Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Ingeniería en Automatización

Línea terminal en electrónica Industrial

Control de Intensidad Luminosa por Procesamiento de Imágenes

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Ingeniero en Automatización

**Presenta:**

Luis Raúl Castañón Gutiérrez

Dirigido por:

Dr. Jorge Domingo Mendiola Santibáñez

Nombre del Sinodal \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Presidente Firma

Nombre del Sinodal \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Secretario Firma

Nombre del Sinodal \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Vocal Firma

Nombre del Sinodal \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Suplente Firma

Nombre del Sinodal \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Suplente Firma

|  |  |
| --- | --- |
| Nombre y Firma  Director de la Facultad | Director de Investigación y Posgrado |

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Fecha (será el mes y año de aprobación del Consejo Universitario)

*Dedicatoria*

# Abstract

# Resumen

La propuesta desarrollada en este documento se refiere al uso de tecnologías sobre el procesamiento de imagen orientadas a mejorar el control de la iluminación y hacer más eficiente el consumo de energía eléctrica en ambientes automatizados. Usando una interfaz gráfica y la librería Open CV, se implementa un algoritmo de procesamiento de imagen que nos permite encontrar los niveles de intensidad luminosa obteniendo la retroalimentación de un lazo de control. Un controlador difuso nos genera un valor correspondiente a una señal de control que es enviado a un dispositivo digital a través de un protocolo de comunicación generando así una señal que controla la intensidad de una lámpara LED mediante un módulo de potencia.

# Índice

[Abstract 3](#_Toc502764805)

[Resumen 4](#_Toc502764806)

[Índice 5](#_Toc502764807)

[Lista de figuras 8](#_Toc502764808)

[Lista de Tablas 9](#_Toc502764809)

[I. Introducción. 10](#_Toc502764810)

[I.I Justificación 11](#_Toc502764811)

[I.II Formulación del problema 11](#_Toc502764812)

[I.III Objetivos 12](#_Toc502764813)

[I.III.I Objetivos generales 12](#_Toc502764814)

[I.III.II Objetivos específicos 12](#_Toc502764815)

[I.IV Estructura de la tesis 13](#_Toc502764816)

[II. Marco teórico 14](#_Toc502764817)

[II.I Antecedentes 14](#_Toc502764818)

[Owlet by Schreder 14](#_Toc502764819)

[Control Centralizado, bticino 15](#_Toc502764820)

[II.II Luz e Intensidad Luminosa 15](#_Toc502764821)

[II.III Generalidades del procesamiento de Imágenes 16](#_Toc502764822)

[II.IV Microcontroladores 17](#_Toc502764823)

[II.V Protocolo de Comunicación UART 18](#_Toc502764824)

[II.VI PWM 19](#_Toc502764825)

[II.VII OpenCV 20](#_Toc502764826)

[II.VIII Control Automático 20](#_Toc502764827)

[II.IX GitHub 22](#_Toc502764828)

[III. Metodología 23](#_Toc502764829)

[III.I Integración de OpenCV en Windows 7 y Qt Creator 24](#_Toc502764830)

[III.II Desarrollo de la interfaz gráfica 27](#_Toc502764831)

[III.II.I Operación manual: Obtención de la intensidad luminosa 29](#_Toc502764832)

[Botón “Open Image” 29](#_Toc502764833)

[Botón “Convert to Grayscale” 30](#_Toc502764834)

[Botón “Set Middle Points” 30](#_Toc502764835)

[Botón “Get Intensity Levels” 30](#_Toc502764836)

[III.II.II Operación automática: Control de intensidad luminosa 31](#_Toc502764837)

[III.III Desarrollo de la aplicación en el microcontrolador 32](#_Toc502764838)

[III.III.I Configuración de los registros del microcontrolador 34](#_Toc502764839)

[Configuración del reloj 34](#_Toc502764840)

[Configuración de las entradas y salidas digitales 35](#_Toc502764841)

[Configuración del temporalizador 35](#_Toc502764842)

[Configuración de los registros de la interfaz de comunicación UART 37](#_Toc502764843)

[IV. Resultados y Discusiones 39](#_Toc502764844)

[V. Conclusiones 40](#_Toc502764845)

[Apéndice I. Código implementado en el microcontrolador 41](#_Toc502764846)

[Apéndice II. Código implementado en la GUI 44](#_Toc502764847)

[Archivo de configuración 44](#_Toc502764848)

[Librerías 44](#_Toc502764849)

[Archivos fuente 44](#_Toc502764850)

[Diseño de la interfaz 44](#_Toc502764851)

[Referencias 45](#_Toc502764852)

# Lista de figuras

[Figura 1. Espectro electromagnético y la luz visible. 15](#_Toc502764071)

[Figura 2. Arquitectura del microcontrolador MSP430G2553. 17](#_Toc502764072)

[Figura 3. Estructura de un mensaje del protocolo UART. 18](#_Toc502764073)

[Figura 4. Modulación de una señal PWM. 18](#_Toc502764074)

[Figura 5. Diagrama a bloques de un sistema controlado. 20](#_Toc502764075)

[Figura 6. Ventana "acerca de" en QT Creator. 22](#_Toc502764076)

[Figura 7. Ventana "acerca de" de CCS. 23](#_Toc502764077)

[Figura 8. Ventana de edición de variables de entorno. 24](#_Toc502764078)

[Figura 9. Integración de librerías y archivos de acceso en Qt Creator. 25](#_Toc502764079)

[Figura 10. Diagrama de flujo de la obtención de la intensidad luminosa. 26](#_Toc502764080)

[Figura 11. Proceso de control de iluminación (GUI). 27](#_Toc502764081)

[Figura 12. Sección: "Proceso Manual" en la interfaz gráfica. 28](#_Toc502764082)

[Figura 13. Conjunto visual: "Middle Points". 29](#_Toc502764083)

[Figura 14. Conjunto visual: "Size area". 30](#_Toc502764084)

[Figura 15. Conjunto visual: "Intensity Levels". 30](#_Toc502764085)

[Figura 16. Secuencia de programación del microcontrolador. 32](#_Toc502764086)

[Figura 17. Módulo del reloj en microcontrolador MSP430G2553. 33](#_Toc502764087)

[Figura 18. Diagrama de configuración de salidas del MSP430G2553. 34](#_Toc502764088)

[Figura 19. Diagrama a bloques del temporalizador. 35](#_Toc502764089)

[Figura 20. Modos de salida usando el temporalizador. 36](#_Toc502764090)

# Lista de Tablas

# Introducción.

En las siguientes líneas se propone el desarrollo de un sistema de control de intensidad luminosa, donde implementaremos en una interfaz gráfica, un procesamiento de imagen con la finalidad de obtener la retroalimentación de un lazo de control, usaremos un dispositivo digital para embeber un protocolo de comunicación UART y generar una señal de control que se acoplará a un driver tipo Boost para lámparas LED.

Derivado del constante crecimiento poblacional y del impacto ambiental que este conlleva, uno de los rubros de la ingeniería versa en torno a mejorar la eficiencia de los sistemas que hacen uso de los servicios básicos del ser humano, como el agua potable y la energía eléctrica. (Lobao, Devezas, & Catalao, 2015). Se han desarrollado tecnologías que mejoran los sistemas de iluminación, como podemos evidenciarlo con los reguladores tipo “deemers”, el uso de celdas solares o con la tecnología LED; también otras áreas de la ingeniería buscan solventar esta necesidad, como es de notarse en la arquitectura moderna, aprovechando la luz solar en las construcciones.

Otro ámbito popularizado los últimos años, versa en torno al procesamiento de imágenes, que como podemos notar, cada vez se van encontrando mayores aplicaciones al uso de sistemas de visión en la industria e incluso en nuestros hogares, así que el proyecto tiene la tendencia de ser innovador al usar un sistema de visión para cerrar un lazo de control. Una base de nuestra formación se enfoca al desarrollo y uso de sistemas digitales en donde se implementen funcionalidades como protocolos de comunicación y configuración de señales de control que puedan ser utilizadas en acoplamientos de potencia; en conjunto, las cualidades de este proyecto, engloban la innovación tecnológica, la vinculación con un problema social y el uso de nuestra formación académica para solventarlo.

## I.I Justificación

En la actualidad los sistemas de visión son cada día más populares en las aplicaciones de innovación tecnológicas; se pueden encontrar cámaras en un sin número de edificios, oficinas, salones e incluso en los hogares, muchas de las cuales tienen la función primaria de ser usados como elementos de seguridad y protección contra la delincuencia; también podemos notar la creciente selección y preferencia por los sistemas de iluminación tipo LED, puesto que permiten un mayor ahorro en los consumibles, como el servicio de luz, así como el impacto ambiental que este conlleva.

Bajo la premisa del reúso de la infraestructura, se deriva la idea de adecuar un sistema que nos permita automatizar la iluminación en ambientes con variaciones en ella, tal como espacios que contengan ventanas, domos e incluso a la intemperie, lo cual derivará en un aumento al ahorro de los consumibles y por ende a una disminución al impacto ambiental.

Es de vital importancia, dada la tasa de crecimiento poblacional y sus consecuencias, que los servicios de consumo humano sean utilizados de una manera mucho más eficiente, como ingenieros y miembros de grupos sociales, nos compete proponer soluciones a esta clase de problemas haciendo uso de la tecnología y los conocimientos generados durante nuestra formación.

## I.II Formulación del problema

## I.III Objetivos

Bajo el contexto social y tecnológico, así como las necesidades de innovación en nuestro rubro, se han delimitado los siguientes objetivos para desarrollar un prototipo de un sistema de control de la intensidad luminosa haciendo uso del procesamiento de imagen.

### I.III.I Objetivos generales

* Desarrollar un sistema que nos permita controlar la intensidad luminosa usando como actuador un convertidor tipo boost de corriente directa para usarse con lámparas LED y como sensor una cámara que permita inhabilitar su característica de auto-compensación de luminosidad, embebido en una interfaz gráfica de usuario.

### I.III.II Objetivos específicos

* Integrar la librería OpenCV en un software de distribución libre que permita el desarrollo de GUIs.
* Procesar imágenes usando los métodos de OpenCV.
* Diseñar un controlador digital apropiado para el sistema.
* Acoplar la señal de control en un sistema digital que permita integrar un convertidor tipo boost en el diseño.
* Diseñar una interfaz gráfica donde podamos controlar y asignar el valor deseado de intensidad luminosa.

## I.IV Estructura de la tesis

# Marco teórico

## II.I Antecedentes

La energía eléctrica es uno de los servicios más vitales para el ser humano en la actualidad, su uso es primordial en las actividades del día a día y es imprescindible en la industria. Generar energía eléctrica representa uno de los problemas ambientales en nuestra actualidad, pues es a través de los recursos naturales y dadas las demandas que se ven reflejadas en estudios del SIE, estos se van agotando. (SENER, 2017) & (Liu & Ramirez, 2017).

Con base a lo anterior es que nuestro propósito versa en torno al ahorro del recurso energético, desarrollando un sistema con mayor eficiencia, al iluminar entornos de manera adecuada y promoviendo el ahorro de energía usando controles automatizados.

Muchas empresas han considerado el objetivo anterior y se han desarrollado numerosos sistemas para el ahorro de energía eléctrica y a su vez automatizando luminarias y entornos. En este apartado se conglomeran algunos sistemas y soluciones desarrolladas por diferentes empresas.

### Owlet by Schreder

Schreder es una empresa con sede en Bélgica y representación internacional, es referenciada como una compañía que brinda soluciones en iluminación con sus productos. Owlet es un proyecto de iluminación que actualmente se encuentran en funcionamiento en ciudades como: Ajman, Braga, Bra, Houthalen-Helchteren, Lisbon, entre otros países; el proyecto implementa sensores de movimiento, luz, velocidad y dirección interconectados a una red inalámbrica, donde un sistema de control se encarga de configurar la iluminación en las luminarias de acuerdo a parámetros configurables. (Schreder, 2017).

La implementación de sensores de alto costo, así como los múltiples algoritmos funcionando al mismo tiempo generan una solución sustentable en países europeos; nuestro proyecto está configurado para no ocupar sensores, puesto que el procesamiento de imagen realizaría la función de detección.

### Control Centralizado, bticino

Bticino ofrece una solución integral para poder solventar la necesidad de hacer más eficientes los sistemas de iluminación, hace uso de un protocolo de comunicación creando una red donde varios sensores pueden ser integrados a la misma red, la información obtenida es procesada y se puede determinar bajo determinados patrones, que luminaria debe ser encendida y con qué intensidad; la solución ofrece una interfaz que también permite monitorear los estados de los sensores y modular la iluminación de manera individual. (bticino, 2017).

El uso de sensores de tecnología de innovación y alto costo, así como el pago de licencias de uso de software son algunos de los elementos que marcarían la diferencia entre este producto y el proyecto que estamos planteando.

## II.II Luz e Intensidad Luminosa

La luz es una forma de radiación electromagnética que fluye en forma de ondas en cualquier medio con una dirección determinada y solo es perceptible cuando interactúa con la materia. (Sirlin, 2017).

Algunas características de la luz son: -Amplitud –Longitud de onda –Velocidad –Frecuencia.

La luz visible forma parte del llamado “espectro electromagnético” que es el modo en que se ordena la energía radiante según su longitud de onda, como podemos ver en la figura TODO, la luz es visible o la percibida por el ojo humano comprende las emisiones de longitud de onda de los 380 nanómetros hasta los 780 nanómetros

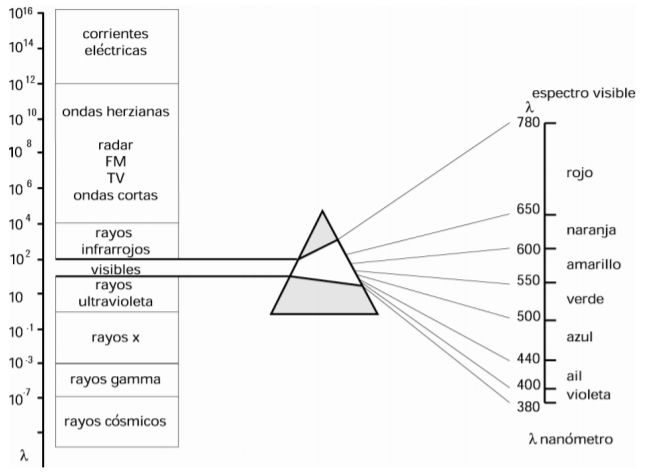


Figura 1. Espectro electromagnético y la luz visible.

La intensidad luminosa está definida como la cantidad de luz emitida por una fuente que incide sobre una superficie en un ángulo especifico y cuya magnitud es expresada en candelas.

## II.III Generalidades del procesamiento de Imágenes

Una imagen digital está concebida como un arreglo bidimensional, cuyo valor proviene de un proceso de muestreo, existen varios tipos de muestreo como: -Densidad de muestreo –Muestreo por medidas de área –Muestreo por medidas de distancia entre otros métodos de muestreo.

La intensidad luminosa puede ser expresada como el valor promedio de la sumatoria de los pixeles que contiene la imagen en escala de grises (Young , Gerbrands, & van Vliet, 2017).

Dado que la imagen es concebida como un arreglo bidimensional, las operaciones matriciales de algebra lineal nos permitirán realizar operaciones y procesamientos para obtener datos de las imágenes.

## II.IV Microcontroladores

Texas Instruments es una empresa estadounidense que desarrolla y comercializa semiconductores y tecnología digital, siendo el tercer mayor fabricante de semiconductores a nivel mundial. Dentro de los procesadores digitales que ofertan se encuentra la familia de los MSP430, son microcontroladores de dieciséis bits que han sido diseñados para trabajar en aplicaciones de bajo consumo de energía (3.3 V y 230 uA), dependiendo de las características de su arquitectura son agrupadas en familias que distinguen su distribución funcional.

De forma básica un microcontrolador puede determinarse de cinco etapas o bloques funcionales, la figura dos nos muestra un diagrama a bloques de la constitución o arquitectura que obedece todo sistema llamado microcontrolador; las cinco etapas son: la unidad de procesamiento central (CPU), la memoria primaria, dispositivos de entrada salida, buses (direcciones, datos y control) y una unidad de reloj.

La primer etapa es la unidad que aporta la capacidad de cómputo del sistema; las memorias pueden determinarse como los registros, memorias de corto plazo, una memoria de datos, que es la que almacena información mientras el microcontrolador funciona y la memoria del programa que tiene la característica de poder permanecer la información guardada en el sistema aunque no esté encendido; los dispositivos de entradas y salidas se refieren a las conexiones exteriores de los microcontroladores, son conocidas como GPIO (General Purpose Input/Output) y por lo general se agrupan en puertos de ocho terminales; los buses son los conductores que transmiten diferente tipo de información como las direcciones, los datos de control, las instrucciones y los valores de variables; finalmente la unidad de reloj es variable en cada sistema, algunos pueden tener osciladores controlados digitalmente independientes de cristales externos, otros requieren de un cristal para multiplicar la oscilación y generar una señal de reloj, entre más sistemas generadores de señal.

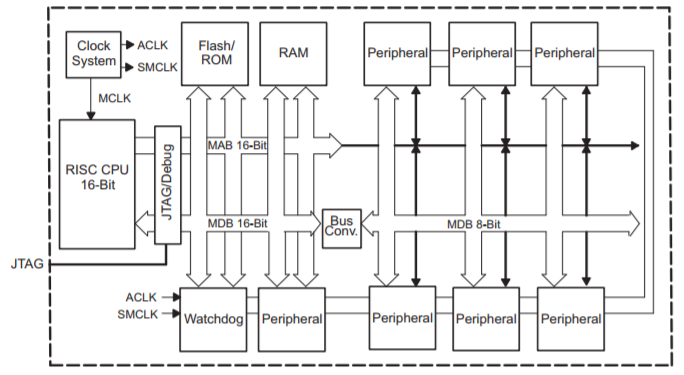


Figura 2. Arquitectura del microcontrolador MSP430G2553.

Los microcontroladores de TI utilizan un software que lleva a cabo la compilación y programación en sus microcontroladores, este software se llama Code Composer Studio y su programación utiliza un lenguaje en C básico, una ventaja para el uso de estos microcontroladores es que no requieren de una licencia para el uso del software ni para la programación de los mismos. (Texas Instruments, 2017).

La familia de los microcontroladores MSP430G2553 cuentan con las herramientas y la arquitectura capaces para soportar las necesidades de nuestro proyecto, aunado a su bajo costo y soporte. (Texas Instruments, 2017).

## II.V Protocolo de Comunicación UART

El protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) es un estándar de comunicaciones que se implementa en una amplia gama de aplicaciones, muchos dispositivos electrónicos tienen el protocolo embebido en su arquitectura. Tiene un marco de datos específico para transmitir la información de un lugar a otro, la figura TODO muestra la estructura básica de los mensajes bajo este protocolo.

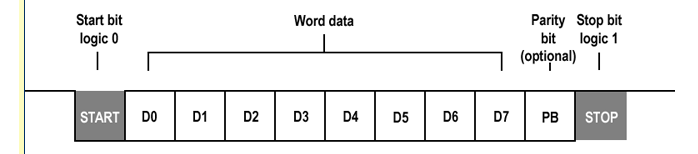


Figura 3. Estructura de un mensaje del protocolo UART.

## II.VI PWM

El PWM (Pulse Wide Modulation) por sus siglas en inglés, se refiere a una modulación del ancho de pulso de una señal; esta señal es una señal cuadrada unipolar cuya frecuencia se define desde el inicio de su diseño. La propiedad interesante del empleo de una señal de este tipo, es que la señal cuadrada de salida puede ser variada en cuanto la amplitud de la onda cuadrada, en el ciclo de trabajo completo, como puede notarse en la figura cuatro. Este tipo de señales suelen ser utilizadas como salidas de control y precisamente es lo que usaremos en nuestro proyecto, el ancho del pulso se verá afectado en función a un algoritmo de control.



Figura 4. Modulación de una señal PWM.

## II.VII OpenCV

OpenCV es una librería de visión artificial, en ella se encuentran implementados diversos algoritmos de procesamiento de imagen que son utilizados en infinidad de aplicaciones con intensiones comerciales y de investigación, las cuales son permitidas por su licencia de libre propósito. (OpenCV, 2017).

La librería se puede obtener en distintas versiones a través de su página oficial: opencv.org. Los algoritmos pueden ser utilizados en desarrollos con diversos lenguajes de programación como C++, C#, java, Python, entre otros; es compatible con muchas plataformas como NetBeams, QtCreator, Visual Studio, etc. Lo anterior, hace de OpenCV una librería adecuada para la implementación de nuestro proyecto.

## II.VIII Control Automático

Uno de los objetivos de nuestro proyecto es el de implementar un controlador que sea capaz de regular una señal a modo que una lámpara pueda iluminar a cierto nivel esperado, para esto es necesario implementar un sistema de control. La figura cinco, nos muestra un diagrama a bloques de un sistema controlado; como entrada existe un valor de referencia o un valor deseado de una variable física, este valor se compara con el estado actual de la variable y la diferencia es procesada por un bloque de control el cual determina la magnitud de una señal que actúa sobre una planta o sistema controlado, perturbando la condición de la variable física que es medida por algún sensor.

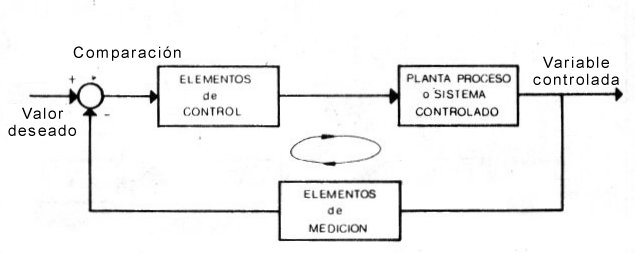


Figura 5. Diagrama a bloques de un sistema controlado.

Existen diversos tipos de controladores en la actualidad y es necesario verificar las condiciones que se encuentran inmersas en todo sistema, ya que es en función de lo anterior que un tipo de controlador responderá de mejor manera que otro, así bien, es necesario primero construir nuestro prototipo para poder delimitar las características del sistema y con ello inferir el tipo de controlador adecuado a nuestro sistema.

Tradicionalmente los controladores del tipo PID (Proporcional Integral Derivativo) suelen ser los más seleccionados en los sistemas controlados, sin embargo, en muchas ocasiones el control PI (Proporcional Integral) suele ser suficiente para obtener una respuesta deseada en el sistema. En las siguientes líneas se mostrará la teoría sobre un controlador PID que engloba las combinaciones que nos permitirían obtener un controlador adecuado para nuestro sistema.

Un controlador del tipo Proporcional-Integral-Derivativo multiplica el error o diferencia entre el estado actual de la variable física y el estado deseado, por una constante más la multiplicación entre una constante integral por la integral del error, más la multiplicación de la derivada del error por una constante derivativa. (Hernandez, Silva, & Carrillo, 2013).

La función de transferencia de un controlador PID esta descrita en la ecuación 1.1

 1.1

En tiempo continuo la expresión 1.1 puede denotarse como 1.2.

 1.2

La ecuación 1.1 expresada en tiempo discreto se muestra en 1.3.

 1.3

## II.IX GitHub

# Metodología

El desarrollo de este proyecto fue controlado en todas las secciones a través de GitHub, GitHub es una interfaz de control de versiones que usa como base Git. Las características del control de versiones han sido expuestas en la sección del marco teórico de este documento, no obstante se expone el link de GitHub que contiene información adecuada para poder hacer uso de la aplicación: <https://help.github.com/>.

El sistema operativo en donde se desarrolló el código fue Windows 7.

La interfaz gráfica fue desarrollada en la plataforma QT Creator versión 3.4.2 como lo muestra la figura TODO:

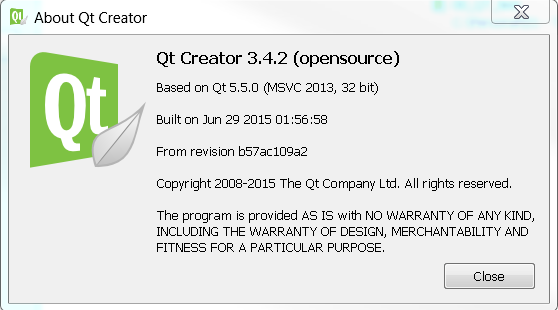


Figura 6. Ventana "acerca de" en QT Creator.

Qt Creator es un IDE (por sus siglas en inglés: Integrated Development Enviroment) de distribución gratuita, bajo ciertos estándares de desarrollo. Permite el desarrollo de GUIs (por sus siglas en inglés: Graphical User Interface) y debuggeo de código en las funciones que se desarrollan en ellas, ofrece soporte para multiples plataformas, entre ellas Windows y mucho desarrollo puede ser encontrado en páginas web.

La programación del microcontrolador MSP430G2553 se desarrolló en la interfaz Code Composer Studio (CCS) versión 7.1.0.00015 que se muestra en la figura TODO:

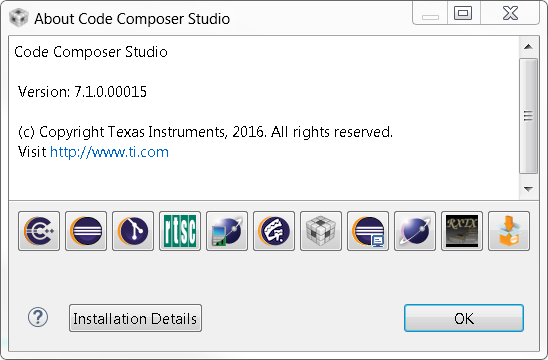


Figura 7. Ventana "acerca de" de CCS.

Texas Instruments ofrece la distribución gratuita de esta interfaz de programación para sus dispositivos electrónicos, el sistema cuenta con varias herramientas específicas que permiten la edición de texto, debuggeo de los sistemas y código integrado, terminal de comunicaciones, mapeo de registros y memorias, entre otras.

## III.I Integración de OpenCV en Windows 7 y Qt Creator

La integración de la librería en la IDE Qt Creator se reduce a unos cuantos pasos. Se parte de la premisa de que se ha instalado adecuadamente la versión especificada de Qt Creator.

1. Descargar la librería OpenCV. (OpenCV, 2018).
2. Descomprimir la librería en un directorio sin caracteres especiales (símbolos o guiones) ni espacios, se recomienda C:\OpenCV.
3. Agregar al path del sistema la carpeta donde se encuentran las librerías dinámicas (DLL) como lo muestra la figura TODO:

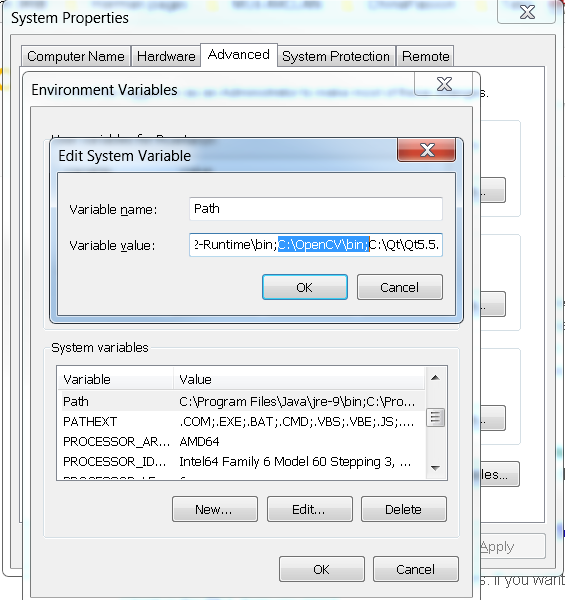


Figura 8. Ventana de edición de variables de entorno.

1. Crear un proyecto nuevo en Qt Creator.
   * File -> New
   * Application -> Qt Widgets Application
   * Asignar nombre y directorio donde se guardara el Proyecto.
   * Seleccionar el compilador por default (MinGW).
   * Asignar nombre de los archivos fuente.
   * Finalizar el Wizard.
2. Al crear un nuevo proyecto y seleccionar las opciones por default, Qt Creator genera cinco archivos base:
   * Nombre\_del\_proyecto.pro
   * mainwindow.h
   * main.cpp
   * mainwindow.cpp
   * mainwindow.ui
3. Antes de incluir las librerías de OpenCV en el código, es necesario agregar el path de las librerías y los archivos de acceso a ellas en el archivo de configuración (Nombre\_del\_proyecto.pro), la figura TODO nos muestra los archivos que fueron usados en nuestro proyecto.

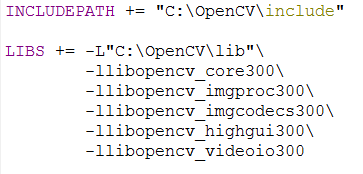


Figura 9. Integración de librerías y archivos de acceso en Qt Creator.

1. Finalmente, en los archivos del código donde se requiera usar las funciones de OpenCV se debe agregar la librería:

#include <opencv2/opencv.hpp>

## III.II Desarrollo de la interfaz gráfica

La interfaz gráfica (GUI) fue diseñada para operar en base a dos propósitos, el primero fue demostrar la operación de la obtención de la intensidad luminosa mediante la segmentación de la imagen en áreas específicas de la misma, este proceso se modela en el siguiente diagrama de flujo:



Figura 10. Diagrama de flujo de la obtención de la intensidad luminosa.

El segundo y principal propósito es el de automatizar el control de la iluminación, por lo cual la interfaz tiene la capacidad de abrir un puerto de comunicación serial para mandar los mensajes de control a un microcontrolador (MCU) y otro para leer un dispositivo de imagen (cámara de video), el algoritmo de la figura TODO será implementado de manera periódica obteniendo el nivel de intensidad luminosa actual y cerrando el lazo de control. El proceso puede visualizarse en la figura TODO:



Figura 11. Proceso de control de iluminación (GUI).

### III.II.I Operación manual: Obtención de la intensidad luminosa

La interfaz gráfica cuenta con una sección donde se puede obtener los niveles de intensidad de una imagen de forma manual, el proceso se completa presionando cuatro botones. Como es un proceso secuencial, los botones son habilitados y deshabilitados de acuerdo con el paso actual, es decir, no se podrá presionar ningún otro botón más que el subsecuente. La figura TODO nos muestra la sección del proceso manual para la obtención de la intensidad luminosa en la GUI:

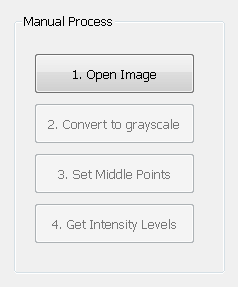


Figura 12. Sección: "Proceso Manual" en la interfaz gráfica.

#### Botón “Open Image”

El botón “Open Image” tiene la función de abrir una imagen en algún directorio especificado por el usuario, la imagen puede ser de cualquiera de los siguientes tipos:

\*.bmp, \*.pbm, \*.pgm, \*.ppm, \*.sr, \*.ras, \*.jpg, \*.jpeg, \*.jpe, \*.jp2, \*.tiff, \*.tif, \*.png

Si la imagen seleccionada es compatible esta será mostrada en una ventana anexa con el nombre “Selected Image”.

#### Botón “Convert to Grayscale”

El objetivo del botón es de cambiar el espacio de color de la imagen seleccionada a escala de grises, la conversión de la imagen a este espacio de color nos permite encontrar los niveles de intensidad luminosa en la misma.

#### Botón “Set Middle Points”

La mejora propuesta en el proyecto se encuentra en la selección de zonas en la imagen para encontrar un índice de intensidad luminosa. El botón de “set middle points” nos permite encontrar los puntos medios en la imagen de esas zonas a analizar y se visualizan en el conjunto visual “Middle Points” como lo muestra la figura TODO.

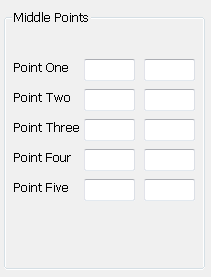


Figura . Conjunto visual: "Middle Points".

#### Botón “Get Intensity Levels”

La interfaz nos permite asignar el tamaño del área y como primer elemento antes de obtener los niveles de intensidad adquiere los valores del grupo visual: “Size área” que se muestra en la figura TODO, si no existe un valor en los elementos de texto asigna valores predeterminados en código.

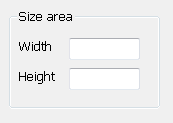


Figura 14. Conjunto visual: "Size area".

Finalmente, se lleva a cabo el análisis de las zonas características y se obtiene el valor promedio de la intensidad luminosa en la imagen, los valores son expuestos en la interfaz con el grupo visual “Intensity Levels” como lo muestra la figura TODO.

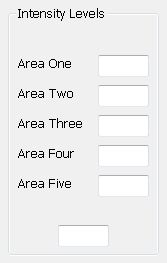


Figura 15. Conjunto visual: "Intensity Levels".

### III.II.II Operación automática: Control de intensidad luminosa

La operación automática se basa en el proceso expuesto en la figura TODO. Los pasos que son ejecutados se resumen a continuación:

Al presionar el botón “Set Timer”:

* Habilitar un temporalizador que llame una secuencia cada determinado tiempo.
  + Configurar y abrir un puerto de comunicación serial.

Secuencia:

* Obtener una imagen de una cámara.
* Verificar características y validar que la información obtenida de la cámara pertenece a una imagen; si existe algún error mandar un mensaje característico y finalizar el ciclo.
* Llamar la secuencia manual descrita en III.II.I para procesar la imagen y obtener el índice de intensidad luminosa.
* Obtener o asignar el valor predeterminado de la intensidad luminosa deseada.
* Calcular la señal de control enviando el valor deseado de intensidad luminosa y el valor obtenido en III.II.I.
* Verificar que la conexión entre el microcontrolador y la interfaz se encuentre habilitada, en caso de haber algún error, finalizar el ciclo.
* Mandar la señal de control al micro a través del puerto de comunicación serial.
* Esperar el siguiente ciclo.

## III.III Desarrollo de la aplicación en el microcontrolador

El desarrollo del código del microcontrolador MSP430G2553 se implementó en la interfaz de usuario Code Composer Studio, distribuida por TI de forma gratuita.   
El sistema tiene como propósito:

* Recibir y procesar información vía UART.
* Generar una señal digital de control (PWM).

El protocolo de UART fue configurado para habilitar una comunicación a 9600 baudios con ocho bits de datos de transmisión y un bit de paro.

La señal de control fue configurada para generar un PWM de 1 KHz usando un pin de salida del microcontrolador regido por un temporalizador del mismo dispositivo (TA0).

En la figura 16 podemos observar la secuencia de programación desarrollada en el microcontrolador.



Figura 16. Secuencia de programación del microcontrolador.

### III.III.I Configuración de los registros del microcontrolador

En la primera sección del diagrama de la figura TODO podemos notar la configuración de los registros del microcontrolador para cada módulo que fue habilitado. El acceso y nombre de los registros, así como la descripción de sus funcionalidades se encuentra detallado en el manual de usuario de la familia del microcontrolador. (Texas Instruments Incorporated, 2013).

#### Configuración del reloj

El microcontrolador MSP430G2553 soporta diferentes tipos de osciladores como fuente, entre ellos se cuenta con un llamado: oscilador interno controlado digitalmente (DCO por sus siglas en ingles), el cual es usado y configurado en nuestro dispositivo, el modulo provee tres salidas: el reloj principal (MCLK), el reloj sub-principal (SMCLK) y el reloj auxiliar (ACLK) las cuales fueron configuradas para generar una frecuencia de 1 MHz. El diagrama a bloques que caracteriza el funcionamiento del módulo de reloj se muestra en la figura TODO.

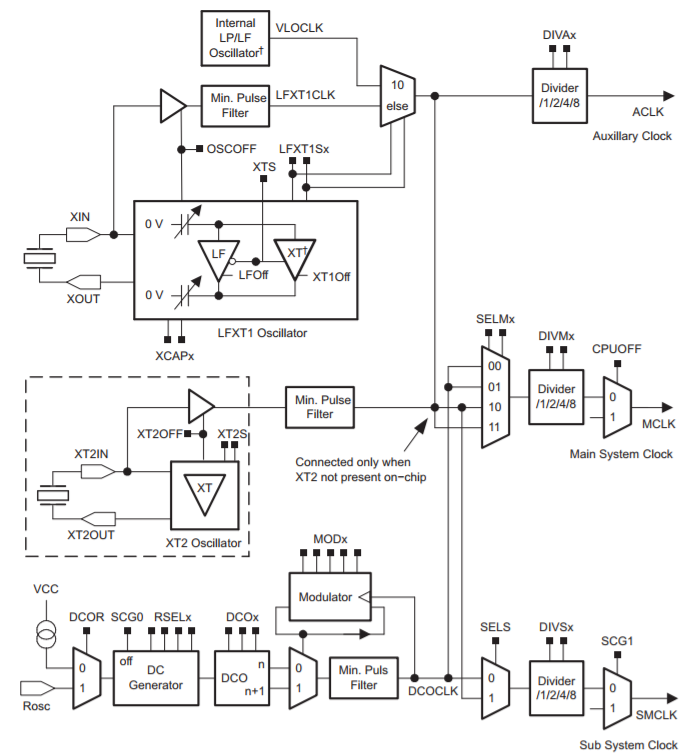


Figura 17. Módulo del reloj en microcontrolador MSP430G2553.

#### Configuración de las entradas y salidas digitales

El propósito de nuestro desarrollo requiere configurar un par de terminales de salida para establecer una comunicación serial con la interfaz gráfica, para ello se hace uso del diagrama de configuración de salidas del microcontrolador en cuestión que se encuentra expuesto en la figura TODO.

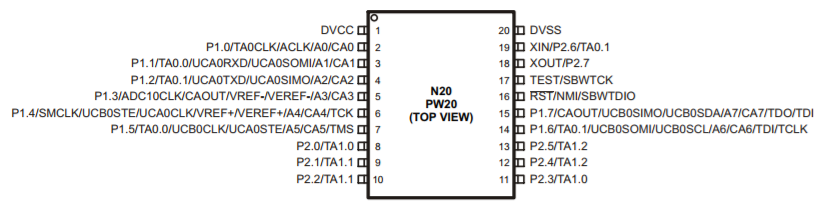


Figura 18. Diagrama de configuración de salidas del MSP430G2553.

Las terminales 1 y 2 del puerto 1, son las que están eléctricamente configuradas para soportar la configuración serial en el dispositivo, en función de lo anterior se habilitan los registros correspondientes en el puerto 1.

Aunado a la configuración necesaria en el puerto para la comunicación serial, se utiliza una terminal digital del mismo puerto para generar una señal de control la cual será manipulada por un temporalizador del mismo microcontrolador, de acuerdo con el diagrama de configuración de salida se elige la terminal 6 para poder generar la señal de control usando el temporalizador 0.

#### Configuración del temporalizador

El temporalizador en el MSP430G2553 es un contador de 16-bits, tiene tres registros de captura y comparación que puede soportar simultáneamente, los cuales pueden configurarse para generar salidas de control tipo PWM (por sus siglas en ingles Pulse Width Modulation). El funcionamiento de este módulo se modela en el diagrama a bloques de la figura TODO.

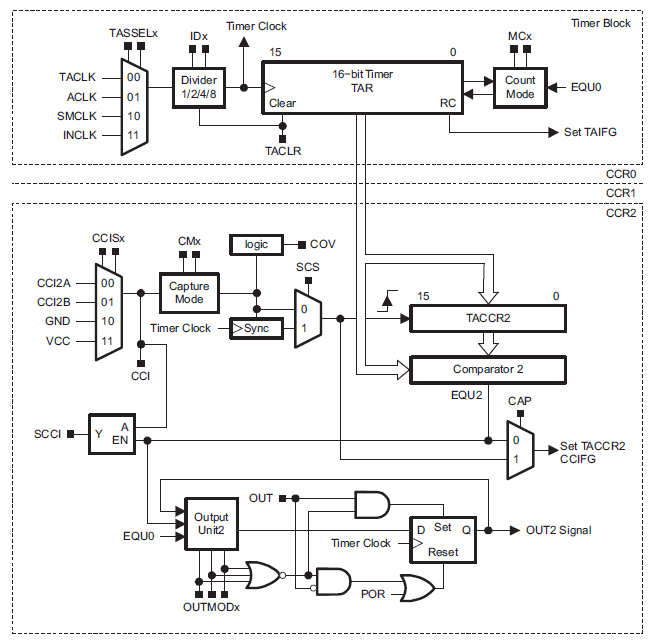


Figura 19. Diagrama a bloques del temporalizador.

El temporalizador recibe la entrada del SMCLK el cual fue configurado para generar una señal de 1 MHz y el registro de captura y comparación 0 (CCR0) se habilito para modular una frecuencia de 1 KHz. El control habilitado de este temporalizador con los registros CCR0 y CCR1 se modela en la figura TODO con el modo 2 (Toogle/Reset).

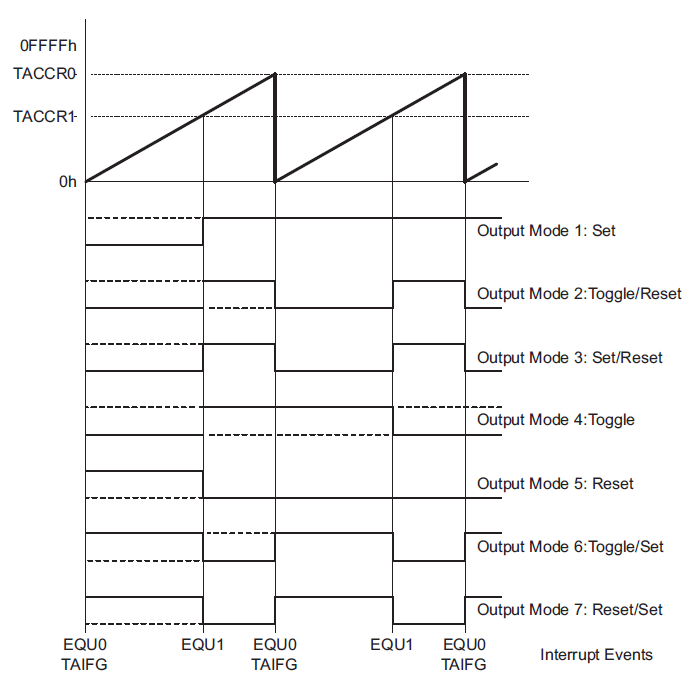
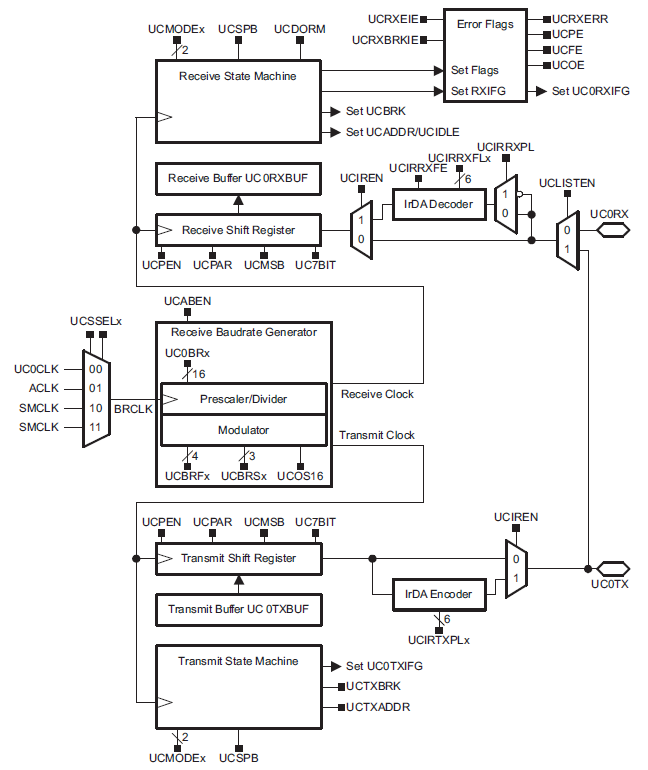


Figura 20. Modos de salida usando el temporalizador.

#### Configuración de los registros de la interfaz de comunicación UART



# Resultados y Discusiones

# Conclusiones

# Apéndice I. Código implementado en el microcontrolador

**#include** <msp430g2553.h>

**#include** <stdlib.h>

**#include** <string.h>

/\*

\* Defines section

\*/

**#define** FREQ 125

**#define** MINIMUM\_RATE 5

**#define** MAXIMUM\_RATE FREQ-5

**#define** MAXIMUM\_ARRAY\_DATA 2

**#define** ASCII\_MIN\_NUMBER 47

**#define** ASCII\_MAX\_NUMBER 58

/\*

\* Struct declarations

\*/

**typedef** **struct** data{

**char** data\_input[2];

**unsigned** **short** **int** data\_count;

} data;

/\*

\* Global variables

\*/

**static** data input\_data;

**void** **main**(**void**) {

//Watchdog configuration

WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD; // Stop watchdog timer

//Clock configuration

DCOCTL = CALDCO\_1MHZ;

BCSCTL1 = CALBC1\_1MHZ;

BCSCTL2 = SELM0 + DIVS\_0;

BCSCTL3 = LFXT1S\_2;

//IO configuration

P1DIR = BIT6;

P1SEL = BIT6;

P1OUT &= ~BIT6;

/\* Configure Pin Muxing P1.1 RXD and P1.2 TXD \*/

P1SEL |= BIT1 + BIT2 ;

P1SEL2 = BIT1 + BIT2;

P1DIR |= BIT1;

UCA0CTL0 = 0x00;

/\* Configure \*/

UCA0CTL1 |= UCSSEL\_2; // SMCLK

UCA0BR0 = 104; // 1MHz 9600

UCA0BR1 = 0; // 1MHz 9600

UCA0MCTL = UCBRS\_1; // Modulation UCBRSx = 1

/\* Take UCA0 out of reset \*/

UCA0CTL1 &= ~UCSWRST;

//Timer A0 configuration

TA0CTL = TACLR;

TA0R = 0;

TA0CCR0 = FREQ;

TA0CCR1 = MAXIMUM\_RATE;

TA0CCTL0 = CCIE;

TA0CCTL1 = OUTMOD\_2;

TA0CTL = TASSEL\_2 + MC\_1 + ID\_3;

//Interrupt configuration

IE2 |= UCA0RXIE; //Enable USCI\_A0 RX interrupt

\_BIS\_SR(GIE);

//Global variables initialization

**memset**(input\_data.data\_input, '\0', **sizeof**(input\_data.data\_input));

input\_data.data\_count = 0;

//Infinite loop

**for**(;;){

}

}

**#pragma** vector=TIMER0\_A0\_VECTOR

**\_\_interrupt** **void** **Timer0\_A0** (**void**)

{

// Clean interruption flag

TA0CCTL0 &= ~CCIFG;

}

**#pragma** vector=USCIAB0RX\_VECTOR

**\_\_interrupt** **void** **USCI0RX\_ISR**(**void**)

{

// Local variable declarations

**static** **char** buff\_rx;

**static** **int** pwm\_val;

**while** (!(IFG2&UCA0TXIFG)); // USCI\_A0 TX buffer ready?

buff\_rx = UCA0RXBUF;

// Verify if we have to process data or save data

// To process data we have to receive '\n'

**if**(buff\_rx != '\n')

{

// Validate incoming data

**if**((MAXIMUM\_ARRAY\_DATA > input\_data.data\_count) &&

(ASCII\_MIN\_NUMBER < buff\_rx) && (ASCII\_MAX\_NUMBER > buff\_rx))

{

// Add data to array

input\_data.data\_input[input\_data.data\_count] = buff\_rx;

// Increment count from data received

input\_data.data\_count++;

}

**else**

{

// Clean variables

input\_data.data\_count = 0;

**memset**(input\_data.data\_input, '\0', **sizeof**(input\_data.data\_input));

}

}

**else**

{

// Validate count and data

**if**((MAXIMUM\_ARRAY\_DATA >= input\_data.data\_count) && ('\0' != input\_data.data\_input[0]))

{

// Convert received data (duty cycle) in timer counts

pwm\_val = (**int**)((**atoi**(input\_data.data\_input))\*128)/100;

// Check limits

**if**(pwm\_val < MINIMUM\_RATE)

{

pwm\_val = MINIMUM\_RATE;

}

**else** **if**(pwm\_val > MAXIMUM\_RATE)

{

pwm\_val = MAXIMUM\_RATE;

}

**else**

{

// Do nothing

}

// Set pwm duty cycle

TA0CCR1 = pwm\_val;

// Clean variables

input\_data.data\_count = 0;

**memset**(input\_data.data\_input, '\0', **sizeof**(input\_data.data\_input));

}

}

}

# Apéndice II. Código implementado en la GUI

## Archivo de configuración

## Librerías

## Archivos fuente

## Diseño de la interfaz

# Referencias

bticino. (15 de Mayo de 2017). *bticino México*. Obtenido de Control Centralizado: http://www.bticino.com.mx/index.php?id=1912

Hernandez, V. M., Silva, R., & Carrillo, R. V. (2013). *Control Automático: Teoría de diseño, contrucción de prototipos, modelado, identificación y pruebas experimentales.* México DF: Colección CIDETEC del Instituto Politécnico Nacional.

Liu, W., & Ramirez, A. (2017). State of the art review of the enviromental assessment and risks of underground geo-energy resources exploitation. *ELSEVIER*, 628-644.

Lobao, J. A., Devezas, T., & Catalao, J. P. (2015). Energy efficiency of lighting installations: Software application and experimental validation. *ELSEVIER*, 110-115.

OpenCV. (15 de Mayo de 2017). *OpenCV*. Obtenido de Home Page: http://opencv.org/

OpenCV. (2 de January de 2018). *OpenCV releases*. Obtenido de OpenCV: https://opencv.org/releases.html

Schreder. (15 de Mayo de 2017). *Schreder Owlet Sistemas de Control.* Obtenido de Control Inteligente para una Iluminación Eficiente: http://www.schreder.com/globalassets/sitecollectiondocuments/additional-content/schreder-owlet-sistemas-de-control.pdf

SENER. (14 de Mayo de 2017). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Sistema de Información Energética: http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE7C02

Sirlin, E. (15 de Mayo de 2017). *Física de la Luz.* Obtenido de elisirlin: http://www.elisirlin.com.ar/11\_fisica%20de%20la%20luz.pdf

Texas Instruments. (15 de Mayo de 2017). *Technical documents.* Obtenido de Datasheet: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf

Texas Instruments. (15 de Mayo de 2017). *Technical documents.* Obtenido de Users manual: http://www.ti.com/lit/ug/slau144j/slau144j.pdf

Texas Instruments Incorporated. (2013, July). *Texas Instruments*. Retrieved from MSP430x2xx User's Guide: http://www.ti.com/lit/ug/slau144j/slau144j.pdf

Young , I. T., Gerbrands, J. J., & van Vliet, L. J. (15 de Mayo de 2017). Fundamentals of Image Processing. Universidad Técnica de Delft, Delft, Países Bajos.