

**DESPLIEGUE DINÁMICO DE IMÁGENES: UN CASO DE PERSISTENCIA*****DYNAMIC DEPLOYMENT OF IMAGES: A CASE OF PERSISTENCE***

JAVIER F. GAMBOA T.  
HENRY MONTAÑA Q

RECIBIDO: JUNIO 2010  
APROBADO: OCTUBRE 2010

**RESUMEN**

La generación dinámica de datos alfanuméricos e imágenes con diferentes formas y tamaños, es una urgencia permanente para cualquier organización, en especial cuando se requiere implementar estrategias de mercado basadas en avisos digitales. Este artículo muestra una alternativa para tales avisos. Para ello presenta el diseño y la construcción de un desplegador de información dinámico, de bajo consumo de potencia, basado en leds activados por microcontrolador. Este dispositivo proyecta instantáneamente, por rotación mecánica, una imagen en perspectiva. Esta sensación surge del principio de persistencia, por el cual una imagen permanece por décimas de segundo en la retina antes de desaparecer por completo, luego de que el cerebro interprete la percepción, codificación, comunicación y decodificación de impulsos eléctricos.

***Palabras clave***

motor, control, persistencia, imagen, algoritmo, publik

***Abstract***

the dynamic generation of alphanumeric data and images with different shapes and sizes, is a permanent emergency for any organization, especially when required to implement marketing strategies based on digital signage. This article shows an alternative to such advertisements featuring the design and construction of a deployer of dynamic information, low power consumption,

LEDs based on microcontroller activated. These devices project instantly, by mechanical rotation, a perspective image. This feeling arises from the principle of persistence, by which an image remains in tenths of a second in the retina before to completely disappear after the brain to interpret the collection, coding, communication, and decoding of electric impulses.

***Key words***

motor, control, persistence, image, algorithm, public

1. Tecnólogo en electrónica. Subdirector del área de ingeniería y desarrollo TK tecnocol Ltda. Correo electronico gamtojafer@hotmail.com

2. Ingeniero electrónico. Especialista en Automática e Informática Industrial. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: hmontanaq@udistrital.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la publicidad es un factor imprescindible en las estrategias de mercadeo. Esta apela, entre muchos dispositivos, a los publik o avisos digitales. Estos anuncios contienen, básicamente, matrices de leds, donde por costumbre una matriz se conforma por cinco columnas y siete filas, y en cada intersección hay un led (a la manera de un píxel). Una vez encendidos, estos dispositivos crean luminosidad, y de acuerdo con los led encendidos se forman múltiples caracteres alfanuméricos.

Sin embargo, no todos los publik tienen la facultad de mostrar imágenes a color; por lo general lo hacen monocromáticamente. Además, a simple vista se observa, que las matrices se constituyen por altas cantidades de leds, y por lo tanto, se genera un alto consumo de energía, lo que hace a los publik costosos de adquirir.

Con el fin de superar estas limitaciones y aplicar una forma diferente de visualización, el presente artículo estructura una solución para diseñar y construir un dispositivo capaz de generar datos alfanuméricos e imágenes con diferentes formas y tamaños, de forma muy similar a los publik, disminuyendo la cantidad de leds, lo que representa una diferencia en los costos de fabricación con respecto a los que se encuentran en el mercado, y es tecnológicamente más avanzado porque se desarrolla con leds multicolor.

El artículo se estructura así: principios fundamentales, estado del arte, fases del sistema, resultados, perspectivas y conclusiones.

## 2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Los fenómenos de nuestro universo son profusamente explicados por teorías generales,

las cuales se basan en principios que, observados juiciosamente, nutren novedosas aplicaciones, diferentes, estables y sencillas. Esta investigación se orienta por principios que conducen al diseño práctico de un dispositivo. Dichos principios se presentan a continuación.

### 2.1. PERSISTENCIA RETINIANA [1]

Es un principio del comportamiento de la visión humana, establecido por el físico Joseph Plateau en 1829 [2]. Consiste en una imperfección del sistema óptico de los seres humanos, por la cual, al ver una imagen, esta permanece un tiempo máximo de una décima de segundo en la retina hasta desaparecer por completo. Esto sucede porque hay un proceso para capturar la imagen, consistente en: percepción (retina), codificación (células fotorreceptoras), comunicación por el nervio óptico hasta el cerebro, decodificación de los impulsos eléctricos, e imaginación o interpretación por parte del cerebro. Esta teoría, sujeta a permanente investigación, sustenta la idea desarrollada por el cine al presentar una sucesión de imágenes fijas en posiciones sucesivas, mostradas ininterrumpidamente a una velocidad superior de 16 fps (fotogramas por segundo). Por ello, se causa la sensación de movimiento, pero si se presentara un menor número de imágenes, entonces se notarían las diversas posiciones, como ocurre con el movimiento de un robot.

Se toma entonces el anterior fundamento para desarrollar el dispositivo. Esencialmente, el interés radica en controlar un motor que debe girar a una velocidad de 15 revoluciones por segundo y proyectar, a su vez, los datos programados en cada una de las vueltas.

### 3. ESTADO DEL ARTE

La idea del principio de la persistencia retiniana se remonta [4] a principios del siglo xix, cuando ya se investigaba sobre la creación de ilusiones ópticas a través de diferentes dispositivos; estos se muestran en la figura 1 y se relacionan a continuación:

**El thaumátropo:** invento que antecede a la invención del cine, creado por John Ayrton en París, hacia 1824, produce la ilusión óptica de ver unidas dos imágenes sobre una placa circular oscura, cada una a un lado, por rotación del círculo y la tensión de dos cordones en sus extremos.

**El fenantiscopio:** inventado por Joseph Plateau en 1829 para demostrar la persistencia retiniana. Consiste en varios dibujos idé-

ntermedios, a través de las cuales se miraban los dibujos que estaban montados dentro del cilindro. Los dibujos eran de un mismo objeto y estaban elaborados en posiciones consecutivas, de modo que al hacer girar el cilindro con suficiente rapidez se daba la sensación de estar en movimiento.

Tuvieron que desarrollarse muchos modelos de dispositivos para proyectar imágenes que aparentaran estar en movimiento. En 1895 los hermanos Lumiere consiguen crear el cinematógrafo, primer antecedente de la historia del cine, porque con él proyectaron la primera película.

Actualmente se cuenta con diferentes formas para ver imágenes en movimiento

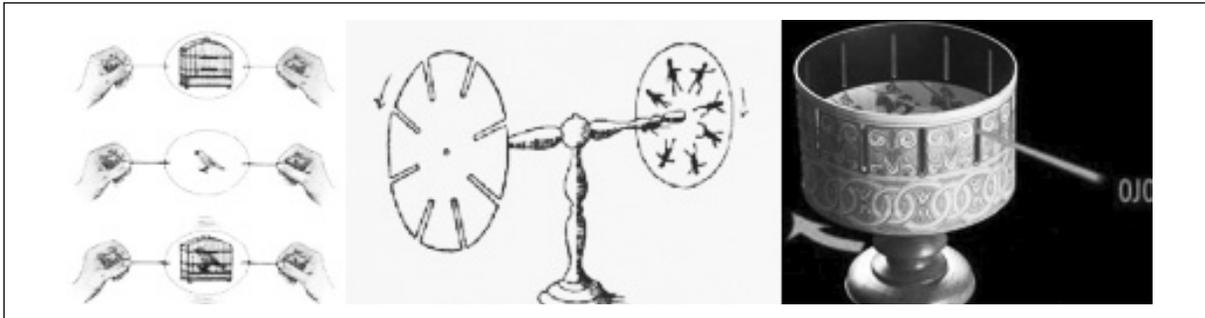


Figura 1. Izq. Thaumátropo. Cen. Fenantiscopio. Der. Zootropo [4,5]

ntermedios en posiciones ligeramente diferentes, distribuidos en una placa circular lisa, de manera que cuando esta gira frente a un espejo se crea la ilusión de movimiento de los dibujos. Un invento similar fue desarrollado por Rittere Stamper, al que denominó estroboscopio.

En 1834 el inglés William Horner patenta el zootropo, un cilindro movable de metal con

como: pantallas LCD, plasma, proyectores y tubos de rayos catódicos, pero por efecto de analogía tecnológica, se estudian las matrices de leds.

#### 3.1. MATRICES DE LEDS O PUBLIK´S

Están compuestas, principalmente, por leds donde cada píxel requiere un led. Por lo general, están provistas de por lo menos 140

leds de color rojo, pues un aviso necesita de cuatro caracteres para dar a entender el mensaje, es decir, que a cada caracter lo forman siete pixeles de alto por cinco de ancho. Para controlar los leds, se requieren operaciones y configuraciones digitales tan extensas y complicadas como indique el número de caracteres que se quieran mostrar, estos procesos son más complejos si se utilizan leds multicolor.

La literatura muestra algunos prototipos que aplican los mismos fundamentos que se desean extender al dispositivo propuesto. Precisamente, la idea alternativa surge tras observar un video titulado The Propeller Clock [6], filmado en los Estados Unidos. Este propone y aplica el método de despliegue de información usando un motor y una columna de leds, con la implementación de un reloj con tiempo programable, del cual sólo se encuentran fotos por la web, y algunos videos relacionados en Youtube. La mayoría fabricados por hobbyistas y aficionados, de los cuales no se cuenta con sustento científico alguno y mucho menos información técnica.

Recientemente, en [7] se desarrolla un dispositivo para proyección de imágenes estroboscópicas basadas en tecnología led. Aunque cercano a la alternativa propuesta, este utiliza un microcontrolador que está unido directamente a los led, usa una batería de 9V que hace de contrapeso al sistema y de paso suministra energía, pero no cuenta con un estabilizador de imagen, lo que provoca una rotación permanente del mensaje.

El Analog and Digital Propeller Clock [8] es una forma de tipo y aplicación similar a la alternativa propuesta, basada sobre relojes diferentes e independientemente acoplados, que evidencian alto nivel de sincronización.

En Colombia no se han encontrado dispositivos con aplicaciones similares, aparte de los publik.

#### 4. FASES DEL SISTEMA

La investigación determina que el dispositivo debería suplir diferentes fases. En la figura 2 se presenta un esquema de las fases, y en el centro el objeto del sistema.

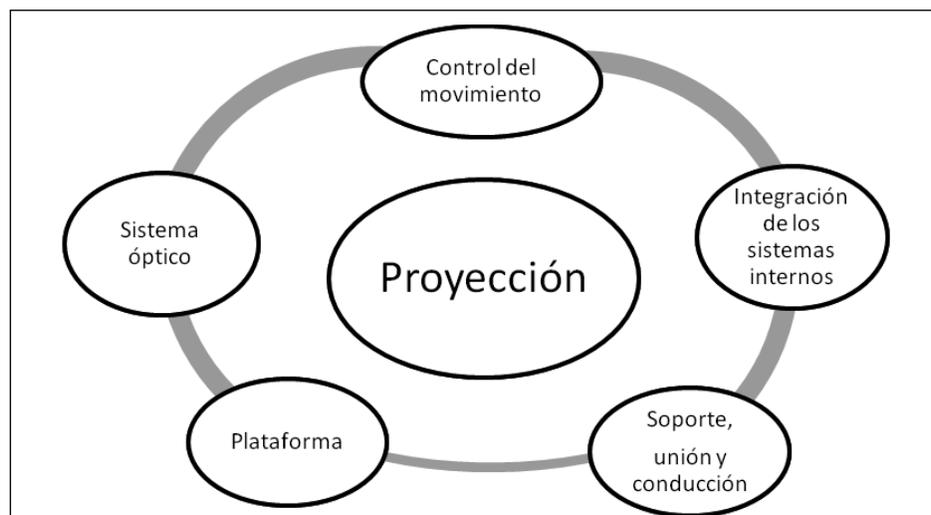


Figura 2. Esquema de las diferentes fases que componen el sistema

#### 4.1. PLATAFORMA

La plataforma es el eje fundamental del dispositivo, y soporta el motor [9]. En él se sustenta la estabilidad, así como la variación de velocidad. El diseño del soporte y del movimiento de la carga (sistema óptico) sujeta al eje, además de influir en la integración de los sistemas internos.

El motor debe ser activado por una fuente de voltaje directo en el rango de 5 a 15 voltios, donde el eje soporte transmita un torque mínimo para rotar el peso del circuito electrónico, con todos sus componentes, y tener por lo menos una velocidad de 1.200 revoluciones por minuto.

Con un rango de velocidad variable entre 1.000 y 1.600 rpm, dependiente del voltaje de alimentación, que está entre los 3,3 y los 15 V, alimenta un torque de alrededor de 300 g.cm, lo cual hace posible ubicar una carga adicional sobre el eje, representada por la pieza del acople.

Con la fabricación de la etapa electrónica prototipo que irá sobre el eje, y basados en las dimensiones y características del motor de referencia RS-550 [10], se cumple con la expectativa de acople sin alterar las funciones de cada una de las fases del sistema descritas en la figura 2. Aunque la histéresis del motor aumenta, es admisible, ya que al someter el desplazamiento de una carga mayor por parte del motor, es necesario suministrar más potencia, o viceversa.

##### 4.1.1. CONTROL DEL MOVIMIENTO

Para caracterizar el comportamiento del motor [11] es indispensable obtener datos de las variables involucradas en la velocidad.

Estas variables son el voltaje de entrada y las revoluciones por segundo. De esta manera, se genera una tabla con los datos y su consecuente graficación. De estos datos se concluye un voltaje de 5v y una frecuencia de giro de 1200 rpm, con el fin de obtener los ciclos por segundo necesarios para generar la persistencia retiniana propia de la visión humana. El proceso se consolida diseñando un encoder en acetato con 16 divisiones, 8 negras y 8 transparentes, que cumplen con impedir o permitir el paso de la luz del led interno dentro del sensor optoacoplador, estableciendo mediciones que generan:

- Observación de la señal de salida del sensor por medio de un osciloscopio y la toma de los tiempos entre pulsos.
- Generación de un programa para el microcontrolador Pic16F877A, con la función de contar la cantidad de pulsos recibidos desde el sensor durante un segundo.
- Uso del integrado LM2907 para convertir los pulsos por segundo a voltaje, es decir, de frecuencia a voltaje, de manera que se cumpla con dos funciones: verificar los datos obtenidos certificados y asegurar la etapa de realimentación para el control de velocidad del motor, valiéndose para ello de las fórmulas.

$$V_{out} = V_{cc} \times f_{in} \times C_1 \times R_1$$

(1)

Teniendo 8 pulsos por vuelta, durante un segundo se registran  $\pm 19$  vueltas y se obtienen 156 pulsos, luego:

$$5v = 12v \times 156 \times 10nF \times 275K\Omega \quad (2)$$

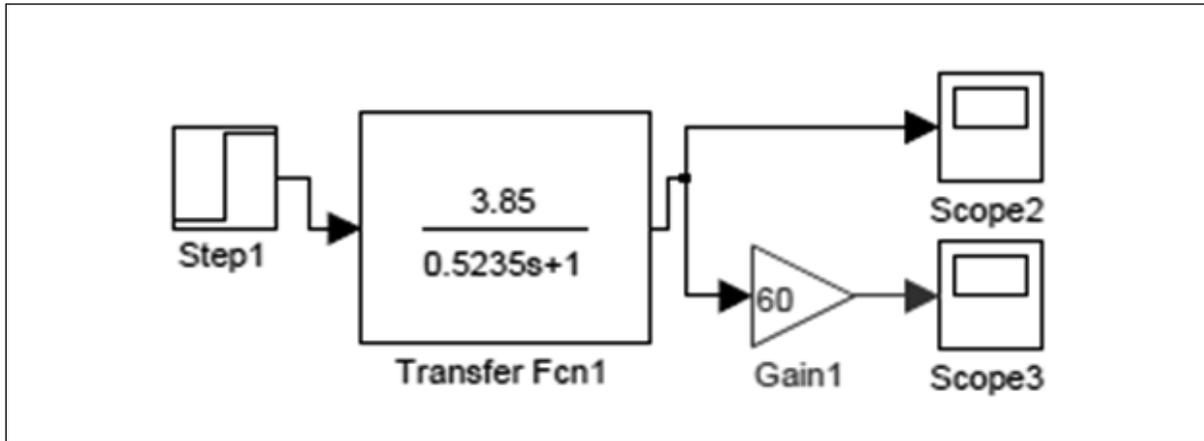


Figura 3. Lazo de control abierto: función de transferencia del motor RS-550

En la figura 3 se visualiza la función de transferencia obtenida para el motor RS-550, alimentada con una fuente de tipo escalón, y en la figura 4 la respuesta del sistema [12].

Se ha implementando entonces un lazo de control cerrado con una etapa proporcional para controlar la velocidad del motor, compuesto de las siguientes etapas:

- Activación del motor: consiste en el uso del integrado TL494, que es un circuito de control con modulación por ancho de pulso o PWM. La frecuencia a la que funciona depende de un bloque interno, el cual genera una onda diente de sierra con la programación de dos componentes externos,  $R_t$  y  $C_t$ , cuyos valores son determinados por la fórmula (3):

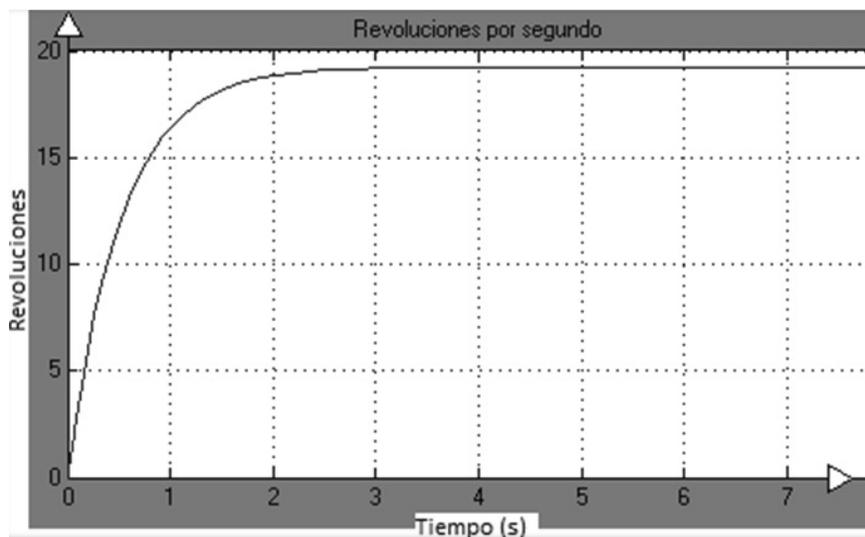


Figura 4. Respuesta de la función de transferencia en lazo abierto

$$F_{osc} = \frac{1.1}{R_t \times C_t} \Rightarrow 20KHz = \frac{1.1}{55K\Omega \times 1nF}$$

(3)

$$\frac{10 V_{in}}{3.3 V_{out}} = 0.33 \text{ valor de la proporción}$$

(5)

- El circuito integrado tiene una señal de control externa (dead time), a la cual ingresa un voltaje de entre 0 y 3,3v, y varía el ciclo útil del PWM. Por esta razón, la señal de control de la planta debe estar en este rango.

$$V_{out} = -V_{in} \frac{3.3K\Omega}{10K\Omega}$$

(6)

- El voltaje de salida del LM2907 se acopla a la etapa de control de lazo cerrado, siendo esta la señal r. Un potenciómetro de 10KΩ, alimentado con 12v, es el set point (s) para el sistema, ubicado en 4,1KΩ y poder obtener un voltaje de 5v. Estas dos señales entran a un amplificador operacional configurado como restador s - r = e. La señal diferencia oe ingresa a otro operacional, en modo proporcional, con las siguientes relaciones:

$$V_{out} = -V_{in} \frac{R_a}{R_{in}} \quad V_{out} = -V_{in} \frac{R_a}{R_{in}}$$

(4)

- La nueva señal es una de las variables en un sumador de dos entradas, y la otra es un punto de control estándar de 1,65v, hecho con un divisor de voltaje porque es el punto donde el ciclo útil del PWM es del 50% y gira el motor a la mínima velocidad requerida.
- La señal de salida del sumador es la entrada al pin de control del integrado PWM. En la figura 5 se visualizan los bloques que conforman el sistema de control de lazo cerrado implementado, y en la figura 6 la respuesta del sistema. Finalmente, la señal de salida del PWM es conectada al pin gate del transistor MOSFET IRFZ44N en configuración de fuente común, y la carga del pin de drenaje es el motor.

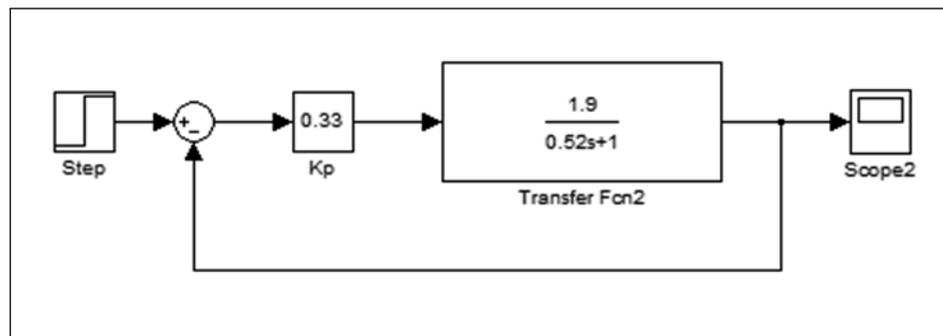


Figura 5. Bloques sistema de control lazo cerrado

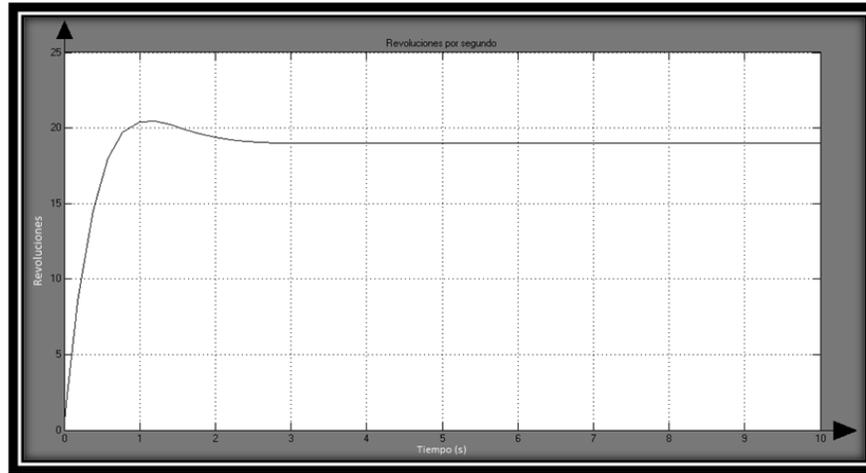


Figura 6. Respuesta de la función de transferencia en lazo cerrado

#### 4.2. SISTEMA ÓPTICO

Consiste en implementar la etapa que tiene por función la activación de los led a determinados tiempos, por ejecución del algorit-

mo programado en el microcontrolador. El modelo de la proyección se muestra en la figura 7.

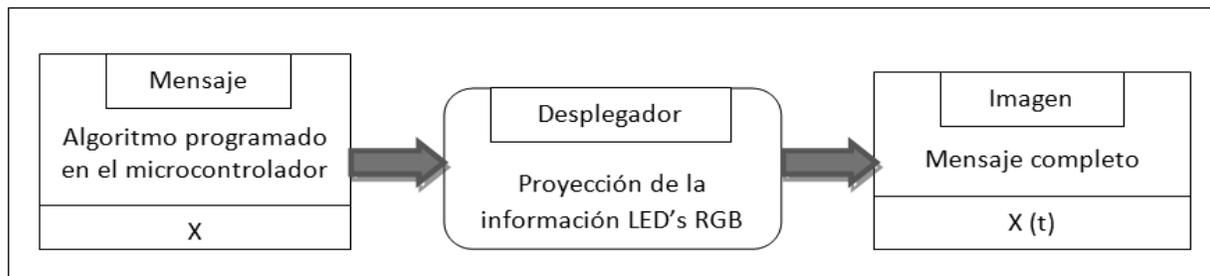


Figura 7. Bloques para producir la proyección

##### 4.2.1. MENSAJE

Se cuenta con un microcontrolador pic16f628 [13], [14] que dispone de 18 pines, necesariamente 2 de alimentación, 2 para el oscilador, 12 pines de salida para el vector de leds, el pin a4 del microcontrolador es emisor seguidor, que no es necesario usar, y otro pin más como entrada de la señal que arroja el sensor optoacoplador, que funciona como indicador del punto de inicio de la cir-

conferencia sobre la cual los leds desplegarán la información. Se ubica en el centro y en el extremo izquierdo del circuito impreso, y la señal que envía al microcontrolador es un voltaje de 4,5 que es tomado como nivel alto [15], y en el programa como punto de inicio. De otra manera, el voltaje 0 se da cuando se desplaza por la circunferencia sin haber obstaculización a la luz emitida al receptor dentro del sensor.

Bajo esta modelación, el funcionamiento ideal del dispositivo tiene las siguientes referencias:

El motor debe girar a por lo menos 10 revoluciones por segundo, es decir, cada vuelta

Posteriormente, se selecciona el PIC16F628, que dispone de dos puertos para entrada y/o salida de datos, el A y el B, cada uno con ocho pines. De esta manera, se escoge el puerto B para entregar los ocho bits (byte) de información, y conectarlo a los leds para

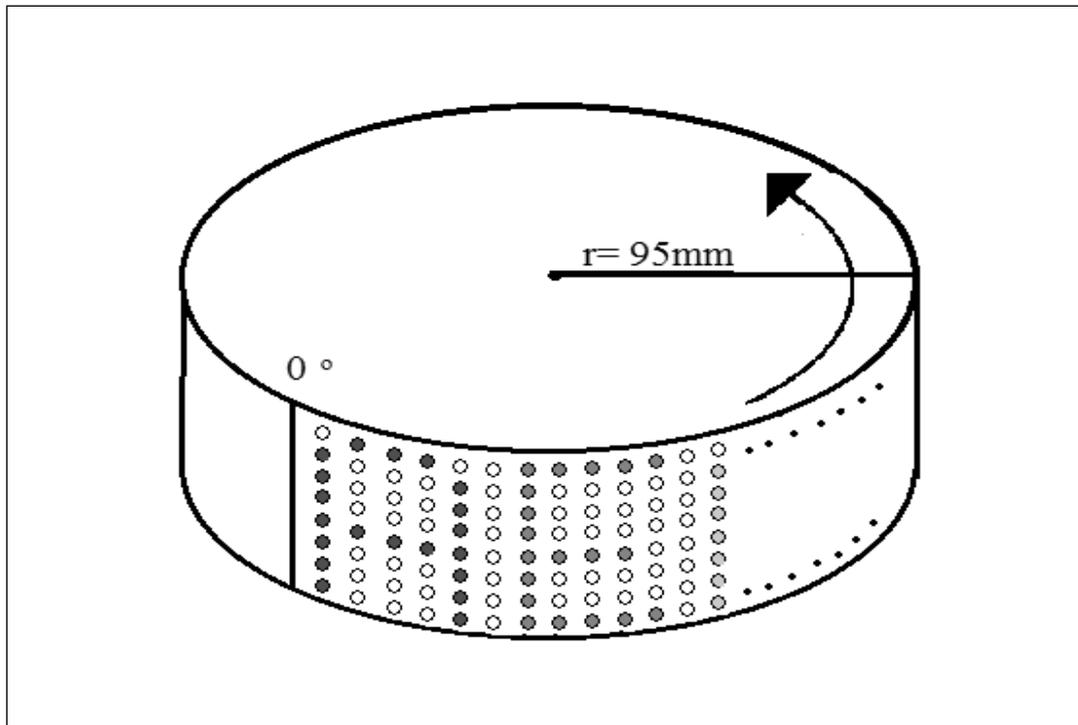


Figura 8. Esbozo de la proyección

la hace en máximo 100 ms, y durante ese tiempo el microcontrolador debe ubicar en la salida de sus pines, que están comunicados a los leds, los datos programados con anterioridad en ciertos instantes de tiempo.

Para proyectar, cualquiera sea el carácter alfanumérico, por medio de pixeles, o por medio de puntos de color, se necesitan mínimo siete puntos, es decir, siete leds, y en este caso se ubican ocho, con un diámetro de cinco milímetros, para expandir el tamaño de la imagen, y debido a las características de un led RGB, [16].

controlar el encendido y apagado de estos. El que permite la ampliación para comunicar y expandir el dato de salida del puerto para los 24 leds es el circuito integrado 74HC574 [17]. Este consiste en una memoria de ocho bits síncrona con salida 3-state, compuesto por ocho flip flops que almacenan temporalmente el dato ingresado en la transición de niveles bajo a alto del reloj, y un pin de control output enable negado. Cuando está en bajo la salida de cada registro, se muestra en el pin, de lo contrario no lo hará. Son necesarios tres pines para controlar los 24 leds del sistema, y cada uno se encarga-

rá de un color. Son ubicados en paralelo al puerto B del PIC, y se dispone a desarrollar el programa (ver figura 9) para controlar las variables del sistema; éstas son:

- Entrada del sensor cero grados de la circunferencia.
- Salida reloj para los tres flip flops.
- Salida señal de control, output enable para cada uno de los flip flops.
- Ocho salidas del puerto B, para los ocho leds de cada color.

Con el algoritmo indicado anteriormente se realiza la lógica de programación desarrollada en el programa PIC C Compiler® [18], software para el desarrollo de aplicaciones para microcontroladores de microchip PIC que basa su estructura de programación en el lenguaje de alto nivel C.

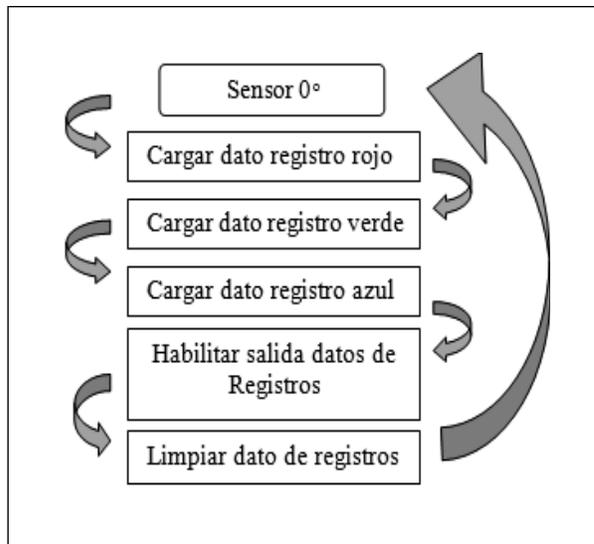


Figura 9. Algoritmo básico para generar el código de programación

#### 4.2.1.1. DESPLEGADOR

El aviso que se pretenda mostrar requiere un área para cuyo cálculo se tiene en cuenta el hecho de que una imagen digital está compuesta de píxeles, y un píxel es la unidad más pequeña, con la característica que es de un solo color. Por esta definición se dice que un led corresponde a un píxel. De tal manera que si un carácter se forma por ocho píxeles de alto por cinco de ancho, el carácter tiene una resolución de 40 píxeles.

El área donde se proyectan los caracteres se calcula en (7):

$$LC = 2\pi r \text{ y si } r = 9.,5cm \Rightarrow 60 \text{ cm} = 2\pi 9.,5cm$$

(7)

donde LC: longitud de la circunferencia.

La cantidad de caracteres se obtiene con (8) y (9):

$$Nc \times Ac \leq 60 \text{ cm}$$

(8)

$$LC / Ac = Nc$$

(9)

donde

Ac: ancho del carácter

Nc: número de caracteres

Lo que indica que al variar el radio del circuito también lo hará, de manera directamente proporcional, el número de caracteres que se pueden proyectar.

Un carácter está compuesto de cinco columnas y entre cada columna hay un tiempo en

que las instrucciones del microcontrolador se ejecutan para generar la próxima columna. Este tiempo es de 1,4 us, que no se considera porque es muy pequeño; además, debe existir un espacio entre los caracteres. Con la fórmula (10) se obtiene el ancho del caracter:

$$A_c = A_p(c) + A_s \quad (10)$$

donde

$A_p$ : ancho del píxel, que es de por lo menos cinco milímetros el tamaño del led.

$c$ : número de columnas.

$A_s$ : ancho del espacio entre caracteres.

*Tiempo vuelta o revolucion  $\cong 60ms$*

(12)

Como es claro, el tiempo que tarda en dar una revolución el motor ha cambiado de 52 a 60 ms. Esto se debe al efecto que tiene la carga ubicada sobre el eje, es decir, que el recorrido de la circunferencia efectuada por la columna tarda 60 ms y mediante una regla de tres simple se puede establecer la distancia total (ver tabla 1).

Cambiando tanto el tiempo de cada columna como el tamaño, también aumenta o disminuye el tamaño del mensaje completo, dado por la ecuación 13.

	<b>X (espacio)</b>	<b>tiempo</b>
<b>Completo</b>	60 cm	60 ms
<b>Un caracter</b>	2,5 cm	2,5 ms
<b>Espacio columna</b>	0,0112 mm	1,4 us

Tabla 1. Datos para regla de tres simple

Tiempo de todo el mensaje

Para esta variable tenemos que discriminar el tiempo de cada carácter que está involucrado en el delay de la instrucción efectuada en la programación del algoritmo. Sin embargo, con (11) se puede obtener:

$$t_c = t_{colu}(c) + t_s \quad (11)$$

donde

$t_c$ : tiempo de carácter.

$t_{colu}$ : tiempo de cada columna.

$t_s$ : tiempo del espacio entre caracteres.

En la figura numero 10 se describe la discriminación de tiempo y ancho de cada parte que compone el mensaje.

*Tiempototal =  $Nc \times tc \leq 60ms$*

(13)

Teniendo definidas las dimensiones del motor y el tamaño del encoder, se utilizó Solid-Works® [19], un programa de diseño asistido por computador para modelado mecánico, a fin de simular las piezas, y posteriormente, luego de asegurar el comportamiento estático y dinámico, el diseño finalmente obtenido se muestra en la figura 11.



y que por supuesto aumente la cantidad de memoria, por ejemplo el PIC16F87, cuya capacidad es el doble de la del anterior, se podría programar de tal manera que se puedan proyectar alrededor de 84 caracteres.

## 6. PERSPECTIVAS

Tras la construcción, la implementación y las posteriores pruebas, surgieron ideas para ampliar, mejorar, actualizar y facilitar las funciones del dispositivo; estas son, entre otras:

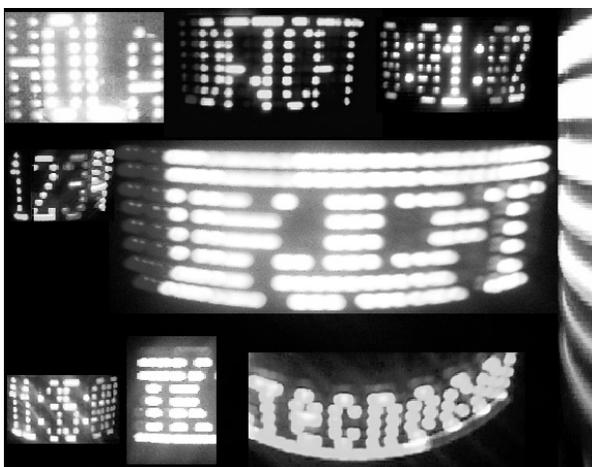


Figura 12. Algunas proyecciones. Hola, UDFJCFT, 0:01:02, 1234, 11:35:00, Logo TK, Tecnocol

- Interfaz de comunicación serial USB o wireless para transmitir la información que se va a desplegar.
- Generar un software aplicativo para generar la información que se programará en el microcontrolador.
- Modificar el microcontrolador a uno con más puertos de entrada-salida y así ampliar la cantidad de leds que se pueden trabajar.

- Disminuir en tamaño el dispositivo, adaptando los dispositivos electrónicos smd o superficiales; de igual manera, se puede adaptar un motor más pequeño que el actual.

## 7. CONCLUSIONES

Se establece una nueva modalidad para visualizar información, ya que esta forma de despliegue no está desarrollada suficientemente en nuestro medio.

Aunque el dispositivo cumple con los términos de referencia perseguidos, cuenta con una limitante en la cantidad de información que se puede proyectar, dependiente de la capacidad de memoria del microcontrolador que es de 2Kbytes. No obstante, cambiando el microcontrolador por uno de gama alta, o tan solo con mayor memoria, se pueden efectuar mensajes de por lo menos 96 caracteres.

El diseño de la estructura para acoplar el sistema que debe ir sobre el motor y su eje, es neurálgico, en tanto se cumplen más prestaciones técnicas, como la de transmitir corriente y servir de base para el encoder de la etapa de realimentación del sistema de lazo de control cerrado.

Se precisó desarrollar una etapa encargada de controlar las revoluciones del motor, para asegurar una velocidad de por lo menos 16 revoluciones por segundo y cumplir con el principio de persistencia retiniana. De esta manera, siempre veremos una imagen estática o en movimiento. Además, se asegura que el tamaño de los caracteres no varíe, lo que causa defectos en las proyecciones.

Al comparar este dispositivo con uno similar del mercado, por ejemplo una matriz de leds, se disminuye considerablemente el consumo de potencia, debido a que no se requieren alrededor de 39 leds RGB para publicar lo que proyecta este dispositivo con las mismas dimensiones. Por ejemplo, cada led consume 20mA y 2v, son 39 en grupos de 3, porque son RGB, y se obtiene un ahorro de potencia de alrededor de unos 5W.

Finalmente, las diferentes herramientas de simulación por computador, Proteus®, CAD® y CAM®, tanto en Windows® como en Linux, usadas para avanzar en la investigación, permiten visualizar con alto grado de precisión los sistemas concebidos en el modelamiento mecánico y electrónico para soportar con aceptable calidad la programación de información sobre el microcontrolador.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Catala, La forma de lo real: Introducción a los estudios visuales. Barcelona, España: Editorial UOC, 2008.
- [2] Wikipedia, “Joseph-Antoine Ferdinand Plateau”, 2009. Consultado en [http://es.wikipedia.org/wiki/Joseph-Antoine\\_Ferdinand\\_Plateau](http://es.wikipedia.org/wiki/Joseph-Antoine_Ferdinand_Plateau)
- [3] R. Pallas, Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona, España: Editorial Marcombo, 2003.
- [4] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, “Evolución tecnológica de la televisión”, 2010. Consultado en [http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/libros03.\\_parte\\_i.\\_evolucion\\_tecnologica\\_de\\_la\\_television\\_498845aa.pdf](http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/libros03._parte_i._evolucion_tecnologica_de_la_television_498845aa.pdf)
- [5] Leonart, “Radio Televisión Española”, 2010. Consultado en <http://www.leonart.tve.es/061226/ciencia/pdf/ciencia.pdf>
- [6] S. J. Chapman, Maquinas eléctricas. Bogotá, Colombia: Mac Graw Hill, 1993.
- [7] Youtube, “The Propeller Clock”, 2010. Consultado en <http://www.youtube.com/watch?v=-6JnAxTXApw&feature=related>
- [8] DSpace\_UTPL, Repositorio de Material Educativo de la Universidad Técnica Particular de Loja, “Diseño e implementación de un sistema para proyección de imágenes estroboscópicas basadas en tecnología led”, 2010. Consultado en <http://repositorio.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/3396/1/620X1853.pdf>
- [9] Luberth, “Analog and digital propeller clock”, 2010. Consultado en <http://www.luberth.com/analog.htm>
- [10] “Motor RS-505”, 2010. Consultado en [http://www.kysanelectronics.com/Products/datasheet\\_display.php?recordID=1517](http://www.kysanelectronics.com/Products/datasheet_display.php?recordID=1517)
- [11] B. Kuo, Sistemas de control automático. México: Prentice Hall Hispanoamérica, 1995.
- [12] K. Ogata, Ingeniería de control moderno. Madrid, España: Pearson Educación, 2003.
- [13] F. Valdés P., Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC. Es-

- paña: Editorial Marcombo, 2007.
- [14] Microchip, "PIC16F628", 2010. Consultado en <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044G.pdf>
- [15] T.L. Floyd, Fundamentos de sistemas digitales. España: Prentice Hall, 1997.
- [16] Sparkfun, "LED RGB", 2010. Consultado en <http://www.sparkfun.com/datasheets/Components/YSL-R596CR3G4B5C-C10.pdf>
- [17] Texas Instruments, "74HC574". Consultado en <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cd54hc374.pdf>
- [18] E. García B., Compilador C Ccs y simulador Proteus para microcontroladores PIC. España: Alfa Omega, 2008.