

**DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE ILUMINACIÓN  
EMBEBIDO USANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

**EDUARDO ROA DAZA  
CÓDIGO 2001100767  
MIGUEL RICARDO RIVERA LIZCANO  
CÓDIGO 2001201195**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA, HUILA  
2011**

**DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE ILUMINACIÓN EMBEBIDO  
USANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

**EDUARDO ROA DAZA  
CÓDIGO 2001100767  
MIGUEL RICARDO RIVERA LIZCANO  
CÓDIGO 2001201195**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Director  
M. Sc. VLADIMIR MOSQUERA CERQUERA**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERIA ELECTRÓNICA  
NEIVA, HUILA  
2011**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del primer jurado

---

Firma del segundo jurado

Neiva, 21 de noviembre 2011

A mis padres Reynaldo Roa y Teresa Daza porque me enseñaron a trazarme metas en el camino y tener fortaleza para cumplir mis propósitos. A mi gran amor Angélica quien ha sido mi motivación y apoyo incondicional. A mi amiga Nubia Patricia, por estar a mi lado en los momentos difíciles brindándome sus sabios consejos.

**Eduardo Roa Daza**

A Dios quien ha sido mi fuente de inspiración y me ha dado una bendición muy grande, mis padres Luis Rivera y Rosalba Lizcano, a estas personas dedico este triunfo y a todos aquellos que han creído en mí, y me han demostrado que si una meta no se cumple en el tiempo que creemos, no significa que no la podamos lograr.

**Miguel Ricardo Rivera Lizcano**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Los autores expresan sus agradecimientos a:**

A Dios por brindarnos la oportunidad de recibir educación universitaria, a nuestra familia y amigos por apoyarnos moralmente en esta importante etapa.

A la Universidad Surcolombiana por ser nuestro centro de formación profesional e intelectual y por tener en su personal educativo al ingeniero Vladimir Mosquera Cerquera, quien dedicó su tiempo y entregó sus conocimientos para el buen desarrollo de este proyecto de tesis.

Al ingeniero Diego Jiménez por contribuir en la elaboración de este trabajo y brindarnos su apoyo a pesar de residir en otra ciudad.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	14
<b>1. CONCEPTOS Y GENERALIDADES</b>	15
1.1. CÁMARA	17
1.2. INTERFAZ	17
1.3. PROCESAMIENTO DSP	18
1.3.1. Microcontrolador ATXMEGA32A4	18
1.3.2. Detección de movimiento	20
1.3.3. Condiciones y ajustes	20
1.3.4. Generación de la señal de salida	20
1.4. DIMMER ELECTRÓNICO	20
1.4.1. Potenciómetro Automático	20
1.4.2. Dimmer	21
1.5. LÁMPARA	21
1.6. RECINTO	21
<b>2. DISEÑO DEL HARDWARE DEL PROTOTIPO</b>	22
2.1. CÁMARA DE SEGURIDAD	22
2.2. INTERFAZ A/D	23
2.3. MICROCONTROLADOR DSP	25
2.4. PROCESAMIENTO CUADRO DE IMAGEN	26
2.5. ALMACENAMIENTO CAMPO DE IMAGEN	26
2.6. COMPARACIÓN DE IMÁGENES PARA LA DETECCIÓN DE MOVIMIENTO	28
2.7. GENERACIÓN DE LA SEÑAL DE SALIDA	29
2.8. BALASTO ELECTRÓNICO	29
2.8.1. Etapa de Aislamiento	31
2.8.2. Dimmer Eléctrico	32
2.9. LÁMPARA	32
<b>3. DISEÑO DEL SOFTWARE DEL PROTOTIPO</b>	34
<b>4. IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL PROTOTIPO</b>	40
4.1. RESULTADO OBTENIDO DE LA INTERFAZ ANALÓGICA DIGITAL	42
4.2. KIT DE DESARROLLO O PROGRAMADOR	47
4.3. MICROCONTROLADORES ATXMEGA32A4	48
4.4. MEMORIA SRAM EXTERNA	49
4.5. BALASTO ELECTRÓNICO	50
4.6. DIMMER	51
<b>5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DISEÑADO</b>	53

5.1. VENTAJAS	53
5.2. DESVENTAJAS	53
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>
<b>7. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>59</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama general de un sistema inteligente de iluminación.	15
Figura 2. Diagrama de bloques de Sistemas inteligentes de iluminación usados en la actualidad.	16
Figura 3. Esquema general del sistema de iluminación.	17
Figura 4. Cámara de seguridad analógica como sensor de movimiento de personas.	17
Figura 5. Familias de microcontroladores de AVR.	19
Figura 6. Procesos realizados por el microcontrolador DSP.	20
Figura 7. Diagrama a bloques del sistema de iluminación con el recorrido de las señales en el sistema.	22
Figura 8. Esquema Simplificado del decodificador de video TI TVP5146M2.	23
Figura 9. Señal de salida del decodificador de video.	24
Figura 10. Aproximación de la señal de sincronismo vertical VS.	24
Figura 11. Aproximación de la señal indicador de campo par/impar.	24
Figura 12. Diagrama de conexión básico del microcontrolador DSP.	25
Figura 13. Diagrama a bloques del procesamiento de la señal de Luminancia Y de la imagen.	26
Figura 14. Resta de imágenes para la detección de movimiento.	29
Figura 15. Diagrama a bloques del procesamiento de la señal del balastro electrónico.	30
Figura 16. Diagrama general del Balastro electrónico REZ-2S54.	31
Figura 17. MOC 3011.	31
Figura 18. Diagrama de cableado del Dimmer eléctrico.	32
Figura 19. Diagrama Lámpara de gas.	33
Figura 20. Diagrama de flujo general del proyecto.	34
Figura 21. Diagrama de flujo de la programación I2C.	35
Figura 22. Registros modificados en el decodificador de video TVP5146M2.	36
Figura 23. Diagrama de flujo del almacenamiento de imagen.	37
Figura 24. Gráfica de osciloscopio mostrando la rutina de direccionamiento.	38
Figura 25. Diagrama de flujo de la rutina de detección de movimiento.	39
Figura 26. Diagrama a bloques general del hardware del sistema.	40
Figura 27. Diagrama de conexión del decodificador de video TVP5146M2.	41
Figura 28. Señal de test de televisión las barras de color SMPTE	42
Figura 29. Señal de entrada y señal de salida.	43
Figura 30. Señal de entrada y sincronismo horizontal.	43
Figura 31. Señal de entrada y sincronismo vertical.	44
Figura 32. Señal de AVID y HS.	44
Figura 33. Señal de VS y FID.	45
Figura 34. Señales de programación I2C, SDA y SCL.	45
Figura 35. Señal Data Clock y señal digital de video de salida.	46
Figura 36. Diagrama a bloques, almacenamiento en memoria SRAM.	46
Figura 37. Señal de salida digital y salida digital con una resolución cinco veces menor.	47



Figura 38. Programador ATAVRISP MK II.	48
Figura 39. Conector ISP programador y adecuación PDI.	49
Figura 40. Microcontrolador ATXMEGA32A4.	49
Figura 41. Adaptador TQFP44.	50
Figura 42. Memoria SRAM UPD431000.	50
Figura 43. Diagrama lámpara F54T5/H.	51
Figura 44. Diagrama de conexión Balasto electrónico dimerizado REZ-2S54 para bombillas fluorescentes.	52
Figura 45. Etapa de aislamiento con el MOC3011.	53

## GLOSARIO

**ATXMEGA:** una familia de microcontroladores XMEGA de baja potencia, alto rendimiento y periféricos CMOS de 8 a 16-bits basada en la arquitectura RISC AVR mejorada.

**BALASTO:** dispositivo que permite el arranque y correcta operación de una lámpara de descarga (Fluorescente o HID). Proporciona el pico de voltaje necesario para iniciar la descarga, es decir para encender la bombilla y provee las condiciones apropiadas para mantener la bombilla encendida, lo cual se logra limitando y estabilizando el flujo de corriente a través de la misma.

**CVBS:** señal estándar de televisión o señal de video compuesta de banda base que une en una misma señal, la información de luminancia y crominancia, de las siglas en inglés Color Video Blanking (blanqueo) y Sync (sincronía).

**DOMÓTICA:** el término Domótica proviene de la unión de las palabras: domus que significa casa en latín y tica palabra en griego que quiere decir automática, 'que funciona por sí sola'. Se entiende por domótica al conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, y que pueden estar integrados por medio de redes interiores y exteriores de comunicación, cableadas o inalámbricas y cuyo control goza de cierta ubicuidad, desde dentro y fuera del hogar. Se podría definir como la integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto cerrado.

**DSP:** Procesamiento Digital de Señales, de las siglas en inglés Digital Signal Processor. Sistema basado en un procesador o microprocesador que posee un juego de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad.

**IN SYSTEM:** es la habilidad que poseen algunos dispositivos de ser programados mientras están instalados en un sistema completo, en lugar de ser programados antes de ser instalados en un sistema.

**ITU:** sigla que se refiere a la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**ITU-R BT.601-5:** norma ITU para el estudio de parámetros en la codificación de televisión digital estándar de 4:3.

**NTSC:** sistema de codificación y transmisión de Televisión en color analógico desarrollado en Estados Unidos, de las siglas en inglés National Television System Committee, en español Comisión Nacional de sistema de Televisión.

RCA: de las siglas en inglés Radio Corporation of America, la empresa creó el llamado conector RCA, muy popular en los sistemas de audio y vídeo domésticos de la actualidad.

RISC: arquitectura computacional, filosofía de diseño de CPU para computadora que está a favor de conjuntos de instrucciones pequeñas y simples que toman menor tiempo para ejecutarse, RISC del inglés Reduced Instruction Set Computer.

SISTEMA EMBEBIDO: un sistema embebido o empotrado es un sistema electrónico diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real. Los sistemas embebidos se usan para propósitos muy diferentes a los usos generales que suelen ser sometidas las computadoras personales.

SMPTE: organización norteamericana encargada de crear los estándares de la industria audiovisual, de las siglas en inglés Society of Motion Picture and Television Engineers, en español Sociedad de ingeniería de cine y televisión.

## **RESUMEN**

La iluminación es un recurso importante para realizar varias tareas y evitar fatiga en los seres humanos, sin embargo es necesario incluir el concepto de ahorro de energía, por eso este proyecto es un valioso aporte a la ingeniería no solamente por considerar los aspectos mencionados, sino también por ser pionero en desarrollar un sistema de iluminación inteligente embebido basado en procesamiento de imágenes usando un microcontrolador de la familia ATMEL, lo que permite un uso efectivo y ahorro de energía.

Para la captura del video, el diseño presentado usa una cámara de video analógica similar a las cámaras de seguridad con formato de video NTSC y salida RCA. Usando el dispositivo decodificador de video TVP5146M2 y el microcontrolador ATXMEGA32A4, se digitaliza la señal de video analógica y se procesa para obtener campos de imagen y almacenarlos en una memoria SRAM externa. Luego se realiza un procesamiento de imágenes para la detección de movimiento basados en un algoritmo que compara los campos de imagen almacenados en la memoria SRAM. Finalmente se usa el microcontrolador para controlar un balasto electrónico que permitirá que la iluminación sea del 50% cuando no sea detectado movimiento en la escena y la iluminación será del 100% cuando sea detectado movimiento en la escena.

## **ABSTRACT**

Lighting is an important resource to perform various tasks and prevent human beings fatigue, however it is necessary to include energy saving concept, therefore this project is a great contribution to the engineering, not only for considering the mentioned aspects, but also for being pioneer to develop a totally electronic intelligent lighting system based on image processing using a DSP microcontroller, allowing an effective use and saving energy.

In order to capture the video, the presented design uses an analogic video camera similar to the security video camera with NTSC video format and RCA output. Using the TVP5146M2 video decoder and ATXMEGA32A4 microcontroller, the analogic video signal is digitalized and processed in order to obtain image fields and store them in a SRAM external memory. Then, it is executed an images processing in order to detects motion based in one algorithm to compare image fields stored them in a SRAM memory. Finally, it is used the microcontroller in order to control an electronic ballast which permits 50% of illumination when motion is not detected on the scene and 100% when motion is detected on the scene.

## **INTRODUCCIÓN**

### **MOTIVACIÓN**

En busca del bienestar social y la estabilidad ambiental del planeta, para la ingeniería y el mundo moderno es de vital importancia la optimización de los recursos y el aprovechamiento eficiente de la energía, surgiendo la necesidad de sistemas que controlen los procesos de manera óptima, usando recursos tecnológicos y haciendo posible un consumo racional e inteligente de energía.

En este orden de ideas, la ingeniería le ha apostado a crear sistemas de iluminación inteligente, siendo éste un recurso muy común e indispensable en diversas empresas, industrias y sectores, obteniendo ahorros significativos de energía, disminución de contaminación ambiental e incremento de las utilidades en las empresas.

### **CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO**

Los sistemas inteligentes de iluminación actuales usan fotoceldas y sensores de proximidad para realizar el control de la iluminación, por eso es un gran aporte para la comunidad científica controlar la iluminación usando procesamiento de imágenes, permitiendo a una investigación futura no solamente detectar movimiento en la escena sino también la cantidad de personas en la misma.

Las investigaciones actuales que usan procesamiento de imágenes son asistidas por computador, aplicando diseños de algoritmos generalizados que hacen del proceso una tarea tediosa computacionalmente, por eso es de vital importancia la contribución de este proyecto al ser pionero en usar procesamiento de imágenes embebido, realizando un control de iluminación embebido eficiente computacionalmente.

Otro aporte importante es el uso de microcontroladores ATMEL serie XMEGA A4, siendo una herramienta valiosa para futuras generaciones de estudiantes que deseen realizar investigaciones con microcontroladores ATMEL, ya que no hay precedentes hasta el momento de su uso en investigaciones de la Universidad Surcolombiana.

Otra contribución importante es el uso de cámaras analógicas de seguridad como sensor de movimiento que aunque hace un poco más difícil el proceso en comparación al uso de cámaras IP, se convierte en una oportunidad para aprovechar un recurso más comúnmente encontrado en edificios y empresas como lo son las cámaras de seguridad analógicas.

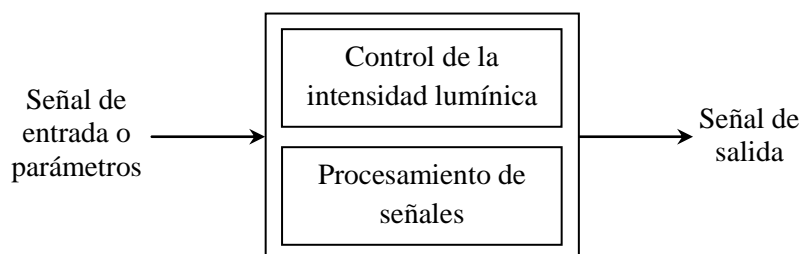
## 1. CONCEPTOS Y GENERALIDADES

### 1. MARCO TEÓRICO

La iluminación es parte fundamental de la vida de los seres humanos y va desde la industria, pasando por empresas, oficinas y espectáculos, hasta usos sencillos y comunes en el hogar y usos de propósito educativo.

Hoy en día se ha buscado asegurar tanto una buena iluminación como un uso racional de la energía, por eso grandes empresas invierten en la adecuación de sus instalaciones y sistemas inteligentes de iluminación<sup>1</sup>.

Figura 1. Diagrama general de un sistema inteligente de iluminación.



Básicamente un sistema de iluminación inteligente analiza una señal de entrada o parámetros que pueden ser establecidos por el diseñador, o en algunos casos por el usuario, con el objeto de procesar la información y adecuar los requerimientos para emitir una señal de salida que permita obtener el objetivo deseado, como se puede observar en el diagrama a bloques de la Figura 1.

Entre algunas de estas configuraciones, se encuentran aquellas donde usan un dimmer para regular la intensidad y algunos fabricantes denominan esta configuración el modo “dimerizado”<sup>2</sup> o también cuando el usuario define la intensidad lumínica a través de pantallas táctiles o interfaces controladas por computador, aplicadas en gran medida a los hogares inteligentes.

---

<sup>1</sup> Revista Electroindustria. “El Control en Sistemas de Iluminación”. [Publicación en línea]. Disponible en Internet <<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=608&edi=5>> [fecha de acceso: 3 de mayo de 2011].

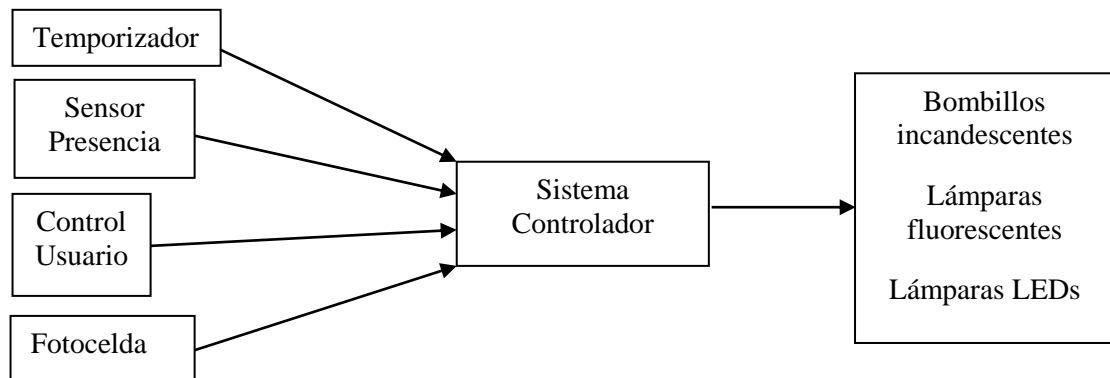
<sup>2</sup> El Colombiano. “Iluminación bajo control”. [elcolombiano.com](http://www.elcolombiano.com), 2/11/2010/. 3 de mayo de 2011. [www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/I/iluminacion\\_bajo\\_control/iluminacion\\_bajo\\_control.asp](http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/I/iluminacion_bajo_control/iluminacion_bajo_control.asp)

Es común encontrar el uso de sensores de presencia, que permiten iluminar las zonas donde se encuentran personas, y con esto crear un ambiente adecuado donde solamente se iluminen los lugares que estén en uso y de esta manera evitar el desperdicio de energía.

También se encuentran fotoceldas usadas para detectar la cantidad de luz que se encuentra presente en el recinto; este dato es usado como parámetro de entrada y luego a través de un computador se genera una señal de salida para iluminar de manera adecuada el recinto.

En la Figura 2 se muestra un diagrama a bloques que representa los sistemas actuales de iluminación inteligente anteriormente mencionados.

Figura 2. Diagrama de bloques de Sistemas inteligentes de iluminación usados en la actualidad.



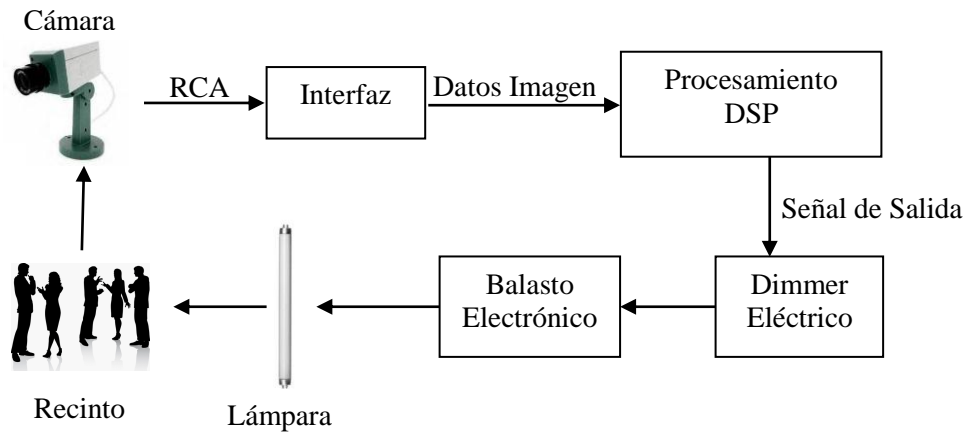
Un ejemplo de lo anteriormente mencionado es el nuevo edificio del New York Times, cuyo sistema de iluminación fue diseñado por la empresa “Lutron” y toma como parámetros de entrada la luz natural del medio o luz solar, los espacios ocupados y la hora. Se ha logrado un ahorro significativo del 70% de consumo energético. Un 30% del ahorro se logra apagando o manteniendo al mínimo las luces cuando hay luz natural, un 10% apagando las luces de los lugares vacíos, un 2% gracias a un sistema de horarios de encendido y apagado, y un 58% logrando la medida justa de intensidad para cada ambiente<sup>3</sup>. En el diagrama a bloques de la Figura 3 se representa el diagrama general del proyecto.

---

<sup>3</sup> Blog de energías Renovables. “Un sistema de luces inteligentes permitirán un ahorro del 70% de consumo para el New York Times” [Publicación en línea]. Disponible en Internet <<http://erenovable.com/2008/11/22/un-sistema-de-luces-inteligentes-permitirn-un-ahorro-del-70-de-consumo-para-el-new-york-times/>> [fecha de acceso: 4 de mayo de 2011].



Figura 3. Esquema general del sistema de iluminación.



## 1.1 CÁMARA

Se usan cámaras de seguridad con salida RCA como sensor de movimiento de personas en el recinto como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Cámara de seguridad analógica como sensor de movimiento de personas.



## 1.2 INTERFAZ

Este bloque se encarga de digitalizar la señal analógica que se obtiene de la cámara para posteriormente ser procesada por el microcontrolador DSP<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> ANGULO Usategui, José María, y otros. *DsPic Diseño Práctico y Aplicaciones*. España: Ed. Mc Graw Hill. 2006, p. 25.

Los requerimientos para esta etapa son los siguientes:

- Compatibilidad con formato de video analógico NTSC.
- Conversor analógico digital con mínimo 8 bits y 27 MSPS.
- Configuración programable por medio de interfaz I2C.
- Generación de señales de sincronismo vertical, sincronismo horizontal e indicador de campo par/impar.
- Separar la señal de crominancia y luminancia.

Para requerimientos se usa el dispositivo decodificador de video TVP5146M2 de la empresa Texas Instruments el cual cumple con las especificaciones requeridas. El dispositivo TVP5146M2 se programa por medio de la interfaz I2C, soporta formatos de video analógico como NTSC, PAL, SECAM, CVBS y S-Video, tiene una conversión analógica digital de hasta 30 millones de muestras por segundo y 10 bits de resolución, permite generar señales de sincronismos horizontal HS y sincronismo vertical VS, señal identificador de campo par/impar FID, y separa la señal de luminancia y crominancia, permitiendo hacer uso únicamente de la señal de luminancia Y.

### **1.3 PROCESAMIENTO DSP**

Este bloque se encarga de la detección de movimiento y determina los ajustes de la señal que controla el nivel de iluminación.

Los requerimientos para el microcontrolador que se encarga de estas funciones son:

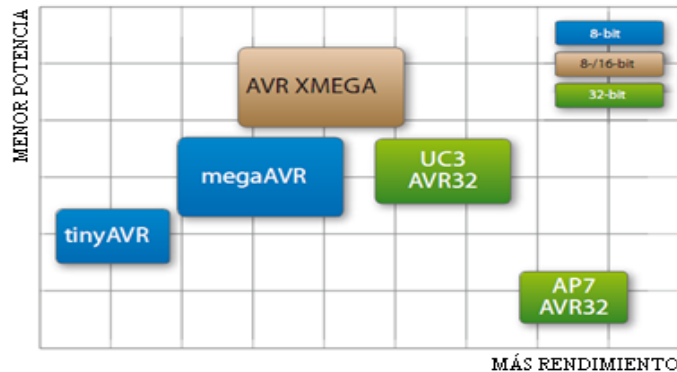
- Frecuencia de reloj mínima de 28 MHz.
- Interfaz de comunicación I2C.
- Controlador programable de interrupciones multinivel.
- Memoria flash programable “in system”.
- Memoria flash de mínimo 15 Kbytes.

El microcontrolador seleccionado es el ATXMEGA32A4 de la empresa ATMEL, porque cumple con los requerimientos del proyecto.

**1.3.1 Microcontrolador ATXMEGA32A4.** La compañía Atmel ha desarrollado una línea de microcontroladores llamada AVR® 8/16-Bit RISC formada por varias familias, dentro de las cuales se encuentra la familia XMEGA usada en este proyecto. La diferencia básica entre familias y microcontroladores dentro de estas familias radica en el número de periféricos, capacidad de memoria y datos, entre otros.

Las familias de 8/16 y 32 bits de Atmel son los microcontroladores AVR son tinyAVR, megaAVR, AVR UC3, ATAP7 y AVR XMEGA mostrados en la Figura 5.

Figura 5. Familias de microcontroladores AVR<sup>5</sup>.



Fuente: Atmel, Resources AVR.  
<http://www.atmel.com/avr>

La familia XMEGA A4 es de baja potencia, alto rendimiento, periféricos CMOS 8/16 bits, instrucciones de gran alcance en un solo ciclo de reloj, 32 registros de propósito general conectados directamente a la Unidad Aritmética lógica (ALU) permitiendo que dos registros independientes sean accedidos en un ciclo de reloj por una instrucción. Esta familia está basada en la arquitectura RISC mejorada logrando rendimientos mucho más rápidos que los convencionales de un solo acumulador o microcontrolador basados en CISC.

Las características más sobresalientes la familia XMEGA A4 son:

- Frecuencia de reloj de hasta 32 MHz y PLL con un factor de multiplicación de 14.
- Memoria flash programable “in system”.
- Memoria Flash de 32 Kbytes.
- EEPROM y SRAM internas.
- Cuatro canales de controladores DMA.
- Ocho canales de eventos de sistema.
- Controlador programable de interrupciones multinivel.
- Contadores en tiempo real (RTC) de 16 bits con comparación de modos y PWM.

---

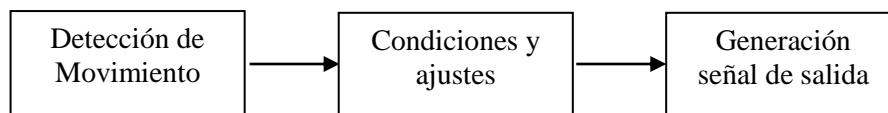
<sup>5</sup> Compañía Atmel. “Manual Xmega Microcontroller” [Publicación en línea]. Disponible en Internet <[http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_docs.asp?category\\_id=163&family\\_id=607&subfamily\\_id=1965&part\\_id=4308](http://www.atmel.com/dyn/products/product_docs.asp?category_id=163&family_id=607&subfamily_id=1965&part_id=4308)> [fecha de acceso: 6 de abril de 2011].

- Cinco USARTs.
- Dos buses de comunicaciones serie I2C, en este caso conocidos como TWI.
- Dos interfaces de periféricos seriales (SPI).
- ADC de 12 bits con entradas diferenciales y ganancia programable.
- Dos comparadores analógicos con modo de ventana.
- Temporizador de perro guardián programable con oscilador interno independiente.
- Osciladores internos con precisión y con PLL preescalable.

Los dispositivos XMEGA A4 están soportados con un conjunto completo de programas y herramientas de desarrollo, entre ellas compiladores de C, macro ensambladores, programas de depuración/simulación, programadores y kits de evaluación.

En este trabajo se usará el microcontrolador AVR ATXMEGA32A4 para el procesamiento de señales, el cual realiza los procesos mostrados en el diagrama a bloques de la Figura 6.

Figura 6. Procesos realizados por el microcontrolador DSP.



**1.3.2 Detección de movimiento.** Se usa un algoritmo de detección de movimiento para analizar de manera periódica las imágenes adquiridas por la cámara para determinar movimiento en las mismas.

**1.3.3 Condiciones y ajustes.** Mediante una serie de ajustes se analiza el resultado del algoritmo de detección de movimiento para detectar el umbral de movimiento, y de esta forma asignar el 50% de iluminación.

**1.3.4 Generación de la señal de salida.** Este bloque se encarga de generar una señal que controle el balasto electrónico.

## 1.4 DIMMER ELECTRÓNICO

Regula la intensidad de la luminosidad usando los siguientes componentes.

**1.4.1 Potenciómetro Automático.** La señal de salida controla de manera automática el potenciómetro del dimmer.

**1.4.2 Dimmer.** Es un dimmer de uso común en bombillos incandescentes. Se usa el dimmer de la empresa

## **1.5 LÁMPARA**

Se usa una lámpara de gas que es más eficiente a nivel lumínico comparada con una bombilla de filamento.

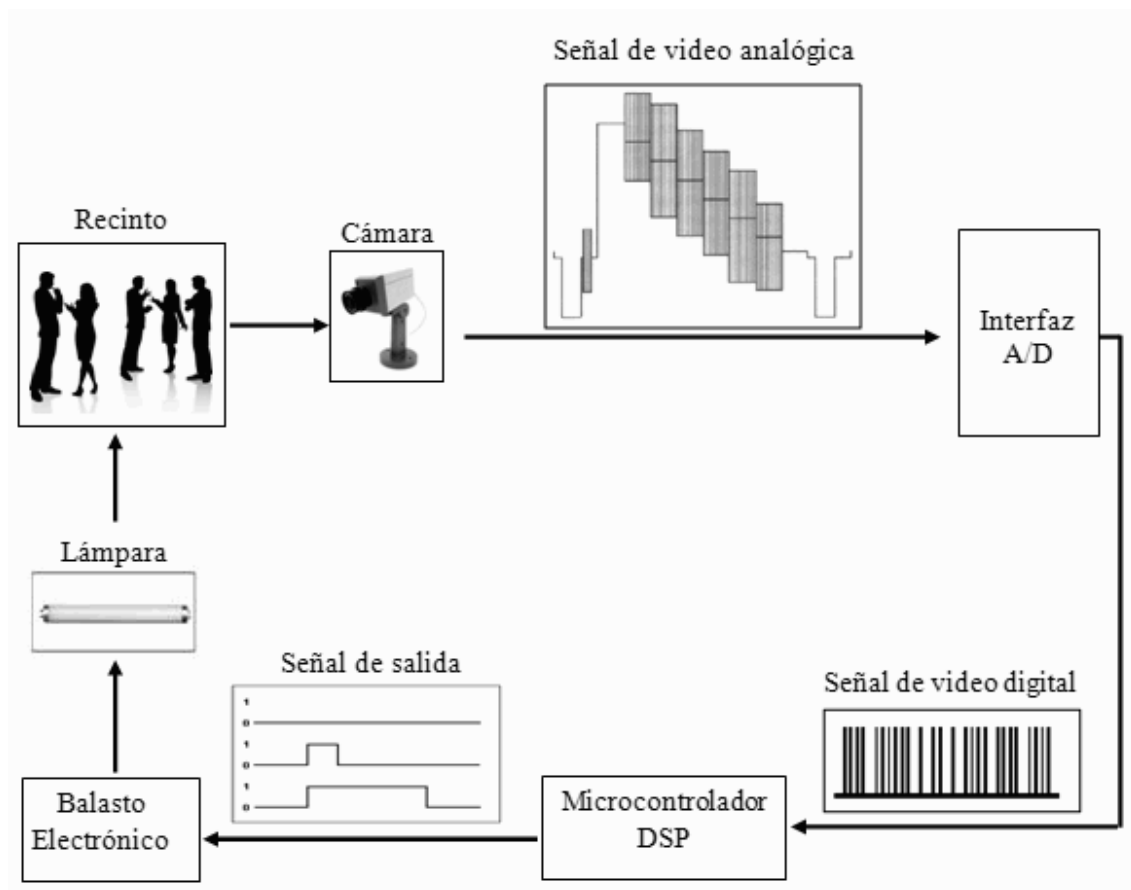
## **1.6 RECINTO**

Salón donde se controla la iluminación.

## 2. DISEÑO DEL HARDWARE DEL PROTOTIPO

La Figura 7 muestra el recorrido que realiza la señal dentro del sistema de iluminación, empezando por la captación de imágenes a través de la cámara de seguridad hasta la generación de la señal que controla la iluminación de la lámpara.

Figura 7. Diagrama a bloques del sistema de iluminación con el recorrido de las señales en el sistema.



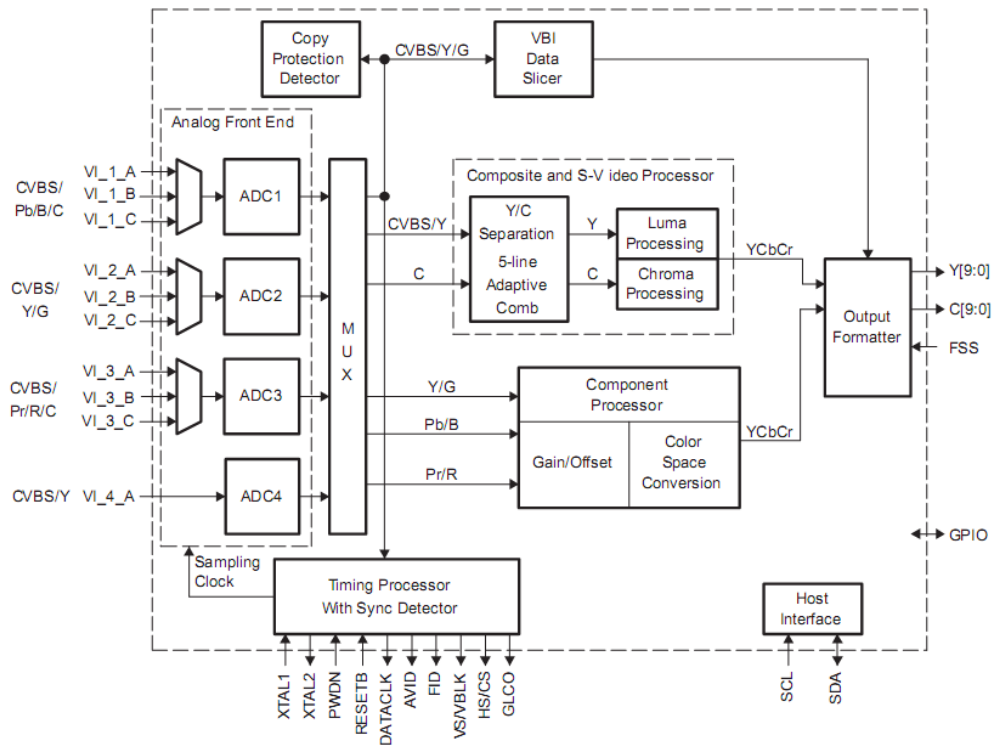
### 2.1 CÁMARA DE SEGURIDAD

La cámara permite obtener la imagen del recinto que se va a iluminar, para detectar el movimiento. Se usa una cámara de video CMOS/CCD CL-652 con salida RCA y formato NTSC. En la Figura 7 se muestra la forma de onda de la señal de video analógico cuyos niveles de voltaje están en el orden de 0 a 0.7 Voltios.

## 2.2 INTERFAZ A/D

Al dispositivo TVP5146M2 entra la señal proveniente de la cámara en formato NTSC a color, y a través de este se filtra y digitaliza la señal para obtener solamente la señal de luminancia discreta. En la Figura 8 se observa el diagrama simplificado del dispositivo TVP5146M2.

Figura 8. Esquema Simplificado del decodificador de video TI TVP5146M2.

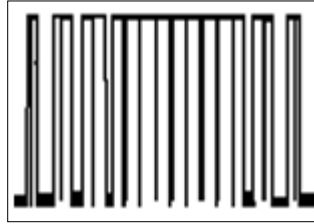


Fuente: Texas Instruments Digital Video, Analog Products, Video Decoders, Datasheet: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tvp5146m2.pdf>

El dispositivo TVP5146M2 tiene cuatro canales de entrada de señal de video analógicas a color, y después de un procesamiento de señales específico se obtiene una señal de salida digital donde están separadas la señal de Luminancia Y y la señal de Crominancia C por diferentes puertos, siendo el objetivo de este bloque obtener la señal de luminancia discreta para efectos de uso efectivo de la memoria del sistema en el posterior bloque del proyecto.

En la Figura 9 se observa una aproximación a la señal de salida del decodificador de video, en la que se obtiene la señal de luminancia digitalizada.

Figura 9. Señal de salida del decodificador de video.



El dispositivo permite obtener algunas señales características de video de gran utilidad para realizar el posterior almacenamiento de las imágenes, para ellos se usa la señal de sincronismo vertical VS y la señal indicador de campo par/impar FID.

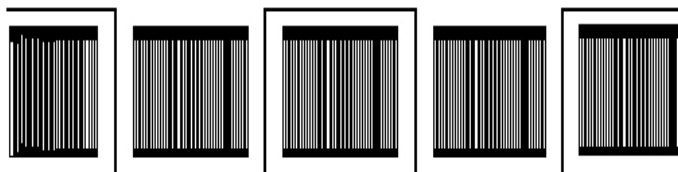
En la Figura 10 se puede observar una aproximación de la señal de sincronismo vertical VS la cual se hace presente cada vez que finaliza un campo de imagen.

Figura 10. Aproximación de la señal de sincronismo vertical VS.



En la Figura 11 se observa una aproximación de la señal indicador de campo par/impar, la señal se ha configurado para que sea un alto cuando el campo sea impar, y un bajo cuando el campo sea par.

Figura 11. Aproximación de la señal indicador de campo par/impar.

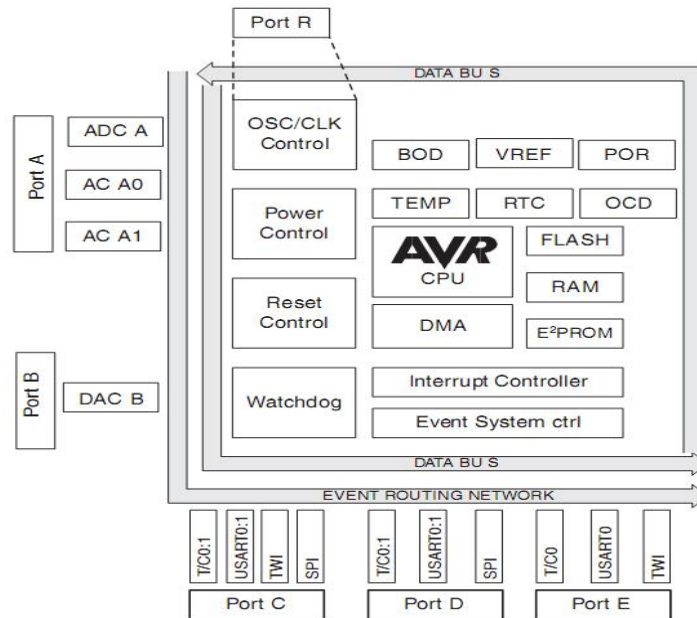




### 2.3 MICROCONTROLADOR DSP

Para esta fase se usa un microcontrolador ATMEL, ATXMEGA32A4 debido a su capacidad, procesamiento de palabras y velocidad. En la Figura 12 se muestra el diagrama básico de funcionamiento del microcontrolador.

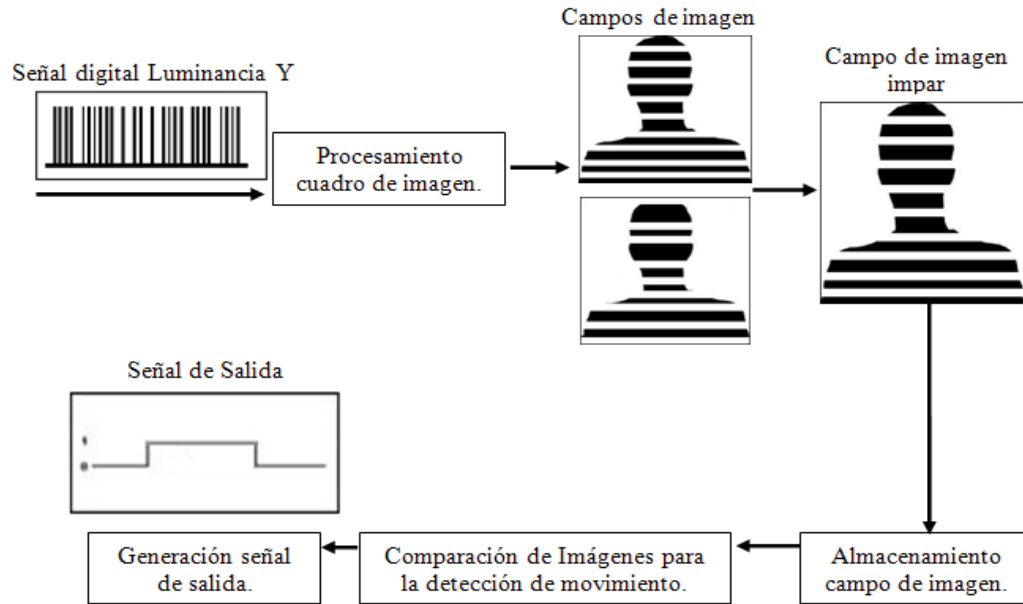
Figura 12. Diagrama a bloques básico del microcontrolador DSP.



Fuente: Atmel, Resources, ATXMEGA32A4, documento en pdf:[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8069.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8069.pdf)

En la Figura 13 se ilustra el procesamiento de la señal de luminancia Y que se ha digitalizado previamente en el bloque Interfaz A/D.

Figura 13. Diagrama a bloques del procesamiento de la señal de Luminancia Y de la imagen.



## 2.4 PROCESAMIENTO CUADRO DE IMAGEN

En este bloque se selecciona el campo de imagen impar usando la señal detector de campo par/impar FID, para efectos de evitar carga computacional ya que en la detección de movimiento no se necesita calidad óptima en la imagen.

## 2.5 ALMACENAMIENTO CAMPO DE IMAGEN

Después de seleccionar el campo impar de la imagen se almacena en una memoria SRAM.

Se seleccionó la memoria SRAM paralela UPD431000A de 128 Kbytes principalmente porque se encontró fácilmente en el mercado local, aunque la idea inicial era una memoria de mayor capacidad, sin embargo su velocidad de almacenamiento en el orden de los 70 nanosegundos se ajusta a los requerimientos del proyecto.

Se detectan los campos impares con ayuda de la señal de sincronismo vertical VS y la señal detector de campo par/impar, y son almacenados dos campos para posteriormente ser comparados.

A pesar de almacenar solamente campos de imagen, el tamaño de dos campos de imagen sigue siendo mayor a la capacidad de la memoria y el muestreo de los mismos una carga

computacional muy grande para el microcontrolador, haciendo lentas las posteriores operaciones.

En el Cuadro 1 se aprecian los parámetros definidos por ITU-R BT.601.5 con los que se realiza el cálculo previo del tamaño de las imágenes.

Cuadro 1. Parámetros de la señal de televisión estándar SDTV<sup>6</sup>.

<b>Parámetros de la señal digital definidos por ITU-R BT.601-5</b>		
	<b>NTSC</b>	<b>PAL</b>
Campos/Segundo	60	50
Cuadros/Segundo	30	25
Líneas/Cuadro	525	625
Muestras/Líneas(Y)	858	864
Muestras/Líneas(Cr,Cb)	429	432
Bits/Muestra	8	8
Tasa binaria	216 Mb/s	216 Mb/s
Líneas activas/cuadro	480	576
Muestras activas/Línea(Y)	720	720
Muestras activas/Línea(Cr,Cb)	360	360

Muestras/Líneas(Y) en NTSC = 858

Líneas/cuadro(Y) en NTSC = 526

Bit/Muestra en NTSC = 8

Muestras/Cuadro = (Muestras/Línea)x(Líneas/Cuadro)

Muestras/Cuadro = 858x526 = 431308

Cada muestra tiene 8 bits, por tanto cada muestra equivale a 1Byte.

Bytes/Cuadro = 421,2 Kbytes

Al almacenar dos cuadros de imagen se obtiene un tamaño de 842,4 Kbytes.

Realizando los cálculos para dos campos de imagen se tiene un nuevo parámetro.

---

<sup>6</sup> Norma de la ITU. Estudio parámetros de codificación de televisión digital estándar. [Publicación en línea]. Disponible en Internet <<http://read.pudn.com/downloads105/ebook/433118/ITU-R%20BT.601-5.pdf>> [fecha de acceso: 6 de abril de 2011].

$$\text{Líneas/Campo} = \frac{\text{Líneas/Cuadro}}{2} = 263$$

Ahora usando este parámetro se tiene

$$\text{Bytes/Campo} = (\text{Bytes/Línea}) \times (\text{Bytes/Campo})$$

$$\text{Bytes/Campo} = 858 \times 263 = 220,36 \text{ Kbytes}$$

$$\text{Bytes/Campo para dos campos de imagen} = 220,36 \times 2 = 440,7 \text{ Kbytes}$$

al almacenar dos campos de imagen se obtiene un tamaño de 440,7 Kbytes.

Este último valor sigue siendo superior a la capacidad de la memoria SRAM de 128 Kbytes, por eso se reduce la frecuencia de muestreo en un factor de 5 y con esto el número de muestras por línea.

$$\text{Bytes/Línea reducida} = \frac{\text{Bytes/Línea}}{5} = \frac{858}{5} = 171,6$$

$$\text{Bytes/Campo} = (\text{Bytes/Línea reducida}) \times (\text{Líneas/Campo})$$

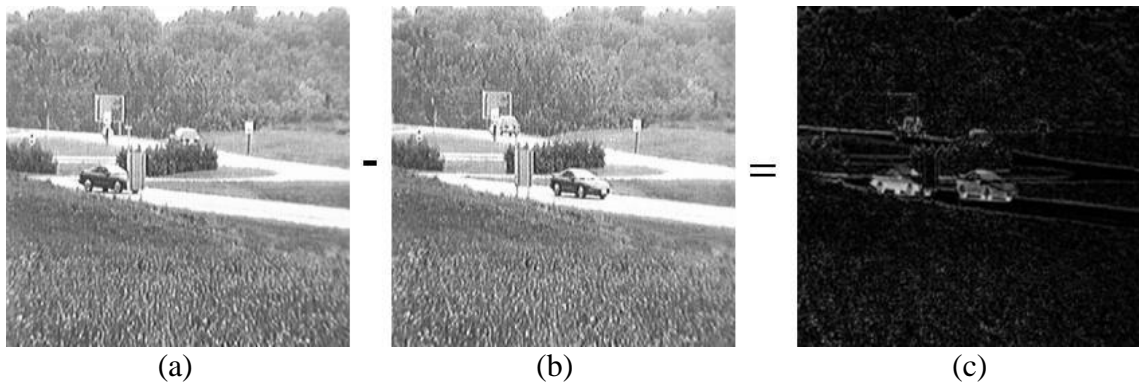
$$\text{Bytes/Campo} = 171,6 \times 263 = 44,07 \text{ Kbytes}$$

Al almacenar dos campos de imagen se obtiene un tamaño de 88,14 Kbytes, el cual es el indicado para la capacidad de la memoria

## **2.6 COMPARACIÓN DE IMÁGENES PARA LA DETECCIÓN DE MOVIMIENTO**

El método más eficiente para comparar dos imágenes es la resta entre ellas. En la Figura 14 (a) se observa una imagen que se compara con la imagen de la Figura 14 (b); el resultado de la resta es la imagen de la Figura 14 (c), donde se aprecia que el color blanco corresponde a la cantidad de píxeles diferentes entre las dos imágenes a comparar.

Figura 14. Resta de imágenes para la detección de movimiento.



Fuente: Applet operaciones puntuales.

[http://www.tsc.uc3m.es/imagen/Curso\\_ProcesadoBasico/Contenido/OperacionesPuntuales/OperacionesPuntuales.html](http://www.tsc.uc3m.es/imagen/Curso_ProcesadoBasico/Contenido/OperacionesPuntuales/OperacionesPuntuales.html)

## 2.7 GENERACIÓN DE LA SEÑAL DE SALIDA

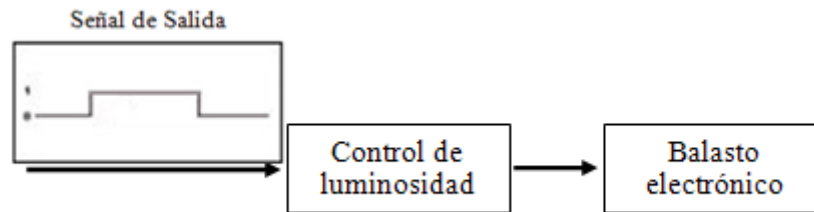
Se establece un umbral de movimiento para ignorar ruidos en la señal y determinar que realmente hay movimiento en la escena.

Si hay movimiento en la escena se genera una señal que le indicará al balasto electrónico que la iluminación debe ser del 100%, cuando no se detecta movimiento la señal le indicará al balasto electrónico que la iluminación debe ser del 50%.

## 2.8 BALASTO ELECTRÓNICO

El requerimiento principal de esta etapa es un balasto que permita la variación de la tensión entre los terminales de la lámpara sin que la lámpara se apague. El balasto usado en este proyecto es el REZ-2S54 cuyas características se ajustan a los requerimientos del proyecto. En la Figura 15 se observa el diagrama a bloques del procesamiento de la señal del balasto electrónico.

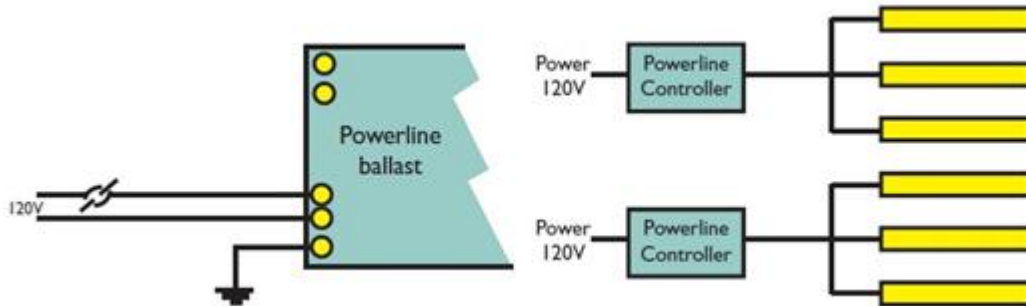
Figura 15. Diagrama a bloques del procesamiento de la señal del balasto electrónico.



El microcontrolador genera una señal de control que se adecua para que el balasto electrónico regule la cantidad de iluminación de acuerdo a los requerimientos concluidos a partir del procesamiento de video. El balasto es un dispositivo usado para mantener un flujo de corriente estable en lámparas, ya sea un tubo fluorescente. Los balastos electrónicos producen un elevado voltaje alterno de alta frecuencia adecuado para el funcionamiento de lámparas fluorescentes, usando como alimentación un voltaje directo. Las lámparas fluorescentes con balasto electromagnético no pueden conectarse a un atenuador normal o dimmer (un regulador para controlar el brillo). Hay lámparas especiales (de 4 contactos) y controladores especiales que permiten usar un interruptor con regulador de intensidad.

El balastro electrónico hace funcionar al tubo de la misma manera que en la forma tradicional pero esta vez en una frecuencia de más de 42kHz con lo que se evita completamente el efecto estroboscópico, logra que el parpadeo sea invisible para el ojo humano (y a su vez que las cámaras de vídeo difícilmente logren captarlo), y que desaparezcan ruidos por trabajar encima del espectro audible. Se obtiene una mejora del 10% en el rendimiento de la lámpara, un menor consumo, menor calor disipado, silencio absoluto de la reactancia y mayor vida útil a los tubos.

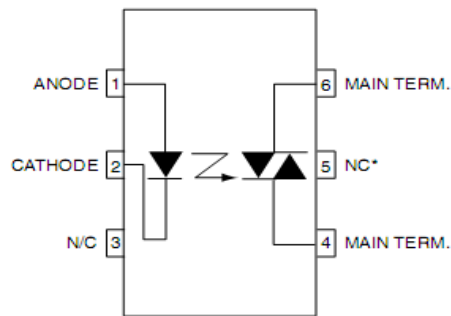
Figura 16. Diagrama general del balastro electrónico REZ-2S54<sup>7</sup>.



Fuente: PHILIPS-Advance, Catálogo de productos Colombia, Balastos Electrónicos y Controles 2011, documento en pdf  
[http://www.lighting.philips.com.co/pwc\\_li/co\\_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf](http://www.lighting.philips.com.co/pwc_li/co_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf)

**2.8.1 Etapa de Aislamiento.** Para aislar el control digital que realiza el Microcontrolador de la señal AC que alimenta el balastro electrónico, se usa el dispositivo MOC3011 mostrado en la Figura 17 que asegura la protección del microcontrolador.

Figura 17. MOC 3011.

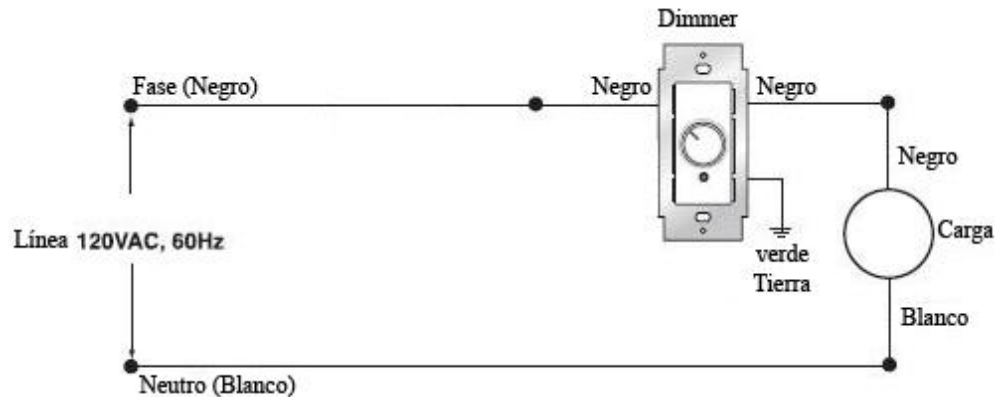


Fuente: Fairchild, datasheet MOC3011 Optoisolators Triac Driver Output.  
 Documento en pdf. <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/MOC3011-M.pdf>

<sup>7</sup> Philips. Catálogo de productos Colombia, “Balastos Electrónicos y Controles 2011”. [Publicación en línea]. Disponible en Internet  
 <[http://www.lighting.philips.com.co/pwc\\_li/co\\_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf](http://www.lighting.philips.com.co/pwc_li/co_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf)> [fecha de acceso: 8 de junio de 2011].

**2.8.2 Dimmer Eléctrico leviton 252 Kohms.** El dimmer eléctrico de la Figura 18 permite variar la tensión que llega al balasto para ajustar la luminosidad de la lámpara. Su funcionamiento se basa en ajustar el tiempo de disparo del elemento activo (TRIAC), lo que permite asimismo ajustar el voltaje efectivo aplicado a la carga.

Figura 18 Diagrama de cableado del dimmer eléctrico.



Fuente: Leviton Building a connected world, <http://www.levitonproducts.com>.

## 2.9 LÁMPARA

Cada balasto electrónico ha sido diseñado para funcionar con unos tipos y un número de lámparas determinado y se debe asegurar la completa compatibilidad entre el balasto y la lámpara.

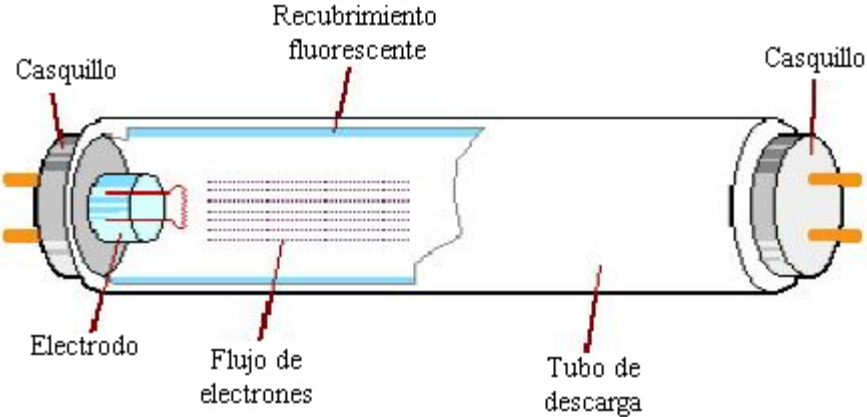
Lámpara fluorescente mostrada en la Figura 19 genera luz por medio de una descarga eléctrica entre dos electrodos en el interior de un tubo lleno de gas.

Las lámparas usadas en este proyecto como todas las lámparas de descarga, presentan impedancia al paso de la corriente que disminuye a medida que la impedancia aumenta, por tanto no se puede conectar directamente a la red de alimentación sin un dispositivo que controle la intensidad que circula por ellas. En este caso particular, el balasto electrónico realiza las siguientes funciones

- Limita y regula la corriente de la lámpara
- Suministra las corrientes o tensiones de precalentamiento de los cátodos
- No necesita sistema de cebador para proporcionar la tensión necesaria del encendido de la lámpara.



Figura 19. Diagrama Lámpara de gas.



Fuente: Lámpara fluorescente  
[http://www.endesaeduca.com/opencms/opencms/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/xxii.-sistemas-de-iluminacion](http://www.endesaeduca.com/opencms/opencms/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/xxii.-sistemas-de-iluminacion)

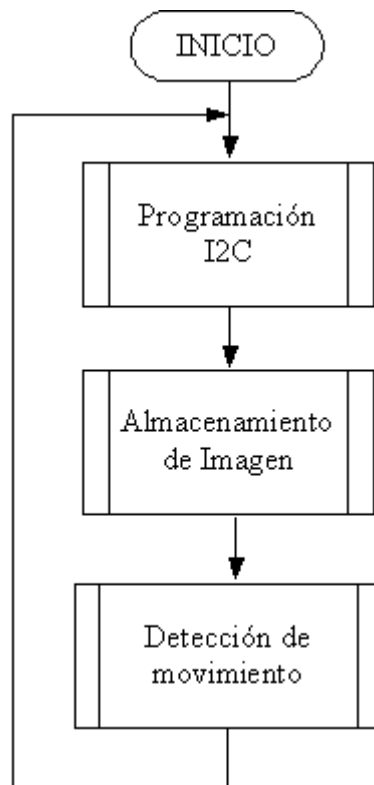
### 3. DISEÑO DEL SOFTWARE DEL PROTOTIPO

El diseño del software es el aspecto de mayor importancia debido a la eficiencia requerida y la aplicación del microcontrolador ATXMEGA32A4.

El compilador usado fue el AVRSTUDIO 5.0 suministrado por la página de ATMEL<sup>8</sup>.

En la Figura 20 se puede observar el diagrama de flujo general de todo el proyecto.

Figura 20. Diagrama de flujo general del proyecto.



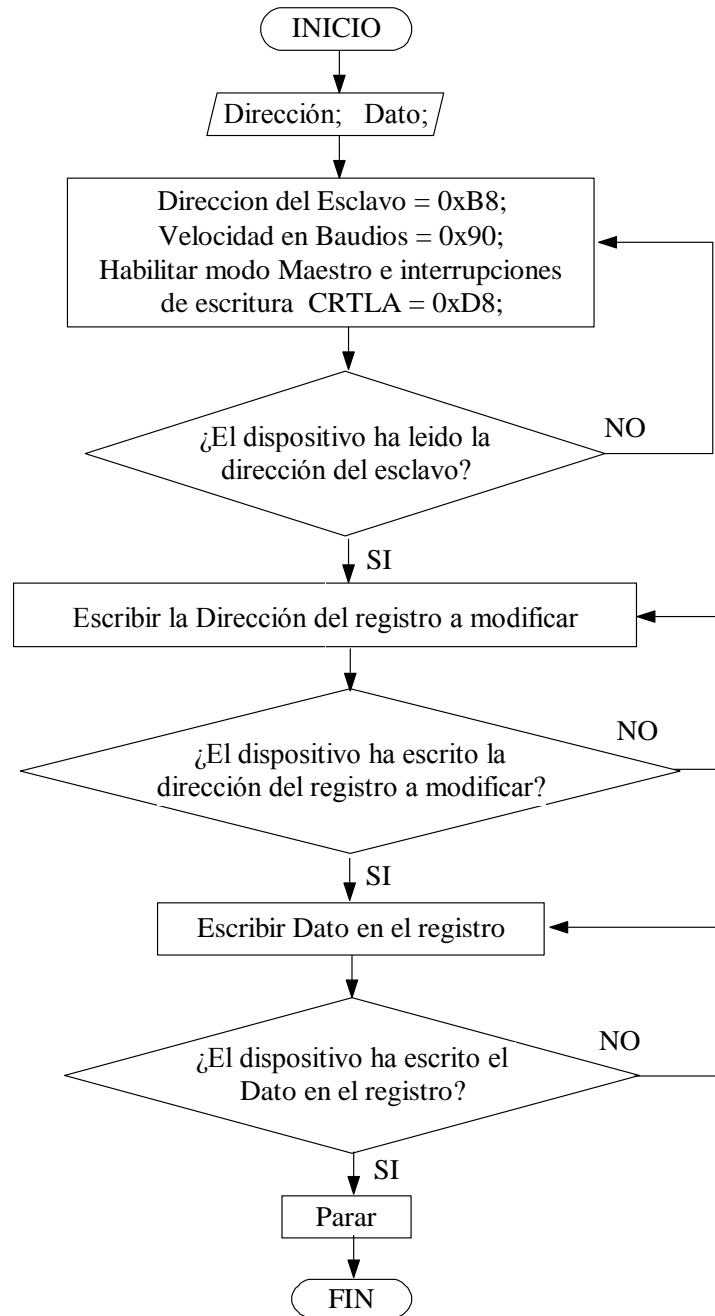
El primer proceso dentro del programa es la programación I2C para controlar el dispositivo TVP5146M2 desde el microcontrolador ATXMEGA32A4, el cual usa un equivalente a I2C conocido como TWI o Two Wire Interface para efectos de evitar el pago de regalías a

---

<sup>8</sup> Wikipedia. Definición SMPTE. [Publicación en línea]. Disponible en Internet <[http://es.wikipedia.org/wiki/Super-8\\_SMPTE](http://es.wikipedia.org/wiki/Super-8_SMPTE)> [fecha de acceso: 10 de junio de 2011].

PHILIPS por usar la sigla I2C. En la Figura 21 se observa el diagrama de flujo de la programación I2C realizada en el proyecto.

Figura 21. Diagrama de flujo de la programación I2C.



Los registros que se modifican son los siguientes:

Figura 22. Registros modificados en el decodificador de video TVP5146M2.

Subaddress	32h
Default	00h

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			Polarity FID	Polarity VS	Polarity HS	VS/VBLK	HS/CS

(a)

Subaddress	33h
Default	40h

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	YCbCr code range	CbCr code	Reserved		Output format [2:0]		

(b)

Subaddress	34h
Default	00h

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved			Y [9:0] enable	Reserved		CLK polarity	Clock enable

(c)

Subaddress	35h
Default	FFh

7	6	5	4	3	2	1	0
FSS [1:0]		AVID [1:0]		GLCO [1:0]		FID [1:0]	

(d)

Subaddress	36h
Default	FFh

7	6	5	4	3	2	1	0
VS/VBLK [1:0]		HS/CS [1:0]		C_1 [1:0]		C_0 [1:0]	

(e)

En el registro mostrado en la figura 22(a) se escribe el dato 0x0C lo que permite configurar la polaridad de las señales FID, VS y HS.

En el registro mostrado en la figura 22(b) se modifica únicamente el formato de salida Outputformat para separar la luminancia de la crominancia. Se escribe el dato 0x01.

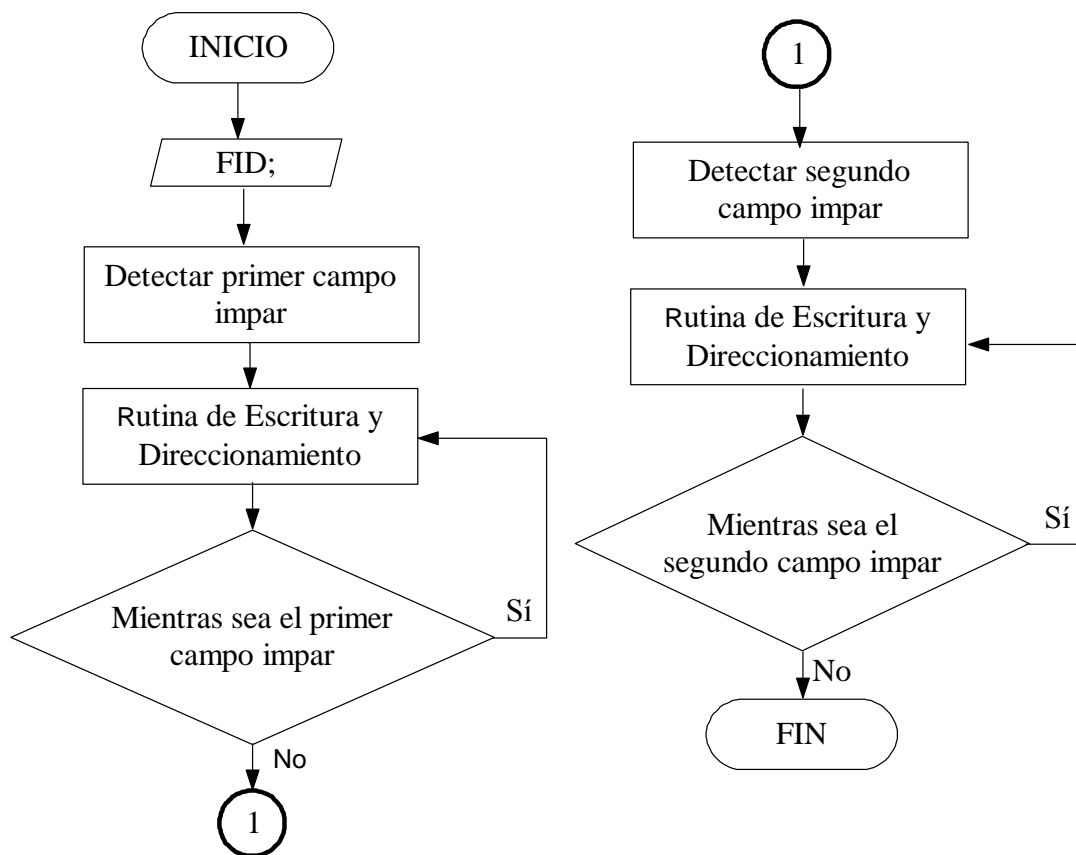
El registro mostrado en la figura 22(c) se modifica con el dato 0x11 habilitando el reloj de los datos, su polaridad y las salidas de luminancia y crominancia.

En el registro mostrado en la figura 22(d) se escribe el dato 0x6E con el cual se habilitan las señales AVID y FID y se configura GLCO como entrada para definir las direcciones de programación.

En el registro mostrado en la figura 22(e) se escribe el dato 0xAF habilitando las señales VS y HS, el resto se deja como viene por defecto.

A continuación se crea una rutina para almacenar los datos previamente digitalizados, en una memoria SRAM como se ilustra en la Figura 23.

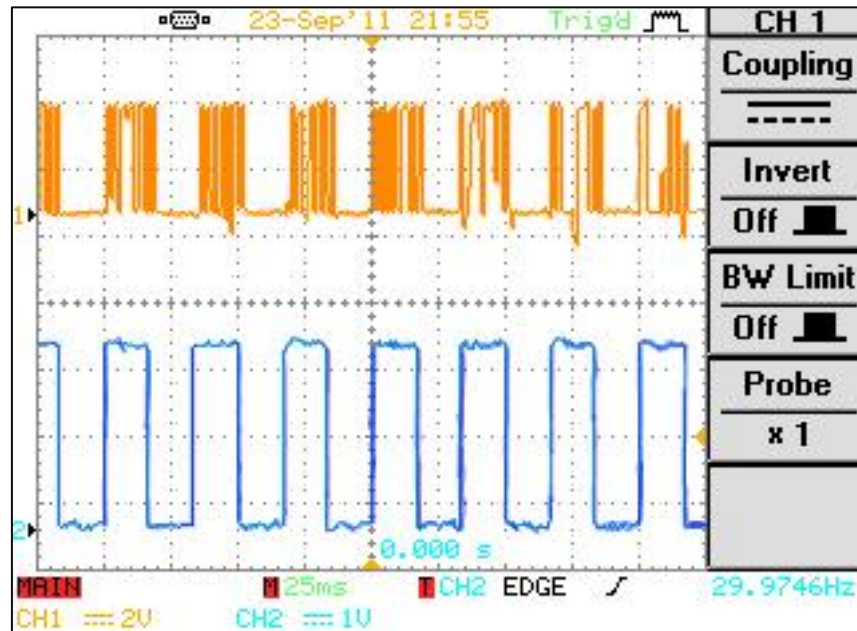
Figura 23. Diagrama de flujo del almacenamiento de imagen.



Para esta rutina se usa la señal FID indicador de campo par/impar para identificar los campos impares y almacenarlos en la memoria.

En la Figura 24 se observa una prueba realizada en la que se visualiza la señal FID en la parte inferior con color azul, y la señal de direccionamiento en la parte superior en color naranja. Las señales se sincronizan de tal forma que exista direccionamiento únicamente en los campos impares de la señal de video.

Figura 24. Gráfica del osciloscopio mostrando la rutina de direccionamiento.

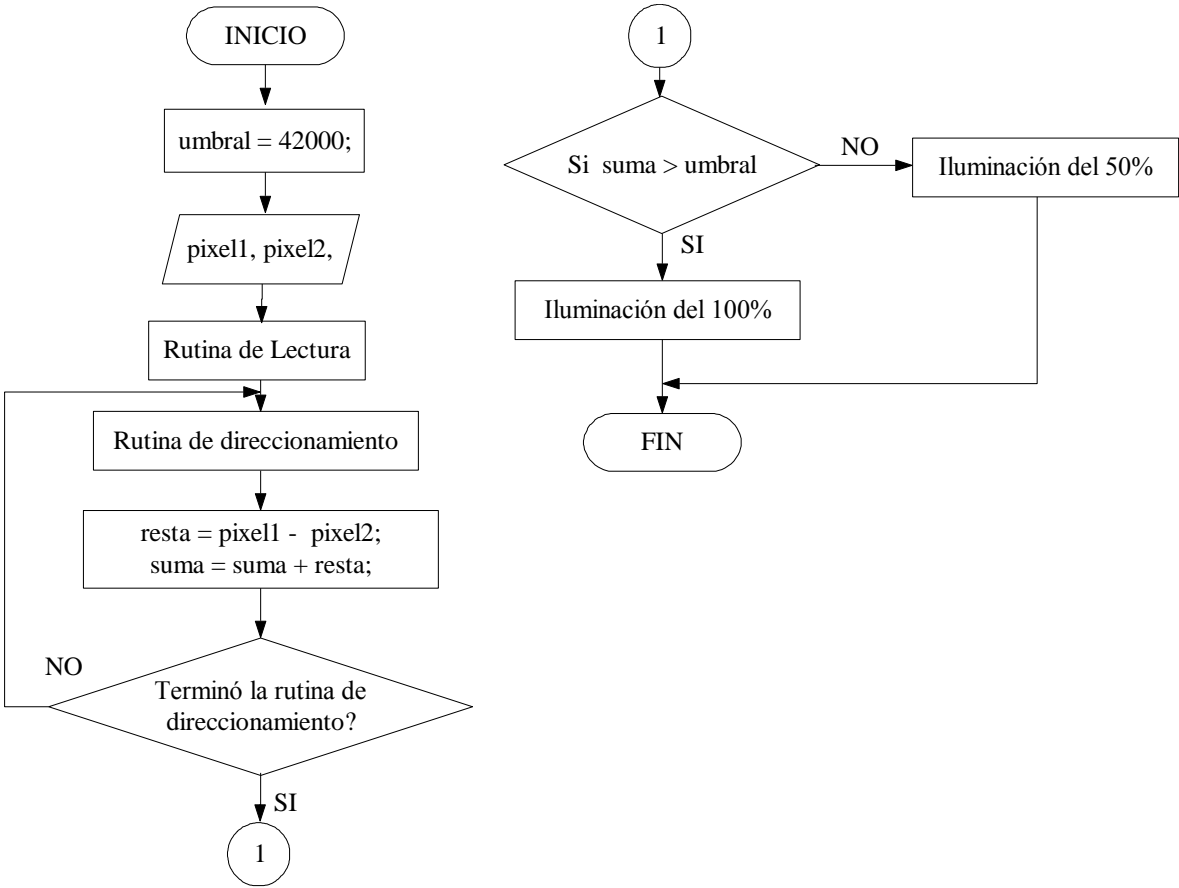


Después de tener las imágenes almacenadas en la memoria se realiza una rutina para compararlas y detectar la existencia o no de movimiento en la escena. Cada dirección de la memoria tiene almacenado un pixel de imagen de 8 bits los cuales son leídos por el microcontrolador y almacenados en registros internos para hacer una resta de imágenes pixel a pixel, la diferencia entre cada pixel se va sumando en un registro que servirá para determinar el movimiento en la escena.

Si el resultado final de la diferencia de las imágenes supera el umbral de movimiento, se genera una instrucción que indicará al balasto electrónico una iluminación del 100%, de lo contrario, se genera una instrucción que indicará una iluminación del 50%.

En la Figura 25 se muestra el diagrama de flujo de la rutina de detección de movimiento, esta rutina se realiza de manera periódica para dos campos de imagen impar separados por un retardo aproximado de 300 milisegundos y se repite aproximadamente cada 2 segundos para efectos de detección de movimientos reales y considerables.

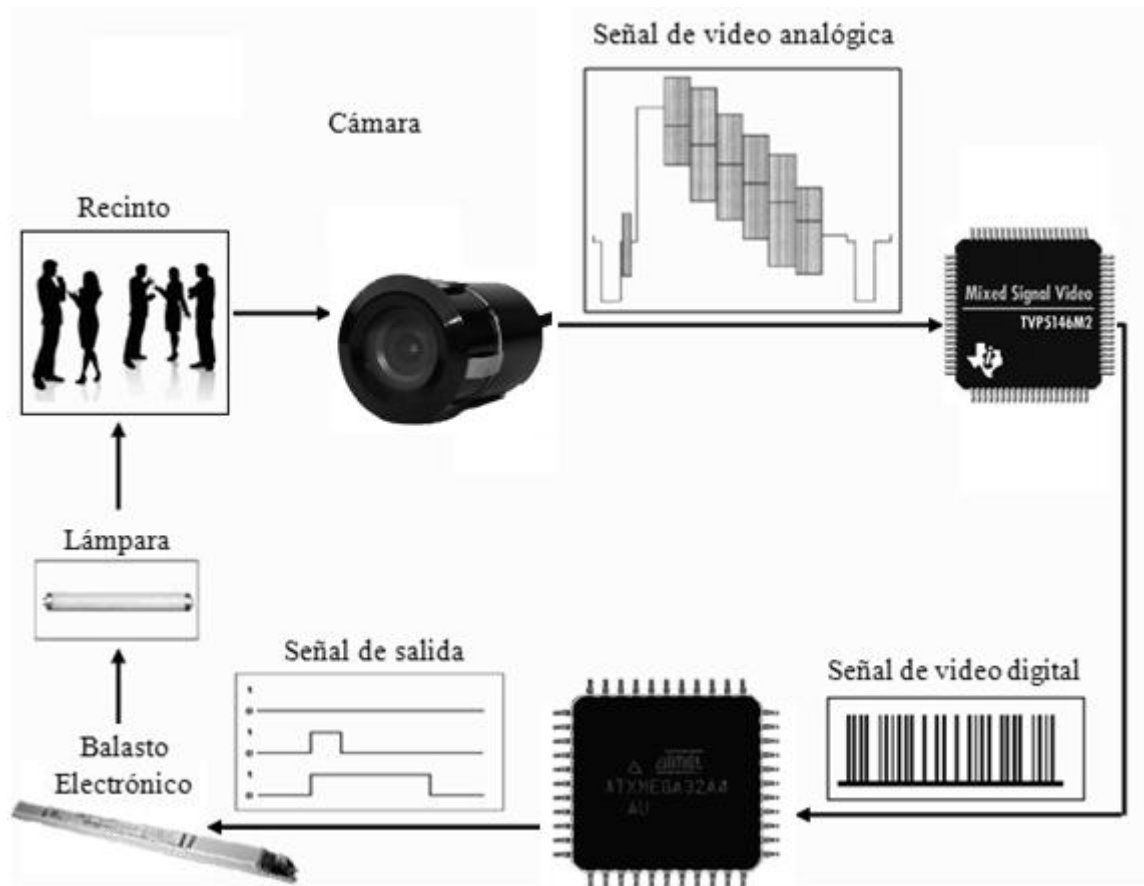
Figura 25. Diagrama de flujo de la rutina de detección de movimiento.



#### 4. IMPLEMENTACIÓN DEL HARWARE DEL PROTOTIPO

En la Figura 26 se muestra el diagrama a bloques general del hardware del sistema.

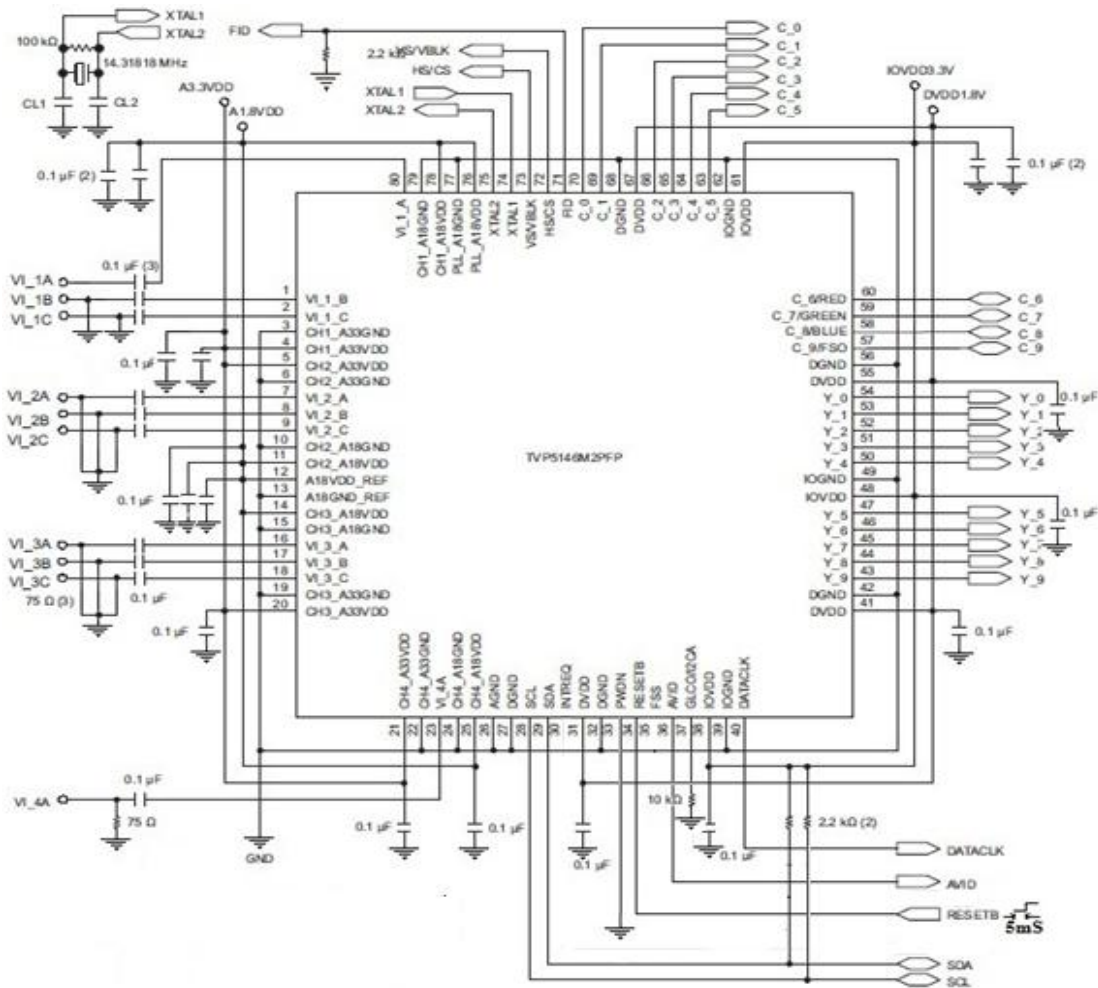
Figura 26. Diagrama a bloques general del hardware del sistema.



En la Figura 27 se ilustra el diagrama del circuito implementado para el decodificador de video TVP5146M2 suministrado por Texas Instruments.



Figura 27. Diagrama de conexión decodificador de video TVP5146M2.



Con el propósito de un buen funcionamiento de este dispositivo se deben considerar las siguientes recomendaciones:

- El pin 80, VI\_1A se usa como entrada del CVBS señal analógica de video compuesto, y las otras entradas que no están en uso con un condensador a tierra.
- El pin 34, RESETB se activa con un pulso en bajo por un tiempo de 4ms desde el microcontrolador ATXMEGA32A4 para garantizar que los datos de salida no estén en el intervalo de datos inválidos<sup>9</sup>.

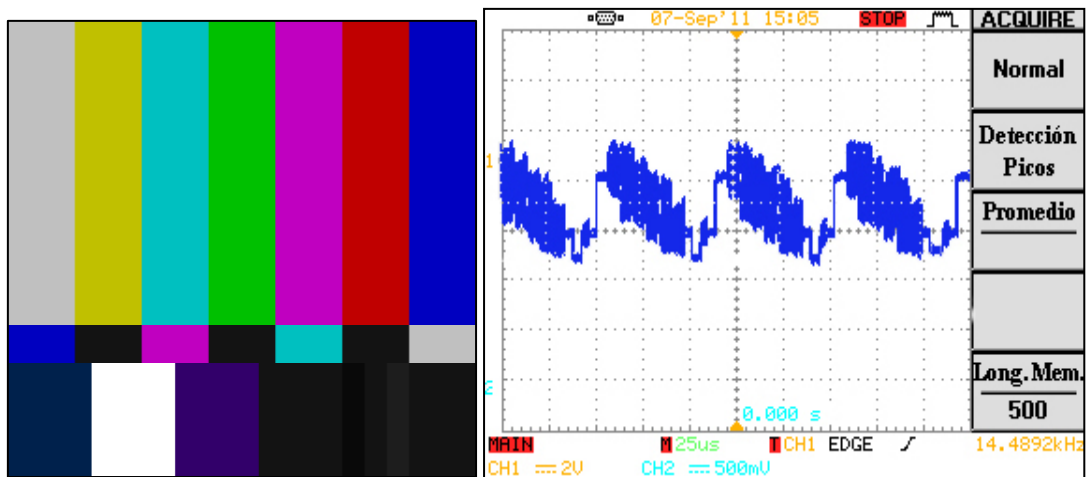
<sup>9</sup> Texas Instrument. Data Manual TVP5146M2 Digital Video Decoder. Figura 2-20, tiempos de reset. 2010, p.37.

- El pin 33, PWDN PowerDown se conecta tierra.

#### 4.1 RESULTADO OBTENIDO DE LA INTERFAZ ANALÓGICA DIGITAL

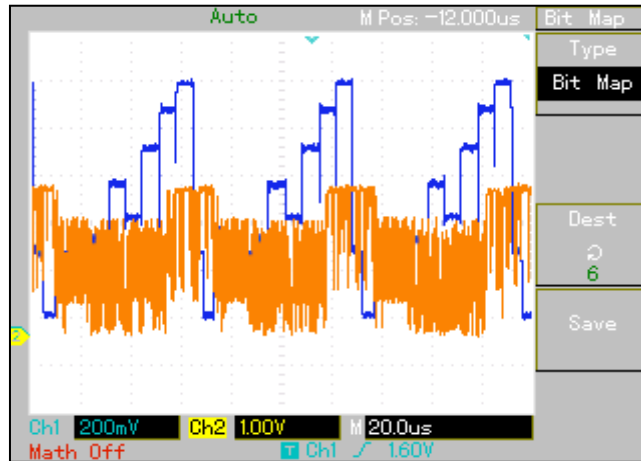
Para efectos de prueba y calibración se usa como señal de entrada la señal de test de televisión las barras de color SMPTE como se aprecia en la Figura 28.

Figura 28 Señal de test de televisión las barras de color SMPTE.



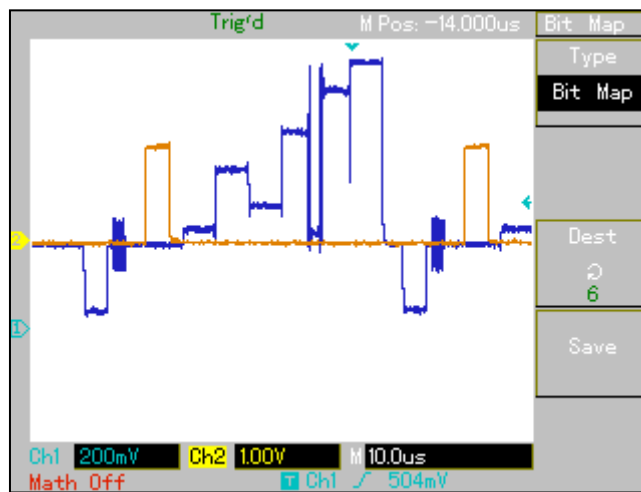
En la Figura 29 se observa la señal de entrada (color azul) señal analógica NTSC y señal de salida digitalizada (color Amarillo).

Figura 29. Señal de entrada y señal de salida.



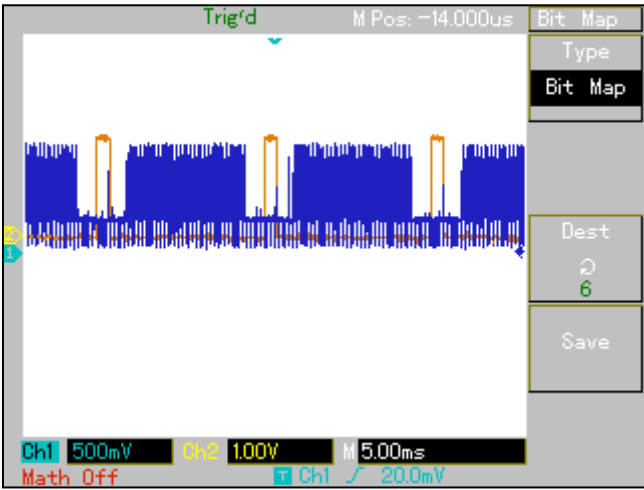
En la Figura 30 se observa la señal analógica de entrada (color azul) y la señal de sincronismo horizontal (color amarillo).

Figura 30. Señal de entrada y sincronismo horizontal.



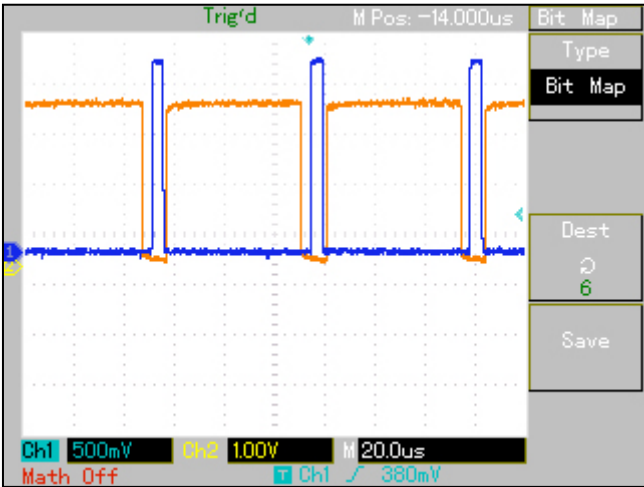
En la Figura 31 se observa la señal analógica de entrada (color azul) y la señal de sincronismo vertical (color Amarillo).

Figura 31. Señal de entrada y sincronismo vertical.



En la Figura 32 se observa la señal indicadora de video activo AVID (color amarillo) y la señal de sincronismo horizontal (color Azul).

Figura 32. Señal de AVID y VS.



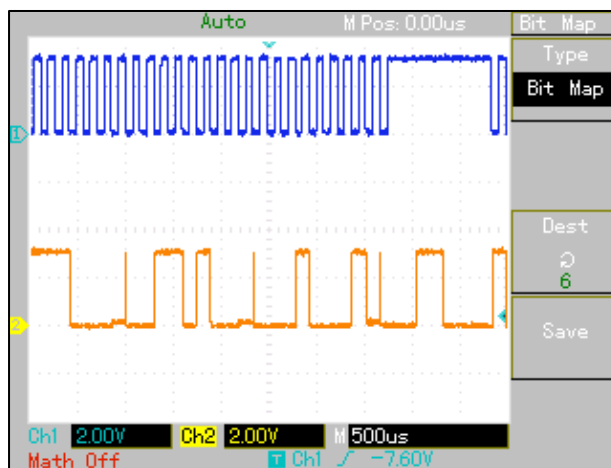
En la Figura 33 se observa la señal de sincronismo vertical (color azul) y la señal identificadora de campo par/impar FID (color naranja).

Figura 33. Señal de VS y FID.



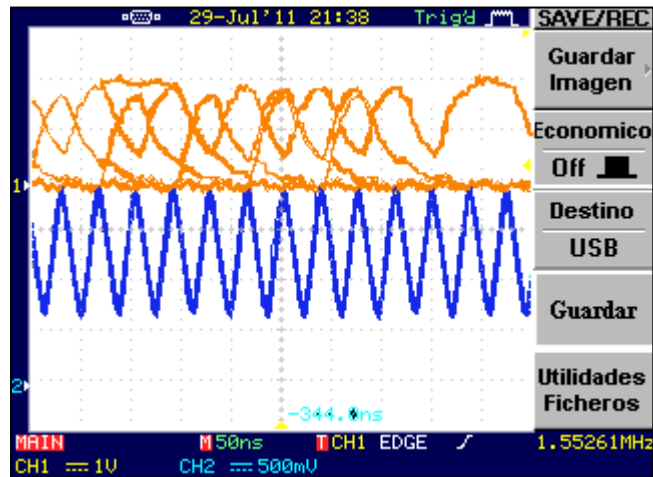
En la Figura 34 se observan las señales de programación I2C, SCL (color azul) SDA (color amarillo).

Figura 34. Señales de programación I2C, SDA y SCL.



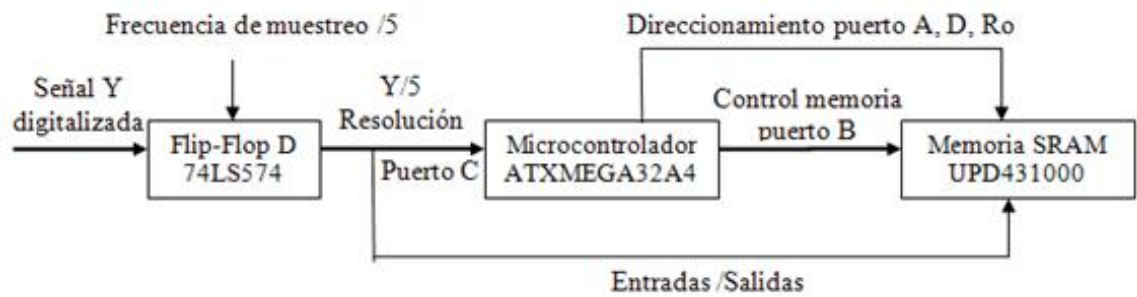
En la Figura 35 se observa la señal reloj de datos del dispositivo TVP5146m2 y la señal de luminancia digital (color amarillo).

Figura 35. Señal data clock y señal digital de video de salida.



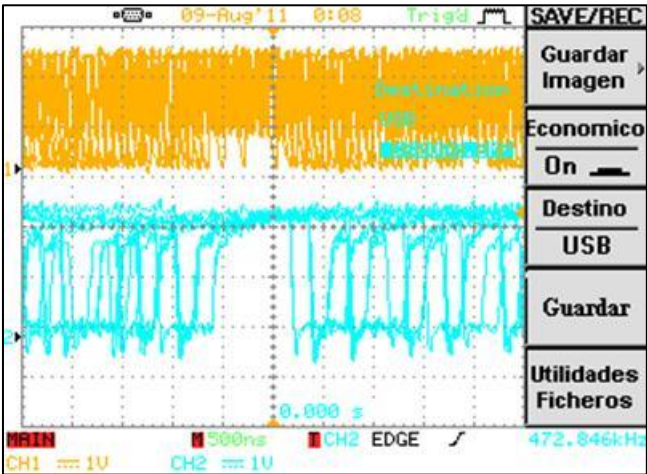
En la Figura 36 se ilustra el diagrama a bloques del almacenamiento en la memoria SRAM la asignación de los puertos del microcontrolador ATXMEGA32A4.

Figura 36. Diagrama a bloques, almacenamiento en memoria SRAM.



En la Figura 37 se observa la salida del Flip-Flop D con una frecuencia cinco veces menor con el propósito de bajar la resolución en un factor de 5.

Figura 37. Señal de salida digital y salida digital con una resolución cinco veces menor.



## 4.2 KIT DE DESARROLLO O PROGRAMADOR

Se emplea el programador ATAVRISP MK II mostrado en la Figura 38 que permite programar una gran cantidad de microcontroladores AVR de la compañía ATMEL, se comunica por medio del puerto USB al computador, se opera con el compilador AVRSTUDIO 5<sup>10</sup>.

Figura 38. Programador ATAVRISP MK II.



Fuente: Antury Comercio electronico

[http://www.antury.net/online/product.php?id\\_product=54](http://www.antury.net/online/product.php?id_product=54)

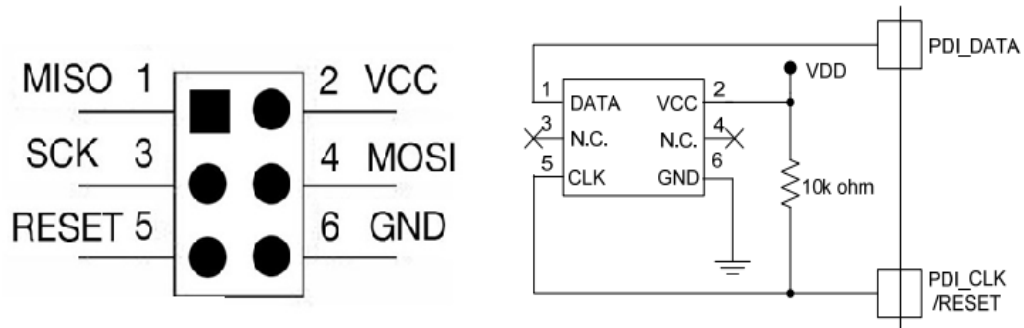
La conexión del programador al microcontrolador ATXMEGA32A4 se hace a través de la interfaz ISP del programador, sin embargo el compilador AVRSTUDIO 5.0 no reconoce el dispositivo ATXMEGA32A4 a través de la interfaz ISP, por tanto se modifica para obtener una interfaz PDI y poder programarlo. En la figura 38 se ilustra la interfaz ISP y la forma como se modificó a PDI

---

<sup>10</sup> Atmel. Software Compilador AVR Studio 5. [Publicación en línea]. Disponible en Internet <[http://www.atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=17212](http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=17212)> [fecha de acceso: 20 de junio de 2011].



Figura 39. Interfaz ISP programador y adecuación PDI



Fuente: Atmel, Resources, ATXMEGA32A4, documento en pdf:[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8169.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8169.pdf)

### 4.3 MICROCONTROLADORES ATXMEGA32A4

Se implementan dos microcontroladores como el mostrado en la Figura 40, uno para la comunicación con el decodificador de video TVP5146M2 por la interface I2C (TWI para AVR) y para controlar el registro que reduce la resolución de la señal de imagen digitalizada para poder almacenar en memoria SRAM externa.

El otro microcontrolador se usa para controlar los procesos de direccionamiento, escritura, lectura y almacenamiento en memoria externa, para posteriormente restar imágenes pixel a pixel para la detección de movimiento.

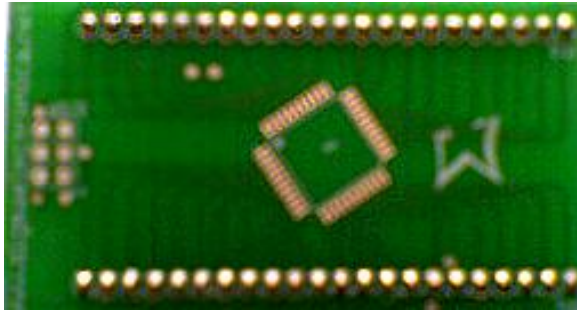
Figura 40. Microcontrolador ATXMEGA32A4.



Fuente: Atmel, Resources, ATXMEGA32A4, documento en pdf:[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8069.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8069.pdf)

El microcontrolador usado es de montaje superficial y para efectos de prueba en el diseño se usa el adaptador TQFP44 de montaje superficial a DIP mostrado en la Figura 41.

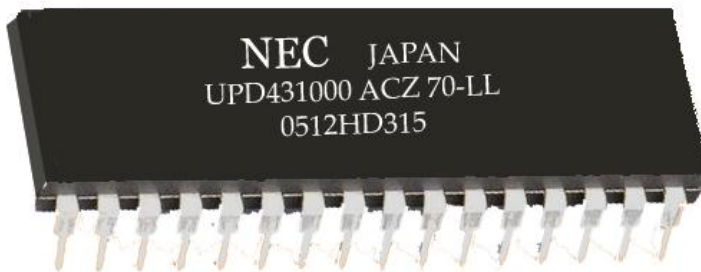
Figura 41. Adaptador TQFP44.



#### 4.4 MEMORIA SRAM

Se usa la memoria SRAM UPD431000 mostrada en la Figura 42, para almacenar dos campos impares de imagen para la resta pixel a pixel en la detección de movimiento.

Figura 42 Memoria SRAM UPD431000.

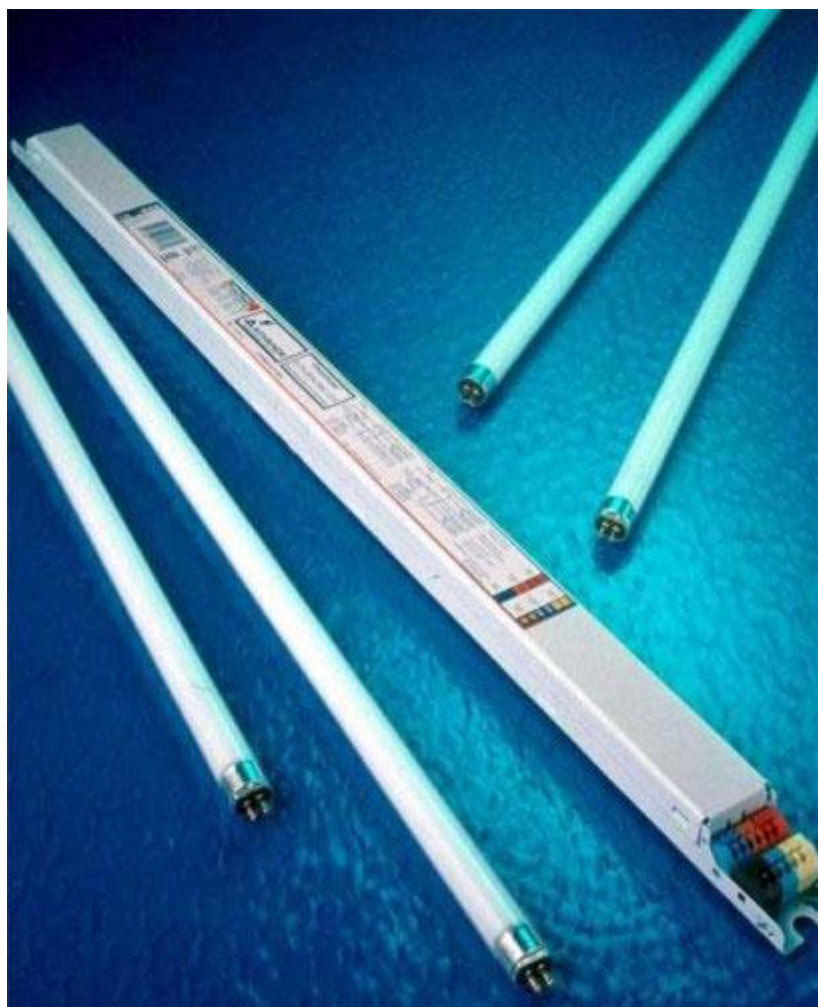


Fuente: NEC JAPAN, Resources, Data Sheet M104030EJ9V0D  
[www.necjapan/CI/SRAM.com](http://www.necjapan/CI/SRAM.com)

## 4.5 BALASTO ELECTRÓNICO

Se usa el balasto dimerizable REZ-2S54 Mark 10 con interfaz análoga powerline mostrado en la Figura 44 no requiere cableado adicional. La atenuación del flujo lumínico del 100% al 5% (para el balasto el T5/HO hasta el 1%), es compatible con controladores de dimmer, el voltaje de operación es de 120 V. Potencia de entrada oscila entre 24 y 125 Watts. Para este tipo de balasto se usa el tipo de lámpara F54T5/H mostrada en la Figura 43.

Figura 43. Diagrama lámpara F54T5/H<sup>11</sup>.



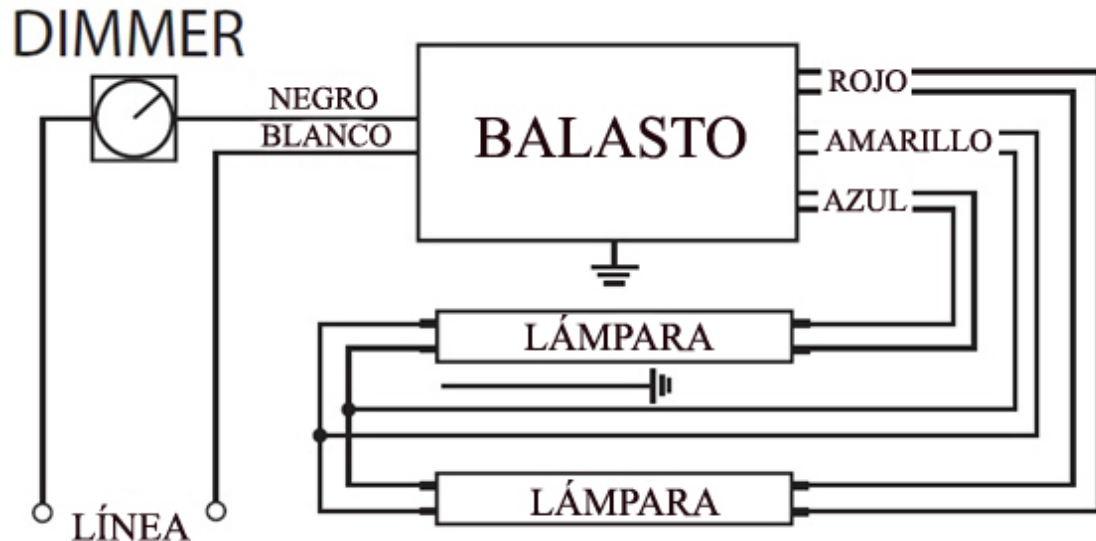
Fuente: <http://www.iluminet.com.mx/wp-content/uploads/2008/11/highbay2-410x500.jpg>

---

<sup>11</sup> Diagrama lámpara F54T5/H. [Publicación en línea]. Disponible en Internet <<http://www.iluminet.com.mx/wp-content/uploads/2008/11/highbay2-410x500.jpg>> [fecha de acceso: 1 de julio de 2011].

La señal de entrada al balasto electrónico podrá ser regulada sin que se apague la lámpara.

Figura 44. Diagrama de conexión Balasto electrónico dimerizado REZ-2S54 para bombillas fluorescentes<sup>12</sup>.



Fuente: PHILIPS-Advance, Catálogo de productos Colombia, Balastos Electrónicos y Controles 2011, documento en pdf  
[http://www.lighting.philips.com.co/pwc\\_li/co\\_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf](http://www.lighting.philips.com.co/pwc_li/co_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf)

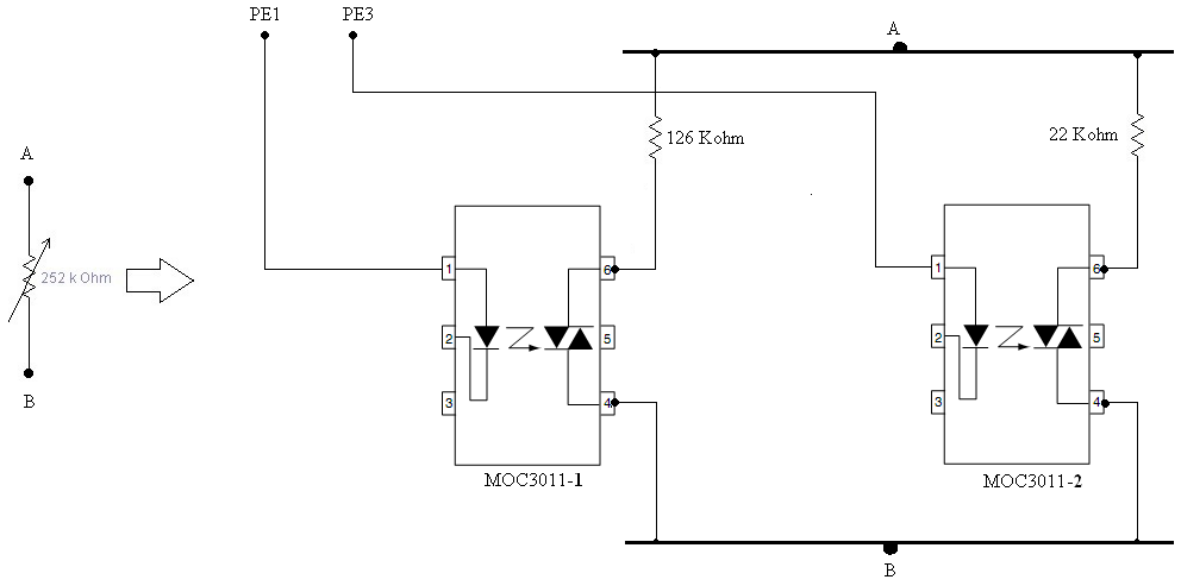
#### 4.6 DIMMER

Se implementa el Dimmer Eléctrico 252 Kohms leviton, se reemplaza la resistencia variable del dimmer por el circuito mostrado en la Figura 45 formado por dos resistencias y dos dispositivos MOC3011 que se ubican entre los puntos A y B que corresponden normalmente a los puntos donde está conectado el potenciómetro del dimmer. Cuando no se detecta movimiento el MOC3011-1 se activa mientras el MOC3011-2 se comporta como circuito abierto, permitiendo esto que la resistencia entre los puntos A y B sea de 126

<sup>12</sup> Philips. Catálogo de productos Colombia. “Balastos Electrónicos y Controles 2011” [Publicación en línea]. Disponible en Internet  
<[http://www.lighting.philips.com.co/pwc\\_li/co\\_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf](http://www.lighting.philips.com.co/pwc_li/co_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf)> [fecha de acceso: 5 de julio de 2011].

Kohm correspondiente a una iluminación del 50%, cuando se detecta movimiento el MOC3011-1 se comporta como circuito abierto mientras el MOC3011-2 se activa haciendo que la resistencia entre los puntos A y B sea de 22 Kohm correspondiente a una iluminación muy cercana al 100%.

Figura 45. Etapa de aislamiento con el MOC3011.



## **5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

### **5.1 VENTAJAS**

El sistema de iluminación implementado en este trabajo, es el primer sistema de iluminación inteligente embebido que usa procesamiento de imágenes, siendo un gran aporte para la comunidad científica, abriendo campo a futuras investigaciones que permitan no solo la detección de movimiento sino también determinar la cantidad de personas en la escena, haciendo un sistema eficiente superior a los conocidos actualmente que usan sensores de presencia.

En la práctica no es viable usar un computador para controlar el sistema de iluminación por costos, consumo y eficiencia. Al implementar un sistema embebido, se evitan estas desventajas, se reduce espacio y se obtiene un dispositivo dedicado y eficiente.

Al usar las cámaras de seguridad que se encuentran instaladas en las empresas, se realiza un gran aporte al incluir una función adicional para estas cámaras, evitando gastos en sensores de presencia y mejorando lo hecho por estos a través del procesamiento de imágenes en la detección de movimiento.

En este proyecto se usa el microcontrolador ATMEL ATXMEGA32A4 cuyas características permiten un buen rendimiento, debido a su arquitectura eficiente que permite trabajar instrucciones en un ciclo de reloj, obteniendo un menor consumo y mayor velocidad en su desempeño.

El balasto electrónico usado en este proyecto permite a largo plazo la reducción de costos al incrementar la vida útil de las lámparas.

### **5.2 DESVENTAJAS**

El alto costo del balasto electrónico de 320.000 pesos, se convierte en una de las principales desventajas de este proyecto, ya que se deben usar balastos electrónicos para todas las lámparas del recinto.

La reducida capacidad de almacenamiento de la memoria SRAM usada en este proyecto dificulta la exactitud en la detección de movimiento, debido a que por el poco espacio de la memoria no se pueden usar métodos como promediar las imágenes para reducir el efecto del ruido en el procesamiento de las imágenes.

Se presentan ciertas dificultades con la exactitud de los umbrales de movimiento, debido a que la resolución de las imágenes se reduce con el objetivo que la capacidad de

almacenamiento de la memoria SRAM usada en el proyecto sea suficiente para almacenar las imágenes a comparar.

Usando microcontroladores ATMEL de la serie XMEGA se presenta la dificultad de tener pocas fuentes de información, por lo cual las tareas de aprendizaje se hacen más lentas, de la misma manera esta serie de microcontroladores no viene incluida en el programa de simulación PROTEUS 7.7, por lo cual las pruebas se realizan sin simulación, reduciendo la facilidad al momento de detectar posibles errores de programación.

## 6. CONCLUSIONES

La interfaz analógica digital implementada en este proyecto usó el dispositivo TVP5146M2 el cual se caracterizó por tener alta sensibilidad a la carga estática, esto último concluido a partir del daño de dos de estos dispositivos generando cortos circuitos en la alimentación de 1.8 voltios. Por tal motivo, se determinó el uso de manillas antiestáticas o en su defecto el uso exclusivo de pinzas en su manipulación mientras se encuentra alimentado el circuito.

El dispositivo TVP5146M2 consta de 80 pines que es una cantidad considerable, y debido a la poca información de aplicaciones que existen en internet (en este caso sólo se encontró una aplicación de este dispositivo), puede llegar a ser compleja su configuración y funcionamiento. Una conclusión importante es la necesidad de conectar a tierra a través de condensadores los canales de entrada que no se usen a pesar que se habilite solamente un canal de entrada. También es importante la conexión del pin 33 PWDN a tierra para habilitar el modo normal de funcionamiento ya que en el diagrama de conexiones no aparece esta conexión, sin embargo dentro de las hojas de datos menciona que de esta manera se activa el modo normal.

Se debe tener en cuenta que al programar TVP5146M2 se debe enviar un pulso de reset antes de enviar los datos desde el microcontrolador que lo configura, para que de esta manera la programación I2C sea válida.

Para efectos de comparación de imágenes no es necesaria la información de color en las señales de video y no es necesaria una alta resolución, por tal motivo la interfaz analógica digital del TVP5146M2 genera en su salida la señal de luminancia de video solamente a 13.5 MHz y posteriormente esta señal es modificada por un registro que trabaja a una frecuencia menor reduciendo la frecuencia de los datos, la resolución y con esto el tamaño para poder almacenar los datos de la imagen en una memoria SRAM de 128Kbytes. También se seleccionan campos impares de video reduciendo la calidad de la imagen y adecuándola al propósito específico del proyecto, teniendo con eso una programación eficiente y demostrando las habilidades aprendidas en la programación de los microcontroladores ATMEL.

La señal indicadora de campo par/impar FID sirve como señal de control para los procesos de escritura en la memoria en los campos impares de video, por eso es muy importante establecer sincronización con esta señal, de la misma manera también es importante sincronizarse con los datos que provienen del registro para asegurarse que cada dato que llegue a la memoria sea un dato valido.

El umbral de detección de movimiento depende de algunos factores como por ejemplo el tipo de cámara de video que se está usando, la distancia y ángulo donde se ubica la cámara entre otros, por eso y debido a que no hay precedentes de procesamiento de imágenes embebido se optó por establecer el umbral por medio del método de ensayo y error, para ello se realizaron varias pruebas.



## 7. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Usar el microcontrolador de la serie 32-bit AVR UC3 para remplazar el ATXMEGA32A4, debido a su gran velocidad ya que actualmente está catalogado como el microcontrolador más eficiente en el mundo, lo que permitiría trabajar con una mayor resolución de video y tener una mayor exactitud en la detección de movimiento, teniendo la oportunidad de establecer más de un umbral de movimiento y la posibilidad no solo de detectar movimiento, sino también la cantidad de personas que se mueven en la escena, siendo esta una ventaja que un sistema de iluminación inteligente usando procesamiento de imágenes tiene sobre un sistema de iluminación usando como sensor de movimiento un sensor PIR, ya que los sensores PIR miden los cambios de radiación infrarroja y generan un nivel lógico a través de un pin de salida, detectando la existencia de movimiento en la escena, pero no la cantidad de personas que se mueven en la escena. Este microcontrolador cuenta con una memoria interna de 512 Kbytes con lo que no sería necesaria una memoria externa reduciendo considerablemente el cableado, tamaño y ruidos en el circuito. Al tener una gran velocidad se puede pensar en digitalizar el video directamente desde el microcontrolador AVR UC3 y usar un comparador para detectar el sincronismo vertical para usarla como señal de control y evitar el uso del dispositivo TVP5146M2.

Con la posibilidad de una memoria más grande dentro de microcontrolador AVR UC3, se puede optar por promediar las imágenes obtenidas para obtener una mayor exactitud en la detección del movimiento.

Siendo los microcontroladores ATMEL una excelente opción pero también algo inexplorado por los estudiantes de la Universidad Surcolombiana, hace que esta investigación se convierta en un punto de partida importante para un futuro proyecto, en el que se podrían usar funciones específicas del microcontrolador, como por ejemplo el contador de eventos, que permitiría una mayor exactitud y ventaja frente a la detección de flancos por software usada en este proyecto.

Para evitar el uso de balastos electrónicos se puede pensar en usar lámparas LEDs, que permitirían una mayor eficiencia energética y un control más rápido y eficiente de la iluminación.

## BIBLIOGRAFÍA

Alberto Picerno, La Biblia del LCD y Plasma.

Artículo, El Colombiano.com, Iluminación bajo control.

[http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/I/iluminacion\\_bajo\\_control/iluminacion\\_bajo\\_control.asp](http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/I/iluminacion_bajo_control/iluminacion_bajo_control.asp)

Barry B.Brey, Microprocesadores Intel, Pearson Prentice Hall.

Blog de energías Renovables.

<http://erenovable.com/2008/11/22/un-sistema-de-luces-inteligentes-permitirn-un-ahorro-del-70-de-consumo-para-el-new-york-times/>

Datasheet Cmos Static Ram  $\mu$ PD431000ACZ.

<http://www.sigmaelectronica.net/manuals/UPD431000.pdf>

Datasheet Digital Video DecoderTVP5146M2.

<http://focus.ti.com/lit/ds/sles141g/sles141g.pdf>

Diagrama lámpara F54T5/H.

<http://www.iluminet.com.mx/wp-content/uploads/2008/11/highbay2-410x500.jpg>

Datasheet Microcontroller ATXMEGA32A4.

[http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_docs.asp?category\\_id=163&family\\_id=607&subfamily\\_id=1965&part\\_id=4308](http://www.atmel.com/dyn/products/product_docs.asp?category_id=163&family_id=607&subfamily_id=1965&part_id=4308)

Enciclopedia Wikipedia, definición domótica.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Dom%C3%B3tica>

Enciclopedia Wikipedia, definición IN SYSTEM.

[http://en.wikipedia.org/wiki/In-system\\_programming](http://en.wikipedia.org/wiki/In-system_programming)

Enciclopedia Wikipedia, definición sistema embebido.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_embebido](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_embebido)

Enciclopedia Wikipedia, definición SMPTE.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Super-8\\_SMPTE](http://es.wikipedia.org/wiki/Super-8_SMPTE)

Foros para el uso de microcontroladores AVR.

<http://www.avrfreaks.net/>

José María Angulo Usategui, Aritza Estebaría Ruiz, Ignacio Angulo Martínez, Iván Trueba Parra, DsPic Diseño Práctico y Aplicaciones, Mc Graw Hill, España.

Manual XmegaMicrocontroller.

[http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_docs.asp?category\\_id=163&family\\_id=607&subfamily\\_id=1965&part\\_id=4308](http://www.atmel.com/dyn/products/product_docs.asp?category_id=163&family_id=607&subfamily_id=1965&part_id=4308)

Norma de la ITU, estudio parámetros de codificación de televisión digital estándar.

<http://read.pudn.com/downloads105/ebook/433118/ITU-R%20BT.601-5.pdf>

PHILIPS-Advance, Catálogo de productos Colombia, Balastos Electrónicos y Controles 2011, documento en pdf.

[http://www.lighting.philips.com.co/pwc\\_li/co\\_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf](http://www.lighting.philips.com.co/pwc_li/co_es/connect/assets/Catag%20Balastos%20General%201-12%20Ag18.pdf)

Revista Electroindustria, El Control en Sistemas de Iluminación.

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=608&edi=5>

Software Compilador AVR STUDIO 5 Suministrado por la empresa ATMEL.

[http://www.atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=17212](http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=17212)

Texas Instrument. Data Manual TVP5146M2 Digital Video Decoder. Figura 2-20, tiempos de reset. 2010, p.37.

## ANEXO

### IMÁGENES DEL CIRCUITO IMPLEMENTADO

Se muestra las imágenes del circuito implementado en este trabajo de tesis.

