEE International Symposium*, Page(s). 240 - 243, Nov. 2003.
5. Nadarajah Narendran, “*Requirements for solid-state lighting*”, *Lasers and Electro-Optics*, volumen 1, page (s) 1pp, 2004.
6. Murillo Cervi, Douglas Papis, Tiago Bandeira Marchesan, Alexandre Campos, Ricardo Nederson do Prado, “*A semiconductor lighting system controlled through a LIN network to automotive application*”, *Conference Industriy Applications*, Brazil, Octubre 2005, page (s) 1603 - 1608.
7. Westinghouse, Manual de iluminación, 4ª. Edición, España: Editorial Limusa, 2000.
8. MTAS. Iluminación. 11 de Junio del 2006.
<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/46.pdf>.
9. ICC. Los objetos y su iluminación. Canadá, 1997.

-
10. Katzuhiko Ogata, Ingeniería de Control Moderna, Tercera Edición, Editorial Pearson, 1998.
 11. Norman S. Nise, Sistemas de Control para Ingeniería, Tercera Edición, Editorial CECSA, 2000.