

**CONTROL AUTOMÁTICO DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR DC MEDIANTE
PROCESAMIENTO DE IMAGENES**

**ING. JUAN ALBERTO SABOGAL LINARES
ING. GILBERTO ANDRES VARGAS ORTEGA**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2013**

**CONTROL AUTOMÁTICO DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR DC MEDIANTE
PROCESAMIENTO DE IMAGENES**

**ING. JUAN ALBERTO SABOGAL LINARES
ING. GILBERTO ANDRES VARGAS ORTEGA**

**TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL**

**DIRECTOR DEL PROYECTO
RAQUEL DÍAZ RAMÍREZ
INGENIERA ELECTRÓNICA
ESPECIALISTA EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Mayo 2013

Queremos dedicarle este gran éxito a Dios, por darnos la oportunidad de poder estudiar, la bendición de crecer en una familia amoroso, de tener grandes amigos y de darnos fuerzas, sabiduría y mucha disciplina para alcanzar nuestras metas, objetivos y logros.

A nuestros padres que siempre estuvieron a junto con nosotros, educándonos, enseñándonos; sobre todo apoyándonos en cada paso y decisión que tomamos con su gran cariño creyendo en nosotros.

A la Ingeniera Raquel Díaz Ramírez, por su apoyo y amor que le imprime a su trabajo, de igual forma por su entrega, su experiencia y conocimiento durante el desarrollo de este proyecto.

Ing. Juan Alberto Sabogal Linares
Ing. Gilberto Andrés Vargas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) Bucaramanga, por brindarnos la oportunidad de realizar la especialización en Control e Instrumentación Industrial y ofrecernos el apoyo necesario para lograr el desempeño deseado.

Al personal de la facultad de Ingeniería Electrónica por su respaldo y colaboración, por su calidad humana el cual nos permitió de un ambiente de trabajo y estudio agradable.

Igualmente agradecimiento a los docentes de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) Bucaramanga en especial a la Ingeniera Raquel Díaz Ramírez por su colaboración y apoyo incondicional en el transcurso de la especialización. Pues nos proporcionaron el espacio y los medios necesarios para concluir con éxito éste proceso de formación.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	15
1.1. OBJETIVO GENERAL.	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	15
2. CONTROL	16
2.1. DEFINICIÓN DE CONTROL AUTOMÁTICO.	16
2.1.1. Tipos de Sistema de Control.	17
2.2. CARACTERÍSTICAS DE UN CONTROL AUTOMÁTICO.	19
3. PWM (MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSOS)	20
3.1. VENTAJAS	21
3.2. DESVENTAJAS	21
4. ESTÁNDAR RS232.	22
4.1 ASIGNACIÓN DE TERMINALES DEL RS232.	23
4.2. VENTAJAS DE LOS PUERTOS RS232.	25
4.3 DESVENTAJAS DE LOS PUERTOS RS232.	26

5. MOTORES.	27
5.1 MOTORES CORRIENTE CONTINUA (DC)	27
5.1.1 El Rotor.	28
5.1.2. El Estator.	29
6. VARIABLE VELOCIDAD.	31
7. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.	32
7.1. UTILIDAD DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.	33
7.2. REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LOS COLORES.	34
7.3 SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES.	35
7.3.1. Tipos de Segmentación.	35
7.4 ETAPAS PARA EL PROCESAMIENTO DE UNA IMAGEN.	36
8. SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO.	37
8.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL.	38
8.2. MOTOR DC.	40
8.3 CÁMARA.	40
8.4. SISTEMA CÓMPUTO.	41
8.5. CIRCUITO DE CONTROL.	45
8.5.1. Circuito de Comunicación.	46
8.5.2. Potencia.	47
8.5.2.1. Integrado L239D.	48
8.6. MICROCONTROLADOR.	49
8.6.1. Ventajas del microcontrolador 16F877A:	50

8.7. SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL.	51
9. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.	52
9.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES.	52
10. CALCULO DE LA VELOCIDAD.	55
11. APLICACIÓN DEL CONTROL.	60
11.1. Interfaz del Control para el Usuario.	63
12. COMUNICACIÓN PC – MICROCONTROLADOR.	63
12.1. INTEGRADO MAX 232.	63
12.1.1. Características del Integrado MAX 232	64
13. CONTROL DE VELOCIDAD.	65
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	70

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Terminales del Puerto RS232 [20]	23
Tabla 2. Componentes del Sistema de Control de Velocidad [Los Autores]	38
Tabla 3. Descripción del Procesamiento de Imágenes [Los Autores]	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de Control Automático Lazo Abierto [16]	17
Figura 2. Sistema de Control Automático Lazo Cerrado [16]	18
Figura 3. Señal de Control PWM [19]	20
Figura 4. Terminal RS232 [20]	23
Figura 5. Motores de Corriente Continua [14]	27
Figura 6. El Rotor [14]	29
Figura 7. El Estator [14]	30
Figura 8. Espacio tridimensional de colores RGB [21]	34
Figura 9. Sistema de Control en Lazo Cerrado [Los Autores]	37
Figura 10. Motor DC para Realizar el Movimiento del Disco [Los Autores]	40
Figura 11. Cámara [26]	41
Figura 12. Sistema Computo [Los Autores]	42
Figura 13. Circuito de Control [Los Autores]	45
Figura 14. Circuito de Comunicación [Los Autores]	46
Figura 15. Circuito de Potencia [Los Autores]	47
Figura 16. Integrado L239D [25]	48
Figura 17. Microcontrolador 16F877A [22]	50
Figura 18. Diseño del Simulador del Circuito de Control [Los Autores]	51
Figura 19. Disco Giratorio con sus Puntos de Referencia [Los Autores]	55
Figura 20. Angulo α del Primer Cuadrante [Los Autores]	57
Figura 21. Angulo α del Segundo Cuadrante [Los Autores]	57
Figura 22. Angulo α del Tercer Cuadrante [Los Autores]	58
Figura 23. Angulo α del Cuarto Cuadrante [Los Autores]	59
Figura 24. Diagrama de Flujo Aplicación de Control [Los Autores]	60

Figura 25. Interfas de Control para Usuario [Los Autores]	64
Figura 26. Integrado MAX 232 [24]	64
Figura 27. Sistema de Control de Velocidad por Procesamiento de Imágenes Final [Los Autores]	65
Figura 28. Prueba Uno del Sistema de Control de Velocidad [Los Autores]	66
Figura 29. Prueba Dos del Sistema de Control de Velocidad [Los Autores]	66
Figura 30. Prueba Tres del Sistema de Control de Velocidad [Los Autores]	67

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: CONTROL AUTOMÁTICO DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR DC MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

AUTOR: ING. JUAN ALBERTO SABOGAL LINARES.
ING. GILBERTO ANDRES VARGAS ORTEGA.

FACULTAD: ESP. EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

DIRECTOR: ING. RAQUEL DÍAZ RAMÍREZ

RESUMEN

El constante avance de las empresas en Colombia (que su mayoría pertenecen al sector privado) facilita el empleo de nuevos métodos y tecnologías para mejorar la productividad y calidad. Sin embargo aún es un problema la falta tecnologías en control digital que cumplan con los requerimientos específicos de las empresas en los distintos sectores industriales, por lo que se hace cada vez más necesario el desarrollo e implementación de sistemas más universales.

Por lo anterior se pensó en la realización de este proyecto, en donde se desarrolló un sistema que mediante el procesamiento de imágenes desde una cámara web permite generar acciones de control de velocidad de un motor DC en un sistema cuyo fin principal es meramente el estudio académico.

Esto fue posible mediante un control en lazo cerrado, cuya variable de retroalimentación fue la velocidad de giro del motor determinada en el procesamiento de imágenes en un disco acoplado solidariamente al eje del motor.

El montaje consta de un motor DC controlado por PWM que es generado en un microcontrolador, el cual a su vez es alimentado con información proveniente de un sistema de cómputo en el que se realiza el reconocimiento de imágenes, toma de decisiones, entrada de datos requeridos, etc. Por medio de una cámara web se capturan las imágenes de un disco (en blanco y negro) montado sobre el eje del motor. Dependiendo de la velocidad de captura (entre imágenes) y la diferencia en la posición de una marca intencional en el disco, se determina el ángulo recorrido y la velocidad del motor. Los datos de la velocidad de rotación del disco en cada ciclo son comparados con el punto de consigna definido por el usuario y se ejecutan las acciones pertinentes para lograr el control y la estabilidad del sistema.

PALABRAS CLAVE: Procesamiento, Señales Digitales, Velocidad, Control Digital, Motor DC, Funciones, Instrumentación, Metrología.

ABSTRACT OF PROJECT THESIS

TITLE: AUTOMATIC SPEED CONTROL FOR DC MOTOR THROUGH IMAGE PROCESSING.

AUTHOR: ENG. JUAN ALBERTO SABOGAL LINARES.
ENG. GILBERTO ANDRES VARGAS ORTEGA.

FACULTY: SPEC. CONTROL AND INDUSTRIAL INSTRUMENTATION

DIRECTOR: ENG. RAQUEL DÍAZ RAMÍREZ

ABSTRACT

The steady growth of companies in Colombia (which mostly belong to the private sector) facilitates the use of new methods and technologies to improve productivity and quality. But it is still a problem the lack digital control technologies that meet the specific requirements of companies in different industries, so it becomes increasingly necessary to the development and implementation of universal systems. Therefore, it was thought in the realization of this project, which developed a system by processing images from a web camera to generate control actions of a DC motor speed in a system whose primary purpose is purely academic study.

This was made possible by a closed-loop control, which was the feedback variable motor speed determined in the image processing on a disk integrally attached to the motor shaft.

The assembly consists of a PWM controlled DC motor which is generated in the microcontroller, which in turn is fed information from a computer system which performs image recognition decision making required input etc.. Through a web camera captures the images on a disc (black and white) mounted on the motor shaft. Depending on the capture rate (between frames) and the difference in the position of a mark on the disc intentional, path angle is determined and the engine speed. The data from the disk rotational speed at each cycle are compared with the setpoint defined by the user and run the necessary actions to achieve control and system stability.

KEYWORDS: Processing, Digital Signal, Speed, Digital Control, DC Motor, Features, Instrumentation, Metrology.

INTRODUCCIÓN

El proyecto expuesto a continuación se desarrolló como requisito para optar el título de Especialistas en Control e Instrumentación Industrial en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga; en el cual se aplicaron conceptos sobre control automático de velocidad y su aplicación a un motor mediante reconocimiento de imágenes.

En la actualidad el uso de sistemas de control en los procesos industriales es muy común, siendo muchos de estos basados en procesamiento digital de imágenes. El proceso de captura de imágenes se basa en determinados elementos que componen una imagen, como frecuencia, amplitud, escalas, entre otros; en donde se trabajó con estos elementos para la toma de imagen completa o por zonas concretas, la cual puede extraer características que representen la velocidad de un motor.

Por lo enunciado anteriormente se realizó este proyecto el cual presenta un sistema de control de velocidad para un motor dc en imágenes donde estos sistemas pueden ser dirigidos a cualquier tipo de industria, especialmente en la que los montajes "in situ" para control de maquinaria rotativa (por sensorica tradicional) sean complicados por cuestiones ambientales, de temperatura, vibraciones, factores electromagnéticos, entre otras.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar un sistema de control de velocidad para un motor dc, por medio de dispositivos electrónicos alimentados con información obtenida de un software de procesamiento de imágenes a fin de garantizar la retroalimentación y estabilidad en el control.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Desarrollar una aplicación que permita el reconocimiento de imágenes desde una cámara web y generar señales de control desde un computador.

Realizar un montaje básico que conste de dispositivos electrónicos y elementos para el reconocimiento de imágenes, que permita probar experimentalmente el sistema de control de velocidad diseñado.

2. CONTROL

El control fue creado con el objetivo manejar los tiempos en los procesos industriales, para el progreso y crecimiento de esta. El control fue desarrollado durante la revolución industrial, en donde el producto de la evolución de este sistema se basó en la combinación de medición y control.

El control permite reducir errores, disminuir los costos de los procesos industriales y mejorar la eficiencia y la calidad en los procesos industriales. La comprensión del principio de control automático es fundamental en la ingeniería moderna por su uso en varias áreas como la electrónica, mecánica, informática, entre otras.

2.1. DEFINICIÓN DE CONTROL AUTOMÁTICO.

El control automático se encuentra integrado por un grupo de dispositivos conectados entre sí, el cual permite entregar una respuesta deseada y adecuada del sistema; de igual forma posibilita el manejo de múltiples operaciones en un circuito, como prevenir errores o corregir errores.

El control automático es aquel que puede regular el funcionamiento de un equipo o de un sistema según la necesidad del usuario o requerida por el proceso; estos controles se encuentran permanentemente capturando señales del estado del sistema para poder detectar algún tipo de error en las variables establecidas.

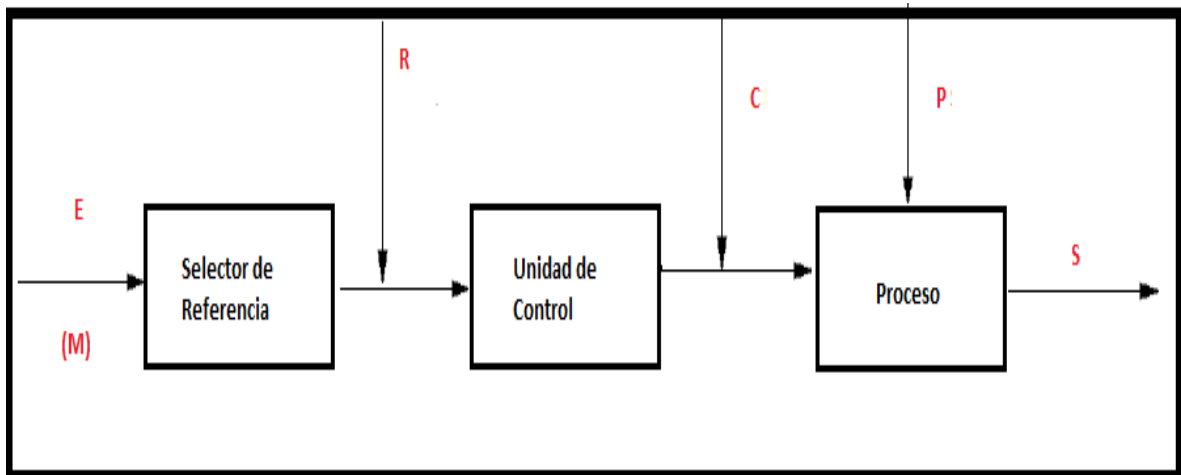
El control automático también se encarga de mantener un valor deseado o un valor asignado dentro de una condición, esto permite comparar el valor existente con el valor deseado; es decir, el control automático trabaja sobre un lazo cerrado de acción y reacción sin necesidad de ser interferido por el hombre.

El control automático puede ser utilizado para innumerables procesos en empresas; Tienen una gran aceptación en el campo científico y en avances tecnológicos.

2.1.1. Tipos de Sistema de Control.

Lazo Abierto: Los sistemas de control lazo abierto son aquellos en los que la señal de entrada no influye sobre la salida, es decir la señal de salida es independiente a la señal de entrada y no se convierte en la señal de entrada para el control.

Figura 1. Sistema de Control Automático Lazo Abierto [16]



Selector de referencia: Es aquel en el cual se evalúa la señal de mando para establecer la señal de referencia que controlará el proceso.

Unidad de control: Toma la señal de referencia para que pueda controlar el proceso. El elemento que se encarga de esta función es el actuador.

Proceso: Realiza todas las acciones necesarias para entregar la señal de salida adecuada.

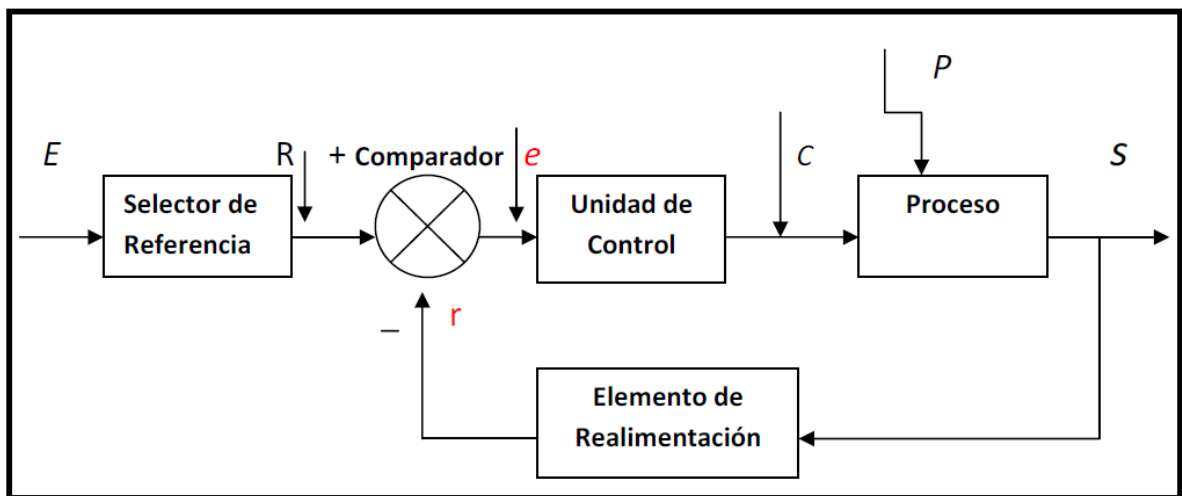
•**E:** Señal de entrada.

•**S:** Señal de salida.

•**P:** Perturbación.

Lazo Cerrado: También conocidos como sistemas de control realimentados, Los sistemas de control de lazo cerrado son aquellos en los que la acción de control depende de la señal de salida.

Figura 2. Sistema de Control Automático Lazo Cerrado [16]



Selector de referencia: Es aquel en el que se evalúa la señal de mando para establecer la señal de referencia, que controlará el proceso. El elemento que se encarga de esta función es el transductor.

Unidad de control: Toma la señal de referencia para que pueda controlar el proceso. El elemento que se encarga de esta función es el actuador.

Proceso: Realiza todas las acciones necesarias para entregar la señal de salida adecuada.

Comparador: Elemento que compara la señal de referencia, con la señal realimentada de la salida

- E:** Señal de entrada.
- S:** Señal de salida.
- P:** Perturbación.

2.2. CARACTERÍSTICAS DE UN CONTROL AUTOMÁTICO.

Dentro de las principales características del control automático de procesos se destacan:

- Mayor fidelidad en los procesos industriales, menor tendencia a cometer errores.
- Estabilidad, el control permite al sistema estar en estado de equilibrio y pendiente de cualquier perturbación de este estado para arreglarlo o corregirlo.
- El control maneja una precisión alta debido a que permite mantener las variables dentro del sistema de forma tolerable según sus referencias.
- Velocidad de respuesta, el control entrega respuestas de forma rápida y correcta a nuevas condiciones de equilibrio del sistema, ya sean por errores o por cambios de valores en las referencias de las variables.

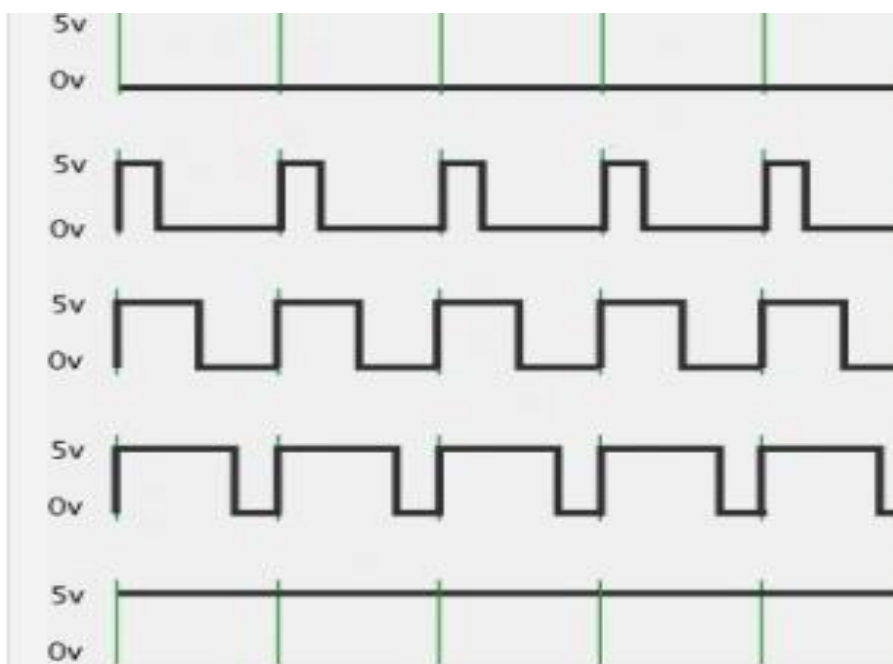
3. PWM (MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSOS)

Los controladores PWM son aquellos circuitos que transforman los pulsos lógicos o de baja potencia en pulsos de corriente para poder excitar los bobinados de los motores; de esta forma es posible la transmisión de datos por medio de un canal de comunicación para supervisar la potencia con la que se envía una carga y la regulación del voltaje.

De igual forma el PWM es un control que regula la velocidad de giro en los motores DC, el sentido de rotación y el frenado del motor.

Para el control de velocidad de un motor DC utiliza una señal cuadrada la cual permite determinar a qué velocidad debe girar el motor en un tiempo de señal alta.

Figura 3. Señal de Control PWM [19]



En la figura 3, se muestra una modulación de ancho de banda en un sistema digital, en donde hay dos conceptos importantes para la modulación de la señal; la frecuencia y el ancho de los pulsos. Por medio de la modificación de estos parámetros (principalmente el ancho de los pulsos) se regula la energía entregada al sistema que desea controlar. Generalmente para el control PWM la frecuencia el voltaje son constantes y la variación se realiza en el ancho de los pulsos, a diferencia de otros sistemas que regulan el voltaje y/o frecuencia.

3.1. VENTAJAS

- El PWM, permite el control de corriente que entra en el generador de forma muy fácil y sencilla. Por lo que el sistema trabaja a temperaturas adecuadas y lo mantiene fresco y prolonga la vida de este.
- El PWM no realiza salto de pulsos y hace el tiempo del sistema más corto para acomodar las cargas ligeras del circuito, de esta forma la frecuencia de los pulsos es constante.
- El PWM es muy sencillo de implementar, no tiene ningún inconveniente con el ruido, la banda de frecuencia es limitada y es un control económico y fácil de conseguir.

3.2. DESVENTAJAS

- Pueden ser propensos a las interferencias que producen las radiofrecuencias.
- El PWM necesita de un amplificador de error y la estabilidad de la retroalimentación no es muy confiable como otros controladores.
- Los PWM no tienen una eficiencia adecuada en condiciones de carga ligera.

4. ESTÁNDAR RS232.

El RS232 o también conocido como EIA/TIA-232 por las siglas de *Electronics Industry Association* y *Telecommunications Industry Association*, es un estándar o protocolo creado hace 40 años con el objetivos de poder conectar unos sistema cómputos con los módems de esa época, a raíz de este estándar aparecieron otras versiones como RS-232-C, RS-232-D, RS-232-E, entre otras.

El RS232 es un protocolo que administra el modo en que se debe realizar la comunicación de forma serial, también estandariza o rige las velocidades de transferencia de datos, la forma como controla la transmisión de datos, los niveles de voltaje que debe manejar, el tipo de cable que se debe utilizar y conectores tanto para la transmisión y recepción de datos a nivel de hardware.


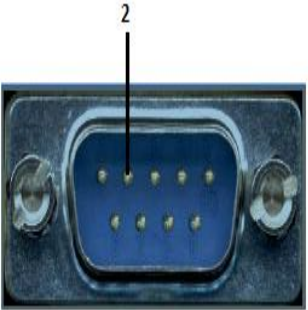
A nivel de software el protocolo RS2323 informa la configuración que debe tener una conexión por medio de los puertos seriales RS232, es decir que indica que tipo de velocidad se debe emplear para la trasmisión y recepción de datos, de igual forma comunica como se puede verificar los datos, los bits de parada luego de cada dato y la cantidad de bits por dato que se aplica para cada símbolo o carácter que va a transmitir.

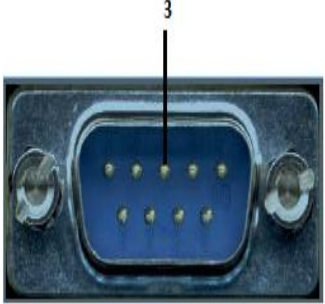
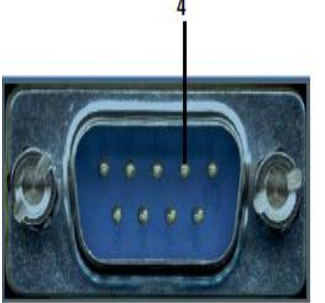
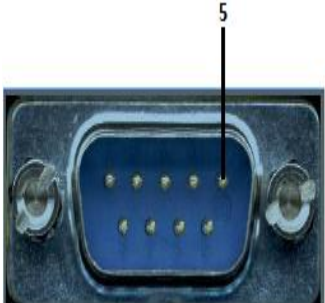
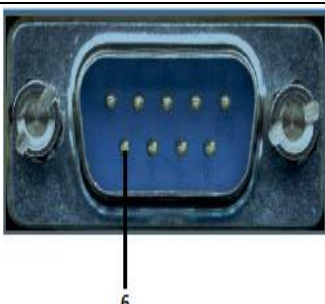
4.1 ASIGNACIÓN DE TERMINALES DEL RS232.

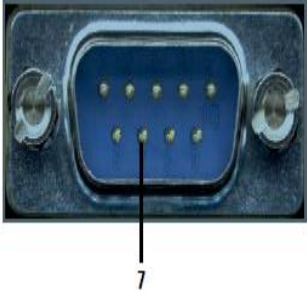
Figura 4. Terminal RS232 [20]



Tabla 1. Terminales del Puerto RS232 [20]

PIN	NOMBRE	FUNCION	UBICACIÓN
Pin 1	Data carrier detect	Es el que verifica por donde se transmite los datos se encuentre libre, de lo contrario realiza un seguimiento para confirmar en que momento queda libre.	
Pin 2	Receive Data	Es el que recibe la información o datos de un bit a la vez.	

PIN	NOMBRE	FUNCION	UBICACIÓN
Pin 3	Transmit Data	Es por donde se transmite la información o datos de un bit a la vez.	
Pin 4	Data Terminal Ready	Es el terminal donde la computadora le informa al modem que ella se encuentra preparada para recibir los datos.	
Pin 5	Signal Ground	Es el terminal de la señal de salida el cual es de cero volts.	
Pin 6	Data Set Ready	Es el terminal donde el modem le entrega respuesta a la computadora de la información o datos que acabo de enviar.	

PIN	NOMBRE	FUNCION	UBICACIÓN
Pin 7	Request To Send	Es terminal donde la computadora le informa al modem que puede iniciar a transmitir los datos, si el modem está de acuerdo empieza la transmisión de los datos.	
Pin 8	Clear To Send	Es donde se informa que la computadora ya puede empezar a transmitir los datos o puede cancelar la transmisión	
Pin 9	Ring Indicator	Es terminal donde informa o indica que se transmitiendo los datos	

4.2. VENTAJAS DE LOS PUERTOS RS232.

- La mayoría de los sistemas cómputos traían al menos un puerto serial. En la actualidad es posible disponer de una salida serial desde un computador mediante cables de conexión a puertos USB que se encuentran en los sistemas cómputos modernos.
- Trabaja con velocidades de hasta 250kbps y con voltaje operacional de 3 a 5 volts.

- El puerto serie RS-232 utiliza cableado simple de 3 hilos hasta 25 y conecta ordenadores o microcontroladores de todo tipo de periféricos, como terminales de impresoras y módems.

4.3 DESVENTAJAS DE LOS PUERTOS RS232.

- En la actualidad están siendo remplazados por nuevos puertos como USB, serial ATA, entre otros.
- Estos puertos son complejos para configurar las conexiones de serie, es necesario tener suficiente conocimiento del uso de comandos complejos si se está cometiendo errores en la configuración.

5. MOTORES.

Los motores son máquinas, que producen energía mecánica, energía eléctrica, entre otras. Los motores de combustión transforman la energía química, contenida en el combustible, en energía mecánica para el movimiento del vehículo. Los motores utilizan la inducción electromagnética que produce la electricidad para producir movimiento, según sea la constitución del motor.

5.1 MOTORES CORRIENTE CONTINUA (DC)

Los motores de corriente continua son aquellos que puede convertir la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores de corriente continua se fabrican con rotores bobinados y con estatores bobinados.

Los motores de corriente continua son los más innovadores en la industria. Su fácil manejo de posición y velocidad lo han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos.

Figura 5. Motores de Corriente Continua [14]



Los motores de corriente continua están elaborados por dos elementos importantes:

- El Rotor
- El Estator

5.1.1 El Rotor. Es la parte que permite la movilidad del motor, proporciona el torque para mover a la carga. Está formado por:

- **Eje:** Formado por una barra de acero. Imparte la rotación al núcleo.
- **Núcleo:** Se encuentra ubicado sobre el eje. Su función es proporcionar un trayecto magnético entre los polos para que el flujo magnético del devanado circule.
- **Devanado:** Esta hecho de bobinas aisladas entre sí y entre el núcleo de la armadura. El movimiento de estas de forma rotatorio, proporciona un camino de conducción.
- **Colector:** También conocido como el conmutador, está hecho de láminas de material conductor, separadas entre sí y del centro del eje por un material aislante. El colector se encuentra ubicado sobre uno de los extremos del eje del rotor, de tal forma que gira con éste y está en contacto con las escobillas. Su función es de coger la tensión producida por el devanado.

- **Escobillas:** Las escobillas están hechas de carbón, y poseen una dureza menor que la del colector, para evitar que éste se desgaste rápidamente, su función es transmitir la tensión y corriente de la fuente de alimentación hacia el colector y por consiguiente, al bobinado del rotor.

Figura 7. El Estator [14]



El motor de corriente continua implementado en el proyecto, es el encargado de realizar el movimiento del disco para visualizar el punto de referencia angular, tiene una relación de reducción de velocidad de 345:1, un torque de 2276 gramos fuerza por centímetro y trabaja de 3 a 9 volts.

6. VARIABLE VELOCIDAD.

La velocidad es una magnitud física que expresa la distancia recorrida por un objeto en un determinado tiempo, en el sistema internacional de medida la unidad en la que se expresa la velocidad lineal es m/s.

Para este proyecto en particular la variable de control es la velocidad angular, esta difiere de la velocidad lineal debido a que está definida para movimientos circulares cíclicos. La velocidad angular en el sistema internacional suele ser expresada en radianes por segundos (rad/s) o en revoluciones por minuto (RPM) esta última es análoga a la frecuencia de giro.

La proporción entre rad/s y RPM es:

$$1 \text{ RPM} = 0,10471976 \text{ rad/s}$$

7. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

El procesamiento de imágenes es un conjunto de técnicas que tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se deben resaltar, de igual forma el procesamiento de imágenes también busca extraer características de interés en la imagen.

La formación de una imagen digital es el primer paso para poder procesarla; radica en un sistema óptico y el digitalizador, mediante el cual la imagen óptica se transforma en una señal eléctrica que permitirá el procesamiento.

Las imágenes digitalizadas no siempre presentan una calidad apropiada para su utilización, esto se debe a que la imagen original posiblemente provenga con ruido o degradación de la misma; por lo cual es importante restaurar la imagen con unas técnicas antes de procesarla.

En el procesamiento digital de imágenes se captura la imagen por medio de una cámara, posteriormente esa imagen es transferida al computador en forma de una matriz en la cual cada ubicación (fila y columna) corresponde a un pixel; luego se debe establecer un valor numérico a la luminosidad promedio de cada pixel, de esta forma los valores de la luminosidad de cada pixel junto con sus coordenadas que indican su posición, definen completamente la imagen.

Posteriormente se deben cambiar los valores de la luminosidad de los pixeles mediante operaciones o transformaciones matemáticas, para que sobresalgan los detalles de la imagen que sean importantes. Por último se debe pasar la representación de estos pixeles a un monitor de alta definición, con el fin de mostrar la imagen procesada.

Cuando una imagen es digitalizada, esta se puede considerarse como monocromática, la cual es representada por la función $F(X,Y)$ donde X,Y manifiestan coordenadas espaciales, y el valor de F significa intensidad en cualquier punto (X,Y) que proporciona el nivel de gris (brillo) en la imagen. Una imagen bidimensional es aquella donde $F(X,Y)$ ha sido separada en coordenadas espaciales y brillo.

7.1. UTILIDAD DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

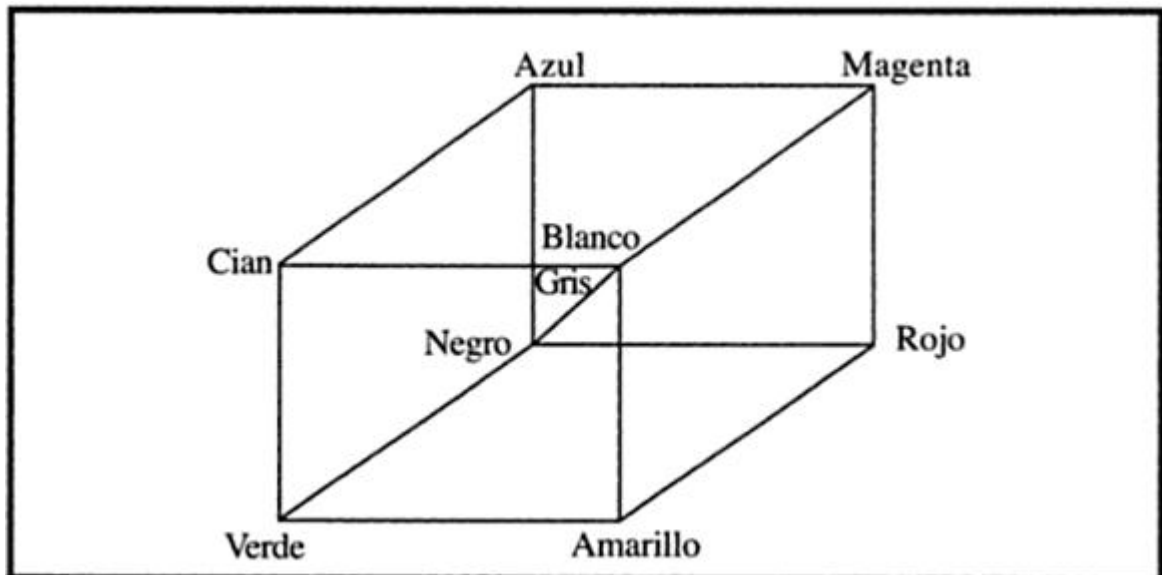
El beneficio del procesamiento de imágenes es muy alto y es posible utilizarla en muchos campos. Un ejemplo son las imágenes obtenidas con fines médicos, para poder dar diagnósticos correctos. Otro beneficio son las imágenes que se obtienen desde plataformas aéreas para realizar análisis del terreno, por medio de esta utilidad se pueden estudiar fallas geológicas del terreno, entre otras.

Para este proyecto su beneficio es poder determinar la velocidad angular con la que el motor DC está haciendo girar un disco, por medio de una cámara web captura las imágenes del disco (en blanco y negro) montado sobre el eje del motor, dependiendo de la velocidad de captura y la diferencia en la posición de una marca en el disco se determina la velocidad del motor.

7.2. REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LOS COLORES.

Las imágenes capturadas por la cámara inicialmente están definidas por tres valores en cada pixel, estos valores corresponden a la cantidad de rojo, verde y azul que definen la coloración del pixel, este formato es conocido como RGB.

Figura 8. Espacio tridimensional de colores RGB [21]



De igual forma es posible representar cualquier imagen en escala de grises en donde solo existe un valor por pixel, el cual indica la intensidad de color entre blanco y negro.

La imagen binaria posee menos información que las imágenes RGB y en escala de grises, debido a que cada pixel está determinado por un valor cero o uno (sin valores intermedios) para representar blanco o negro.

7.3 SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES.

La segmentación de imágenes consiste en realizar cambios en los formatos de la imagen a fin de que permita obtener solo la información necesaria la cual es aislada para su fácil identificación.

Los algoritmos de segmentación se basan en dos propiedades:

- **Discontinuidad:** Particionar una imagen según los cambios en la intensidad.
- **Similitud:** Particionar una imagen en regiones según el conjunto de criterios predefinidos (crecimiento de región y umbralización)

7.3.1. Tipos de Segmentación.

- **Segmentación basada en características:** Es aquella donde se asigna un pixel en una región en función de características de la imagen.
- **Segmentación basada en transiciones:** Es aquella donde aplican sobre la imagen, o sobre un plano de características y un detector de bordes. Las regiones se definen a partir de las fronteras delimitadas por los bordes detectados.
- **Segmentación basada en modelos:** son aquellas en las que se conocen algunas características de los objetos o regiones a encontrar en la imagen: rectas, objetos circulares, entre otras.
- **Segmentación basada en homogeneidad.** Son aquellas en donde se trabajan en las zonas planas por medio de operadores conexos a través de la participación del espacio.

7.4 ETAPAS PARA EL PROCESAMIENTO DE UNA IMAGEN.

- Determinar que objetos son los que se van a determinar o buscar.
- Captura y/o adquisición de la imagen.
- Procesamiento de imágenes.
- Segmentación de imágenes.
- La descripción de la imagen.
- El reconocimiento de la imagen.
- La interpretación de la imagen.

8. SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO.


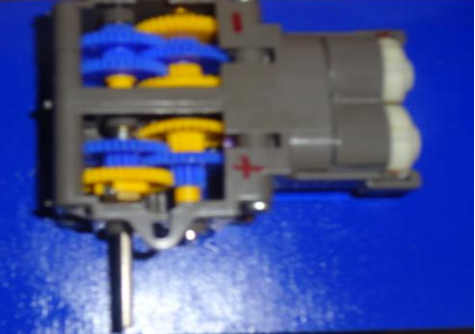
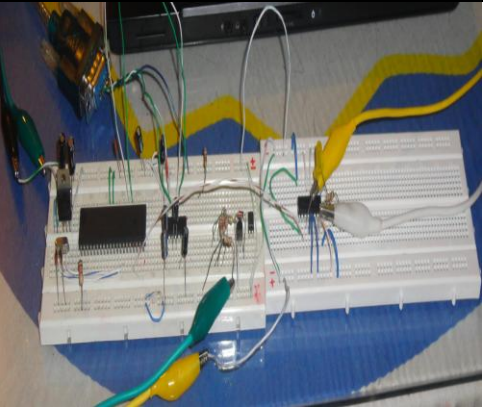
Figura 9. Sistema de Control en Lazo Cerrado [Los Autores]


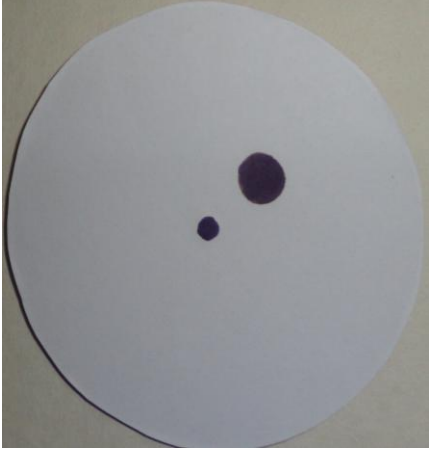



El sistema de control que se muestra en la figura 9, procesa las imágenes de un disco que se encuentra ubicado en el eje de un motor DC, el cual por medio de un control PWM permite modificar la velocidad de giro automáticamente a un set point definido por el usuario.

8.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL.

Tabla 2. Componentes del Sistema de Control de Velocidad [Los Autores]

PARTE	NOMBRE	CARACTERISTICA	IMAGEN
1	Fuente	Regula el potencial a 12 volts de manera constante	
2	Motor DC	Es el objeto del control el cual permite que el disco gire.	
3	Circuito de Control	Se dividió en comunicación, potencia y microcontrolador que es el encargado de administrar todas las acciones del sistema.	

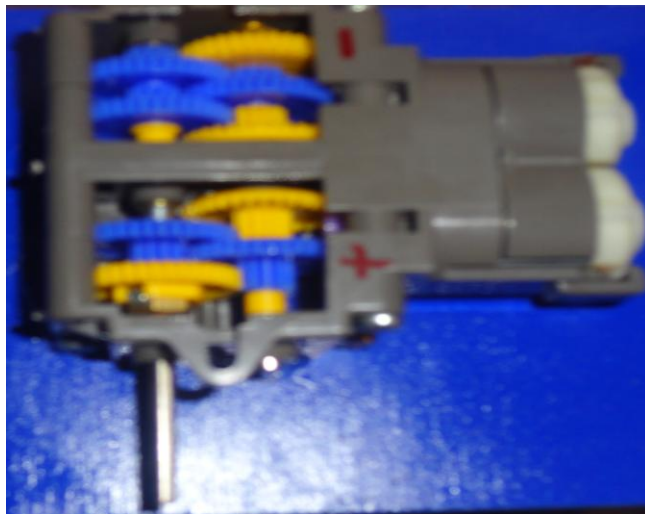
PARTE	NOMBRE	CARACTERISTICA	IMAGEN
4	Cámara	Toma fotos del disco en movimiento y las envía para ser procesadas, la cámara utilizada es la STAR TEC	
5	Disco	Permite visualizar la posición del eje del motor, se encuentra pintado de un color que permita ser detectado de manera fácil.	
6	Sistema Computo	Se encarga de procesar las imágenes, determinar la acción de control a ejecutar y transmite la información al microcontrolador por medio de comunicación serial a través del puerto usb.	

8.2. MOTOR DC.

El motor DC es el elemento principal del control, el cual está encargado de hacer que el disco gire para poder visualizar el punto de referencia angular, de igual forma el motor DC tiene una relación de reducción de velocidad de 345:1, un torque de 2276 gramos fuerza por centímetro y trabaja de 3 a 9 volts.

Se seleccionaron estas características debido a que fue necesario reducir la velocidad para permitir este control de velocidad con equipos de cómputos de gama media.

Figura 10. Motor DC para Realizar el Movimiento del Disco [Los Autores]



8.3 CÁMARA.

La función de la cámara es tomar las imágenes del disco en movimiento para que estas sean enviadas para poder ser procesadas.

La cámara que se utilizó en el proyecto es la STAR TEC cámara WEB HC 358 y presenta las siguientes características.

- Formato de video de 24 bits RGB.
- Un rango dinámico de 72db.
- Un rango de enfoque de 5cm – infinito.
- Compresión de imágenes.
- Balance automático de blancos.
- Compensación automática de color.

Figura 11. Cámara [26]



8.4. SISTEMA CÓMPUTO.

Este sistema puede ejecutarse con cualquier computador de gama media; para este proyecto se utilizó un sistema cómputo con las siguientes características:

- Procesador AMD dual core processor E – 350 de 1.60 GHz
- Memoria RAM de 4 GB
- Sistema operativo de 32 bits (Windows 7 home Premium)

- Disco Duro de 297 GB
- Matlab versión 7.9.0 (R2009b)

Figura 12. Sistema Computo [Los Autores]



Las funciones del sistema cómputo son las siguientes:

- Procesar las imágenes: El reconocimiento de imágenes esta implícito dentro del programa principal y funciona de la siguiente manera:
 - ✓ Partiendo de la obtención de imagen en RGB se procede a pasarla a escalas de grises, esto nos permite eliminar información innecesaria de la imagen.
 - ✓ Teniendo la imagen en grises se procede a convertirla en una imagen binaria (blanco y negro). En este paso se define un valor de umbral (threshold) y es el que permite denotar u ocultar algunos detalles de la imagen, que para nuestra aplicación en particular los elementos de interés son los dos puntos de referencia en el disco.
 - ✓ En este se halla el negativo de la imagen binaria con el objetivo de que los puntos de detección sean blancos.

- ✓ Teniendo el negativo, en el cual se perciben claramente los dos puntos blancos de diferente tamaño que sirven para determinar la posición angular del disco, se ejecuta un comando que permite hallar zonas blancas encerradas totalmente en pixeles negros.
 - ✓ En este paso se evalúan dos parámetros importantes en las zonas identificadas en el punto anterior, los cuales son: área y lados del rectángulo que permite encerrar el área blanca en su totalidad.
 - ✓ Para determinar los dos puntos (medio del disco y referencia angular) se realizarán diferentes mediciones con diferentes intensidades de luz y umbrales para establecer un rango de áreas entre las cuales se ubicará cada uno de los puntos de interés.
 - ✓ A cada imagen que es capturada por la cámara se le realiza el mismo proceso y se compara el área de cada una de las zonas encontradas con los rangos previamente hallados. Este criterio permite descartar la mayor parte de áreas las cuales no corresponden a los puntos deseados.
 - ✓ Posteriormente se comparan los lados de los rectángulos que encierran a las áreas blancas cuyo valor se encontraba dentro de los rangos requeridos. Teniendo en cuenta que las dos áreas de nuestro interés son circulares, el rectángulo que las encierra tiene sus lados iguales o casi iguales y esta condición permite eliminar las áreas restantes que de igual manera fueron capturadas pero no corresponden a los puntos de referencia en el disco.
 - ✓ Habiendo determinado la posición de las áreas de interés, se ejecuta una función que permite hallar el centroide de dichas áreas la cual se utilizará para el cálculo de la velocidad angular.
- Determinar la velocidad del giro del disco:
 - ✓ Se toma como referencia el centroide del punto que se encuentra ubicado en el centro del disco y se calcula la posición del centroide del punto de referencia angular como se evidencia más adelante en la figura

19; teniendo en cuenta que la posición en X corresponde al espaciado entre columnas de píxeles y la posición Y corresponde al espaciado entre filas de píxeles. Estos datos son guardados en una variable.

- ✓ Teniendo en cuenta que el disco posee una velocidad angular se realiza el mismo procedimiento para hallar los centroides de los dos puntos mencionados, lo cual permite determinar la nueva posición. Al realizar la resta entre el ángulo actual y el ángulo hallado en el ciclo anterior guardado previamente en una variable se determina el ángulo recorrido y teniendo en cuenta el tiempo de duración de cada ciclo (el cual también es medido y variable entre ciclos) se calcula la velocidad angular del disco.

- Determinar la acción del control a ejecutar:
 - ✓ El usuario ingresa una velocidad deseada (entre unos valores preestablecidos) de giro del disco.
 - ✓ El sistema compara la velocidad actual del disco que es determinada por el cálculo de los centroides de las imágenes y la velocidad requerida por el usuario.
 - ✓ Si la velocidad del disco es inferior a la velocidad requerida por el usuario se aumenta una unidad en el valor de Duty Cycle del ciclo actual en el PWM. Lo contrario ocurre si la velocidad del giro del disco es superior a la requerida por el usuario, en este caso el valor del Duty Cycle se reduce en una unidad para el ciclo actual.

- Transmitir la información al microcontrolador por medio de comunicación serial:
 - ✓ Una vez definido el Duty Cycle, este se envía desde Matlab al microcontrolador.

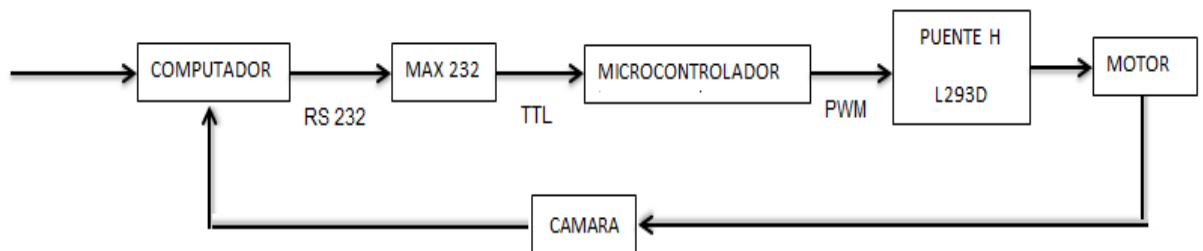
- ✓ Una vez que el microcontrolador reciba el valor del Duty Cycle este lo ingresa al control PWM para de esta forma modificar la velocidad de giro del motor.

8.5. CIRCUITO DE CONTROL.

El circuito de control es el encargado de administrar todas las acciones del sistema de control; este se encuentra dividido en tres:

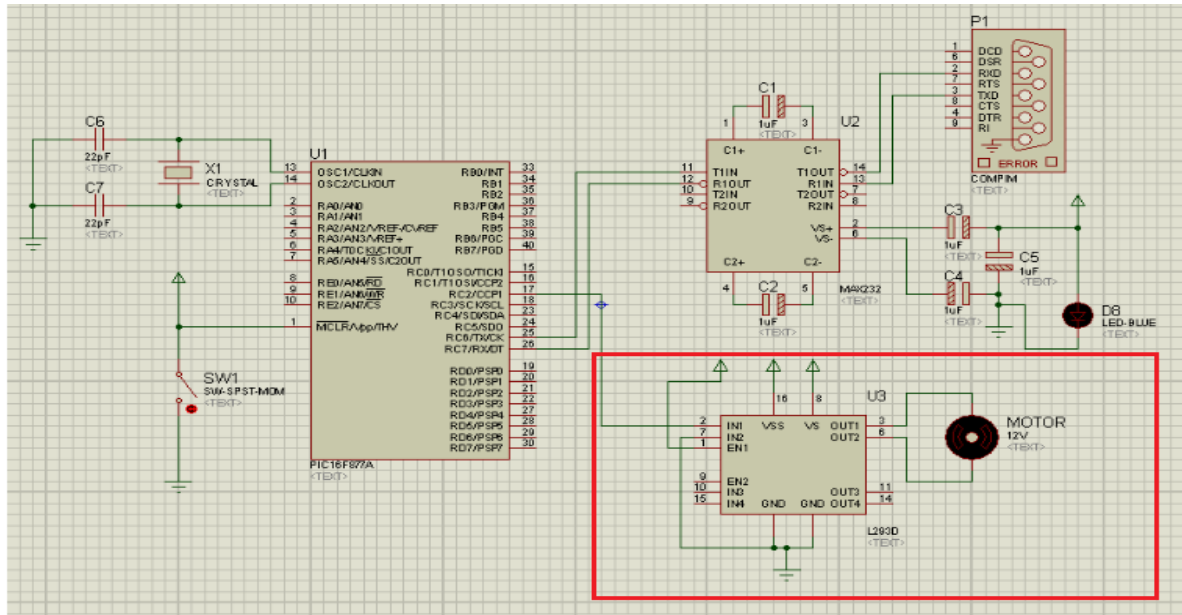
- Comunicación.
- Potencia.

Figura 13. Circuito de Control [Los Autores]



8.5.2. Potencia. Esta parte del circuito de control consta de un circuito que funciona de corte y saturación de un transistor, el estado de este transistor es a su vez controlado por la salida del PWM de microcontrolador, para este circuito se utilizó el integrado L239D.

Figura 15. Circuito de Potencia [Los Autores]



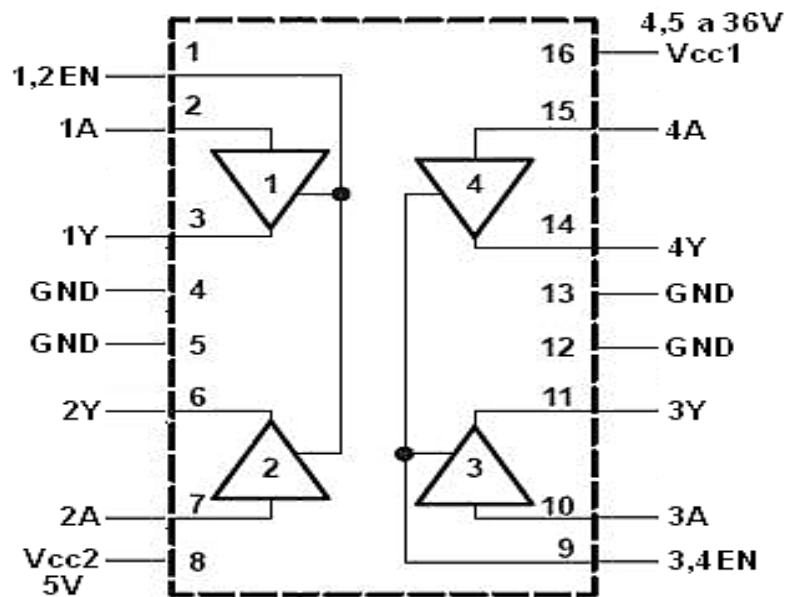
El circuito de potencia se encuentra diseñado de la siguiente forma:

- Una fuente de voltaje suficiente para mover el motor.
- Llega a un puente H L293D para controlar la potencia del motor mediante la señal PWM suministrada por el microcontrolador.
- Demás dispositivos que permiten que el circuito funcione correctamente.

8.5.2.1. Integrado L293D. El integrado L293D es aquel que nos permite controlar motores DC, estos integrados en su interior tienen cuatro circuitos pueden manejar cargas de potencia medias, en especial pequeños motores y cargas inductivas, igualmente tienen la capacidad de controlar corriente hasta 600 mA en cada circuito y una tensión entre 4,5 V a 36 V.

Los circuitos individuales que integran el L293D pueden ser utilizados de manera independiente para controlar cargas de todo tipo, cuando son motores, operan en un único sentido de giro.

Figura 16. Integrado L293D [25]



8.6. MICROCONTROLADOR.

Esta parte del circuito recibe la señal de control emitida por el computador y efectúa las modificaciones pertinentes en el duty cycle para que mediante el circuito de potencia se regule la velocidad del motor.

El microcontrolador utilizado en el proyecto fue el PIC 16F877A, este microcontrolador fue fabricado en tecnología CMOS, su consumo de potencia es bajo lo que los datos de la memoria no se borran lo que permite ser reprogramado sin necesidad de borrar la anterior información.

El microcontrolador presenta las siguientes características:

- Frecuencia máxima DX-20MHz.
- 8KB memoria de programa flash palabra de 14bits.
- 368 posiciones RAM de datos.
- 256 posiciones EEPROM de datos.
- Puertos E/SA,B,C,D,E
- 40 números de pines.
- 15 interrupciones.
- 3 Timers.
- 2 Módulos CCP.
- Comunicaciones Serie MSSP, USART.
- Comunicaciones paralelo PSP.
- 8 canales de entrada modulo Analógico Digital de 10 bit.
- 35 Instrucciones juego de instrucciones.
- 14 bits longitud de la instrucción.

Figura 17. Microcontrolador 16F877A [22]

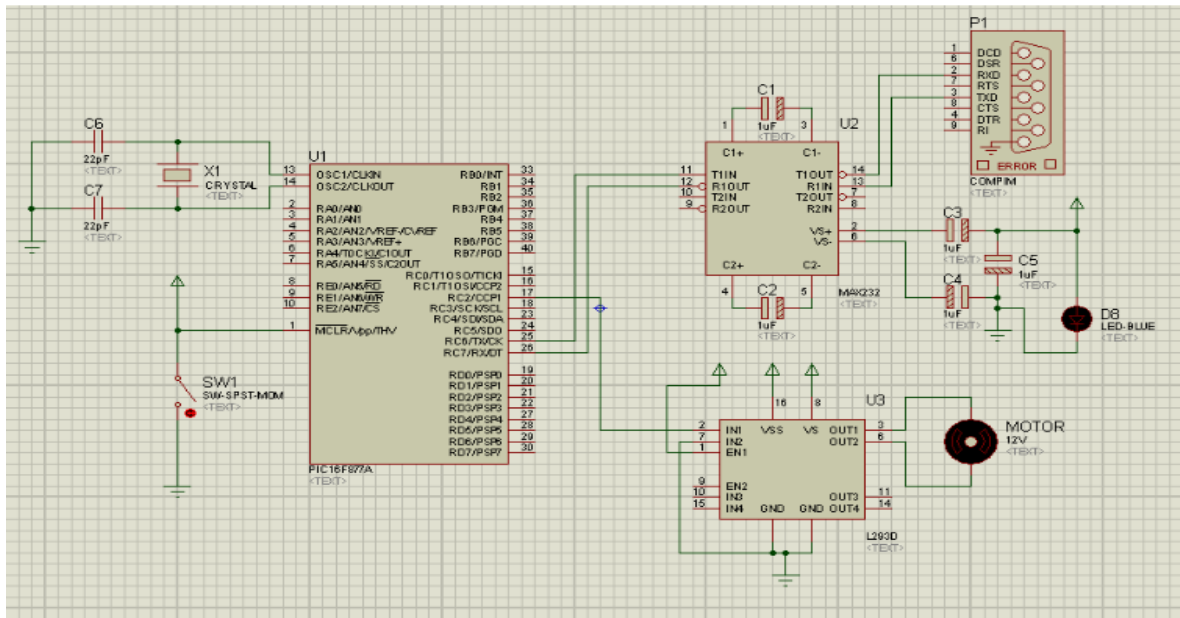


8.6.1. Ventajas del microcontrolador 16F877A:

- Soporta modo de comunicación serial, posee dos pines para ello.
- Amplia memoria para datos y programa.
- Memoria reprogramable: La memoria en este PIC se puede borrar.
- Set de instrucciones reducidas (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

8.7. SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL.

Figura 18. Diseño del Simulador del Circuito de Control [Los Autores]



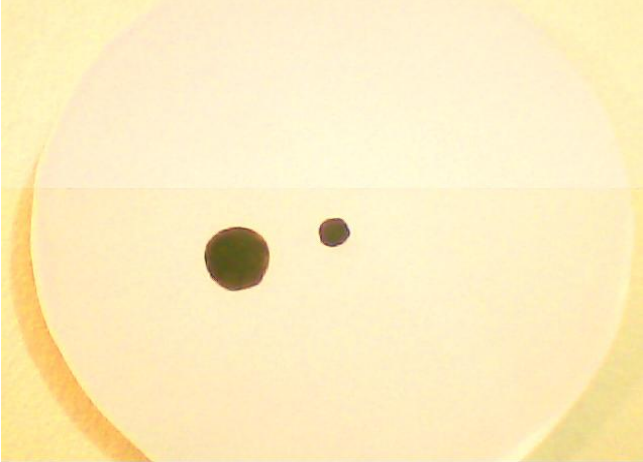
La figura 17 Simula el comportamiento real del sistema, debido a que el microcontrolador es cargado con el programa desarrollado en lenguaje C. El resultado que nos entrega esta simulación es que el microcontrolador está programado de forma correcta por que ejecute las acciones deseadas por el usuario en la salida PWM.

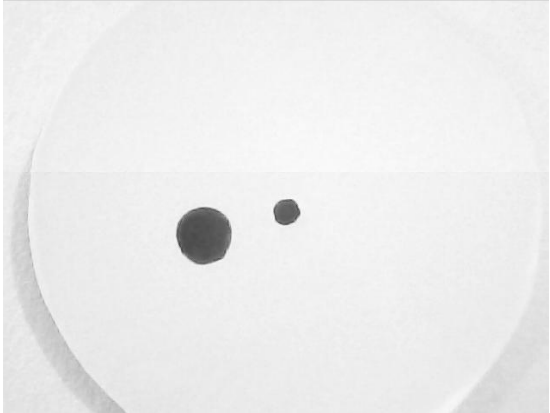
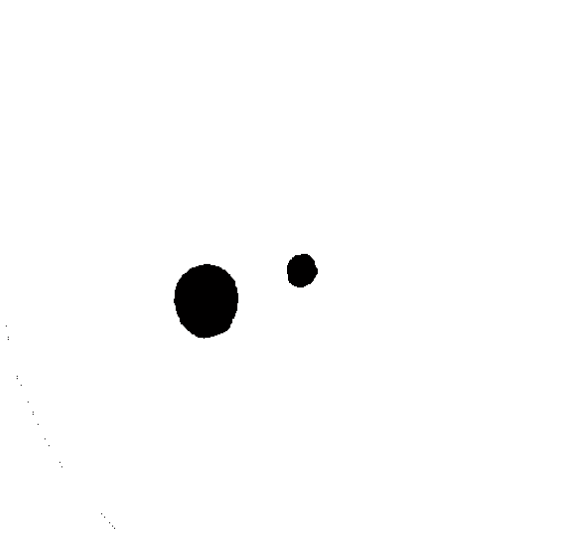
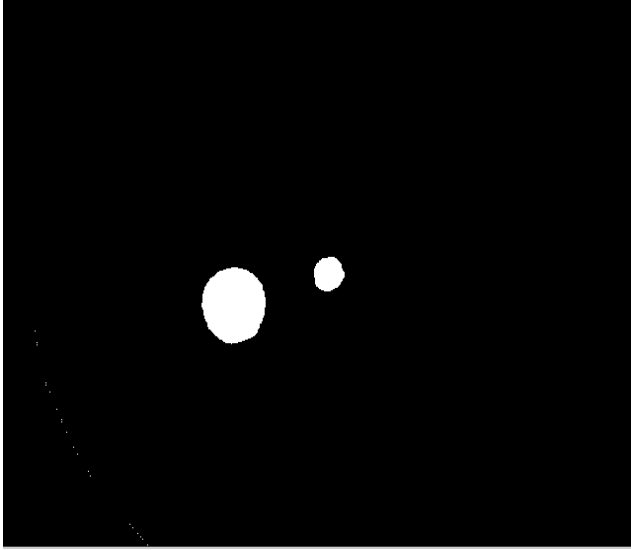
9. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

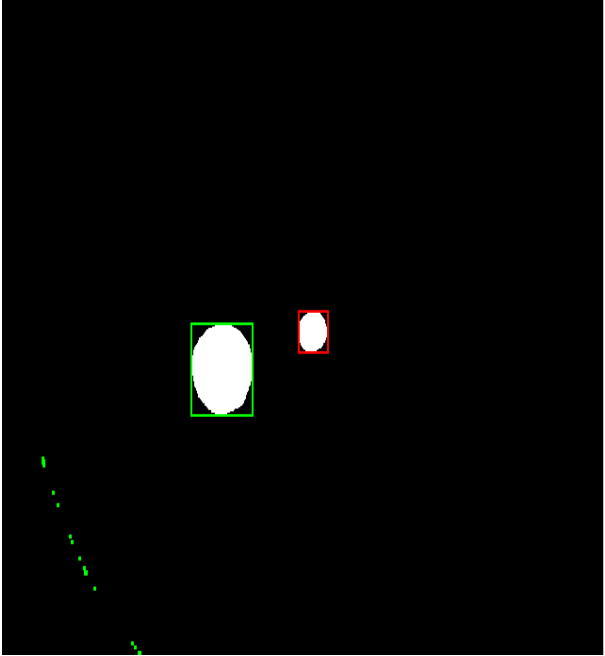
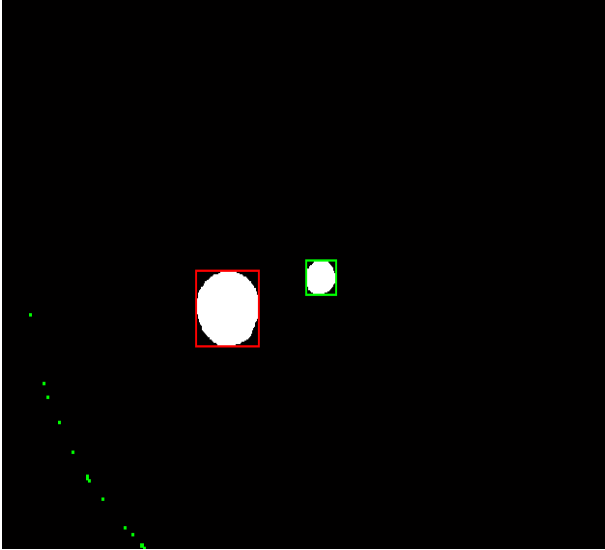
Este procedimiento es importante para poder controlar el sistema debido a que retroalimenta continuamente la velocidad del motor DC para realizar las modificaciones necesarias con el objetivo de conseguir la velocidad deseada.

9.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES.

Tabla 3. Descripción del Procesamiento de Imágenes [Los Autores]

PASOS	PROCEDIMIENTO	IMAGEN
1	Se captura la imagen en RGB, definiendo previamente los parámetros de la imagen (tamaño, formato, etc.)	

PASOS	PROCEDIMIENTO	IMAGEN
2	Se pasa la imagen RGB a escala de grises.	
3	Mediante la definición de un threshold (que podrá variar dependiendo de las condiciones de luz) se convierte a una imagen de escalas de grises a binaria (blanco y negro).	
4	En este paso se genera un negativo de la imagen binaria, para poder detectar las zonas de interés de la imagen.	

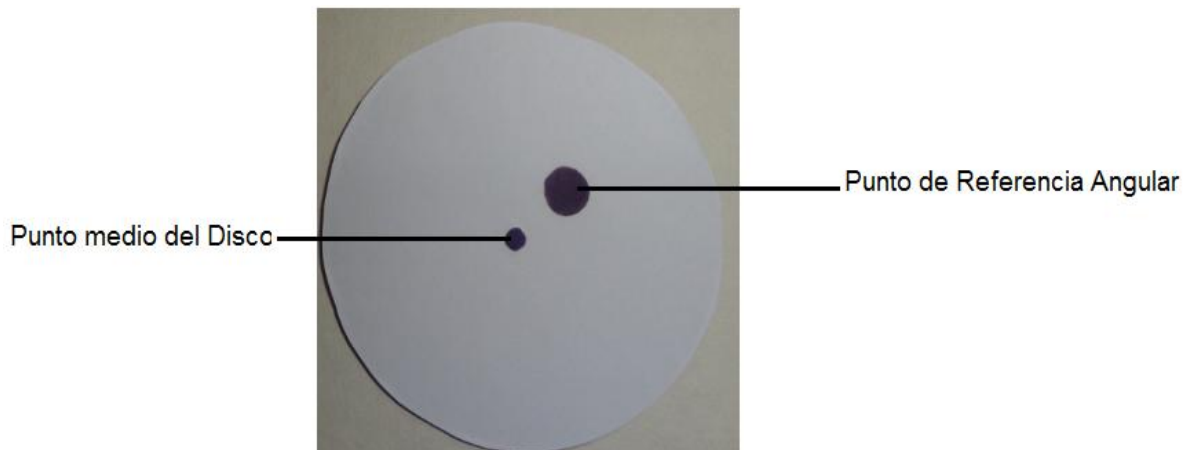
PASOS	PROCEDIMIENTO	IMAGEN
5	<p>Mediante el comando de Matllab “regionprops” se define el área centroide y fronteras que encierran las diferentes marcas detectadas en la imagen. En esta imagen se observa cuando se localiza el punto central del disco (encerrada por el cuadrado rojo)</p>	
6	<p>En esta imagen se observa cuando se localiza el punto de referencia angular (encerrada por el cuadrado rojo)</p>	

10. CALCULO DE LA VELOCIDAD.

En el procesamiento de imágenes realizado, tanto el área como las fronteras de los objetos segmentados, permiten conocer con exactitud cuál de las regiones detectadas (con el comando “regionprops”) es el punto de referencia en el disco; y conociendo el centroide se pueden identificar las coordenadas polares del disco con respecto del eje del motor DC.

Cuando se tienen dos imágenes consecutivas en las que se han identificado los centroide del punto de referencia, también se puede conocer el ángulo recorrido en un tiempo determinado (intervalo entre las capturas de imagen) por lo tanto se conoce su velocidad angular.

Figura 19. Disco Giratorio con sus Puntos de Referencia [Los Autores]



Para poder detectar el punto y el cálculo de la velocidad el programa inicialmente debe reconocer el centro para extraer el umbral y el centroide del punto medio del disco; de esta forma el programa detecta el punto y encuentra las coordenadas de

su centroide. De igual forma se genera un triángulo rectángulo entre los centroides y con lados paralelos a los ejes X, Y.

La componente en X se calcula restando la columna del centroide del punto de referencia angular con la columna del centroide del punto medio del disco.

La componente en Y se calcula restando la fila del centroide del punto de referencia angular con la fila del centroide del punto medio del disco.

Teniendo en cuenta el plano cartesiano se determina la posición del punto de referencia angular y dependiendo del cuadrante donde se encuentre se utiliza determinada fórmula para calcular el ángulo desde el origen:

Giro Antihorario

Componente X $DX = CP-CC$

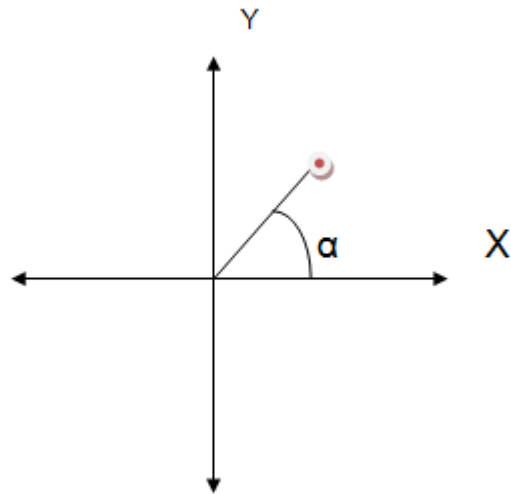
Componente Y $DY = FP-FC$

- Caso 1. Punto de Referencia Angular en el Primer Cuadrante.

$DX =$ Valor Positivo

$DY =$ Valor Negativo

Figura 20. Angulo α del Primer Cuadrante [Los Autores]



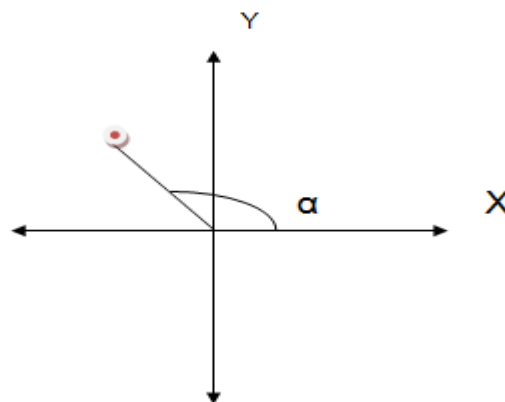
$$\text{Si } \alpha = \text{Tg}^{-1} \left(\frac{DY}{DX} \right)$$

- Caso 2. Punto de Referencia Angular en el Segundo Cuadrante.

DX= Valor Negativo

DY= Valor Negativo

Figura 21. Angulo α del Segundo Cuadrante [Los Autores]



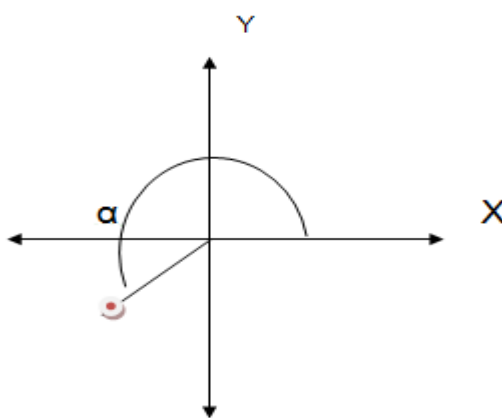
$$\text{Si } \alpha = 180^\circ - \text{Tg}^{-1} \left(\frac{DY}{DX} \right)$$

- Caso 3. Punto de Referencia Angular en el Tercer Cuadrante.

DX= Valor Negativo

DY= Valor Positivo

Figura 22. Angulo α del Tercer Cuadrante [Los Autores]



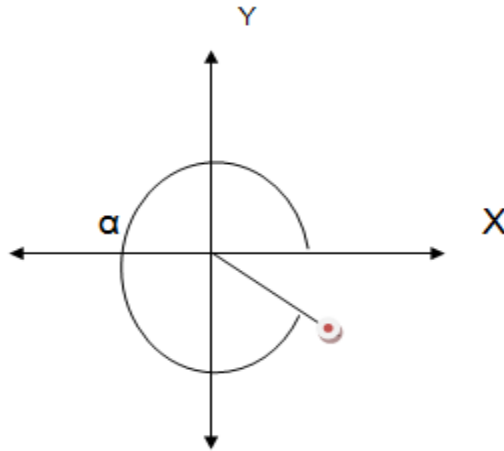
$$\text{Si } \alpha = 180^\circ + \text{Tg}^{-1} \left(\frac{DY}{DX} \right)$$

- Caso 4. Punto de Referencia Angular en el Cuarto Cuadrante.

DX= Valor Positivo

DY= Valor Positivo

Figura 23. Angulo α del Cuarto Cuadrante [Los Autores]

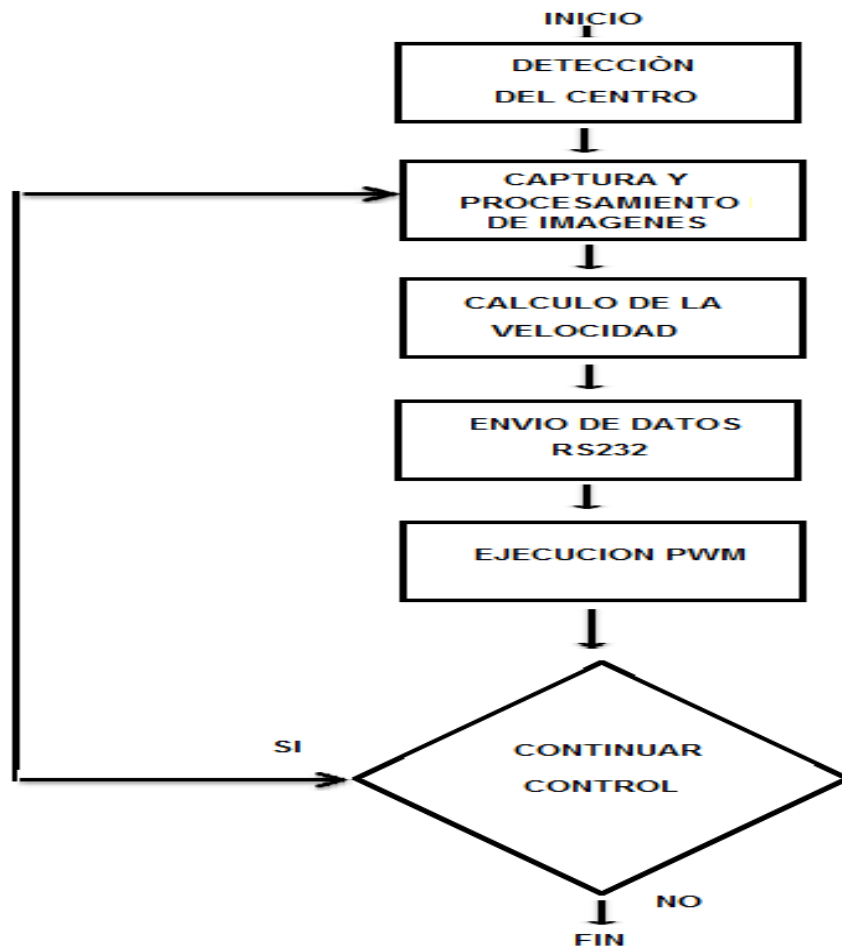


$$\text{Si } \alpha = 360^\circ + \text{Tg}^{-1} \left(\frac{DY}{DX} \right)$$

11. APLICACIÓN DEL CONTROL.

Con base en la velocidad calculada en el procesamiento de imágenes se realiza una comparación de esta con respecto a la velocidad requerida por el usuario. Si la velocidad calculada es mayor a la solicitada se efectuará una disminución gradual en el duty cycle del PWM, en caso contrario se aumentara progresivamente este valor hasta lograr el punto de consigna definido por el usuario. Aumenta o disminuye una unidad en el duty cycle dependiendo de donde se encuentre la variable respecto al setpoint.

Figura 24. Diagrama de Flujo Aplicación de Control [Los Autores]



En la figura 24, se demuestra el procedimiento que se debe realizar para la aplicación del control:

- ✓ Primero el sistema debe detectar el punto de referencia medio del disco o centroide.
- ✓ Al detectar la centroide se realiza la captura y procesamiento de imágenes.
- ✓ Posteriormente al finalizar el procesamiento de imágenes se calcula la velocidad angular con la que está girando el disco.
- ✓ Al calcular la velocidad angular, son enviados al microcontrolador por medio del RS232 los datos entregados del cálculo.
- ✓ Al llegar los datos al microcontrolador se ejecuta el PWM.
- ✓ Posteriormente al ejecutarse el PWM, se pregunta si desea continuar o si desea detenerlo, si continua empieza nuevamente el ciclo mencionado anteriormente pero desde el procesamiento de imágenes, de lo contraria finaliza y entrega los resultados de la aplicación del control para ser analizados posteriormente.

11.1. Interfaz del Control para el Usuario.

Figura 25. Interfaz del Control para Usuarios [Los Autores]



La figura 25 muestra la interfaz desde la cual el usuario da inicio al control del sistema, ingresa los parámetros requeridos y a su vez observa variables tales como la velocidad del disco en cada ciclo y el tiempo que tarda en completar cada uno de estos.

Desde esta interfaz básica el usuario puede modificar el valor del punto de consigna o velocidad requerida cuantas veces lo desee (mientras que se encuentre dentro de los valores sugeridos para estabilidad del sistema) y observar el comportamiento de la velocidad del motor en el tiempo.

12. COMUNICACIÓN PC – MICROCONTROLADOR.

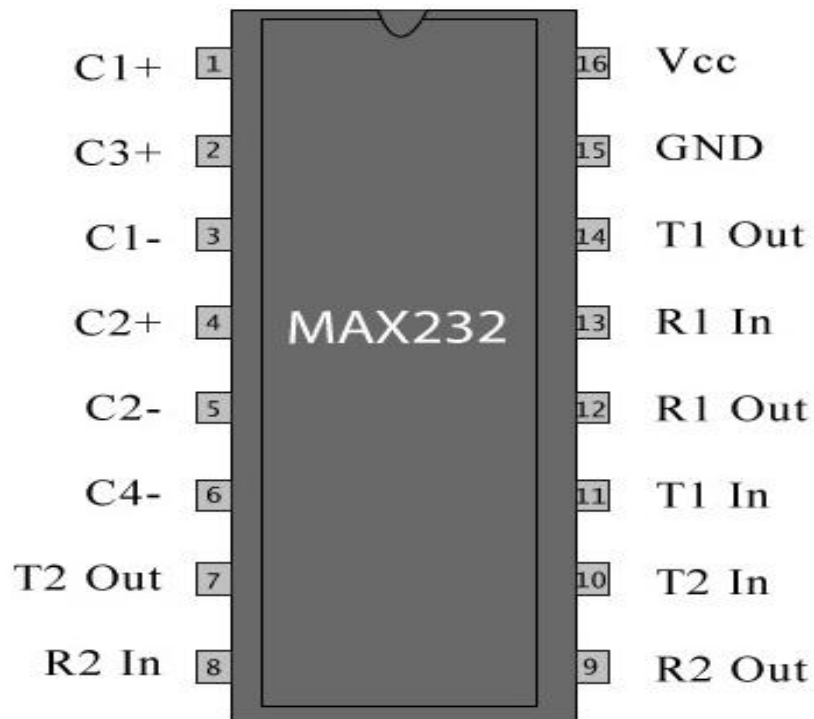
Mediante puerto serial del computador son emitidos los datos con destino al microcontrolador que ejecutará la acción de control programada; es importante resaltar que los datos transmitidos por el PC se rigen mediante el protocolo RS232 y que el microcontrolador se comunica mediante señales lógicas TTL. En el circuito se utiliza el integrado MAX 232 para establecer la comunicación entre estos dispositivos, debido a que el protocolo RS232 maneja voltajes entre -3V y -15V para bajo y +3V y +15V para alto, mientras que el microcontrolador se comunica señales TTL en las cuales el bajo es 0V y el alto 5V.

Una vez establecida la comunicación, el microcontrolador define el ancho de pulso del PWM para el siguiente ciclo.

12.1. INTEGRADO MAX 232.

El integrado MAX 232 es un circuito integrado que transforma los niveles de las líneas de un puerto serie RS232 a niveles TTL y/o viceversa. El integrado MAX 232 realiza la comunicación entre un puerto PC y un circuito que funcione en base a señales de nivel TTL/CMOS

Figura 26. Integrado MAX 232 [24]



12.1.1. Características del Integrado MAX 232

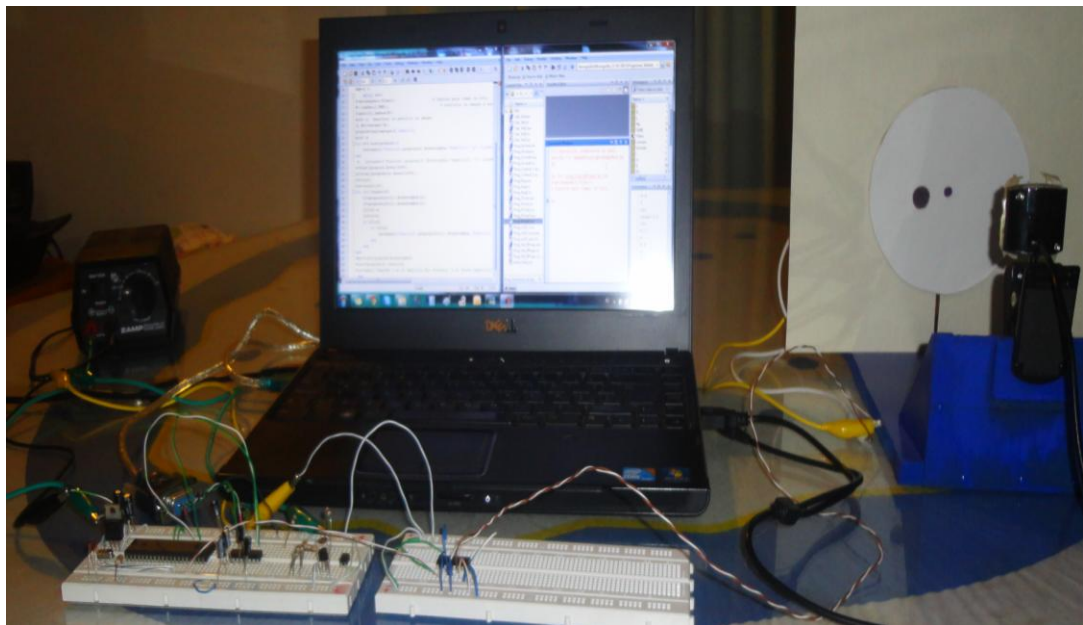
- Trabaja hasta 5V, debido que genera internamente algunas tensiones que son necesarias para el estándar RS232.
- El integrado MAX 232 posee dos conversores de nivel TTL a RS232 y otros dos que transforman las señales RS232 a TTL.
- El integrado MAX 232 trabajan con las cuatro señales que más emplean los puertos del PC, que son TX, RX, RTS y CTS.

13. CONTROL DE VELOCIDAD.

Con la salida del PWM del microcontrolador excita un transistor cuya configuración externa permite el trabajo en corte o saturación (operando como un swicht). Este control de potencia mediante un circuito transistorizado se diseñó por la necesidad de corriente para la operación del motor, corriente que no era posible ser suministrada directamente por el microcontrolador debido a sus características.

De esta manera se modifica la velocidad del motor DC concluyendo de esta manera los pasos para el control de velocidad del sistema.

Figura 27. Sistema de Control de Velocidad por Procesamiento de Imágenes Final [Los Autores]



Los resultados que entrega el control de velocidad con variación aleatoria (por parte del usuario) del set point son los siguientes:

Figura 28. Prueba Uno del Sistema de Control de Velocidad [Los Autores]

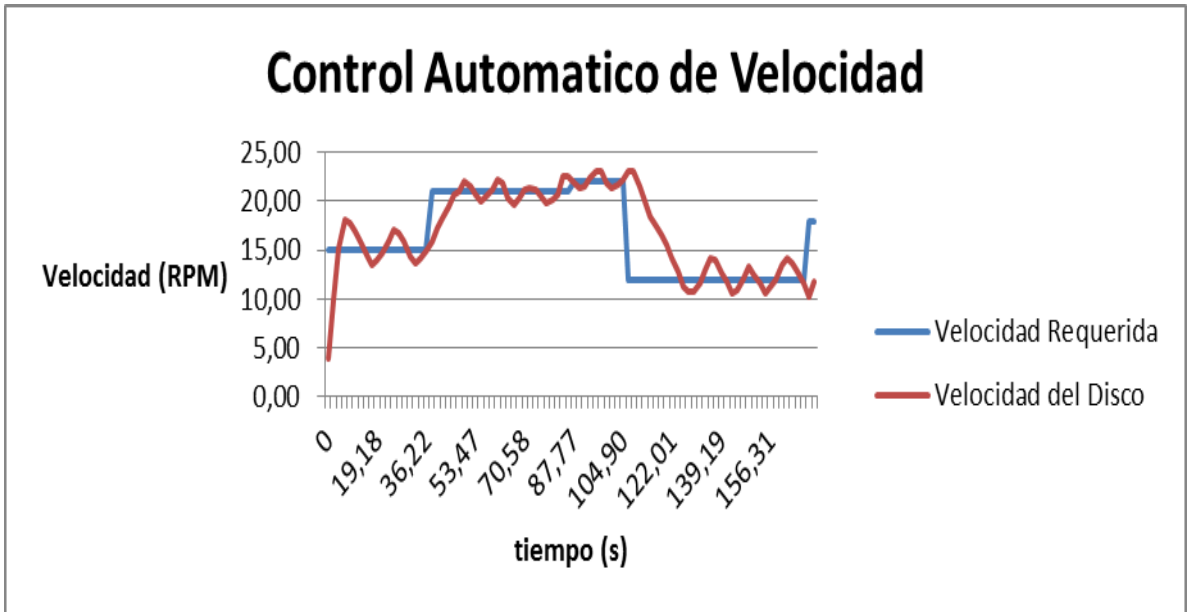


Figura 29. Prueba Dos del Sistema de Control de Velocidad [Los Autores]

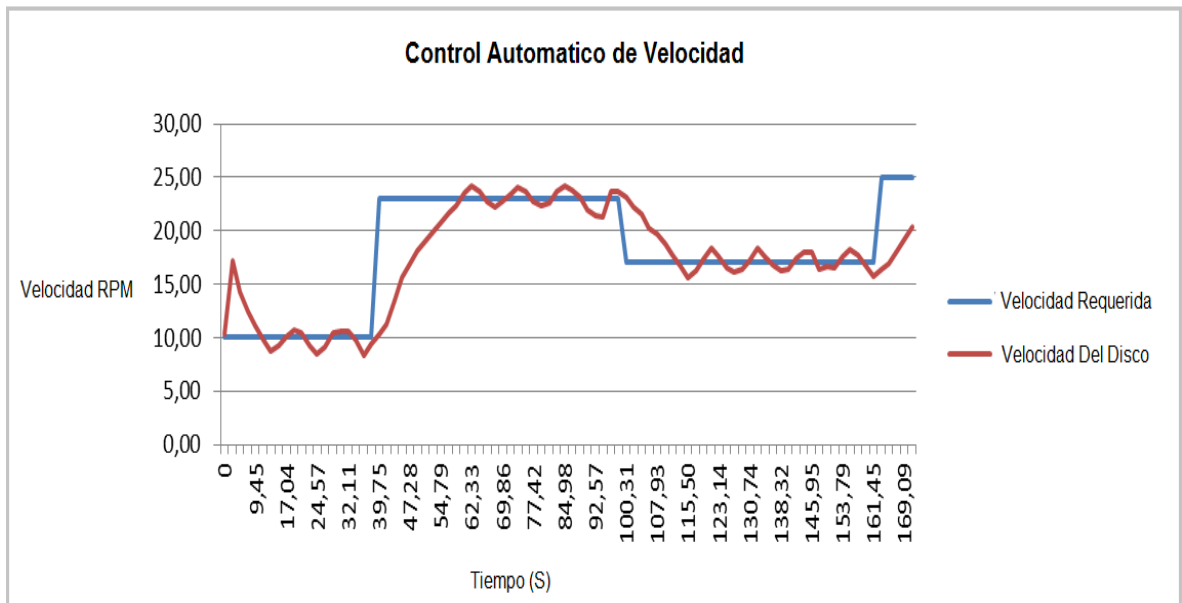
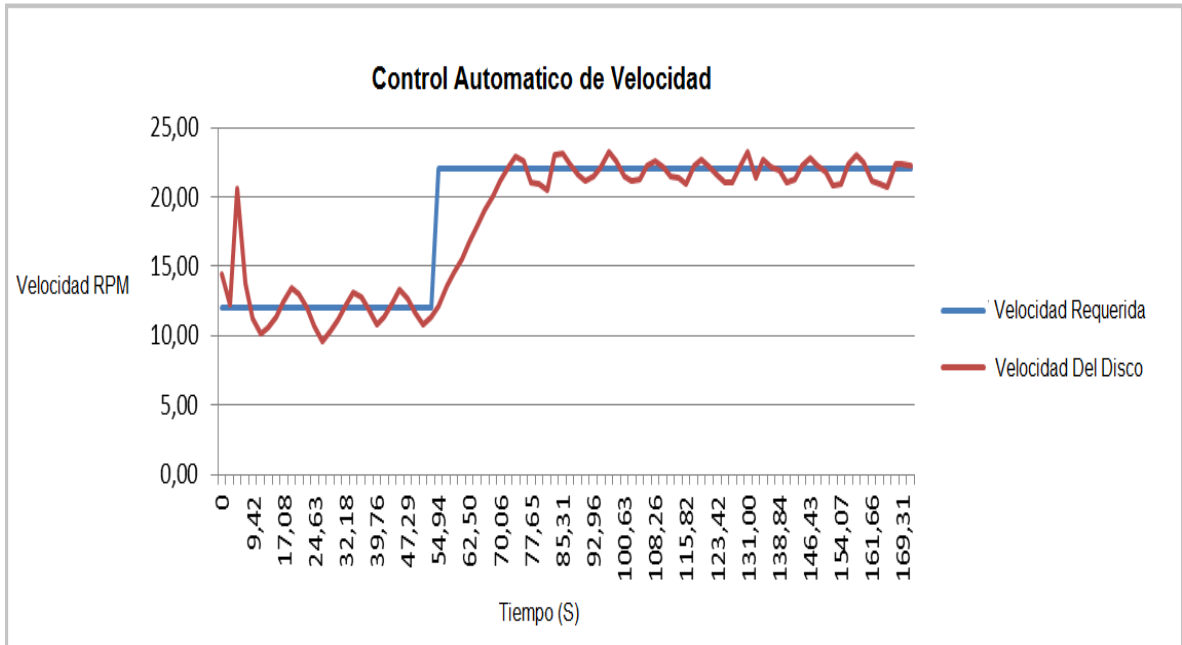


Figura 30. Prueba Tres del Sistema de Control de Velocidad [Los Autores]



En las figuras 28, 29 y 30; se observa el comportamiento de tres distintas ejecuciones de aproximadamente 170 segundos cada una en las que se evidencia el comportamiento del sistema ante variaciones del punto de consigna (velocidad requerida por el usuario).

De igual forma en estas gráficas se puede observar, que en todos los casos el sistema tuvo comportamiento oscilante alrededor de la velocidad requerida

CONCLUSIONES

Es posible realizar un control automático de velocidad de giro de un motor DC mediante reconocimiento de imágenes; fue posible observar que la velocidad de procesamiento en el equipo utilizado (computador de gama media) no es tan alta como la de otros sistemas usados actualmente en la industria (encoder o detección de pulsos), debido a que su uso está limitado para unidades robustas de procesamientos y bajas velocidades.

Con base a las pruebas experimentales realizadas se observó que el control propuesto para el sistema tiene una precisión de más o menos 1.5 RPM y una tendencia oscilante; por tanto el sistema no se va a estabilizar en el valor deseado sino que tomará valores cercanos a este; de manera estable (sin salirse del control).

La luz es un factor muy crítico en este tipo de sistemas ya que pequeños cambios de luz generan zonas de luminosidad o sombras que dependiendo de su intensidad pueden llegar a confundirse con las marcas de referencia y desestabilizar el sistema.

A diferencia de muchos sistemas tradicionales que se deben fijar, cablear, robustecer de alguna manera contra el ruido eléctrico y las altas temperaturas, el control planteado mediante imágenes se puede instalar a una distancia conveniente del equipo rotativo, de esta forma se reduce el riesgo de daño por temperatura, también se puede mover e instalar en distintas ubicaciones para controlar distintos sistemas rotativos sin tener que realizar importantes modificaciones en los parámetros de detección.

RECOMENDACIONES

Debido a la sensibilidad del sistema ante variaciones de luz en el ambiente, se recomienda reducir el ruido externo aislando la región de análisis, igualmente procurar mantener estable la intensidad de luz incidente en el disco. Para mantener estable los niveles de luz se recomienda contar con una fuente luminosa (lámpara) dedicada y cercana al sistema a fin de evitar interrupciones y ruido.

Se recomienda a los programas de ingeniería de electrónica e ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga que incorporen en el plan de estudios un curso que aborde más la investigación del control automático digital y para su profundización ofertar diplomados o cursos intensivos para así lograr desarrollar en sus estudiantes y egresados un perfil de mayor calidad que proporcione las respuestas que el medio empresarial necesita.

No es fácil abstraer desde la teoría la funcionalidad de los controles automáticos digitales, lo que hace que la curva de aprendizaje sea representativa, por ello se recomienda que en la medida que se avance en el estudio de controles, se apliquen buenas prácticas. De igual forma se recomienda a las personas interesadas en apropiarse del manejo de controles automáticos digitales, que inicialmente entienda y desarrollen lo realizado en este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Microcontrollers: architecture, implementation, and programming. HINTZ, KENNETH TABAT, DANIEL. McGraw-Hill – 1992
- [2] Control e instrumentación. MOSQUERA COPETE, LUIS ANTONIO. Serie Nabla-Delta no. 24 - 1992
- [3] Motores eléctricos automatismo de control. VILORIA, JOSÉ ROLDAN. Paraninfo - 1992
- [4] Matlab para ingeniería. VEGA URIBE, JESÚS ANTONIO. UPB - 2005
- [5] Calculo de circuitos de regulación. BUXBAUN A, SCHIERAU K. AEG Telefunken Paraninfo - 1976.
- [6] Maquinas eléctricas, transformadores y controles. GINGRICH HAROLD. Prentice Hall - 1980.
- [7] DSP First. MCCLELLAN, SCHAFER, YODER. Ed. Prentice Hall - 1998.
- [8] Sistemas Empotrados en Tiempo Real. MUÑOZ FRÍAS, JOSÉ DANIEL. Creative Commons. Febrero - 2009.
- [9] Sistemas Automáticos de Control. BENJAMIN C KUO. Cecsca – 1995.
- [10] Diseño y construcción de un equipo didáctico para el análisis experimental de rectificadores controlados y sistemas de control de velocidad para motores

de corriente continua. FRANCISCO SUAREZ QUINDE. Escuela Superior Politécnica del Litoral – 1990.

[11] Diseño de un sistema de control de velocidad de un motor de corriente continua basado en acelerómetros. FERNANDO MORENO PEREZ. Universidad Pontificia Comillas – 2010.

[12] Aplicación de control digital en el control de motores. ALFREDO PUESTES MARTINEZ. Universidad Autónoma de Nuevo León – 1999.

[13] <http://es.scribd.com/doc/2634841/DEFINICIONES-BASICAS-DE-CONTROL>

[14] <http://www.todorobot.com.ar/documentos/dc-motor.pdf>

[15] <http://cygintegral.cl/Biblioteca/TeoriaControlAutomatico.pdf>

[16] <http://huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMaTICO.pdf>

[17] <http://www.sc.ehu.es/ccwalirx/gwdip3/imageprocessing.pdf>

[18] <http://Publicaciones/GeneracionImagenes/imagenesCap8.pdf>

[19] <http://www.programnation.com/motor-dc-pwm-vhdl>

[20] <http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores>

[21] Fundamentos de Procesamiento de Imágenes. JOSE JAIME ESQUEDA ELIZONDO. Universidad Autónoma de Baja California – 2005.

[22] <http://es.scribd.com/doc/30475681/Tutorial-PIC16F877A-Algunas-Mejoras>.

[23] http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_max232.htm

[24] <http://www.engineersgarage.com/electronic-components/max232-datasheet>

[25] http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_L293D.htm

[26] <http://www.modadigital.com.co/joom/index.php>