

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

**Diseño de fotocontroladores programables para el
control de luminarias.**

Autor: Adrian Acuña Pérez

Tutor: Dr. Carlos Alberto Bazán Prieto

Santa Clara

2016

"Año 58 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Diseño de fotocontroladores programables para el control de luminarias.

Autor: Adrian Acuña Pérez

E-mail: aacuna@uclv.edu.cu

Tutor: Dr. Carlos Alberto Bazán Prieto

Profesor, Dpto. de Electrónica y Telecomunicaciones.

Facultad de Ing. Eléctrica, UCLV.

E-mail: cabazan@uclv.edu.cu

Santa Clara

2016

"Año 58 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“Está bien celebrar el éxito, pero es más importante prestar atención a las lecciones del fracaso”

Bill Gates

DEDICATORIA

A mi madre, Belkis, que lo ha sacrificado todo por mí.

A mi hermano, Alejandro, por su apoyo incondicional.

A toda mi familia, que de una forma u otra, siempre me han apoyado.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por haberme brindado todo su apoyo y dedicación.

A mi tutor Bazán, por su toda su ayuda incondicional y su dedicación.

A todos mis amigos, especialmente a Patricia, Laura y Jorge Alberto.

A todos aquellos que de una forma u otra me ayudaron en estos cinco años.

A todos los profesores de la Universidad que contribuyeron a mi formación como profesional, a todos de verdad, GRACIAS.

RESUMEN

Un fotocontrolador es un circuito capaz de controlar el alumbrado en calles, avenidas y pasillos. Su funcionamiento consiste en encender las lámparas en la noche y apagarlas durante el día, basado en el nivel de iluminación. En el alumbrado público en Cuba son usados diferentes tipos de fotocontroladores. Muchos de ellos tienen problemas de roturas frecuentes, dando como resultado un aumento de consumo de energía y un desgaste de las luminarias. Por ello se propone un fotocontrolador electrónico basado en un microcontrolador PIC 12F675 y una arquitectura centralizada. La programación de histéresis y las demoras impiden que ocurran oscilaciones en la conmutación y la ruptura o disminución del tiempo de vida de las luminarias. El programa también incluye un algoritmo de aprendizaje de la duración de la noche, dando la posibilidad de apagar las lámparas en horarios de poca actividad. El montaje de un banco de prueba, que es un sistema de adquisición de datos, permite el monitoreo constante de los fotocontroladores. Este monitoreo permite ajustar los tiempos y niveles de conmutación de los fotocontroladores para que trabajen de forma correcta y precisa.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	1
Organización del informe	4
CAPÍTULO 1. TIPOS DE FOTOCONTROLADORES Y COMPONENTES DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	5
1.1 Características generales de los fotocontroladores	5
1.2 Estudio de Fotocontroladores.....	7
1.3 Sistema de Adquisición de Datos.....	13
1.3.1 Sensores fotoeléctricos	16
1.3.2 Transformador de Corriente (TC).....	19
1.3.3 Transformador de Potencial (TP)	21
1.3.4 Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009	23
1.4 Conclusiones parciales	27
CAPÍTULO 2. DISEÑO DE FOTOCONTROLADORES CON EL USO DE UN MICROCONTROLADOR.	28
2.1 Diseño de la fuente de voltaje de los fotocontroladores	28
2.2 Diseño del hardware de los fotocontroladores	30
2.3 Diseño del software de los fotocontroladores	34
2.4 Conclusiones parciales	37
CAPÍTULO 3. MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBA PARA EL MONITOREO DE FOTOCONTROLADORES.	38

3.1	Diseño de los circuitos del banco de prueba	38
3.2	Diseño del software para adquirir los datos del banco de prueba	42
3.3	Muestra de resultados.....	47
3.4	Conclusiones parciales	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		50
Conclusiones		50
Recomendaciones		50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		52
ANEXOS		54
Anexo I Código del software que maneja el fotocontrolador.....		54

INTRODUCCIÓN

Diferentes estudios internacionales han demostrado que la iluminación juega un papel fundamental en la seguridad vial. Según cifras de la Asociación de Automovilistas Europeos, la mala iluminación de una carretera aumenta el riesgo de sufrir un accidente en un 30%. En su estudio señalan además que el 17% de los accidentes mortales se producen de noche y en vías no iluminadas. La falta de una iluminación adecuada reduce el campo de visión y la agudeza visual en un 70%, lo que aumenta la fatiga, que es un factor que incrementa el riesgo de sufrir un siniestro. Por su parte la Asociación Española de la Carretera señala que los accidentes que se producen son seis veces más graves en una carretera oscura que en una perfectamente iluminada. El estudio dice que una buena iluminación reduce hasta en un 35% los accidentes en horas de la noche (GE Lighting, 2014).

La iluminación pública es hoy en día un feudo casi exclusivo de las lámparas de vapor de sodio, tanto de alta como baja presión. La razón fundamental consiste en la eficacia luminosa de estas lámparas, que permite convertir cada watt en una cantidad que varía entre 130 y 170 lúmenes. Aunque ya existen LED en el mercado con capacidad para alcanzar hasta los 150 lúmenes por watt, la mayoría de LEDs comerciales proporcionan entre 80 y 100 lúmenes (Bazán, 2015). En ambos tipos de luminarias, se hace necesario el uso de un circuito capaz de controlar el funcionamiento diario. Este tipo de circuito consiste, en su mayoría, en la utilización de un mecanismo actuador ante la respuesta de un elemento fotosensible, capaz de permitir el encendido de la luminaria durante la noche y el apagado durante el día. Este tipo de circuito es conocido como fotocontrolador.

Debido a las condiciones particulares del clima en Cuba, las características propias del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) y las limitaciones económicas; obligan a una

selección rigurosa de los fotocontroladores a emplear. Otro aspecto importante a tomar en consideración está relacionado con el ahorro de energía que se pueda hacer con un fotocontrolador que además controle el encendido en función del entorno en el que se va a utilizar. Por ejemplo, que permita el encendido selectivo, horario o que maneje la potencia apropiadamente. Los fotocontroladores pueden tener además de su función principal, otras prestaciones como la incorporación de histéresis en los niveles de iluminación y demoras en la conmutación ante variaciones bruscas de iluminación; las cuales pueden ser muy valiosas para hacer más eficientes las luminarias y alargar su vida útil.

Los fotocontroladores son utilizados en lugares en donde se requiere automatizar el encendido de lámparas, es decir que se enciendan y se apaguen de acuerdo al nivel de iluminación existente en dicho lugar. Son comunes en alumbrado público o también en empresas e industrias activando lámparas por la tarde/noche, por lo que su estudio se hace muy necesario. En los últimos años las investigaciones sobre el tema han estado enfocadas a la comparación entre los diferentes modelos de fotocontroladores existentes en el mercado para encontrar los más eficientes y duraderos. Unos pocos proyectos realizados en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas en colaboración con la Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Santa Clara se han encaminado a la búsqueda de fotocontroladores programables los cuales sean más exactos en el control del encendido y apagado de las luminarias (Bazán, 2015).

Con este proyecto se pretende contribuir al desarrollo de circuitos de control (fotocontroladores) para el alumbrado público en Cuba y ofrecer una respuesta a la constante demanda de luminarias públicas eficientes con soluciones económicamente factibles. Como resultado de este estudio, se deben presentar las principales ventajas y desventajas de cada una de las variantes de fotocontrolador y finalmente proponer una arquitectura apropiada a las condiciones de funcionamiento actuales en Cuba.

La presente investigación tiene como principal beneficiario y colaborador a la Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Santa Clara la cual ha colocado a nuestra disposición los recursos materiales necesarios para su correcta realización. Mientras que el departamento de Telecomunicaciones y Electrónica de la Facultad de Eléctrica de la UCLV se consta

además con las herramientas de simulación precisas para el diseño y posterior análisis de los fotocontroladores.

Con la ejecución del proyecto se dan soluciones a la problemática asociada con la adquisición de fotocontroladores modernos de gran complejidad y valor cuya adquisición no es viable para resolver los problemas de control del alumbrado público actualmente en Cuba. El uso de fotocontroladores programable representa un aporte al ahorro de energía, que conjuntamente con el aumento de la durabilidad de este dispositivo, constituyen un valioso impacto económico.

Con esta investigación se pretende cumplir los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Desarrollar un fotocontrolador programable para controlar luminarias.

Objetivos específicos:

- Estudiar las herramientas de simulación necesarias para el diseño y análisis del fotocontrolador.
- Analizar críticamente el funcionamiento de los fotocontroladores utilizados actualmente en el control de luminarias a nivel mundial y especialmente en Cuba.
- Diseñar modelos de fotocontroladores para el manejo eficiente de las luminarias.
- Montar un banco de prueba que permita el monitoreo del funcionamiento de los fotocontroladores y las luminarias.

Para darle cumplimiento a los objetivos presentados se plantearon las siguientes interrogantes científicas:

- ¿Cuál es la situación actual que presenta el desarrollo de fotocontroladores a nivel mundial y en Cuba?
- ¿Cuáles dispositivos de control y herramientas de simulación utilizar para el diseño y análisis del fotocontrolador?
- ¿Cuáles variantes de fotocontrolador basadas en microcontrolador son apropiadas al control de luminarias?

- ¿Cómo implementar un banco de prueba que permita la puesta a punto y monitoreo de los fotocontroladores y luminarias?

Los resultados de investigación poseen una aplicación práctica y teórica de gran trascendencia para todos los especialistas, investigadores y diseñadores de fotocontroladores para el manejo de luminarias.

Organización del informe

La investigación incluye tres capítulos, además de las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos correspondientes. Los temas que se abordan en cada capítulo se encuentran estructurados de la forma siguiente:

- **CAPÍTULO I:** Se dedicará a la caracterización y estudio comparativo de las diferentes variantes de fotocontroladores que se usan en la actualidad. También se expondrán las principales características y elementos de un Sistema de Adquisición de Datos.
- **CAPÍTULO II:** Se utilizará para expresar el diseño de fotocontroladores para el control de luminarias con el uso de un microcontrolador.
- **CAPÍTULO III:** Se dedicará al software y hardware diseñado y a expresar los resultados de la validación mediante la comparación de las variantes de fotocontroladores. También se diseñará y montará un banco de prueba que permita el monitorear el funcionamiento de los fotocontroladores diseñados.

CAPÍTULO 1. TIPOS DE FOTOCONTROLADORES Y COMPONENTES DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Los fotocontroladores están diseñados para que cuando dejan de funcionar la luminaria quede encendida y de esta forma darse cuenta que hay que cambiar de fotocontrolador. Si el fotocontroladores es de mala durabilidad y baja eficiencia en el alumbrado público no da buenos resultados. Si la luminaria está prendida de día consume energía innecesaria y su vida se acorta. Por esta razón en este capítulo se realizar un estudio de los fotocontroladores existentes en el mercado y se critican sus deficiencias. Para comprobar si los fotocontroladores son eficientes y duraderos es necesario realizar correctas mediciones y monitoreo de los mismos. Para ello es imprescindible un correcto sistema de adquisición de datos, que consta de varias etapas. Estas etapas y los componentes electrónicos que las forman son descritas en el presente capítulo. Todo el estudio previo de este capítulo ayudará luego al adecuado diseño de fotocontroladores eficientes y duraderos.

1.1 Características generales de los fotocontroladores

Un fotocontrolador es un dispositivo destinado a conectar o desconectar un circuito en forma automática, en función del nivel luminoso del entorno en el cual se encuentra. Es utilizado fundamentalmente para encender instalaciones de alumbrado durante la noche e interrumpir el circuito cuando llega el día. Es común en alumbrado público, empresas e industrias activando lámparas por la tarde/noche. Su utilización es muy importante ya que reducen el consumo eléctrico y brindan comodidad. El principio de funcionamiento de un fotocontrolador está basado en un sensor fotoeléctrico. El sensor fotoeléctrico actúa como transductor, produciendo una variación de un determinado parámetro físico en función del nivel luminoso del entorno. Esta variación es controlada por un circuito quién será el

encargado de realizar la conmutación por debajo y por encima de determinados valores de iluminación (2013b).

Los fotocontroladores se pueden clasificar según su estructura y funcionamiento en: electromecánicos y electrónicos. Los electromecánicos son fundamentalmente pasivos y están formados básicamente por un elemento fotoresistivo del tipo LDR (*light dependent resistor*), que varía su valor resistivo en función de la iluminación y un relé como elemento actuador final. Los electrónicos utilizan dispositivos fotosensibles como el LDR u otros como fototransistores o fotodiodos. Tienen además circuitos electrónicos activos y generalmente un relé como elemento actuador final. Estos tienen además de su función principal, otras prestaciones como la incorporación de histéresis en los niveles de iluminación y demoras en la conmutación ante variaciones bruscas de iluminación, entre otras (Bazán, 2015).

Los esquemas de alumbrado tradicionales utilizan dos arquitecturas de encendido de luminarias: distribuida y centralizada. En la arquitectura distribuida cada luminaria se controla directamente con un fotocontrolador. En la práctica esta arquitectura queda limitada a espacios donde se deben colocar pocas lámparas como pueden ser frente de locales, pequeñas playas, etc. La arquitectura distribuida tiene la ventaja que al fallar el fotocontrolador solo una lámpara deja de tener conexión o desconexión automática. Pero presenta el inconveniente que las luminarias se enciendan y/o apaguen a distinto tiempo, existiendo entre operaciones similares algunos minutos de separación. Por otra parte en la arquitectura centralizada un fotocontrolador actúa sobre un contactor magnético, que conjuntamente con otros circuitos de protección, controlan varias luminarias. Esta arquitectura consta de un contactor, mono o trifásico. Este elemento dotado de interruptores con robustos contactos posee capacidad para manejar gran cantidad de lámparas. Por ello la arquitectura centralizada es usada en calles y/o avenidas, donde se colocan muchas lámparas. Dicha arquitectura tiene la desventaja que al fallar el fotocontrolador todas las lámparas de un gran sector dejan de tener conexión o desconexión automática. Este diseño de circuito presenta una reducción en la cantidad de fotocontroladores. Pero implica un incremento de costo por la colocación de un contactor. A pesar de ello, en la actualidad es el diseño más usado (Bazán, 2015).

1.2 Estudio de Fotocontroladores

El fotocontrolador modelo FG 2000 de la compañía IMTRAN (IMTRAN, 2016a) está diseñado para controlar la conexión y desconexión de luminarias, exterior o interior, a través del cambio de nivel de iluminación natural. El retraso de apagado es máximo 1 minuto para evitar el apagado por luces de vehículos o relámpagos. La conexión del fotocontrolador se produce con un nivel de iluminación ambiental comprendido entre 5 y 12 Lux, y la desconexión entre 12 y 60 Lux. La operación del fotocontrolador es insensible a las variaciones de tensión de red.

El fotocontrolador modelo FG 2000 está compuesto por los siguientes elementos:

- Sensor de luz semiconductor (fototransistor) de larga vida que no presenta variaciones por temperatura ni autocalentamiento.
- El encendido y apagado de la lámpara se hace a través de un relé controlado por un circuito electrónico.
- Carcasa de polipropileno de alta duración y gran capacidad de resistencia al impacto.
- Tiene incorporado un protector contra sobretensiones (MOV-Varistor óxido metálico) protegiendo a la lámpara y al fotocontrolador contra cambios inesperados de voltaje.
- Fusible interno que protege el fotocontrolador contra cortocircuitos en la carga, y mayores cargas conectadas.

Otro de los fotocontroladores de la compañía IMTRAN es el modelo FG 2013 (IMTRAN, 2016b) que controla la conexión y desconexión de artefactos eléctricos para iluminación a través del cambio del nivel lumínico del medio ambiente. Tiene un retraso de respuesta de apagado máximo de 8 segundos. Especialmente importante cuando el fotocontrolador recibe un rayo de luz, originado por un relámpago o por luces de un vehículo. Como base de tiempo el sistema mide la duración de las últimas siete noches. Su funcionamiento es controlado por un microprocesador. Mediante una llave selectora el usuario puede programar el funcionamiento tomando como base la mitad de la noche, independientemente de la estación del año. El aspecto exterior de este fotocontrolador y el selector se muestran en la figura 1.1.

La regulación consta de 8 posiciones:

- Posición (1): Funcionamiento como fotocontrolador normal.
- Posición (2): Apaga la luminaria en la mitad de la noche.
- Posición (3): Apaga luminaria 1 hora antes de la mitad de la noche.
- Posición (4): Apaga luminaria 1 hora después de la mitad de la noche.
- Posición (5): Apaga luminaria 2 horas después de la mitad de la noche.
- Posición (6): Apaga la luminaria en la mitad de la noche y enciende 4 horas más tarde.
- Posición (7): Apaga la luminaria en la mitad de la noche y enciende 5 horas más tarde.
- Posición (8): Apaga la luminaria en la mitad de la noche y enciende 6 horas más tarde.



Figura 1.1. Fotocontrolador modelo FG 2013 (IMTRAN, 2016b).

El fotocontrolador modelo FG 2013 está compuesto por los siguientes elementos:

- Sensor de luz semiconductor (fototransistor) de larga vida, que no presenta variaciones por temperatura.
- Tiene incorporado un protector contra sobretensiones (MOV-Varistor óxido metálico) protegiendo a la lámpara y al fotocontrolador contra cambios inesperados de voltaje.
- Carcasa de polipropileno de alta duración y gran capacidad de resistencia al impacto.
- El encendido y apagado de esta serie, se realiza a través de un relé controlado por un circuito electrónico.
- Su funcionamiento es controlado por un microprocesador.

La compañía TES (*Tork ElectroSistemas*) (TORK Electro Sistemas, 2011) también produce fotocontroladores para el mercado. Los fotocontroladores de la Serie 2000 son electromecánicos y son usados para el control del encendido y apagado de luminarias de calles y autopistas. Diseñado para actuar con luz natural. El encendido del fotocontrolador se produce con un nivel de iluminación ambiental comprendido entre 10 y 30 Lux, y el apagado de aproximadamente 5 veces el nivel de encendido.

El fotocontrolador Serie 2000 está compuesto por los siguientes elementos:

- Un relé electromagnético de alta corriente o bimetálico calentado por elemento resistivo, encargado de conmutar el encendido de la lámpara.
- Una fotocelda de sulfuro de cadmio, ½ pulgada de diámetro.

La Serie 5200 de fotocontroladores TES (TORK Electro Sistemas, 2011) son electrónicos y son usados para el control de encendido y apagado de luminarias de calles, negocios, edificios empresariales, etc. El encendido del fotocontrolador se produce con un nivel de iluminación ambiental comprendido entre 10 y 12 Lux, y el apagado de aproximadamente 1.5 veces el nivel de encendido. El retardo de apagado es de 3 a 5 segundos para evitar encendidos en falso provocados por fuentes de iluminación momentáneas.

El fotocontrolador Serie 5200 está compuesto por los siguientes elementos:

- Sensor de luz semiconductor (fototransistor) de larga vida, que no presenta variaciones por temperatura.
- El encendido y apagado se realiza a través de un relé sin importar los cambios de la temperatura ambiente.
- Cúpula resistente de polipropileno estabilizado contra rayos ultravioletas.
- Tiene incorporado un protector contra sobretensiones (MOV-Varistor óxido metálico) protegiendo a la lámpara y al fotocontrolador contra cambios inesperados de voltaje.

Los fotocontroladores de la compañía Zodion (Zodion, 2014) son diseñados y confeccionados para encontrar tres criterios esenciales: para conservar calles bien iluminadas y seguras, para reducir impacto en el medio ambiente y para asegurar máxima eficiencia. Estos fotocontroladores son interruptores esencialmente manejados por luz.

Responden a cambios ligeros de luz con excepcional sensibilidad. Encienden el alumbrado público poco antes del crepúsculo (para tener en cuenta el calentamiento de las luminarias) y apagan tan pronto como hay suficiente luz en la mañana siguiente.

Los fotocontroladores SS9 de la compañía Zodion (Zodion, 2014) son de estado sólido, es decir, el elemento actuador de salida es semiconductor. Los fotocontroladores SS9 funcionan con un microcontrolador y son una solución innovadora para áreas donde el alumbrado no es necesario toda la noche. Estos fotocontroladores apagan las luminarias en los horarios de poco tráfico, es decir, desde la medianoche hasta una hora antes de amanecer. Estos valores son ajustados dependiendo de la época del año. Los fotocontroladores SS9 presentan las siguientes características:

- Un fotodiodo como sensor de luz.
- Demora de 20 segundos antes de la conmutación.
- Apagado de las luminarias con 70 Lux y encendido con 35 Lux de iluminación.
- Cúpula resistente de polipropileno estabilizado contra rayos ultravioletas.

Los fotocontroladores que se utilizan en Cuba para las luminarias públicas son en su mayoría de la familia CRL-JL, de la compañía CR Technology Systems (CR Technology Systems, 2013). Como parte de un proyecto de colaboración realizado entre la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas y la Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Santa Clara se disponen de estos modelos de fotocontroladores. Los fotocontroladores de la serie CRL-JL-201 están fabricados para controlar automáticamente el alumbrado de calles, jardines o pasillos, de acuerdo con el nivel de la luz natural. En la figura 1.2 se presenta su aspecto exterior.



Figura 1.2. Fotocontrolador de la serie CRL-JL-201 (CR Technology Systems, 2013).

Estos fotocontroladores se pueden utilizar en arquitecturas distribuidas, como se muestra en la figura 1.3, o en arquitecturas centralizadas conjuntamente con protección automática magneto térmica (breaker) en el circuito de salida y la conexión/desconexión mediante un contactor magnético para conmutar varios circuitos de carga.

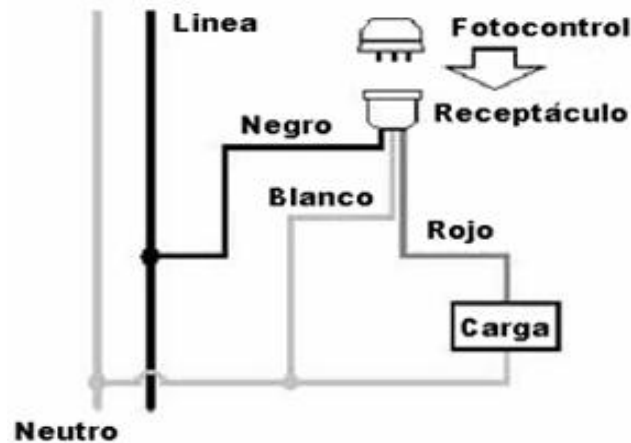


Figura 1.3. Esquema de conexión en la arquitectura distribuida (Bazán, 2015).

Existen varios modelos de fotocontroladores de esta serie que se pueden clasificar como electromecánicos, por ejemplo el CRL-JL-201, CRL-JL-202 (CR Technology Systems, 2013). Estos están compuestos por los siguientes elementos:

- Un relé electromagnético de alta corriente o bimetálico calentado por elemento resistivo, encargado de conmutar el encendido de la lámpara.
- Una LDR: encargada de detectar el nivel de iluminación.
- Un varistor de óxido metálico (MOV): para la protección contra elevados picos de tensión por pequeños intervalos de tiempo.

Del análisis de sus componentes y de los resultados de la explotación de estos tipos de dispositivos, se pueden enumerar las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Poseen un diseño simple, de fácil implementación.
- El costo de construcción es relativamente bajo.

Desventajas:

- La LDR es de potencia y trabaja directamente de la alimentación, lo que provoca averías.
- La vida útil depende principalmente de las limitaciones de conmutación del relé.
- Carece de histéresis en los niveles de iluminación y demoras en la conmutación ante variaciones bruscas de iluminación.

Otros modelos de fotocontroladores de esta serie se pueden clasificar como electrónicos. Por ejemplo el CRL-JL-204 (CR Technology Systems, 2013). Están compuestos por los siguientes elementos:

- Un relé electromagnético de alta corriente encargado de conmutar el encendido de la lámpara.
- Una LDR: encargada de detectar el nivel de iluminación.
- Un varistor de óxido metálico (MOV): para la protección contra picos elevados de tensión por pequeños intervalos de tiempo.
- Una fuente capacitiva de baja tensión, para alimentar al circuito electrónico.
- Circuito electrónico basado en Amplificadores Operacionales encargado de comparar los niveles de iluminación con histéresis y demora en la conmutación ante variaciones bruscas de iluminación.

Del análisis de sus componentes y de los resultados de la explotación de estos tipos de dispositivos, se pueden enumerar las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Funcionamiento más preciso.
- Histéresis y demora configurables en la conmutación, ante cambios de iluminación.

Desventajas:

- La fuente de alimentación capacitiva de baja tensión utiliza un diodo zener como limitador de tensión. Este tipo de fuente depende de la carga, por lo que las

conmutaciones del relé provocan la sobrecarga del diodo zener, su calentamiento y ruptura; que se hace crítico ante las subidas de tensión en los circuitos de alumbrado.

- Mayor complejidad y probabilidad de fallas de componentes electrónicos. Aquí influye la calidad de los componentes electrónicos empleados.

La histéresis en los niveles de iluminación impide que ocurran oscilaciones en la conmutación y la consecuente degradación de los contactos eléctricos. Las variaciones bruscas de iluminación, ocasionadas por destellos luminosos de los autos o relámpagos, también pueden provocar falsas conmutaciones del alumbrado. Estos efectos se pueden reducir con el empleo de demoras en el mecanismo de procesamiento del nivel de iluminación. Los efectos descritos anteriormente también inciden en la reducción de la vida útil de las luminarias. Por estas razones, es recomendable emplear fotocontroladores electrónicos que permitan configurar la histéresis y la demora en la conmutación, ante cambios de iluminación (Bazán, 2015).

En los siguientes epígrafes se describen los elementos más significativos que se utilizan como parte del fotocontrolador o del sistema de medición de información.

1.3 Sistema de Adquisición de Datos

La adquisición de señales, consiste en tomar muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ). La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto que se desea medir. Esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura, la intensidad de una fuente de luz, la presión dentro de una cámara, la fuerza aplicada a un objeto, o muchas otras cosas (Rico et al., 1995). En la figura 1.4 se muestran los elementos o etapas de un sistema de adquisición de datos.

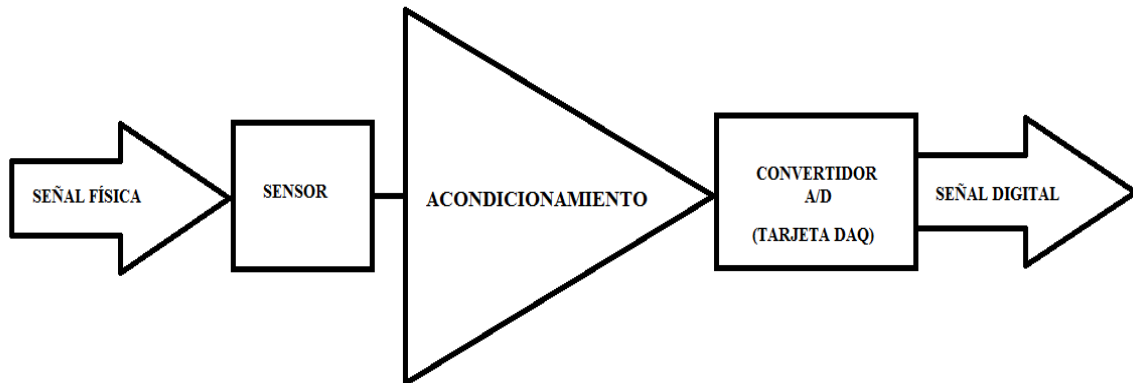


Figura 1.4. Elementos de un Sistema de Adquisición de Datos.

Un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física en una señal eléctrica correspondiente medible. Esta señal eléctrica puede ser voltaje, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores. Transductor es sinónimo de sensor en sistemas de DAQ. Hay transductores específicos para diferentes aplicaciones, como la medición de la temperatura, la presión, o la intensidad de una fuente de luz. DAQ también despliega diversas técnicas de acondicionamiento de señales para modificar adecuadamente diferentes señales eléctricas en voltajes, que luego pueden ser digitalizados (Chicala, 2004).

El acondicionamiento de señales suele ser necesario si la señal desde el transductor no es adecuado para el hardware DAQ que se utiliza. La señal puede ser amplificada o reducida, o puede requerir de filtrado. En una etapa de acondicionamiento podemos encontrar las siguientes etapas, aunque no todas están siempre presentes: amplificación, atenuación, aislamiento, multiplexado, filtrado y linealización. La **amplificación** es el tipo más común de acondicionamiento. Para conseguir la mayor precisión posible la señal de entrada debe ser amplificada de modo que su máximo nivel coincida con la máxima tensión que el convertidor pueda leer. La **atenuación** se necesita cuando las tensiones que se van a digitalizar están fuera del rango del convertidor analógico-digital (ADC). Esta forma de acondicionamiento de la señal disminuye la amplitud de la señal de entrada de modo que la señal acondicionada quede dentro del rango de tensión del ADC. La atenuación es típicamente necesaria cuando se miden tensiones de más de 10V. El **aislamiento** eléctrico entre el transductor y el ordenador es para proteger al ordenador de transitorios de alta

tensión que puedan dañarlo. Un motivo adicional para usar aislamiento es el garantizar que las lecturas del convertidor no sean afectadas por diferencias en el potencial de tierra o por tensiones en modo común. Este se puede lograr con el uso de transformadores de potencia o corriente que tengan aislamiento galvánico. El **multiplexado** es la conmutación de las entradas del convertidor, de modo que con un sólo convertidor podemos medir los datos de diferentes canales de entrada. Puesto que el mismo convertidor está midiendo diferentes canales, su frecuencia máxima de conversión será la original dividida por el número de canales muestreados. Se aconseja que los multiplexores se utilicen antes del conversor y después del condicionamiento de la señal, ya que de esta manera no molestará a los aislantes que podamos tener. El fin del **filtrado** es eliminar las señales no deseadas de la señal que estamos observando. Las señales alternas, tales como la vibración, necesitan un tipo distinto de filtro, conocido como filtro antialiasing. Este es un filtro pasabajo que elimina totalmente las señales de frecuencias superiores a la mitad de la frecuencia muestreo. Es muy necesario ya que si no se eliminasen aparecerían superpuestas a la señal medida, con el consiguiente error. La **linealización** es necesaria ya que muchos transductores presentan una respuesta no lineal ante cambios lineales en los parámetros que están siendo medidos. Aunque la linealización puede realizarse mediante métodos numéricos en el sistema de adquisición de datos, suele ser una buena idea el hacer esta corrección mediante circuitería externa (Ashlock, 2015).

El hardware DAQ es por lo general la interfaz entre la señal y una PC. Puede ser en forma de módulos que logran ser conectados a la computadora. La conexión puede ser mediante los puertos o ranuras de las tarjetas conectadas a en la placa madre. Las tarjetas DAQ a menudo contienen múltiples componentes (multiplexores, convertidor analógico-digital (ADC), convertidor digital-analógico (DAC) y temporizadores de alta velocidad). Estos son accesibles a través de un bus por un micro controlador, que puede ejecutar pequeños programas. Los driver del software normalmente vienen con el hardware DAQ y permite que el sistema operativo pueda reconocer el hardware DAQ. De esta manera los programas acceden a las señales de lectura mediante el hardware DAQ (Ashlock, 2015).

1.3.1 Sensores fotoeléctricos

Fotodiodo

Un fotodiodo es un semiconductor construido con una unión PN, sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja, su símbolo electrónico se muestra en la figura 1.5. Para su correcto funcionamiento se polariza inversamente, con lo que producirá una cierta circulación de corriente cuando sea excitado por la luz. Debido a su construcción, los fotodiodos se comportan como células fotovoltaicas, es decir, en ausencia de luz exterior generan una tensión muy pequeña. Esta corriente presente en ausencia de luz recibe el nombre de corriente de oscuridad (FIDEMAR, 2011).

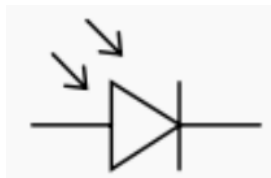


Figura 1.5. Símbolo electrónico del fotodiodo.

Principio de operación

Cuando un haz de luz de suficiente energía incide en el diodo, excita un electrón dándole movimiento y crea un hueco con carga positiva. Si la absorción ocurre en la zona de agotamiento de la unión, o a una distancia de difusión de él, estos portadores son retirados de la unión por el campo de la zona de agotamiento, produciendo una fotocorriente. En el fotodiodo la corriente (que varía con los cambios de la luz) es la que circula en sentido inverso al permitido por la juntura del diodo. Es decir, para su funcionamiento el fotodiodo es polarizado de manera inversa. Se producirá un aumento de la circulación de corriente cuando el diodo es excitado por la luz (FIDEMAR, 2011).

Composición

El material empleado en la composición de un fotodiodo es un factor crítico para definir sus propiedades (Ver tabla 1.1). Suelen estar compuestos de silicio, sensible a la luz visible; germanio para luz infrarroja; o de cualquier otro material semiconductor. También es posible la fabricación de fotodiodos para su uso en el campo de los infrarrojos medios (longitud de onda entre 5 y 20 μm), pero estos requieren refrigeración por nitrógeno líquido.

Tabla 1.1. Materiales de construcción del fotodiodo.

Material	Longitud de onda (nm)
Silicio	190–1100
Germanio	800–1900
Arseniuro de galio indú (InGaAs)	800–2600
Sulfuro de plomo	1000-3900

Fototransistor

Sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos. La luz incide sobre la región de base, generando portadores en ella. Esta carga de base lleva el transistor al estado de conducción. El fototransistor es más sensible que el fotodiodo por el efecto de ganancia propio del transistor. Un fototransistor es igual a un transistor común, con la diferencia que el primero puede trabajar de 2 formas: como transistor normal (modo común) o como fototransistor (modo de iluminación). Puede utilizarse de las dos formas simultáneamente, aunque el fototransistor se utiliza principalmente con el pin de la base sin conectar. En el mercado se encuentran fototransistores tanto con conexión de base como sin ella y tanto en cápsulas plásticas como metálicas provistas de una lente (FIDEMAR, 2011). El símbolo electrónico del fototransistor se muestra en la figura 1.6.



Figura 1.6. Símbolo electrónico del fototransistor.

Composición

Es difícil definir las características de los materiales que se usan para hacer un fotodiodo, ya que solo fotones con suficiente energía como para excitar a los electrones producirán una fotocorriente significativa. Los fotodiodos pueden ser de silicio, germanio, arseniuro de

galio o sulfuro de plomo II. En la tabla 1.2 se muestran los materiales de construcción del fototransistor.

Tabla 1.2. Materiales de construcción del fototransistor.

Material	Longitud de onda (nm)
Silicio	190–1100
Germanio	400–1700
Arseniuro de galio indú	800–2600
Sulfuro de plomo (II)	1000-3500

Fotorresistor

Un fotorresistor o LDR (*Light-Dependent Resistor*) es un componente electrónico cuya resistencia varía en función de la luz, su símbolo electrónico se muestra en la figura 1.7. El valor de resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él (puede descender hasta 50 ohm) y muy alto cuando está a oscuras (varios megohmios) (Serna et al., 2010).



Figura 1.7. Símbolo electrónico del fotorresistor.

Principio de operación

Su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico. Un fotorresistor está hecho de un semiconductor de alta resistencia como el sulfuro de cadmio (CdS). Si la luz que incide en el dispositivo es de alta frecuencia, los fotones son absorbidos por las elasticidades del semiconductor dando a los electrones la suficiente energía para saltar la banda de conducción. El electrón libre que resulta, y su hueco asociado, conducen la electricidad, de tal modo que disminuye la resistencia. Los valores típicos varían entre 1 MΩ, o más, en la oscuridad y 100 Ω con luz brillante (FIDEMAR, 2011).

Las células de sulfuro del cadmio se basan en la capacidad del cadmio de variar su resistencia según la cantidad de luz que incide en la célula. Cuanta más luz incide, más baja es la resistencia. Las células son también capaces de reaccionar a una amplia gama de frecuencias, incluyendo infrarrojo (IR), luz visible, y ultravioleta (UV) (Serna et al., 2010).

La variación del valor de la resistencia tiene cierto retardo, diferente si se pasa de oscuro a iluminado o de iluminado a oscuro. Esto limita a no usar los LDR en aplicaciones en las que la señal luminosa varía con rapidez. El tiempo de respuesta típico de un LDR está en el orden de una décima de segundo. Esta lentitud da ventaja en algunas aplicaciones, ya que se filtran variaciones rápidas de iluminación que podrían hacer inestable un sensor. En otras aplicaciones (saber si es de día o es de noche) la lentitud de la detección no es importante.

1.3.2 Transformador de Corriente (TC)

El transformador de corriente, conocido como TC, es el dispositivo diseñado para suministrar la corriente adecuada a los aparatos de medición y/o protección. En el mismo la corriente secundaria es proporcional a la corriente primaria y desfasada respecto a ella un ángulo cercano a cero, en las condiciones normales de uso. El primario de dicho transformador está conectado en serie con el circuito que se desea controlar. En tanto que el secundario está conectado a los circuitos de corriente de uno o varios aparatos de medición, relevadores o aparatos análogos, conectados en serie. Un transformador de corriente puede tener uno o varios devanados secundarios embobinados sobre uno o varios circuitos magnéticos separados (Edminister et al., 1997).

La principal función de un transformador de corriente es la reducir a valores no peligrosos y manejables, las características de corriente en un sistema eléctrico. Esto se realiza con el fin de permitir el empleo de aparatos de medición normalizados, por consiguiente más económicos y que pueden manipularse sin peligro. También tiene la función de aislar eléctricamente el sensor y el dispositivo que realiza la conversión A/D. Con el propósito de proteger al dispositivo de transitorios de alta tensión que puedan dañarlo (RIVERA, 2014).

Circuito Equivalente

El circuito equivalente para un TC con una carga (*burden*) conectada en el secundario es mostrado en la figura 1.8.

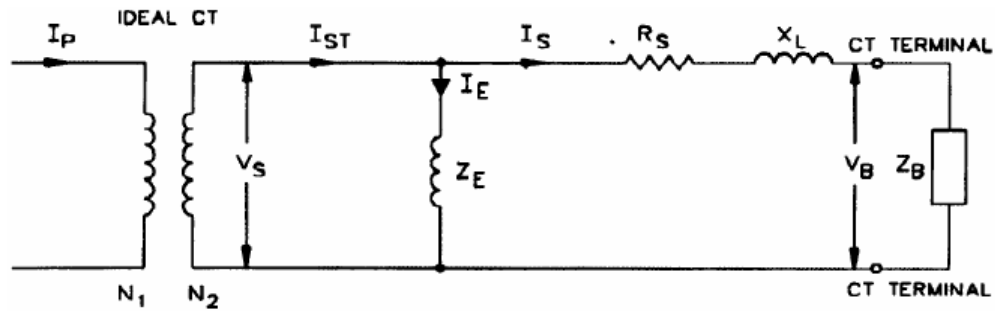


Figura 1.8. Circuito equivalente de un TC y su Carga o Burden (RIVERA, 2014).

Donde:

V_S - Tensión secundaria de excitación [V]

I_P - Corriente en el primario [A]

I_S - Corriente debida a la carga [A]

I_E - Corriente de excitación [A]

$I_{ST} = I_E + I_S$ - Corriente total en el secundario [A]

N_2/N_1 - Relación de transformación

V_B - Tensión en la carga conectada

Z_E - Impedancia de Excitación [Ω]

R_S - Resistencia del secundaria [Ω]

Z_B - Impedancia de la carga (Burden)

X_L - Reactancia de fuga (despreciable en TC's clase C)

De lo anterior se obtiene la relación entre la corriente primaria y secundaria de un transformador de corriente:

$$I_P \cdot (N_1) = (I_E + I_S) \cdot N_2$$

La corriente de excitación I_E se genera por las corrientes de magnetización en el núcleo del TC y las pérdidas de corriente ocasionadas por la histéresis y corrientes parasitas de Eddy, dicha corriente causa una tensión de excitación en el secundario (V_S) que permite al TC proporcionar la corriente a través del *burden*, (como pueden ser los relevadores, medidores, cables, etc.) conectado al secundario del transformador. Cuando la tensión en la carga es

baja la corriente de excitación será baja, pero si la tensión es alta debido a una mayor impedancia o corriente demandada por el *burden*, la corriente de excitación aumentará (RIVERA, 2014).

1.3.3 Transformador de Potencial (TP)

Se denomina transformador de potencial (TP) a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir el voltaje en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia, su símbolo electrónico se muestra en la figura 1.9. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores (Oliva, 1972).

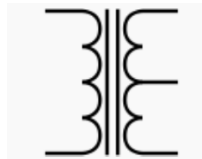


Figura 1.9. Símbolo electrónico del TP.

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de voltaje, en energía alterna de otro nivel de voltaje, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo. El núcleo, generalmente, es fabricado bien sea de hierro o de láminas apiladas de acero eléctrico, aleación apropiada para optimizar el flujo magnético. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado "terciario", de menor tensión que el secundario. El transformador de potencial proporciona aislamiento galvánico entre el primario y el secundario, de manera que consigue una alimentación o señal "flotante". Se utiliza principalmente como medida de protección, en equipos que trabajan directamente con la tensión de red y también para acoplar señales procedentes de sensores lejanos (Edminister et al., 1997).

El transformador de potencial se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética. Ya que si aplicamos una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, debido a la variación de la intensidad y sentido de la corriente alterna, se produce la inducción de un flujo magnético variable en el núcleo de hierro. Este flujo originará por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en el devanado secundario. El voltaje en el devanado secundario dependerá directamente del número de espiras que tengan los devanados y del voltaje del devanado primario (Oliva, 1972).

Circuito Equivalente

El circuito equivalente para el transformador de potencial es mostrado en la figura 1.10.

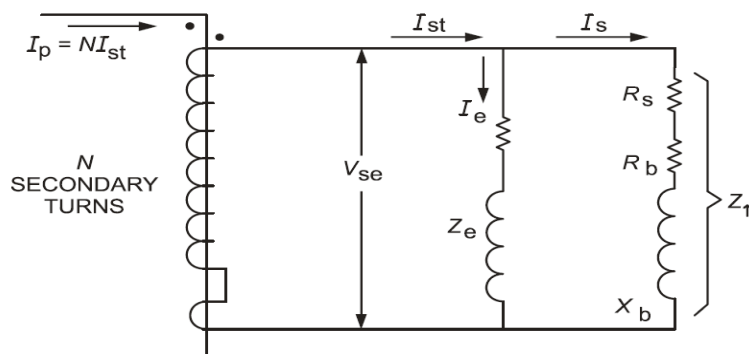


Figura 1.10. Circuito equivalente de un TP (RIVERA, 2014).

Donde:

N - Número de vueltas en el devanado secundario

R_s - Resistencia en el devanado secundario del transformador

R_b - Resistencia de la carga en el secundario (*burden*)

X_b - Reactancia de la carga en el secundario (*burden*)

Z_t - Impedancia total en el secundario del transformador

I_s - Corriente en el secundario (*burden*)

V_{se} - Valor de la tensión en el secundario (excitación)

Z_e - Impedancia de Excitación

I_e - Corriente de excitación

$I_{ST} = I_e + I_s$ - Corriente total en el secundario

I_P - Corriente total en el primario

De lo anterior podemos obtener la relación entre la corriente primaria y secundaria de un transformador de potencial:

$$I_P = N * I_{ST}$$

1.3.4 Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009

La tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009 pertenece a la compañía National Instrument. Es el dispositivo que permite lograr una interacción entre las señales analógicas del mundo físico y el mundo virtual de la computadora. Dicha tarjeta de adquisición funciona con señales de información en un sistema binario muy complejo. En esencia esta tarjeta de adquisición se encarga de realizar la conversión de las señales Analógico/Digital. Esta tarjeta a su vez se encuentra interactuando con un software de programación llamado LabVIEW. Programa encargado de dar las órdenes a la tarjeta para recibir o enviar señales en un tiempo determinado, a través de una conexión vía USB. A continuación se describen algunas características de la tarjeta de adquisición NI USB-6009, mayor información se puede encontrar en (Guide and Specifications, 2011).

Características generales

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s).
- 2 salidas analógicas estáticas (12 bits); 12 E/S digitales; contador de 32 bits.
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada.
- La versión OEM (*Original Equipment Manufacturer*) está disponible.
- Compatible con LabVIEW, LabWindows™/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET.

LabVIEW incluye un grupo de VIs que permiten configurar, adquirir datos y enviarlos a los dispositivos DAQ. Frecuentemente un dispositivo puede ejecutar una variedad de funciones (conversión análogo a digital –A/D- , conversión digital a análogo – D/A-, E/S digital y operaciones de contador / temporizador. Cada dispositivo soporta diferentes DAQ y

velocidades de generación de señal. También cada dispositivo DAQ es diseñado para plataformas de hardware y sistemas operativos específicos.

La tarjeta NI USB-6009 es una tarjeta de adquisición de datos multifuncional para Windows 2000/XP/Vista, MAC OS X, LINUX; posee alto rendimiento y alta velocidad de muestreo. En las figuras 1.11 y 1.12 se muestran el pinout y el diagrama de bloques de la estructura interna respectivamente. Las especificaciones de la tarjeta y el soporte de proveedores externos hacen ideal su uso para un amplio rango de aplicaciones en nuestro caso el de la adquisición de datos, para la industria, laboratorios, control de procesos y automatización de sistemas en las fábricas. En la tabla 1.3 se describen los terminales de E/S de la tarjeta NI USB-6009.

Características:

- Canales de entrada analógica seleccionados por software: 8 canales unipolares y 4 diferenciales.
- Un convertidor A/D de 14 bits de aproximaciones sucesivas y 13 bits de modo diferencial. El rango máximo de muestreo de la tarjeta es 5 Mhz.
- Rangos de entradas analógicas seleccionadas por software:
 - Unipolares: $\pm 10V$.
 - Diferenciales: $\pm 20V, \pm 10V, \pm 5V, \pm 4V, \pm 2.5V, \pm 2V, \pm 1.25V, \pm 1V$.
- Provee de dos modos de disparo para el A/D: por software y por disparador digital externo.
- Muestreo de tasa máxima: Un canal 48 KS/s, para múltiples canales 42KS/s.
- Voltaje de trabajo $\pm 10V$, con una impedancia de entrada de $144K\Omega$ y una protección de sobretensión de $\pm 35V$.
- Cuenta con 8 entradas analógicas y 8 digitales ambas pueden configurarse como entradas o salidas por medio de software además posee 8 salidas digitales con 2 salidas analógicas utilizando un convertidor de aproximaciones sucesivas.

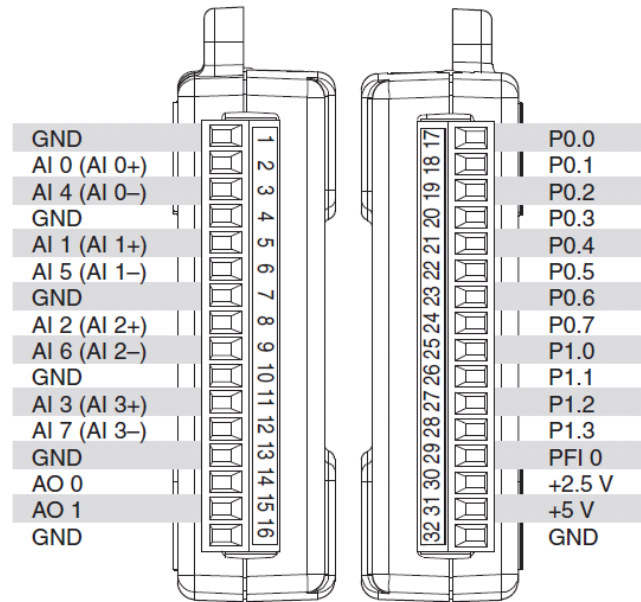


Figura 1.11. Pinout de la tarjeta NI USB-6009 (Guide and Specifications, 2011).

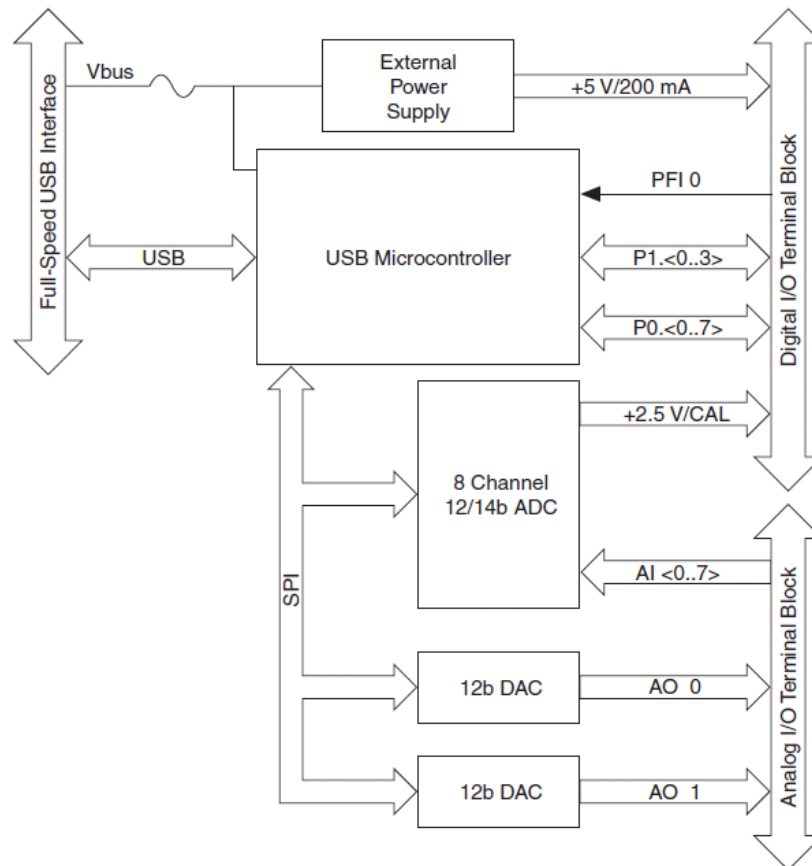


Figura 1.12. Diagrama de bloques de la estructura interna de NI USB-6009 (Guide and Specifications, 2011).

Descripción de los terminales

Tabla 1.3. Descripción de los terminales de E/S de NI USB-6009 (Guide and Specifications, 2011).

Nombre de la señal	Referencia	Dirección	Descripción
GND	–	–	Tierra
AI<0...7>	Varias	Entrada	Para las mediciones de terminación única, cada señal es un canal de entrada de tensión analógica. Para las mediciones diferenciales, AI 0 y AI 4 son las entradas positiva y negativa del canal de entrada analógico diferencial 0. Los pares de señales siguientes también forman canales de entrada diferencial: AI <1, 5>, AI <2, 6>, y AI <3, 7>.
AO 0	GND	Salida	Canal 0 de salida analógica, suministra voltaje de salida del canal AO 0
AO 1	GND	Salida	Canal 1 de salida analógica, suministra voltaje de salida del canal AO 1
P0.<0...7> P1.<0...3>	GND	Salida y Entrada	Señales de entrada y salida. Cada señal puede ser configurada individualmente como entrada o salida.
PFI 0	GND	Entrada	PFI 0, este pin es como disparador digital o como contador.
+2.5V	GND	Salida	+2.5V referencia de entrada. Provee una referencia
+5V	GND	Salida	+5V fuente de alimentación. Provee 200mA

1.4 Conclusiones parciales

A partir del análisis de los fotocontroladores podemos verificar la gran utilidad de estos dispositivos en el control del alumbrado. Luego de observar críticamente los fotocontroladores existentes en el mercado se puede ver que estos tienen varias deficiencias. Estas deficiencias deben ser eliminadas con el diseño de nuevos fotocontroladores electrónicos más eficientes y duraderos. Se presentaron las principales características de los componentes básicos de los fotocontroladores, así como los componentes principales del sistema de adquisición de información a emplear en el banco de pruebas.

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE FOTOCONTROLADORES CON EL USO DE UN MICROCONTROLADOR.

Luego de la crítica y el estudio realizado a los fotocontroladores en el capítulo anterior se demostró que los fotocontroladores electrónicos son los más adecuados. En este capítulo se realiza el diseño de variantes de fotocontroladores electrónicos con microcontroladores. La utilización de un microcontrolador permite la programación de demoras ante destellos de luz. También el establecimiento de un algoritmo de estimación de duración de la noche que permita el apagado de las luminarias de forma alterna en horarios de poco tráfico. La inclusión de un microcontrolador y su correcta programación permite alargar la vida útil de las luminarias y el ahorro de energía eléctrica.

2.1 Diseño de la fuente de voltaje de los fotocontroladores

Una fuente de alimentación capacitiva es una fuente que utiliza la reactancia de un capacitor para reducir la tensión de línea hasta bajo voltaje. Tienen dos limitaciones importantes: La primera, que por las prestaciones solicitadas en el capacitor se pueden utilizar sólo para alimentaciones de baja potencia. La segunda es que por razón de la falta de aislamiento eléctrico, el circuito de utilización debe estar encapsulado para evitar el contacto directo con las personas. Una fuente de alimentación capacitiva consta de un capacitor, que con su reactancia limita la corriente que pasa por el puente de diodos rectificador. Para protegerse contra picos de tensión durante las operaciones de conmutación, tiene una resistencia conectada en serie. Un capacitor electrolítico suaviza la tensión de corriente continua y los picos de corriente en las operaciones de conmutación (Boylestad and Nashelsky, 2009). La figura 2.1 muestra la fuente capacitiva diseñada para los fotocontroladores, que consta además con un diodo zener y un regulador de voltaje

7805 para lograr la estabilidad de voltaje.

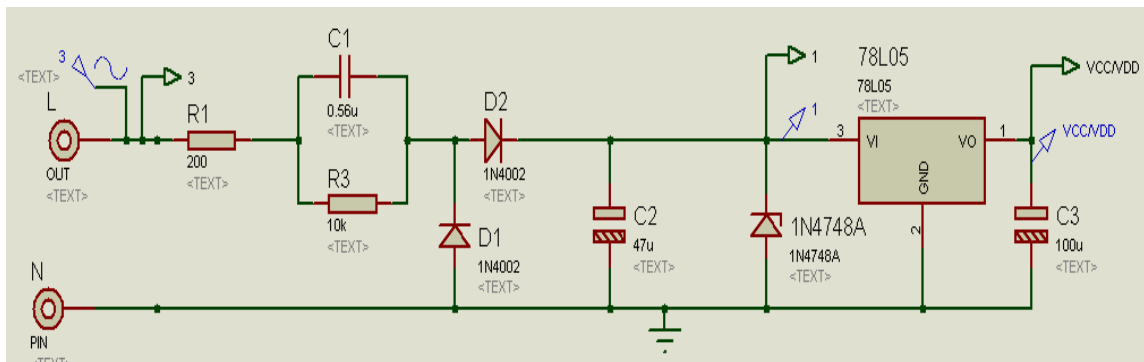


Figura 2.1. Circuito de la fuente de voltaje de 22Vdc y 5Vdc

En el diseño de la fuente capacitiva se considera que la corriente de entrada (I_{in}) se calcula por medio de la ecuación (2013a):

$$I_{in} = \frac{\sqrt{2}V_{rms} - V_z}{2\left(\frac{1}{2\pi f C_1} + R_1\right)}$$

Para el cálculo de la corriente de entrada se asumen los valores de los componentes disponibles. Para $V_{rms}=220VAC$, $V_z=22V$, $f=60Hz$, $C_1=0.56\mu F$ y $R_1=200\Omega$ el valor de la corriente de entrada es $I_{in}=30mA$. Además con el uso de un capacitor electrolítico de $47\mu F$ se determina un valor de voltaje de rizo de $1.5V_{rms}$. El diodo zener 1N4748A regula el voltaje a 22V, que sirve de entrada al regulador de voltaje 7805 (Semiconductor, 2012), para lograr la estabilidad de voltaje de 5V a la salida d la fuente de voltaje. Estos voltajes son usados como alimentación del microcontrolador y los demás componentes del fotocontrolador.

Es crítico tener en cuenta las consideraciones de potencia de cada elemento; para esto se sugiere tomar dos veces la potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$) calculada para cada elemento. Es decir si $P_{m\acute{a}x}$ calculada para un resistor es de 0.5W, en el montaje se dispondrá de una de 1W. Esto se hace para evitar inconvenientes con los sobrevoltajes transitorios que pueda haber. Para R1 la potencia es equivalente al valor de la corriente al cuadrado multiplicado por su valor nominal es decir:

$$PR_1 = I^2 * R = (V_{rms} * 2\pi f C)^2 * R_1 = (0.0464)^2 * 200 = 0.43W$$

- Teniendo en cuenta la consideración antes expuesta un resistor a 1W será el más

acertado.

- Asumiendo un valor de 220V RMS de entrada, el voltaje del capacitor C1 será de 440V, debido a lo explicado anteriormente.
- Hay que considerar que por el diodo zener circulará más corriente sin carga que con esta; en el peor de los casos la corriente que tendrá que soportar será de 46.4mA, esto al ser multiplicado con 22V (voltaje que caerá sobre el diodo), da como resultado 1.02W, recomendando que el diodo zener a 2W es una buena opción. Es importante que el valor de C1 sea el más ajustado a las variaciones de corriente consumida por el fotocontrolador, de forma que la potencia disipada en el zener sea la menor posible. Lo deseado sería que el consumo de corriente fuera constante y que el valor de C1 permita la menor potencia del zener para alargar su vida útil.
- En D2 la corriente que circulará será I_{in} , esto multiplicado por su caída de voltaje, 0.7V aproximadamente, da como resultado una potencia de 0.021W, lo que significa que con un diodo a 1/8W es suficiente.
- Y por último para C2 se recomienda que soporte dos veces el valor del diodo zener, así pues, con uno a 50V es más que suficiente.

2.2 Diseño del hardware de los fotocontroladores

En los fotocontroladores que utilizan relé como actuador de salida, la corriente consumida en la fuente varía bruscamente con la conmutación, afectando el correcto funcionamiento de la fuente capacitiva. Para solventar la desventaja de las fuentes capacitivas, se propone que el dispositivo sea de estado sólido, o sea, que el elemento actuador de salida sea semiconductor. Por ello se realizara el diseño con TRIAC (Triodo para Corriente Alterna) y se evalúa su desempeño. Además, los componentes electrónicos deben ser de elevada calidad. Con estas condiciones, es evidente que el precio de producción del dispositivo aumenta. Por esa razón, se considera adecuado emplear una arquitectura centralizada, donde este fotocontrolador maneje un contactor magnético, conjuntamente con otros elementos de protección que incluyan al controlador y las luminarias.

El microcontrolador seleccionado es el PIC12F675, por ser de los más pequeños y

económicos. Además cumple con los requerimientos de contener convertidor análogo-digital de 10 bits de resolución, contadores-temporizadores de 8 bits y 16 bits, puertos de entrada-salida. Posee también memoria de dato SRAM (64 bytes) y EEPROM (128 bytes) y memoria de programa FLASH (1024 words). Incluye un oscilador interno de 4 MHz de frecuencia, entre otras características propias de la aplicación. Además, se dispone de la información y de las herramientas de software necesarias para su programación. En la figura 2.2 se muestra la disposición de pines del microcontrolador PIC12F675 (Technology, 2008).

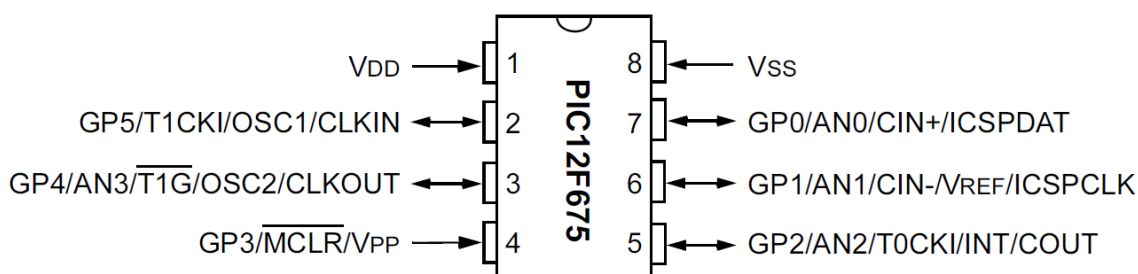


Fig. 2.2. Diagrama de pines del microcontrolador PIC12F675 (Technology, 2008).

En el proceso de diseño y puesta a punto del fotocontrolador basado en el PIC 12F675 se utilizaron distintas herramientas de software. Para el diseño y simulación del programa se utilizó PIC C Compiler v4.084 de la Compañía *Custom Computer Services* (CCS) (Custom Computer Services INC, 2007) y MPLAB IDE v8.50. Este último es un editor gratuito, destinado a productos de la marca Microchip. Este editor es modular, permite seleccionar los distintos microcontroladores soportados, además de permitir la grabación de estos circuitos integrados directamente al programador. Es un programa que corre bajo Windows, Mac OS y Linux y el ambiente MPLAB®, posee editor de texto, compilador y simulación (no en tiempo real). También se usó PROTEUS v8.0 (Labcenter Electronics, 2008) para el diseño del circuito y las pruebas integradas de hardware y software. PROTEUS es una compilación de programas de diseño y simulación electrónica, desarrollado por *Labcenter Electronics* que consta de los dos programas principales: ARES (*Advanced Routing and Editing Software*) e ISIS (*Intelligent Schematic Input System*), y los módulos VSM (*Virtual System Modeling*) y Electra. El programa ISIS permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar con componentes muy variados, desde simples resistores, hasta alguno que otro microprocesador o microcontrolador. Los diseños realizados en ISIS

pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS. Se pueden simular circuitos con microcontroladores conectados a distintos dispositivos, como motores, teclados en matriz, etc. Incluye las familias de PIC's PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, PIC24, entre otras. ARES es la herramienta de enrutado, ubicación y edición de componentes, se utiliza para la fabricación de placas de circuito impreso (Labcenter Electronics, 2008). Estas características de PROTEUS y con el empleo del componente TORCH_LDR permiten simular las variaciones del nivel de iluminación sobre el elemento fotosensible LDR.

Un TRIAC es un dispositivo semiconductor, de la familia de los tiristores. La diferencia con un tiristor convencional es que éste es unidireccional y el TRIAC es bidireccional. De forma coloquial podría decirse que el TRIAC es un interruptor capaz de conmutar la corriente alterna. Posee tres electrodos: ánodo, cátodo y puerta. El disparo del TRIAC se realiza aplicando una corriente al electrodo puerta. Cuando el TRIAC conduce, hay una trayectoria de flujo de corriente de muy baja resistencia de una terminal a la otra, dependiendo la dirección de flujo de la polaridad del voltaje externo aplicado. Cuando el TRIAC deja de conducir no puede fluir corriente entre las terminales principales sin importar la polaridad del voltaje externo aplicado por tanto actúa como un interruptor abierto. Una de sus aplicaciones es su utilización como interruptor estático ofreciendo muchas ventajas sobre los interruptores mecánicos convencionales y los relés (Boylestad and Nashelsky, 2009).

En la figura 2.3 se muestra el circuito simplificado del fotocontrolador, donde se observa la lectura de la iluminación y el manejo de la carga con la utilización de un TRIAC como interruptor. El resistor de 470Ω sirve para limitar y ajustar la corriente de puerta para que el TRIAC conmute con el valor adecuado. El resistor de $10M\Omega$ que conecta al pin de interrupción externa del PIC12F675 con la alimentación de 220 VAC funciona como un detector de cruce por cero. En esta aplicación solamente se trabaja la conexión y desconexión de la carga, por lo que se debe tomar el recaudo de disparar el TRIAC solo en los cruces por cero. Esto evita posibles picos de alta frecuencia al ponerse en conducción en una zona cercana al pico de la señal sinusoidal, obteniendo así grandes corrientes de conexión. Este detector de cruce por cero generará una señal o pulso cada vez que la onda sinusoidal alcance un voltaje mínimo en el pin del microcontrolador. Este pulso le indicará

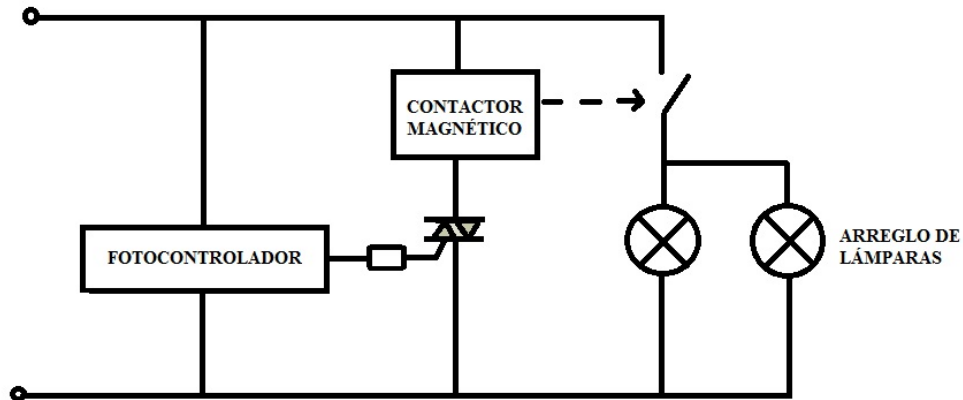


Fig. 2.4. Esquema de conexión en la arquitectura centralizada.

En las figuras 2.3 y 2.5 se coloca como carga una lámpara pero realmente el TRIAC maneja un contactor magnético, como se muestra en la figura 2.4. Luego el contactor magnético es el encargado de manejar las lámparas, esto es debido a que se usa una arquitectura centralizada.

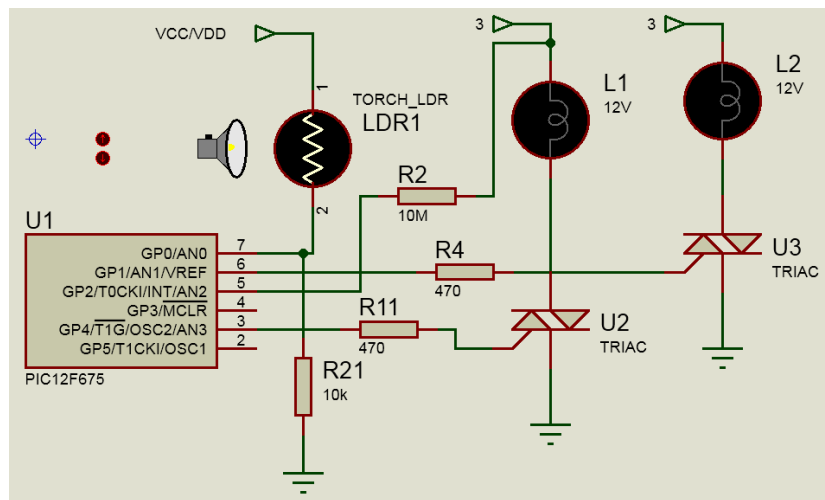


Fig. 2.5. Circuito simplificado del fotocontrolador con dos TRIAC.

2.3 Diseño del software de los fotocontroladores

El empleo del microcontrolador permite que además de las funciones fundamentales que fueron descritas, se puedan añadir otras funciones. Uno de los objetivos del adecuado funcionamiento del fotocontrolador, es el ahorro de energía y el alargamiento de la vida útil de la luminaria. En ese sentido la figura 2.6 presenta un algoritmo, el cual presenta una demora para que el fotocontrolador no se apague ante destellos de luz. Estos destellos pueden ser provocados por relámpagos, luces de automóviles, entre otras fuentes emisoras

de luz. La demora utilizada es programable, usualmente del orden de decenas de segundos e incluyen también la demora en la espera del cruce por cero. I es el nivel de iluminación, ION es el nivel de iluminación de encendido de la lámpara, $IOFF$ es el nivel de iluminación de apagado de la lámpara. El intervalo entre ION y $IOFF$ es la histéresis del proceso. Todos estos parámetros son configurables en el programa. Este programa es más idóneo utilizarlo en el control de los fotocontroladores que usan un solo TRIAC.

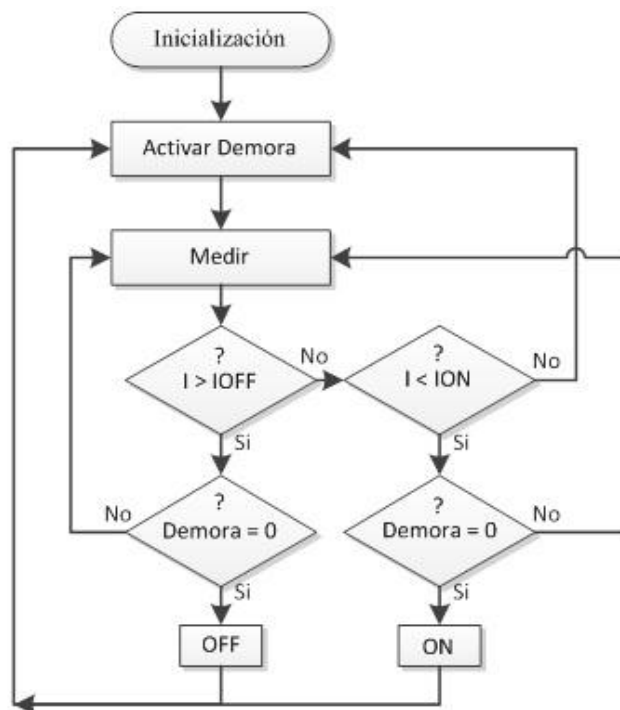


Fig. 2.6. Algoritmo de demora ante destellos para el control del Fotocontrolador.

La duración del día y de la noche varía con la época del año. Esta variación se hace mayor a medida que el lugar geográfico se aleje más del Ecuador, tanto hacia el Norte como hacia el Sur. En los países situados en el Ecuador, la duración del día y de la noche es igual a 12 horas, independientemente de la época del año. El archipiélago de Cuba se encuentra situado entre los 19,8 (cabo Cruz) y 23,3 grados (cayos de Matanzas) de latitud Norte y entre los 74 (punta de Maisí) y 85 grados (cabo San Antonio) de longitud Oeste. Es importante también conocer por qué los días son más largos en verano que en invierno. Aquí, cuando se hace referencia a días más largos o más cortos se trata de las horas con Sol. O sea es el tiempo transcurrido desde la salida hasta la puesta del Sol en dicho día en un lugar determinado. Este tiempo es diferente en cada país en dependencia de su latitud y de la época del año debido a la declinación del Sol (Luis Bérriez and Henríquez, 2012).

La Tierra se traslada girando alrededor del Sol completando una órbita cada año, pero el eje de rotación de la Tierra no es perpendicular a este plano de traslación, llamado plano de la eclíptica. El ángulo que forma el eje de rotación de la Tierra con un eje perpendicular al plano de la eclíptica es de 23,45 grados. Por este motivo, la inclinación de los rayos del Sol sobre la Tierra varía en dependencia de la época del año. El ángulo que forman los rayos del Sol con el plano ecuatorial es llamado la declinación del Sol. El valor de la declinación va cambiando entonces desde 23,45 grados, el 21 de junio, (día llamado de solsticio de verano) a -23,45 grados, el 21 de diciembre (día llamado de solsticio de invierno), pasando dos veces al año por el valor cero, el 21 de marzo (día de equinoccio de primavera) y el 21 de septiembre (día de equinoccio de otoño. Estas fechas son aproximadas pues varían uno o dos días según el año. Estos nombres son dados en el hemisferio Norte. En el Sur, se cambia verano por invierno y primavera por otoño (Luis Bériz and Henríquez, 2012).

En verano, más tiempo de la trayectoria solar está por encima del horizonte, o sea, hay más horas con Sol. En invierno, más tiempo de la trayectoria solar está por debajo del horizonte, o sea, las noches son más largas. Por esta razón, los días son más largos en verano que en invierno, siendo el día más largo del año, el día del solsticio de verano y el más corto, el del solsticio de invierno. En los días de equinoccio de primavera y otoño, los días y las noches duran lo mismo, o sea, el Sol sale a las seis de la mañana y se pone a las seis de la tarde en cualquier lugar del mundo. En un lugar como La Habana, situado a una latitud 23° N, las horas de Sol son de 13,4 durante el solsticio de verano; de 10,6 en el de invierno y de 12 horas en los equinoccios (Luis Bériz and Henríquez, 2012).

En ese sentido se propone utilizar dos circuitos de salida para manejar los dos correspondientes circuitos de carga (Ver figura 2.5). Esta variante se aplicaría en esquemas de iluminación de dobles luminarias como es el caso de calles con separador central. El encendido de las dobles luminarias se hará de forma alternada, en horarios de poca actividad asociado a la madrugada. Un algoritmo de estimación de duración de la noche, relacionado con los momentos de encendido y apagado de las luminarias, será el encargado de controlar este proceso. De esta forma se dispondrá de un fotocontrolador programable, que se podrá adaptar mejor a distintas duraciones de iluminación durante las épocas del año.

El programa de estimación y aprendizaje de la duración de la noche que controla al fotocontrolador mide la intensidad de la luz cada 5 minutos. Luego decide mediante el algoritmo mostrado en la figura 2.6 si se debe o no encender las lámparas. Cada vez que realiza la medición guarda en variables la duración de la noche, si las luces están encendidas, o del día, si las luces están apagadas. Estos valores de duración del día y la noche son almacenados durante 5 días. Luego de transcurridos 5 días el algoritmo utiliza dichos valores para estimar la duración media de una noche. Este aprendizaje de la duración media de la noche permite al fotocontrolador apagar de forma alterna las lámparas algunas horas en la madrugada y luego encenderlas una hora antes del amanecer. Estos valores son configurables dependiendo de los horarios donde disminuye o aumenta el tráfico en las avenidas. El algoritmo actúa como una ventana deslizante tomando siempre los últimos 5 días para estimar la duración media de una noche. Este valor se escoge porque como se explicó anteriormente la duración de la noche varía en dependencia de la época del año. Este algoritmo permite el ahorro de energía eléctrica y el aumento de la vida útil de las luminarias. Para un mayor análisis y comprensión del software, este se encuentra en el Anexo 1.

2.4 Conclusiones parciales

Los fotocontroladores constituyen una forma eficaz en el control del alumbrado. Por ello el correcto diseño tanto del hardware, como del software, es muy importante. En este capítulo se diseñó una fuente de voltaje capacitiva para la alimentación del fotocontrolador. El hardware se diseñó usando un dispositivo de estado sólido, un TRIAC en este caso y la arquitectura centralizada fue la escogida para el control del alumbrado. La utilización de dos TRIAC en el hardware del fotocontrolador permite controlar el doble alumbrado de las avenidas. Esto permitió implementar un algoritmo que estima y aprende la duración de la noche. Dicho algoritmo utiliza la duración de la noche para apagar alternadamente las lámparas usadas en el separador central de las calles unas horas durante las madrugadas. Por ello el algoritmo permite el ahorro de energía eléctrica y el alargue de la vida útil de las luminarias.

CAPÍTULO 3. MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBA PARA EL MONITOREO DE FOTOCONTROLADORES.

Para el monitoreo de los fotocontroladores diseñados es necesario montar un banco de prueba. El banco de prueba es el encargado de detectar el voltaje, la corriente, el nivel de iluminación así como en encendido/apagado del fotocontrolador. El monitoreo de estas señales permite comprobar el funcionamiento y la eficiencia energética de los fotocontroladores. Permite también calibrar correctamente la histéresis del fotocontrolador para obtener un encendido/apagado preciso. Este capítulo está dedicado al diseño del banco de prueba y al análisis de resultados. Estos resultados ayudarán a ajustar el fotocontrolador para su puesta en funcionamiento en el alumbrado público.

3.1 Diseño de los circuitos del banco de prueba

Un optoacoplador, también llamado optoaislador o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción. Funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica. Se utiliza para aislar eléctricamente a dispositivos muy sensibles.

La figura 3.1 se muestra un optoacoplador 4N25 (Vishay Semiconductors, 2010) formado por un LED y un fototransistor. Este optoacoplador se usa para monitorear el encendido/apagado del fotocontrolador. Cuando el fotocontrolador se enciende el voltaje alterno de 220V y el resistor R1 de $102K\Omega$ en serie establecen una corriente en el LED emisor. Dicha corriente proporciona un nivel de luz adecuado, que incide sobre el fototransistor y lo saturara, generando una corriente en R2. De este modo el voltaje de

salida será como muestra la figura 3.2. Cuando el fotocontrolador está apagado a la salida siempre hay un voltaje de 5V de corriente directa. La ventaja fundamental de un optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida. Mediante el optoacoplador, el único contacto entre ambos circuitos es un haz de luz. Este aislamiento es útil en esta aplicación porque el voltaje es alto y los potenciales de los dos circuitos difieren en varios voltios.

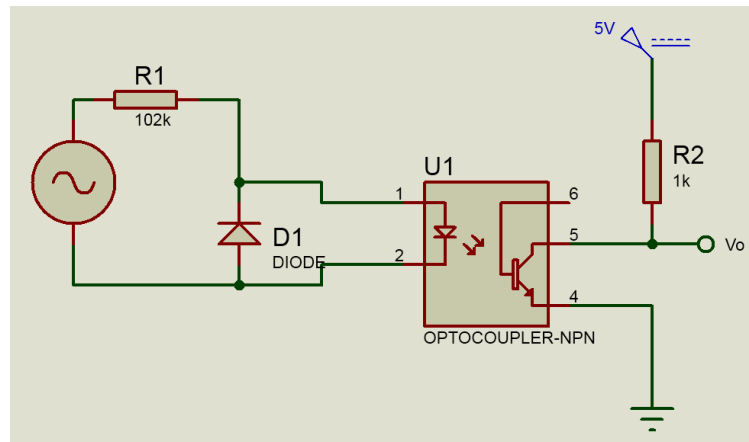


Figura 3.1. Circuito optoacoplador.

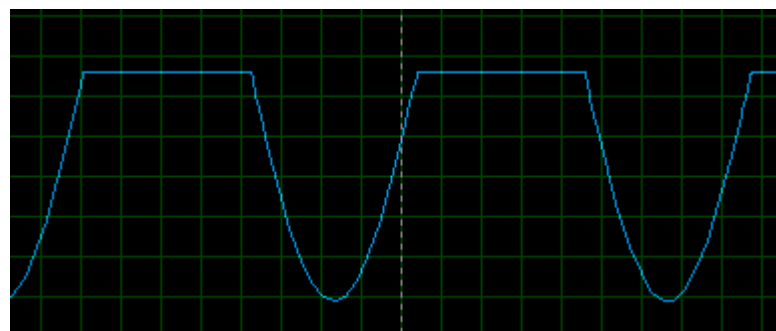


Figura 3.2. Señal de voltaje a la salida del circuito optoacoplador.

El divisor resistivo es una configuración de circuito eléctrico que reparte el voltaje de una fuente entre uno o más resistores conectados en serie. Cuando se calcula la caída de voltaje en cada resistor y se recorre la malla cerrada, el resultado final es cero, respetándose la ley de Kirchhoff. En la figura 3.3 se muestra un divisor resistivo cuyos resistores son de $31\text{K}\Omega$ y $10\text{K}\Omega$ permite medir el voltaje del fotocontrolador. Dicho circuito disminuye la amplitud del voltaje final a 6V, la cual se muestra en la figura 3.4, para que pueda ser adquirido por la tarjeta de adquisición de datos. La amplitud del voltaje primero es disminuida por un transformador de potencial (TP) que da a su salida una amplitud de 24V y se logra así un aislamiento para no dañar la tarjeta de adquisición de datos.

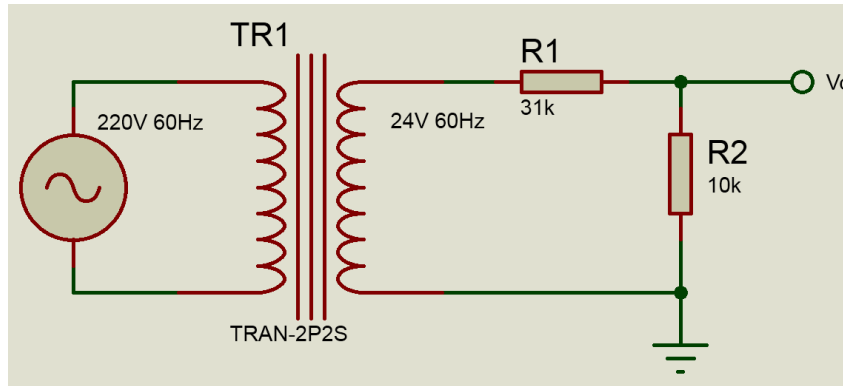


Figura 3.3. Circuito divisor resistivo con un transformador.

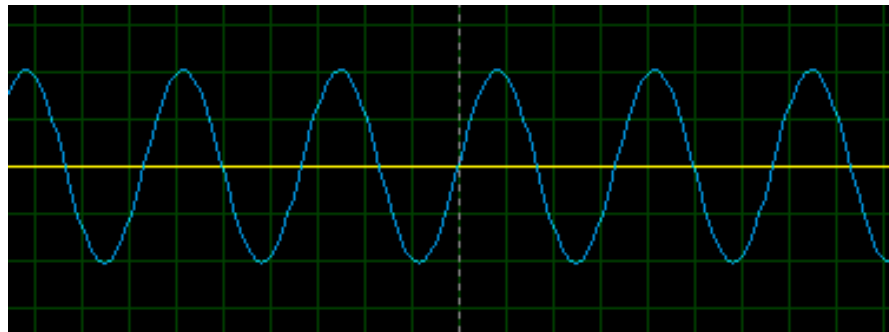


Figura 3.4. Señal de voltaje a la salida del circuito divisor resistivo.

La figura 3.5 muestra el circuito diseñado para medir la intensidad luminosa del ambiente. Este actúa como un divisor resistivo en el cual la LDR varía su resistencia dependiendo de la intensidad luminosa. De esta forma el voltaje en R1 varía de aproximadamente de 4.7V, cuando hay máxima iluminación, hasta cerca de 0.5V, cuando no hay luz en el ambiente. Este circuito permite calibrar el fotocontrolador para que realice la conmutación con los niveles de intensidad luminosa adecuados.

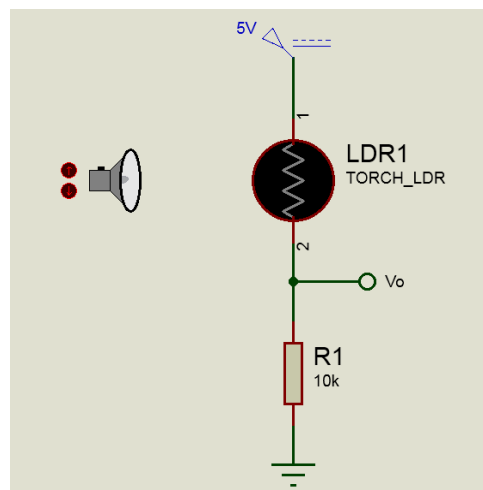


Figura 3.5. Circuito divisor resistivo con una LDR.

La figura 3.6 muestra el filtro antialiasing que eliminar toda presencia, antes de hacer el muestreo, de las frecuencias superiores a $F_m/2$, siendo F_m la frecuencia muestreo. Con estas condiciones se garantiza recuperar la señal analógica original a partir de las muestras finales. Para la adquisición de datos se muestrea a una frecuencia de 5KHz, por lo que la frecuencia de corte del filtro antialiasing es de 2.5KHz. Para ello el resistor debe ser aproximado a 637Ω y el capacitor de $0.1\mu F$. La pendiente del filtro pasabajo es de 20 decibels por década. A la frecuencia de corte, la tensión de salida está 3 dB por debajo de la entrada. El capacitor debería ser no polarizado, para que el filtro sirva con cualquier señal alterna de entrada. Además, si se usa un capacitor electrolítico hay problemas ya que suelen tener porcentajes de tolerancia muy altos. Lo que hace que la frecuencia de corte sea distinta a la deseada, y además cambie considerablemente con la temperatura. En la figura 3.7 se muestra la respuesta de frecuencia del filtro diseñado.

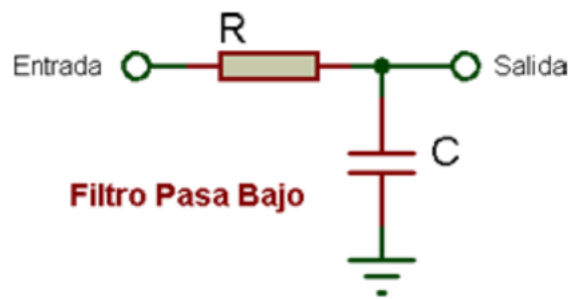


Figura 3.6. Filtro antialiasing.

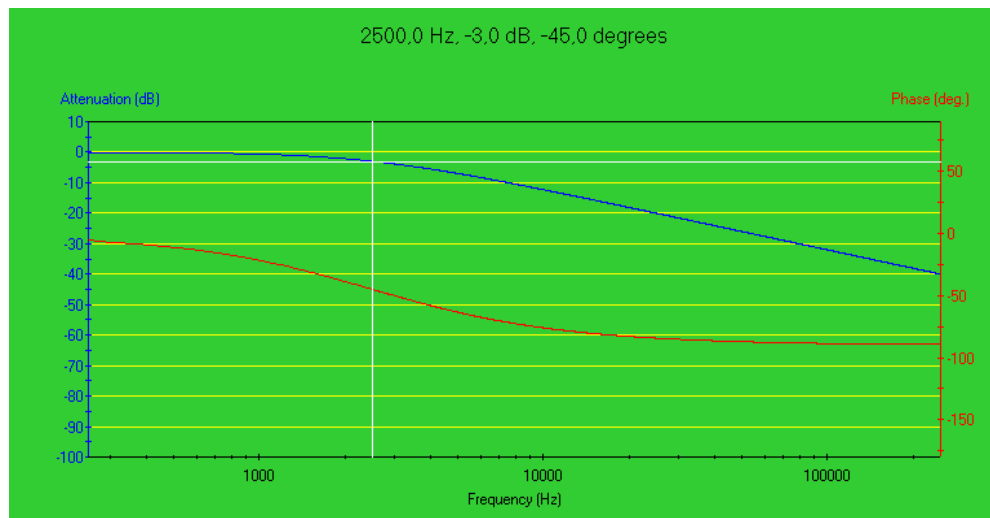


Figura 3.7. Respuesta de frecuencia del filtro antialiasing.

3.2 Diseño del software para adquirir los datos del banco de prueba

Uno de los beneficios más grandes de usar un dispositivo DAQ basado en PC es que se puede usar software para personalizar la funcionalidad y visualización de su sistema de medidas para cumplir con las necesidades de su aplicación. Realizar medidas manualmente es costoso, lento y propenso a errores en tanto que los sistemas definidos por software las realizan rápidamente y consistentemente. El software NI LabVIEW ofrece una sola interfaz de programación para los dispositivos DAQ, resultando en una estrecha integración de hardware y software. Se puede automatizar medidas desde varios dispositivos, analizar datos en paralelo con adquisición y crear reportes personalizados, todo en cuestión de minutos con LabVIEW. LabVIEW permite ser más productivo al enfocarse en datos y las operaciones realizadas en esos datos. Las bibliotecas integradas de software específico para ingeniería permiten fácil adquisición, análisis y control. No se necesita crear su sistema DAQ completo desde cero. Ahorra mucho tiempo usando las funciones integradas de LabVIEW *Express*. Las funciones *express* ayudan a programar usando ventanas interactivas y menús desplegables simples y lo guían paso a paso durante la configuración. LabVIEW incluye miles de funciones avanzadas de análisis creadas especialmente para ingenieros y científicos, todo con archivos y documentación de ayuda detallada. Con estas potentes herramientas, se puede realizar procesamiento de señales avanzado; análisis de frecuencia; probabilidad y estadísticas; ajuste de curvas; interpolación; procesamiento digital de señales y mucho más.

Por las facilidades antes expuestas que brinda LabVIEW se realiza un software que permite adquirir las señales de voltaje, corriente, intensidad luminosa y *ON/OFF*. Estas señales permiten calibrar los fotocontroladores para un correcto y preciso funcionamiento. En la figura 3.8 se muestra el panel frontal de la aplicación que permite visualizar las señales en un intervalo de tiempo. Para la visualizar las señales se utilizan los elementos *Waveform Chart*, *Leds* y *Numeric Indicators*. Los valores de corriente en ampere y voltaje en volts mostrados son RMS. La intensidad luminosa esta expresada en Lux y solo se visualizan los valores necesarios para la conmutación del fotocontrolador, es decir, hasta 40 Lux. Pues la conexión del fotocontrolador se produce con un nivel de iluminación entre 10 y 20 Lux, y la desconexión entre 30 y 40 Lux. Además se muestran las gráfica de conmutación de los fotocontroladores que permiten observar cuando se apagan (0) o encienden (1).

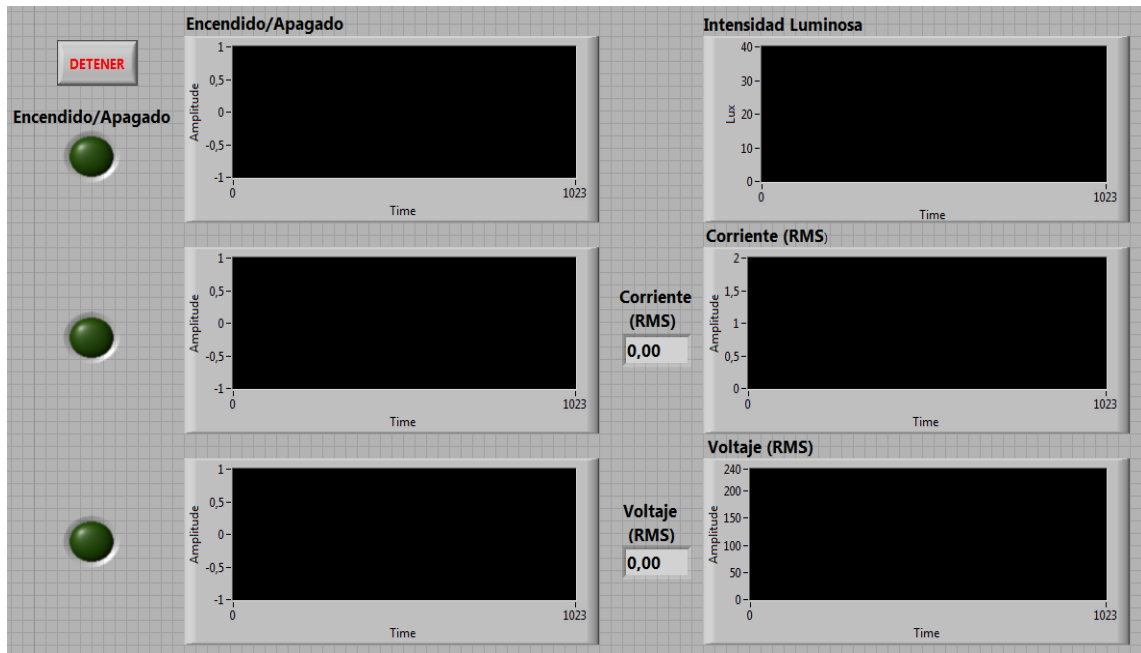


Figura 3.8. Panel frontal de la aplicación para adquirir los datos.

El diagrama en bloque de la aplicación, que se muestra en la figura 3.9, está compuesto de un ciclo *while* y dentro una secuencia de 6 elementos. En los tres primeros elementos de la secuencia se realiza la adquisición de los datos correspondientes a la conmutación de los fotocontroladores. Los datos se adquieren mediante el módulo DAQ Assistant luego se calcula el valor RMS y se realiza una lógica para determinar si el fotocontrolador está encendido o apagado.

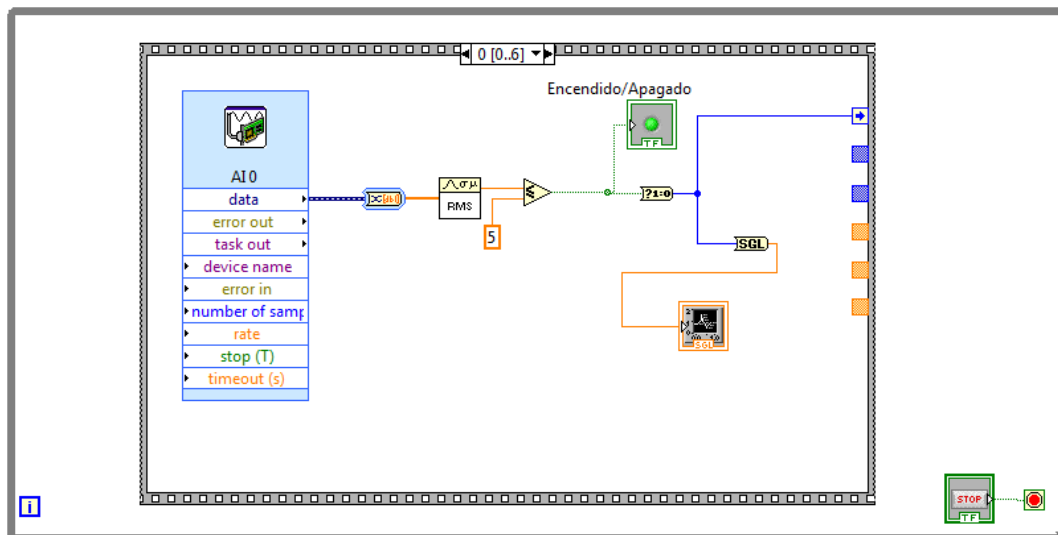


Figura 3.9. Diagrama en bloque de la aplicación para adquirir los datos.

El elemento 3 de la secuencia es el encargado de obtener la intensidad luminosa del ambiente y se muestra en la figura 3.10. Los datos se adquieren mediante el módulo DAQ Assistant luego se calcula el valor RMS y se realiza un ajuste para determinar la intensidad luminosa en Lux.

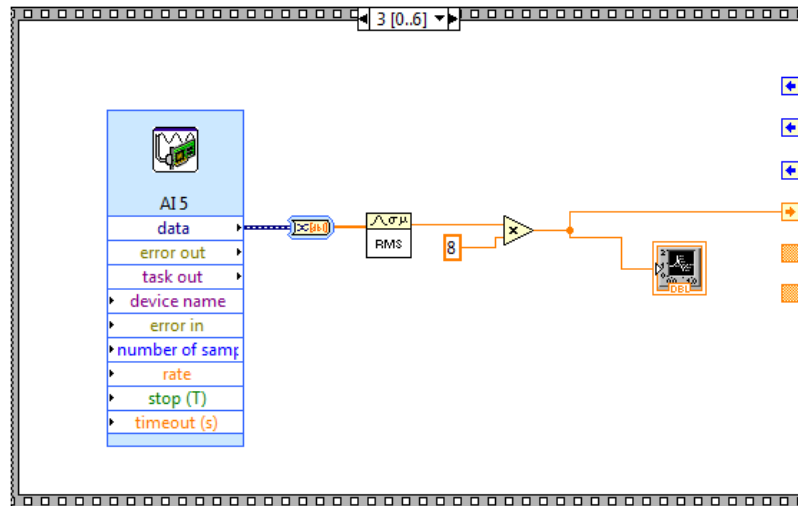


Figura 3.10. Secuencia para determinar la intensidad luminosa.

El elemento 4 de la secuencia es el encargado de obtener el valor RMS de la corriente que consume el fotocontrolador y se muestra en la figura 3.11. Los datos se adquieren mediante el módulo DAQ Assistant luego se calcula el valor RMS y se realiza un ajuste para determinar la corriente en amperes real que fluye por la línea.

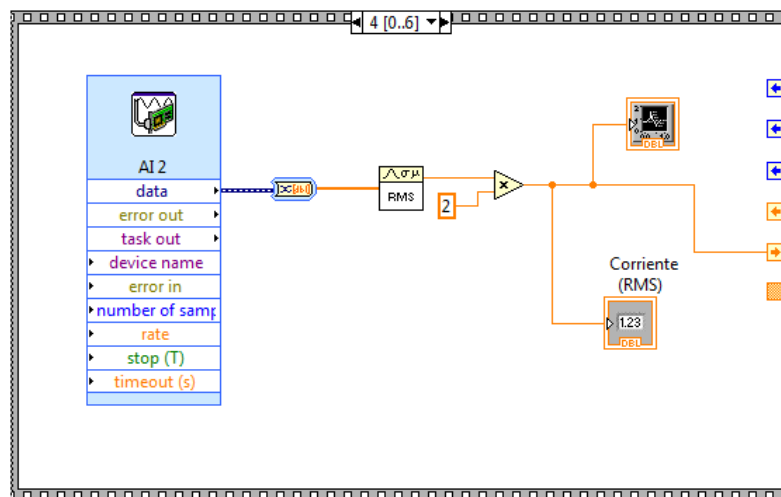


Figura 3.11. Secuencia para determinar la corriente.

El elemento 5 de la secuencia es el encargado de obtener el valor RMS del voltaje que alimenta el fotocontrolador y las luminarias y se muestra en la figura 3.12. Los datos se

adquieren mediante el módulo DAQ Assistant luego se calcula el valor RMS y se realiza un ajuste para determinar el voltaje en volts real.

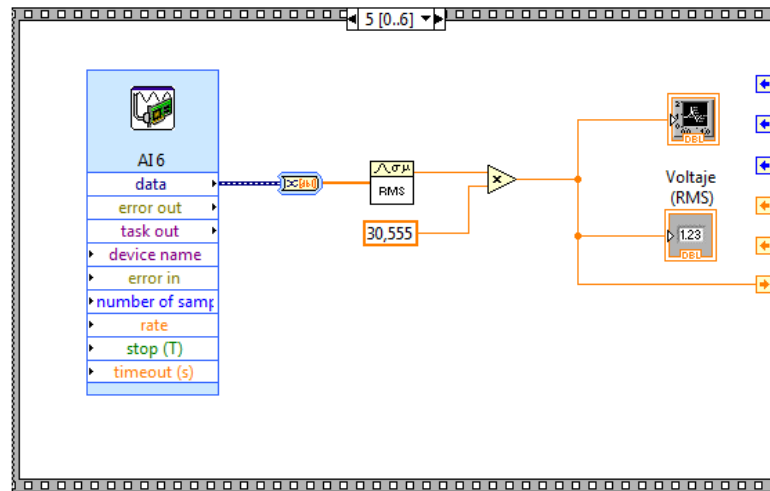


Figura 3.12. Secuencia para determinar el voltaje.

El elemento 6 de la secuencia es el encargado de guardar en ficheros los datos obtenidos y se muestra en la figura 3.13. Se utiliza la función *Number To Decimal String* para convertir el valor numérico en una cadena de caracteres. Luego mediante el VI *Write Characters To File* se guardan los datos en el fichero. Los datos se guardan en diferentes ficheros para que luego puedan ser graficados mediante otra aplicación. Esto permite realizar largas capturas de información sin la necesidad de la presencia humana. Luego los datos capturados pueden ser analizados un tiempo después.

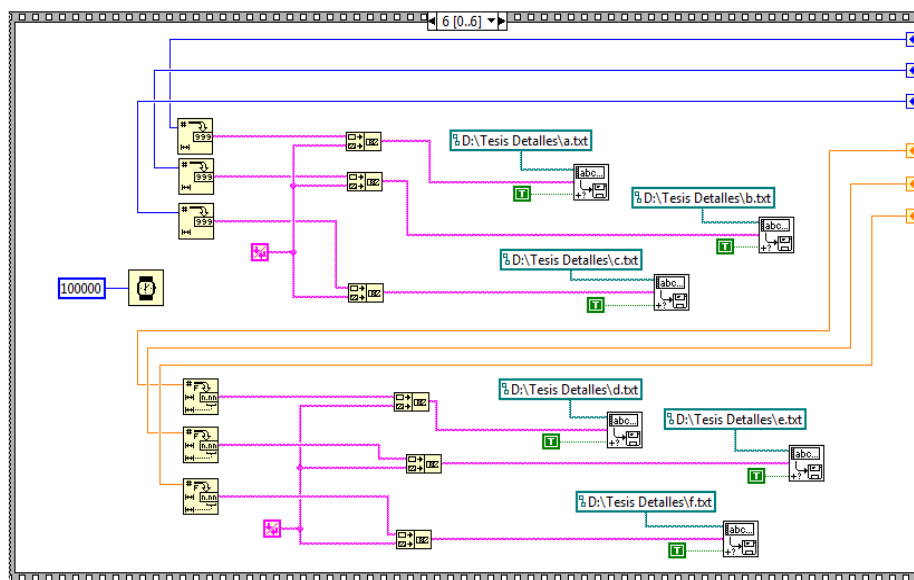


Figura 3.13. Secuencia para guardar los datos en ficheros.

En la figura 3.14 se muestra el diagrama en bloque de la aplicación que permite graficar los datos antes guardados en los ficheros. Con la utilización de un ciclo *for* se pueden extraer los datos y luego estos se grafican. Los datos se extraen mediante la función *Read From Spreadsheet File*, luego se utiliza el *Index Array* para escoger el dato necesario dentro del *array*. Las iteraciones del ciclo se ajustan en dependencia de la cantidad de datos que se desean mostrar.

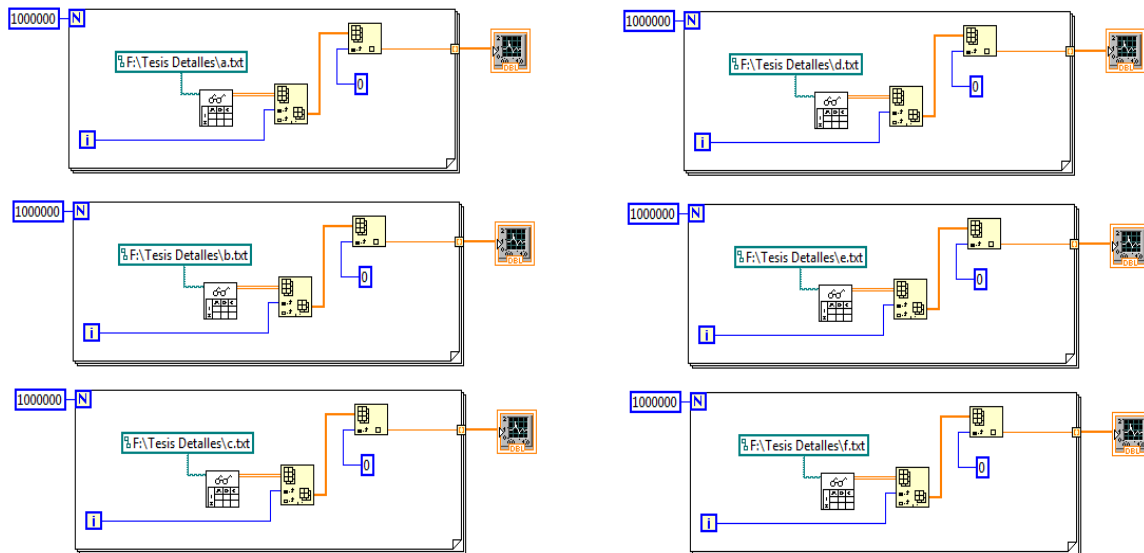


Figura 3.14. Diagrama en bloque de la aplicación para leer los datos de los ficheros.

En la figura 3.15 se muestra el panel frontal de la aplicación que permite visualizar las señales en un intervalo de tiempo. Para la visualizar las señales se utiliza el elemento *Waveform Graphs*. Los valores de corriente en ampere y voltaje en volts mostrados son RMS. La intensidad luminosa esta expresada en Lux y solo se visualizan los valores necesarios para la conmutación del fotocontrolador, es decir, hasta 40 Lux. Además se muestran las gráfica de conmutación de los fotocontroladores que permiten observar cuando se apagan o encienden.

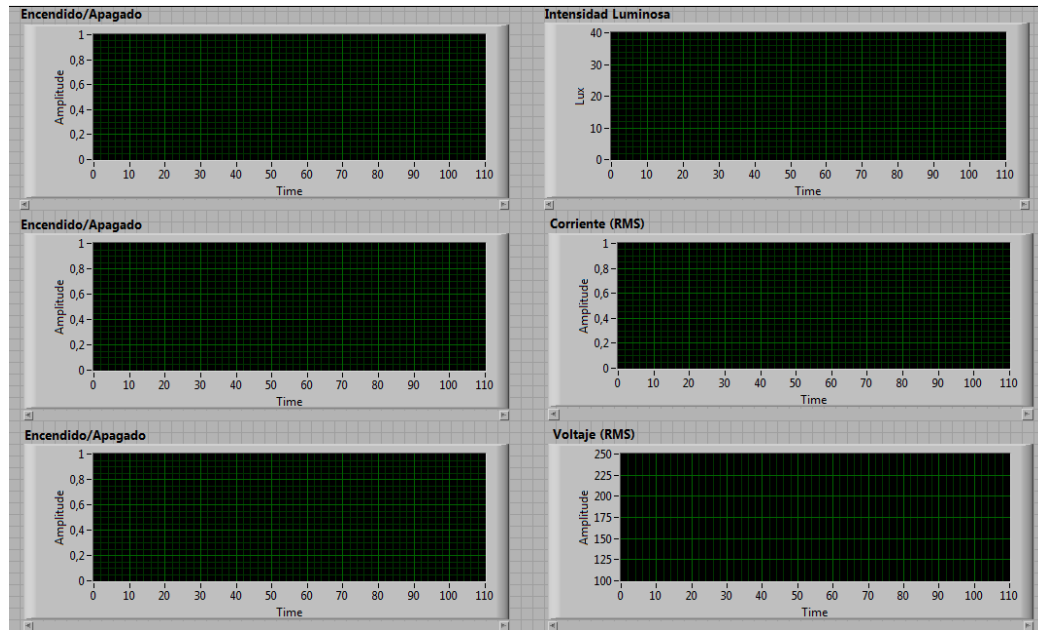


Figura 3.15. Diagrama en bloque de la aplicación para leer los datos de los ficheros.

3.3 Muestra de resultados

En la figura 3.16 se pueden observar algunas mediciones realizadas en un intervalo tiempo en el que va oscureciendo. En las gráficas se percibe como va bajando la intensidad luminosa a medida que va oscureciendo. Cuando dicha intensidad está por debajo de 15 Lux los fotocontroladores se encienden. Algunos fotocontroladores conmutan antes que otros debido a las demoras que tienen intrínsecas. La demora también depende de si los fotocontroladores son electromagnéticos o electrónicos, ya que a los electromagnéticos les toma más tiempo conmutar. En el momento que se encienden las lámparas se puede ver como inmediatamente se comienza a consumir corriente. El valor de corriente depende de la cantidad de lámparas controladas por el fotocontrolador, en este caso se manejan tres lámparas. El valor de voltaje se mantiene constante todo el tiempo que dura la medición.

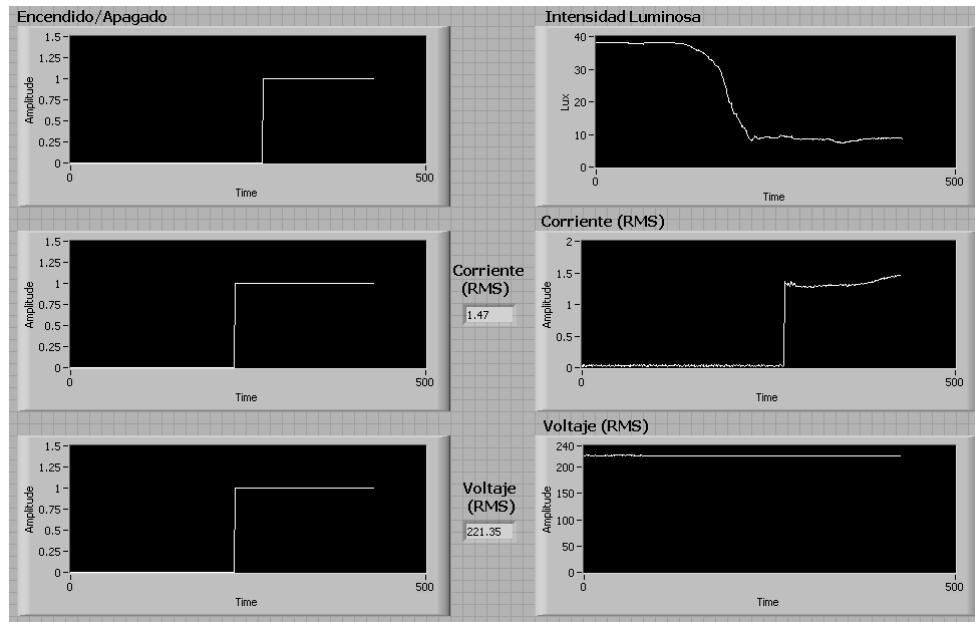


Figura 3.16. Mediciones al oscurecer.

En la figura 3.17 se pueden observar algunas mediciones realizadas en un intervalo tiempo en el que va amaneciendo. En las gráficas se percibe como va subiendo la intensidad luminosa a medida que va amaneciendo. Cuando dicha intensidad está por encima de 30 Lux los fotocontroladores se apagan. En el momento que se apagan las lámparas se puede ver como inmediatamente no se consume corriente. El valor de voltaje se mantiene constante todo el tiempo que dura la medición.

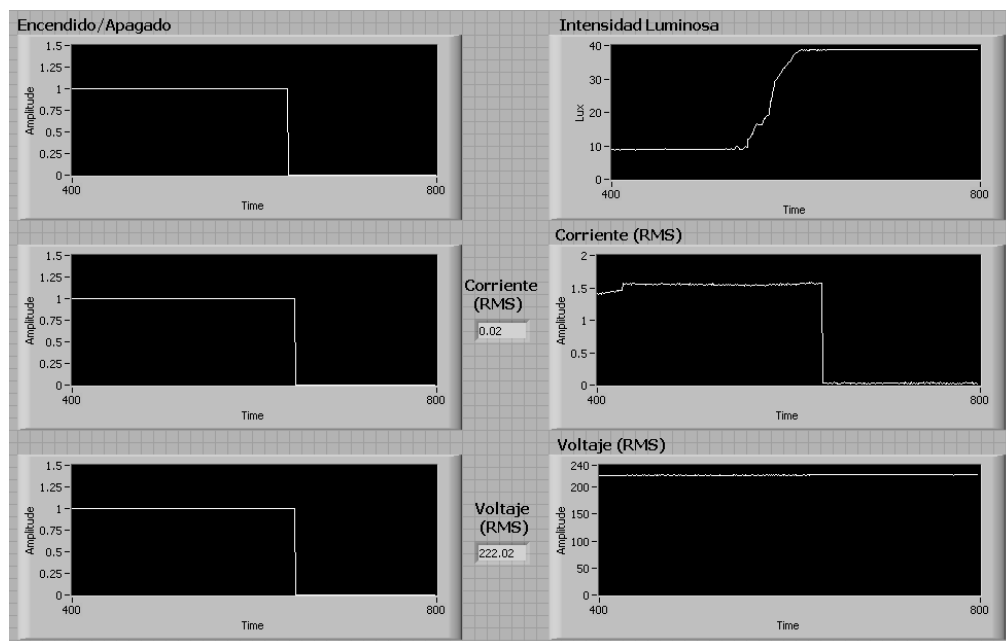


Figura 3.17. Mediciones al amanecer.

En la figura 3.18 se pueden observar algunas mediciones realizadas por un tiempo prolongado de un día. En las gráficas se percibe como va subiendo la intensidad luminosa a medida que va amaneciendo y como va bajando a medida que va oscureciendo. Cuando dicha intensidad de iluminación está por encima de 30 Lux los fotocontroladores se apagan y cuando está por debajo de 15 Lux los fotocontroladores se encienden. En el momento que se apagan las lámparas se puede ver como inmediatamente se deja de consumir corriente y cuando se encienden se comienza a consumir corriente. El valor de voltaje se mantiene casi constante todo el tiempo que dura la medición con algunos picos en horarios de poco consumo de energía eléctrica.

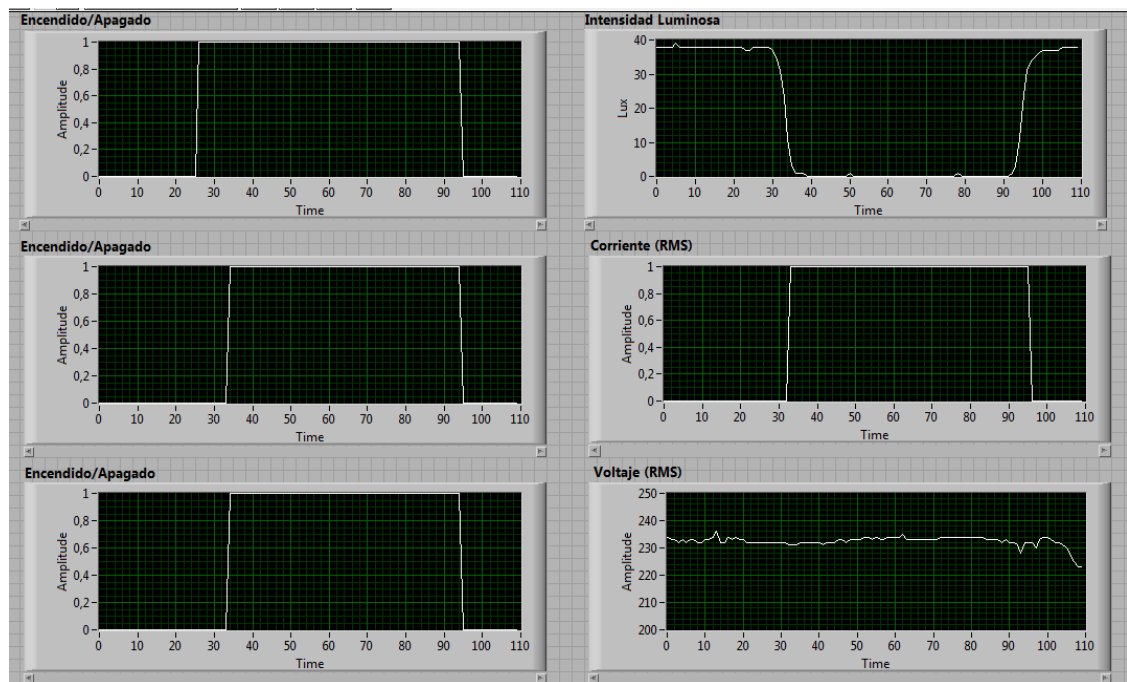


Figura 3.18. Mediciones en un día.

3.4 Conclusiones parciales

La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real para generar datos que puedan ser observados y manipulados por un ordenador. El banco de prueba permite el monitoreo constante de los fotocontroladores. A partir de este monitoreo se evalúa el funcionamiento de los fotocontroladores y se ajustan los mismos para que realicen una precisa conmutación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se estudiaron las herramientas de simulación necesarias para el diseño y análisis del fotocontrolador. Se utilizaron en este sentido el software LabVIEW, PROTEUS, MPLAB IDE v8.50 y PIC C Compiler.
- Se analizaron críticamente el funcionamiento de los fotocontroladores utilizados actualmente en el control de luminarias a nivel mundial y especialmente en Cuba. Detectando algunas deficiencias que se corrigen en los nuevos diseños.
- Se propone que el elemento actuador de salida sea semiconductor utilizando en este caso un TRIAC.
- Se diseñaron modelos de fotocontroladores programables para el manejo eficiente de las luminarias. Para ello se diseña un software que aprende la duración de la noche, este permite apagar las luminarias en horarios de poca actividad.
- Se realizó el diseño y montaje de un banco de prueba que permite el monitoreo del funcionamiento de los fotocontroladores y las luminarias.

Recomendaciones

Los resultados alcanzados en este trabajo pueden ser el punto de partida de futuras investigaciones y posible aplicación en el alumbrado público. Para establecer la necesaria continuidad que debe tener este trabajo se recomienda:

- Utilizar los fotocontroladores programables en el manejo de las luminarias en el alumbrado público.

- Continuar el monitoreo de los fotocontroladores para observar su funcionamiento.
- Continuar el desarrollo de fotocontroladores programables, añadiéndole otras funciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2013a. *Fuente de alimentación D.C. sin transformador* [Online]. Available: <https://www.sites.google.com/site/incoelectronicasas/home/fuente-de-alimentacion-d-c-sin-transformador>.
- 2013b. *¿QUE ES UN FOTOCONTROL?* [Online]. Available: <http://www.factorselectrico.blogspot.com/2013/12/que-es-un-fotocontrol.html>.
- ASHLOCK, D. 2015. Guía de acondicionamiento de señales para ingenieros. Available: <http://www.ni.com>.
- BAZÁN, P. C. A. 2015. Fotocontrolador programable.
- BOYLESTAD, R. L. & NASHELSKY, L. 2009. *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*.
- CR TECHNOLOGY SYSTEMS. 2013. *Photocontrols CRL-JL* [Online]. Available: <http://www.crtsgroup.com>.
- CUSTOM COMPUTER SERVICES INC 2007. C Compiler Reference Manual.
- CHICALA, C. 2004. Adquisición de datos. *Soluciones en Control, Buenos Aires*.
- EDMINISTER, J. A., NAHVI, M., NAVARRO, R. S., SÁNCHEZ, E. L. & DE MIGUEL RODRÍGUEZ, P. 1997. *Circuitos eléctricos*, McGraw-Hill.
- FIDEMAR, S. 2011. Sensores fotoeléctricos: algunas de sus características. *Electromagazine: la revista técnica del sector eléctrico del Uruguay*, 9, 86-88.
- GE LIGHTING. 2014. *Iluminación LED en carreteras es una seguridad vial* [Online]. Available: <http://www.analitica.com/noti-tips/iluminacion-led-en-carreteras-es-una-seguridad-vial>.
- GUIDE, U. & SPECIFICATIONS, N. 2011. USB-6008/6009; Mayo 2008:< www.ni.com/pdf/manuals/371303l.pdf>;>. *Última Revisión: Septiembre*.

- IMTRAN. 2016a. *Generalidades del Fotocontrol FG 2000* [Online]. Available: <http://www.imtran.com.uy>.
- IMTRAN. 2016b. *Generalidades del Fotocontrol FG 2013* [Online]. Available: <http://www.imtran.com.uy>.
- LABCENTER ELECTRONICS. 2008. *About PROTEUS Demo, PROTEUS VSM CO-SIMULATION* [Online]. Available: <http://www.labcenter.co.uk>.
- LUIS BÉRRIZ & HENRÍQUEZ, B. 2012. *El horario de verano: Un ejemplo de ahorro y uso racional de la energía.* [Online]. Available: <https://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia>.
- OLIVA, E. R. 1972. *Transformadores de potencia, de medida y de protección*, Marcombo.
- ON SEMICONDUCTOR 2008. 2N6071A/B Series, Sensitive Gate Triacs.
- RICO, R., ALVAREZ, M. & CANET, W. 1995. Sistema de adquisición y análisis de datos. *Eurofach Electrón*, 18, 60-65.
- RIVERA, W. O. 2014. *Selección y Especificación de Transformadores de Corriente y Potencial en Instalaciones Eléctricas Industriales*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- SEMICONDUCTOR, F. 2012. 7805 Data Sheet.
- SERNA, A., ROS, F. & RICO, J. 2010. *Guía práctica de sensores*, Creaciones Copyright SL.
- TECHNOLOGY, M. 2008. *PIC12F675 Data Sheet* [Online]. Available: <http://www.microchip.com>.
- TORK ELECTRO SISTEMAS. 2011. *Fotocontroles y Fotocontactores TES* [Online]. Available: <http://www.torkmexico.com.mx/flash/fotocontroles-y-fotocontactores-tes>.
- VISHAY SEMICONDUCTORS 2010. Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection.
- ZODION 2014. ONE-PART AND TWO-PART PHOTOCELLS.

ANEXOS

Anexo I Código del software que maneja el fotocontrolador.

```
#include <12F675.h>
#fuses NOWDT, INTRC_IO, NOPUT, NOPROTECT, NOMCLR
#use delay(clock=4000000)

unsigned int16 adc_value;
unsigned int16 contador_500_ms=0;
unsigned int16 contador_duracion_noche=0;
unsigned int16 duracion_noches[5];
unsigned int16 contador_duracion_dia=0;
unsigned int16 i=0, suma=0, mitad=70;
unsigned int16 contador=0;
unsigned int8 x=0;

#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
    contador_500_ms ++;
    if(contador_500_ms == 600)
    {
        contador_500_ms = 0;
        if ((contador_duracion_noche > mitad) && (contador_duracion_noche
<(mitad+40)))
        { //Apaga una
            contador_duracion_noche ++;
            x=1;
            enable_interrupts(INT_EXT);
```

```
}  
else  
{  
    if (adc_value <= 0x0040)  
    {  
        delay_ms(1000);  
        read_adc();  
        adc_value = read_adc(ADC_READ_ONLY);  
  
        if (adc_value <= 0x0040)  
        {  
            delay_ms(1000);  
            read_adc();  
            adc_value = read_adc(ADC_READ_ONLY);  
  
            if (adc_value <= 0x0040)  
            {  
                //Enciende dos  
                contador_duracion_noche++;  
                contador_duracion_dia = 0;  
                x=2;  
                enable_interrupts(INT_EXT);  
            }  
        }  
    }  
    else if (adc_value >= 0x0056)  
    {  
        delay_ms(1000);  
        read_adc();  
        adc_value = read_adc(ADC_READ_ONLY);  
  
        if (adc_value >= 0x0056)  
        {  
            delay_ms(1000);  
            read_adc();  
            adc_value = read_adc(ADC_READ_ONLY);  
  
            if (adc_value >= 0x0056)
```

```
    { //Apaga dos
      contador_duracion_dia ++;
      x=3;
      enable_interrupts(INT_EXT);

      if(contador_duracion_dia == 1)
      {
        duracion_noches[contador]=
contador_duracion_noche;

        contador ++;
        contador_duracion_noche = 0;

        if(contador == 4)
        {
          suma = 0;
          contador = 0;
          for(i=0; i<5; i++)
          {
            suma = suma + duracion_noches[i];
          }
          mitad = suma/10;
        }
      }
    }
  }
}

set_timer1(0x0BDC);
disable_interrupts(INT_TIMER1);
delay_ms(100);
enable_interrupts(INT_TIMER1);
}

#int_EXT
void EXT_isr(void)
{
  if(x==1)
```

```
{ //Apaga una
    output_low (PIN_A1);
    output_high(PIN_A4);
}
else if(x==2)
{ //Enciende dos
    output_high (PIN_A1);
    output_high (PIN_A4);
}
else if(x==3)
{ //Apaga dos
    output_low (PIN_A1);
    output_low (PIN_A4);
}
disable_interrupts(INT_EXT);
}
void main()
{
    output_low (PIN_A1);
    output_low (PIN_A4);

    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
    enable_interrupts(INT_TIMER1);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    set_timer1(0x0BDC);

    setup_adc_ports(sAN0);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    set_adc_channel(0);

    while (TRUE)
    {
        delay_ms(100);
        read_adc();
        adc_value = read_adc(ADC_READ_ONLY);
    }
}
```