



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Diseño e implementación de un seguidor de línea velocista
controlado con función PID utilizando un Atmega 32u4**

AUTOR:

Vega Zambrano, Robert Andrés

Componente práctico del examen complejo previo a la
Obtención del título de **INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

8 de Marzo del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Vega Zambrano, Robert Andrés** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 8 días del mes de Marzo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Vega Zambrano, Robert Andrés**

DECLARO QUE:

El **componente práctico del examen complejo, Diseño e implementación de un seguidor de línea velocista controlado con función PID utilizando un Atmega 32u4** previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 8 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

VEGA ZAMBRANO, ROBERT ANDRÉS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Vega Zambrano, Robert Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Diseño e implementación de un seguidor de línea velocista controlado con función PID utilizando un Atmega 32u4**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 8 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

VEGA ZAMBRANO, ROBERT ANDRÉS

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento	Componente practico complejo - vega marzo.docx (D36366037)
Presentado	2018-03-11 10:21 (-05:00)
Presentado por	robertvega22@gmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Componente practico Vega Mostrar el mensaje completo 1% de estas 16 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques		
+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	▣
+		Complexivo genesis BALANCE.docx	<input type="checkbox"/>
+		tesis final ROBLES - VACA 1.docx	<input type="checkbox"/>
+		tesis final ROBLES - VACA 2.0.docx	<input type="checkbox"/>
+	>	Titulacion-Cordero John Final.docx	<input checked="" type="checkbox"/>
+		Formato TT (2).docx	<input type="checkbox"/>

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:
Diseño e implementación de un seguidor de línea velocista controlado con función PID utilizando un Atmega 32u4

AUTOR: Vega Zambrano, Robert Andrés

Componente práctico del examen complejo previo a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REVISOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencia

DEDICATORIA

A Dios, por la primera oportunidad.

A la vida, por todas mis decisiones.

A mi madre, por todo su sacrificio.

EL AUTOR

VEGA ZAMBRANO, ROBERT ANDRÉS

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que influyeron en mí durante el transcurso de toda mi carrera. A quienes me brindaron su apoyo, y a quienes decidieron no hacerlo.

Me enseñaron mucho, se los agradezco.

EL AUTOR

VEGA ZAMBRANO, ROBERT ANDRÉS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ
DECANO

f. _____
MIGUEL ARMANDO HERAS SÁNCHEZ
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
LUIS SILVIO CORDOVA RIVADENEIRA
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
Resumen	XIII
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO	14
1.1. Introducción.....	14
1.2. Objetivo General.	15
1.3. Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	17
2.1. Orígenes de microcontrolador y microprocesador.....	17
2.2. Microprocesadores.....	18
2.3. Microcontrolador.....	19
2.4. Terminales Entradas y/o Salidas.....	20
2.5. Comparador Analógico.....	21
2.6. Conversor Analógico – Digital	21
2.7. Conversor Digital – Analógico	22
2.8. Codificador magnético.....	23
2.9. Control PID.....	24
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL COMPONENTE PRÁCTICO.....	28
3.1. Equipo electrónico y material necesario para la implementación del robot.	28
3.1.1. Microcontrolador AVR ATMEGA32u4	28
3.1.2. Puente H o controlador de los motores IFX9201SG	29
3.1.3. Sensor Reflectante QRE1113	31
3.1.4. Motores de corriente continua DC POLOLU relación 10:1	32
3.1.5. Codificador magnético para motor POLOLU DC	33
3.1.6. Dispositivo integrado regulador de voltaje Motorola MC33269	34

3.1.7. Dispositivo convertidor reductor de corriente continua Texas Instruments TPS54340.....	35
3.1.8. Modulo Inercial iNEMO.....	36
3.1.9. Módulos de receptor infrarrojo TSOP4840.....	37
3.1.10. Multiplexor analógico / demultiplexor de 16 canales de alta velocidad CMOS CD74HC4067	39
3.2. Diseño de la placa de circuito impreso PCB.....	40
3.3. Código de control con sistema de control proporcional, integral y derivativo PID.....	43
Conclusiones	47
Recomendaciones	48
Referencias bibliográficas.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Diagrama de bloques general de un microprocesador	18
Figura 2. 2: Diagrama de bloques de un microcontrolador.	19
Figura 2. 3: Ejemplo de un diagrama de bloques de control PID.	25

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Diagrama de salida de pines de un microcontrolador ATmega32u4.	29
Figura 3. 2: Diagrama de salida de pines de un controlador IFX9201SG. .	31
Figura 3. 3: Diagrama de estructura de un sensor reflectante QRE1113. ...	32
Figura 3. 4: Imagen de un motor dc POLOLU con relación 10:1.	33
Figura 3. 5: Imagen de codificador magnético POLOLU.	34
Figura 3. 6: Diagrama de distribución de puertos del integrado TPS54340. 35	
Figura 3. 7: Esquemático simplificado de funcionamiento del integrado TPS54340.	36
Figura 3. 8: Esquemático simplificado de funcionamiento del integrado TPS54340.	37
Figura 3. 9: Esquemático simplificado de funcionamiento del integrado TPS54340.	38
Figura 3. 10: Diagrama de distribución de puertos del integrado CD74HC467.	40
Figura 3. 11: Diagrama esquemático de elementos principales del prototipo seguidor de línea.	41
. Figura 3. 12: Diagrama de límites periféricos y elementos principales del prototipo seguidor de línea.	41
Figura 3. 13: Diagrama de distribución de pistas del prototipo seguidor de línea.	42
Figura 3. 14: Diagrama de distribución completa del prototipo seguidor de línea.	42
Figura 3. 15: Simulación en tres dimensiones del prototipo finalizado.	43
Figura 3. 16: Declaración de variables que se usarán en funciones.	43
Figura 3. 17: Creación de función SET_MOTORS para control de motores.	44

Figura 3. 18: Creación de función QTRreadLine para detectar línea negra.	44
Figura 3. 19: Configuración de variables entrada/salida y calibración.	45
Figura 3. 20: Creación del bucle principal utilizando control PID.	46

Resumen

La creación de este trabajo de titulación se basó de primera mano, en una pequeña investigación de tipo bibliográfica enfocada en los seguidores de líneas, para poder concretar las definiciones que son fundamentales conocer, para entender cómo funcionan los distintos tipos de controles existentes. Cuando se realizó la búsqueda, se pudo revisar y analizar los planes y proyectos que se encontraron en su mayoría dentro del servidor de publicaciones técnicas y tecnológicas profesionales pertenecientes al Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) que está establecido actualmente en Internet. Se entendió los parámetros y condiciones que debería tener un seguidor de línea velocista, y también, en los distintos tipos de controles que existen en el mundo de la automatización. En el caso actual, se utilizó un control PID para poder tener una respuesta inteligente y lo más inmediatamente posible del robot en sus motores. Una vez entendido todo esto, se procedió a trabajar en el desarrollo de la placa de circuito impreso (Print Circuit Board, PCB) en el programa Altium Designer. Para poder realizar la programación, se utilizó el entorno de desarrollo integrado (Integrated Development Environment, IDE) que posee Arduino para el microcontrolador Atmega 32u4.

Palabras claves: SEGUIDOR DE LINEA, ATMEGA 32U4, PID, IDE, ARDUINO, PCB, MICROCONTROLADOR.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO

1.1. Introducción.

Los circuitos integrados se han implementado en muchas aplicaciones, hardware y software de microcontroladores, tecnologías de interfaz, teoría de control automático y tecnologías de sensores, etc. Los usos de estos circuitos integrados aumentan día a día. Muchos investigadores construyen su compañía en el área del sistema de robótica. Un robot puede trabajar en condiciones difíciles lo que el humano no puede hacer a veces.

En este documento, se distribuye un sistema de control de un robot, su controlador y sensores de control y la infraestructura. El robot seguidor de línea es un robot móvil que puede detectar y seguir la línea de sorteo. Básicamente, la ruta está predefinida y puede verse como una línea en blanco y negro con un color de alta resolución. El robot podrá elegir la línea de deseo entre múltiples líneas de forma autónoma. El robot puede diferenciar entre varios colores y elegir uno deseado para encontrar su objetivo. El robot debe detectar la línea con los sensores de Rayos Infrarrojos (IR) que se han instalado debajo del cuerpo frontal del robot. Los sensores IR transmiten datos de detección al procesador y el comando de acción de decisión de diseño se envía a través del controlador de motor de robótica. Este es un escenario de Red de Actuador de Sensor.

En este proyecto, el microcontrolador basado en ATMEGA 32u4 reacciona a los datos recibidos de los sensores de Rayos Infrarrojos (IR) para

proporcionar un movimiento rápido, suave, preciso y seguro en un entorno estructural particular. El robot podrá avanzar con un sistema de control cerrado efectivo.

La operación básica de un robot seguidor de línea:

- Capture la posición de la línea con sensores ópticos, que están montados frente a la infraestructura del robot. El proceso de detección requiere un color de alta resolución.
- Los motores de corriente continua siguen la línea aplicando filtro PID digital o cualquier otro algoritmo.
- El control de la velocidad del motor es determinante por la línea blanca y negra.

Este tipo de robot se puede utilizar para fines militares, servicios de entrega, industria autónoma, sistemas de transporte y aplicaciones de asistencia ciega. Físicamente, un robot seguidor de línea tiene cinco partes, entre ellas Chasis y cuerpo, Sensores y circuitos de procesamiento de señal, Microcontrolador, Accionadores de motor, Actuadores (Motores y ruedas).

1.2. Objetivo General.

Realizar el diseño, simulación, implementación y programación de un robot que cumpla con los requisitos estándares de seguidor de línea tipo velocista utilizando control PID en su lógica programable mediante el microcontrolador Atmega 32u4.

1.3. Objetivos Específicos.

- a. Realizar una colección de información sobre control PID y su utilización en un robot seguidor de línea.
- b. Desarrollar el circuito electrónico utilizando el software Altium Designer.
- c. Elaborar la simulación de la placa de circuito impreso con sus respectivos componentes electrónicos.
- d. Desarrollar el código de programación del seguidor de línea velocista utilizando control PID.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1. Orígenes de microcontrolador y microprocesador.

En estas últimas dos décadas se ha podido apreciar la introducción de una tecnología que ha cambiado radicalmente la forma en que se analiza y se controla el mundo que nos rodea. Nacido de desarrollos paralelos en arquitectura de computadoras y fabricación de circuitos integrados, el microprocesador, o 'computadora en un chip', se convirtió en realidad comercial en 1971 con la introducción del 4-bit 4004 por una compañía pequeña y desconocida con el nombre de Corporación Intel. Otras firmas de semiconductores, más consolidadas, pronto siguieron la tecnología pionera de Intel, de modo que a fines de la década de 1970 se podía elegir entre una media docena de tipos de microprocesadores. (Atmel, 2010)

La década de 1970 también vio el crecimiento del número de usuarios de computadoras personales de un puñado de aficionados y 'hackers' a millones de usuarios de empresas, gobiernos industriales, defensa, educación y usuarios privados que ahora disfrutaban de las ventajas de la informática de bajo costo. (Atmel, 2010)

Un subproducto del desarrollo del microprocesador fue el microcontrolador. Las mismas técnicas de fabricación y conceptos de programación que hacen posible el microprocesador de uso general también produjeron el microcontrolador.

2.2. Microprocesadores.

Un microprocesador, como se conoce el término, es una unidad central de procesamiento de computadora digital (CPU) de propósito general. Aunque popularmente se lo conoce como "computadora en un chip", el microprocesador no es de ninguna manera una computadora digital completa. (STmicroelectronics, 2013)

La Figura 2.1 muestra un diagrama de bloques de una CPU microprocesadora, que contiene una unidad aritmética y lógica (ALU), un contador de programa (PC), un puntero de pila (SP), algunos registros de trabajo, un circuito de sincronización de reloj y circuitos de interrupción.



Figura 2. 1: Diagrama de bloques general de un microprocesador

Elaborado por: Autor

Para hacer un microordenador completo, se debe agregar memoria, generalmente memoria de programa de solo lectura (ROM) y memoria de datos de acceso aleatorio (RAM), decodificadores de memoria, un oscilador y una cantidad de dispositivos de entrada / salida (E/S) como puertos de datos paralelos y seriales. Además, se pueden agregar dispositivos de propósito especial, como manejadores de interrupción o contadores, para que la CPU

consume tiempo y dedique tareas de recuento o temporización. Equipar el microordenador con un dispositivo de almacenamiento masivo, comúnmente una unidad de disco flexible, y periféricos de E/S, como un teclado y una pantalla con tubo de rayos catódicos (CRT), produce una pequeña computadora que se puede aplicar a una gama de aplicaciones de software de propósito general. (STmicroelectronics, 2013)

2.3. Microcontrolador.

La Figura 2.2 muestra el diagrama de bloques de un microcontrolador típico, que es una verdadera computadora en un chip. El diseño incorpora todas las características que se encuentran en una CPU de microprocesador: ALU, PC, SP y registros. También ha agregado las otras características necesarias para hacer una computadora completa: ROM, RAM, E / S paralelas, E / S en serie, contadores y un circuito de reloj.



Figura 2. 2: Diagrama de bloques de un microcontrolador.

Elaborado por: Autor

Al igual que el microprocesador, un microcontrolador es un dispositivo de propósito general, pero que está destinado a captar datos, realizar cálculos limitados sobre esos datos y controlar su entorno en función de esos cálculos. El uso principal de un microcontrolador es controlar el funcionamiento de una máquina utilizando un programa fijo que se almacena en la ROM y que no cambia durante la vida útil del sistema.

2.4. Terminales Entradas y/o Salidas.

Una de las características más importantes del microcontrolador es una serie de pines de entrada / salida utilizados para la conexión con periféricos. En este caso, hay en total treinta y cinco pines de E / S de propósito general disponibles, lo cual es suficiente para la mayoría de las aplicaciones. (Fairchild, 2009)

Para que la operación de los pines pueda coincidir con la organización interna de 8 bits, todos ellos, de forma similar a los registros, se agrupan en cinco puertos llamados denotados por A, B, C, D y E. Todos tienen varias características en común:

Por razones prácticas, muchos pines de E/ S tienen dos o tres funciones. Si se utiliza un pin como cualquier otra función, no se puede usar como un pin de entrada / salida de propósito general. Cada puerto tiene su "satélite", es decir, el registro TRIS correspondiente: TRISA, TRISB, TRISC, etc. que determina el rendimiento, pero no el contenido de los bits del puerto.

2.5. Comparador Analógico

Un comparador es un dispositivo con dos terminales de entrada, inversor y no inversor, y una salida que generalmente oscila de un raíl a otro. También lo es un amplificador operacional. Un comparador tiene baja compensación, alta ganancia y alto rechazo en modo común. Lo mismo ocurre con un amplificador operacional.

Un comparador tiene una salida lógica que indica cuál de las dos entradas tiene un potencial mayor. Si su salida es TTL o CMOS compatible (y muchos comparadores lo son), siempre está destinado a estar en un carril u otro, o hacer una transición rápida entre los dos. (Motorola, 2005)

Los amplificadores operacionales tienen alta ganancia, baja compensación y alto rechazo en modo común. Usualmente tienen una corriente de polarización más baja y son más baratos que los comparadores. Además, los amplificadores operacionales suelen estar disponibles en paquetes de dos o cuatro; si necesita tres amplificadores operacionales y un comparador, parece inútil comprar cuatro amplificadores operacionales, no usar uno de ellos, y luego comprar un comparador por separado.

2.6. Conversor Analógico – Digital

La función básica del conversor analógico digital (ADC) se podría denominarse cuantificador. La mayoría de los chips ADC también incluyen algunos de los circuitos de soporte, como el oscilador de reloj para el reloj de muestreo, la referencia (REF), la función de muestreo y retención y los

pestillos de datos de salida. Además de estas funciones básicas, algunos ADCs tienen una circuitería adicional incorporada. Estas funciones podrían incluir multiplexores, secuenciadores, circuitos de calibración automática, amplificadores de ganancia programables (PGA), etc. (Vishay Semiconductors, 2018)

De forma similar a los DAC, algunos ADC utilizan referencias externas y tienen un terminal de entrada de referencia, mientras que otros tienen un resultado de una referencia interna. En algunos casos, el ADC puede tener una referencia interna que se fija a través de una resistencia. Esta conexión permite que la referencia sea filtrada (usando la R interna y una C externa) o permitiendo que la referencia interna sea saturada por una referencia externa. La familia de piezas AD789X es un ejemplo de ADC que utiliza este tipo de conexión. Los ADC más simples, por supuesto, no tienen ninguno: la referencia está en el chip ADC y no tiene conexiones externas.

2.7. Conversor Digital – Analógico

Lo que comúnmente se denomina DAC hoy en día es bastante más sencillo su definición. El DAC generalmente tendrá el convertidor y una colección de circuitos de soporte integrados en el chip.

Los primeros DAC fueron diseños de nivel de placa, construidos a partir de componentes discretos, incluidos los tubos de vacío como elementos de conmutación. Los DAC monolíticos comenzaron a aparecer a principios de los 70. Estos primeros ejemplos fueron en realidad sub bloques del DAC. Un

ejemplo de esto sería el AD550, que era una fuente de corriente de 4 bits binariamente ponderada. Este bloque de fuente de corriente estaría acoplado a una parte separada, como el AD850, que contenía una matriz de resistencia y conmutadores CMOS. Juntos, estos formarían el DAC básico. (Dynamics research, 2002)

Los ADC que tienen terminales de referencia deben, por supuesto, especificar su comportamiento y parámetros. Si hay una entrada de referencia, la primera especificación será la tensión de entrada de referencia y, por supuesto, tiene dos valores, la clasificación máxima absoluta y el rango de voltajes sobre los que el ADC funciona correctamente.

2.8. Codificador magnético

Los codificadores magnéticos se desarrollaron para reemplazar los codificadores de contacto en aplicaciones limitadas por la velocidad de rotación. Los codificadores magnéticos funcionan al detectar un cambio de frecuencia resonante, un cambio de magnetización o una saturación magnética en un inductor. Para cada método, la inducción de flujo por el disco magnéticamente codificado afecta el cambio al ayudar o inhibir un estado existente. Por lo tanto, para cada principio, existen dos estados normales correspondientes a uno lógico o cero. (Dynamics research, 2002)

El tipo de frecuencia resonante utiliza un circuito sintonizado, cuya frecuencia representa un estado lógico y la desafinación del circuito que representa el estado lógico opuesto. En el método de saturación magnética,

el inductor está saturado o no saturado. Alternativamente, la reticencia del circuito magnético se traduce efectivamente en unos lógicos y ceros. La resolución está limitada por el tamaño del punto magnetizado y complicada por la interacción entre puntos magnetizados en pistas adyacentes. Los codificadores magnéticos superan la limitación básica de velocidad de los codificadores de contacto y ofrecen una mayor longevidad al eliminar el contacto físico entre el disco y el sensor. (Dynamics research, 2002)

2.9. Control PID

El control PID son siglas que provienen de las palabras: proporcionales, integrales y derivativas respectivamente. Tal como se puede observar en la figura 2.3, es un control que realiza todas estas acciones y las adiciona en una sola salida para poder llegar a una respuesta idónea deseada. Este tipo de control tiene como principal característica la retroalimentación, que no, es más, que poder tener de referencia la salida anterior del mismo sistema nuevamente al principio del mismo. Todo esto se realiza con el fin de que el mismo sistema se corrija, entre más veces se repita el ciclo, se aproximará lo más posible a la respuesta deseada. (Honeywell, 2006)

El control de realimentación continuo ofrece la posibilidad de mejorar la operación de la planta al mantener variables seleccionadas cerca de su valor deseado. En primer lugar, el rendimiento de todo el sistema de retroalimentación depende de la estructura del algoritmo y los parámetros utilizados en el algoritmo. En segundo lugar, todos los otros elementos son equipos de proceso e instrumentación, que son costosos y lentos para

modificar, por lo que un área clave de flexibilidad en el ciclo es el cálculo del control. En tercer lugar, aunque los ingenieros usan solo algunos algoritmos, como se explicará, son responsables de determinar los valores de los parámetros ajustables en los algoritmos. (Honeywell, 2006)

El algoritmo PID se ha utilizado con éxito en las industrias de procesos desde la década de 1940 y sigue siendo el algoritmo más utilizado en la actualidad. Puede parecer sorprendente para el lector que un algoritmo pueda tener éxito en muchas aplicaciones: procesamiento de petróleo, generación de vapor, procesamiento de polímeros y muchas más. Este éxito es el resultado de las muchas buenas características del algoritmo. (Honeywell, 2006)

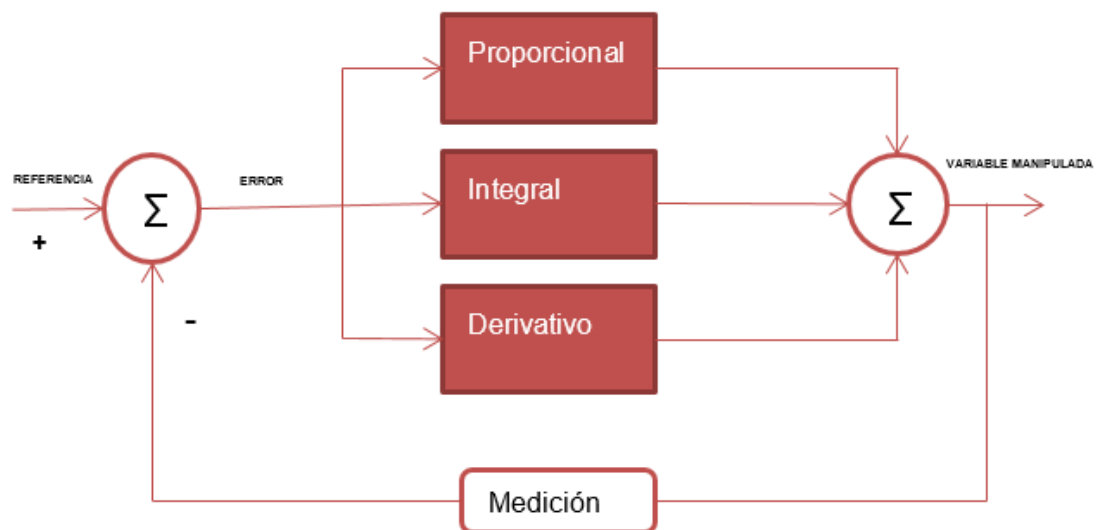


Figura 2. 3: Ejemplo de un diagrama de bloques de control PID.

Elaborado por: Autor

Otro punto crucial en el control PID es lo que se denomina error, este error es el que determinará el grado de respuesta que tendrá el control PID en su salida. Se puede definir al error como una diferencia entre el valor de

configuración ideal con el valor que es medido por un sensor o un detector en tiempo real. Cuando la variable de error se procesa en el control PID, la respuesta de este sistema se conoce como valor de variable manipulada.

Parece lógico que el primer modo haga que la acción de control (es decir, el ajuste de la variable manipulada) sea proporcional a la señal de error, ya que a medida que aumenta el error, el ajuste a la variable manipulada debería aumentar. Este concepto se realiza en el modo proporcional del controlador PID. (Honeywell, 2006)

La ganancia del controlador es el primero de tres parámetros ajustables que permiten al ingeniero adaptar el controlador PID a varias aplicaciones. La ganancia del controlador tiene unidades de variables manipuladas sobre controladas, que es la inversa de la ganancia de proceso. Tenga en cuenta que el sistema incluye un término constante, que se utiliza durante la inicialización del algoritmo. Durante la inicialización, el valor de la variable manipulada debe permanecer sin cambios; por lo tanto, la constante de inicialización se puede calcular en el momento de la inicialización.

El modo proporcional es simple, entrega un ajuste rápido de la variable manipulada, no proporciona compensación de cero, aunque reduce el error, acelera la respuesta dinámica y causa inestabilidad si se establece incorrectamente. (Honeywell, 2006)

Como el modo proporcional no elimina por completo los efectos de las perturbaciones, el siguiente modo debe ser persistente para ajustar la variable manipulada hasta que la magnitud del error se reduzca a cero para una entrada escalonada. La acción integral lo que busca es eliminar el error mediante la suma o promedio del tiempo en el que este ocurre y sumándolo al control proporcional.

Para mantener el valor del error a lo mínimo posible mediante una corrección parcial o proporcional, se utiliza la acción derivativa. Esta acción utiliza la misma cantidad de velocidad con la cual se produce un error para poder corregirlo y no dejar que se incremente. Como este tipo de acción predice o se adelanta en el tiempo, es entendible que sea un sistema muy propenso al ruido. Usualmente, no se utiliza esta acción derivativa cuando se tiene un ambiente muy vulnerable a perturbaciones extremas. (Honeywell, 2006)

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL COMPONENTE PRÁCTICO.

3.1. Equipo electrónico y material necesario para la implementación del robot.

3.1.1. Microcontrolador AVR ATMEGA32u4

El ATmega32U4 es un microcontrolador cuyo consumo es muy bajo, posee lógica CMOS de 8 bits basado en la arquitectura de tipo RISC y mejorada por AVR. Al ejecutar instrucciones potentes en un solo ciclo de reloj, el ATmega32U4 logra rendimientos cercanos a 1 MIPS por MHz, lo que permite al diseñador del sistema optimizar el consumo de energía en comparación con la velocidad de procesamiento. (Atmel, 2010)

El núcleo AVR mezcla una provechosa cantidad de conjuntos como instrucciones que poseen 32 registros para el uso en trabajo de enfoque general. Absolutamente la totalidad de sus 32 registros permanecen enlazados de forma directa a la sección de lógica aritmética, esto conlleva a poder utilizar dos registros de forma independiente en una única línea de instrucción que es ejecutada a través de un ciclo de reloj propio del microcontrolador. La arquitectura resultante es más eficiente en cuanto a los códigos, al tiempo que logra un rendimiento hasta diez veces más rápido que los microcontroladores CISC convencionales. (Atmel, 2010)

El ATmega32U4 proporciona las siguientes características: 16 / 32K bytes de Flash programable dentro del sistema con capacidades de lectura mientras graba, 512 bytes / 1K bytes EEPROM, 1.25 / 2.5K bytes SRAM, 26 líneas de E / S de propósito general (salidas CMOS y LVTTTL entradas), 32

registros de trabajo de uso general, cuatro temporizadores / contadores flexibles con modos de comparación y PWM, un temporizador / contador de alta velocidad con modos de comparación y fuente ajustable PLL, un USART (incluidas señales de control de flujo CTS / RTS), un byte Interfaz serie orientada de 2 hilos, un ADC de 12 canales y 10 bits con etapa de entrada diferencial opcional con ganancia programable. (Atmel, 2010)

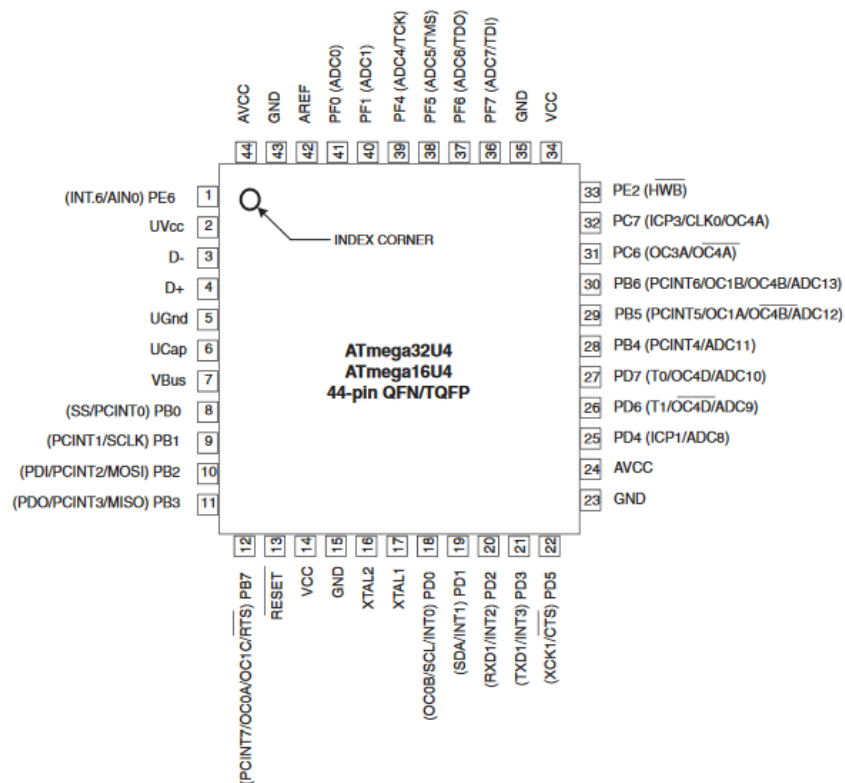


Figura 3. 1: Diagrama de salida de pines de un microcontrolador ATmega32u4.
Fuente: (Atmel, 2010)

3.1.2. Puente H o controlador de los motores IFX9201SG

El controlador de los motores que se usará en el prototipo será un circuito integrado elaborado por la compañía Infineon Technologies, el modelo es IFX9201SG, el cual es un puente H que tiene un uso estándar. Su principal enfoque está en el control de motores de corriente continua, también se puede usar para controlar cargas inductivas. Los pines de salida que tiene el

integrado pueden soportar modulaciones de ancho de pulso con el uso de frecuencias con un límite de 20kHz. (Infineon technologies, 2015)

Posee un control de ancho de pulso combinado con los pines DIR, los cuales están enfocados en habilitar la dirección o sentido de polarización de la salida. Todo esto trabaja combinado, lo cual permite que la cantidad de pines que son usados por parte del microcontrolador sea menor de la utilizada por un controlador común y corriente que existen en el mercado. Cuando se enfocan en las corrientes que ocupan las cargas, se tiene un límite de hasta 8 Amperios en el umbral de trabajo del integrado, y éste entra en un estado de corto. Unas de las ventajas es que cuenta con protección en caso de algún cortocircuito o una elevación de temperatura mayor de lo soportado por los elementos del controlador de los motores. (Infineon technologies, 2015)

Posee un pin de comunicación serial, el cual puede enviar información de regreso para indicar un posible error en el circuito. Posee un disipador de calor interno creado a base de un cobre grueso, lo cual distribuye de forma excelente el calor generado por la corriente al momento de uso de los motores. Soporta soldadura de tipo óptica y superficial para tarjetas electrónicas. (Infineon technologies, 2015)

Entre las características técnicas del circuito integrado se sabe que tiene una posible lectura lógica entre tecnologías TTL y CMOS, con los respectivos valores de voltaje de 3 voltios y 5 voltios, posee una corriente de consumo muy baja cuando el circuito se mantiene a la espera, posee un sistema de

protección de cortocircuito cuando la temperatura y la corriente excede el nivel máximo. (Infineon technologies, 2015)

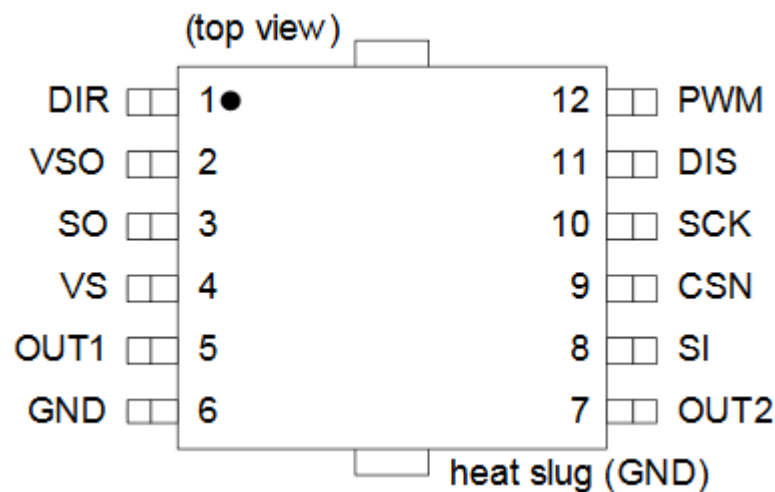


Figura 3. 2: Diagrama de salida de pines de un controlador IFX9201SG.
Fuente: (Infineon technologies, 2015)

3.1.3. Sensor Reflectante QRE1113

Los interruptores reflectivos consisten en un dispositivo emisor de infrarrojos (LED o VCSEL) y un fototransistor de silicio NPN montado "uno al lado del otro" en un eje paralelo en una carcasa de plástico opaca negra. Todos los interruptores reflectivos tienen un dispositivo emisor y un fototransistor que están encapsulados en un epoxi filtrante visible. El fototransistor responde a la radiación del emisor solo cuando un objeto reflectante pasa dentro de su campo de visión. El fototransistor ha mejorado el balanceo de baja corriente para mejorar la relación de contraste y la inmunidad a la irradiación de fondo. Las versiones LED están diseñadas para aplicaciones de campo cercano. La versión VCSEL está diseñada para distancias más largas. (Fairchild, 2009)

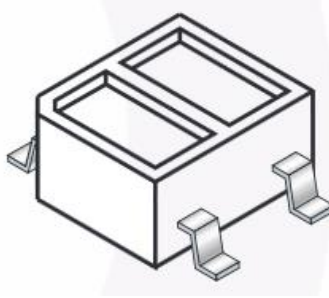


Figura 3. 3: Diagrama de estructura de un sensor reflectante QRE1113.
Fuente: (Fairchild, 2009)

Las distancias de reflexión dependen de la corriente de activación para el dispositivo emisor de luz, la longitud de onda de la fuente de luz y el tipo de material reflectante; por lo tanto, cada aplicación debe verificarse para poder cumplir cada requisito, en nuestro caso, se aplicará en un prototipo que lea el contraste de una línea negra en un fondo blanco, y nos medirá el contraste mediante el arreglo de sensores que se piensa diseñar en la tarjeta electrónica. (Fairchild, 2009)

3.1.4. Motores de corriente continua DC POLOLU relación 10:1

Estos motores tienen un tamaño muy pequeño que los típicos motores que se alimentan con corriente continua que se encuentran en el mercado, la marca Pololu tiene una extensa categoría y tipos de relaciones en engranajes, los cuales se enfocan tanto en la producción que puede generar el motor en torque y velocidad.

Existen relaciones de 5: 1 hasta una máxima de 100:1, a todas estas relaciones se le pueden adaptar distintos tipos de motores entre los de potencia elevada que se enfocan en voltajes de 6 hasta 12, los cuales tienen escobillas carbonizadas, también existen los que trabajan solo hasta 6 voltios,

pero de alta potencia, los de media y baja potencia que poseen escobilla de tipo cepillo elaboradas con materiales de metal precioso, el cual tiene una vida útil menos larga que los anteriores.



Figura 3. 4: Imagen de un motor dc POLOLU con relación 10:1.
Fuente: (Pololu, 2016)

3.1.5. Codificador magnético para motor POLOLU DC

Los codificadores magnéticos funcionan bien en entornos hostiles a los tipos de contacto donde cualquiera de las técnicas de exploración magnética se puede emplear con éxito.

Sin embargo, los altos flujos de ambiente o las densidades de radiación pueden destruir el patrón del disco o inhibir el funcionamiento del núcleo saturado. Se requiere una mayor precaución contra la interferencia electromagnética mutua cuando los codificadores magnéticos están incluidos en el sistema. (Dynamics research, 2002)

Se utilizará para el control de los motores el codificador magnético que se adapta al motor Pololu. Trabaja de 2.7 a 18 voltios y es compatible con HPCB.

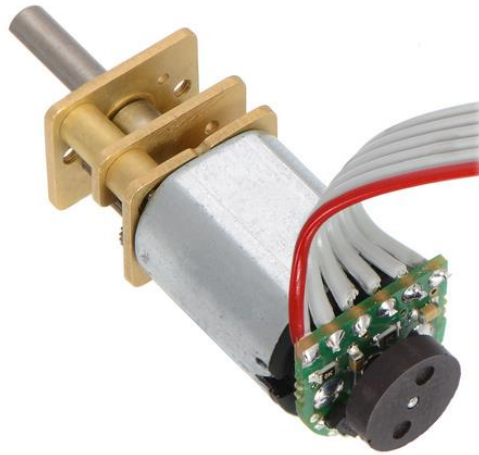


Figura 3. 5: Imagen de codificador magnético POLOLU.
Fuente: (Pololu, 2015)

3.1.6. Dispositivo integrado regulador de voltaje Motorola MC33269

La serie MC33269 son reguladores de voltaje positivo de baja caída, de corriente media, fijos y ajustables, diseñados específicamente para uso en aplicaciones de bajo voltaje de entrada. Estos dispositivos ofrecen al diseñador de circuitos una solución económica para la regulación de voltaje de precisión, manteniendo al mínimo las pérdidas de energía. (Motorola, 2005)

El regulador consiste en un transistor de paso PNP-NPN compuesto de caída de 1,0 V, limitación de corriente y apagado térmico. (Motorola, 2005)

Entre sus principales características técnicas se tienen:

- Modelos de 3.3 V, 5.0 V, 12 V y versiones ajustables.
- Ahorro de espacio en los paquetes de energía DPAK, SOP-8.
- Abandono de 1.0 V.
- Corriente de salida en exceso de 800 mA.
- Protección térmica.

- Protección de cortocircuito.
- Salida recortada al 1.0% de tolerancia. (Motorola, 2005)

3.1.7. Dispositivo convertidor reductor de corriente continua Texas Instruments TPS54340

El TPS54340 es un convertidor reductor de 42 V, 3.5 A con un alto integrado MOSFET lateral. El dispositivo sobrevive a los pulsos de descarga de carga de hasta 45 V por ISO 7637. El control de modo actual proporciona compensación externa simple y selección flexible de componentes. Permite que el modo de omisión de impulsos de impulsos reduzca la corriente de suministro sin carga a 146 μ A. (Texas Instruments, 2017)

La corriente de suministro de desconexión se reduce a 1 μ A cuando el pin de habilitación está bajo. El bloqueo de sub tensión se configura internamente a 4.3 V pero puede aumentarse usando el pin de habilitación. La rampa de inicio de la tensión de salida está controlada internamente para proporcionar un arranque controlado y eliminar el sobre impulso. Un amplio rango de frecuencia de conmutación permite optimizar la eficiencia o el tamaño del componente externo. (Texas Instruments, 2017)

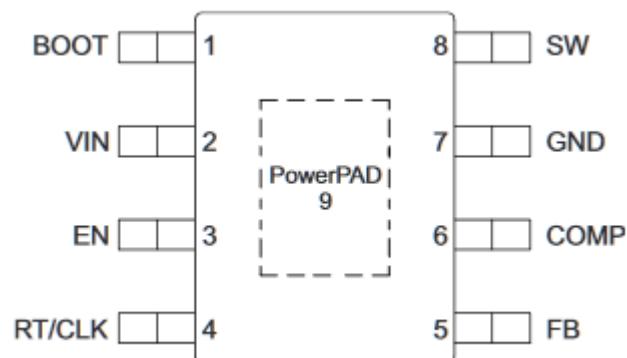


Figura 3. 6: Diagrama de distribución de puertos del integrado TPS54340.
Fuente: (Texas Instruments, 2017)

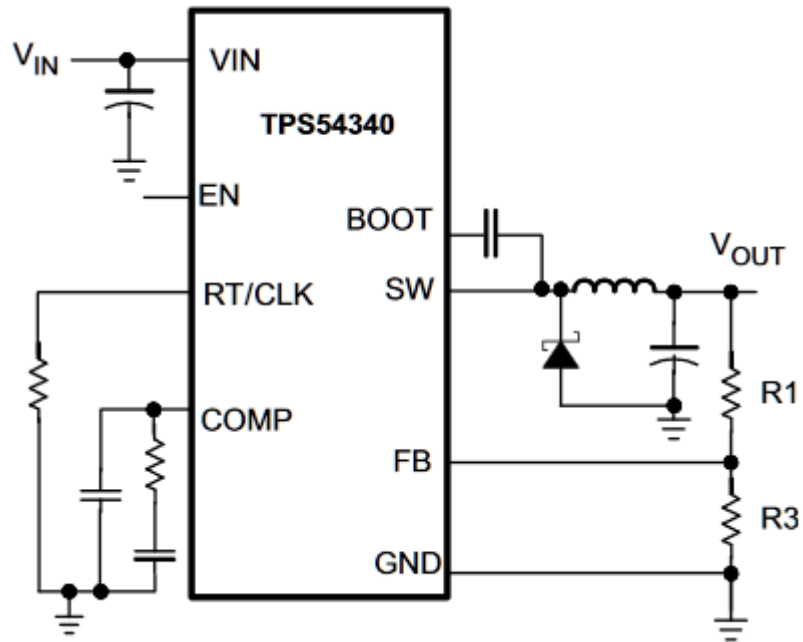


Figura 3. 7: Esquemático simplificado de funcionamiento del integrado TPS54340.
Fuente: (Texas Instruments, 2017)

La frecuencia de retroceso y el apagado térmico protegen los componentes internos y externos durante una condición de sobrecarga. El TPS54340 está disponible en un paquete HSOP térmicamente mejorado de 8 terminales. (Texas Instruments, 2017)

3.1.8. Modulo Inercial iNEMO

El LSM9DS1 es un sistema en paquete que incluye un sensor de aceleración lineal digital en 3D, un sensor de velocidad de tipo angular digital 3D y un sensor magnético digital en 3D. El LSM9DS1 tiene una escala lineal de aceleración lineal de $\pm 2 \text{ g} / \pm 4 \text{ g} / \pm 8 / \pm 16 \text{ g}$, una escala completa de campo magnético de $\pm 4 / \pm 8 / \pm 12 / \pm 16 \text{ gauss}$ y una velocidad angular de $\pm 245 / \pm 500 / \pm 2000 \text{ dps}$. (STmicroelectronics, 2013)

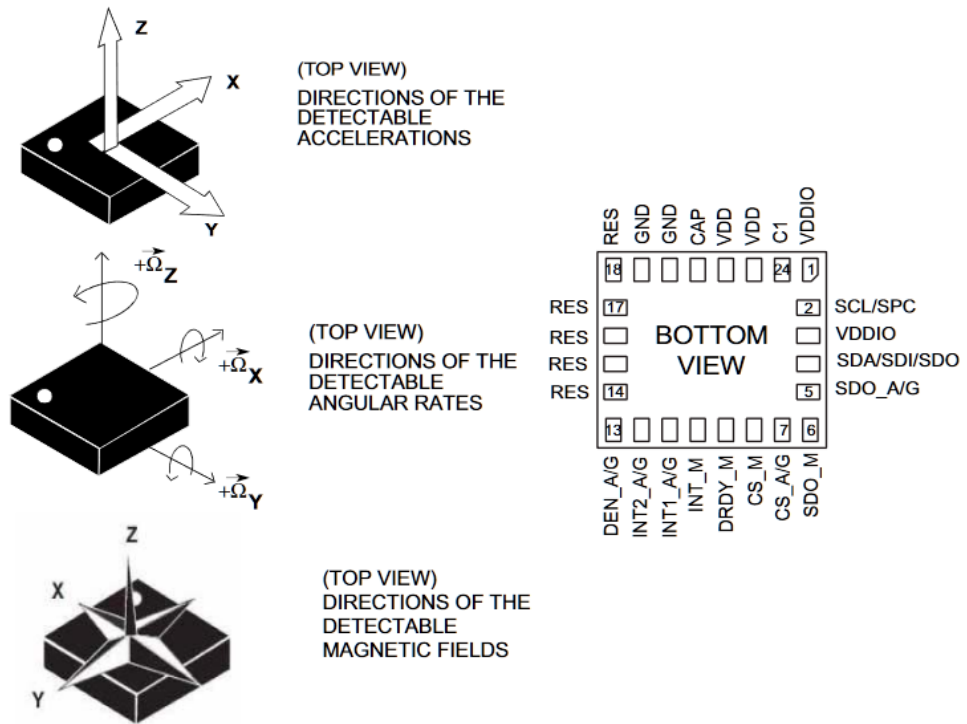


Figura 3. 8: Esquemático simplificado de funcionamiento del integrado TPS54340.
Fuente: (STmicroelectronics, 2013)

El LSM9DS1 incluye una interfaz de bus serie I2C compatible con modo estándar y rápido (100 kHz y 400 kHz) y una interfaz estándar de serie SPI. La detección magnética, acelerómetro y giroscopio se puede habilitar o configurar en el modo de apagado por separado para la administración inteligente de la energía. (STmicroelectronics, 2013)

El LSM9DS1 está disponible en un paquete de matriz de rejilla terrestre de plástico (LGA) y está garantizado para operar en un rango de temperatura extendido de -40 ° C a +85 ° C. (STmicroelectronics, 2013)

3.1.9. Módulos de receptor infrarrojo TSOP4840

Las series TSOP22, TSOP48, TSOP24 y TSOP44, son módulos de receptor infrarrojo (IR) miniaturizados para sistemas de control remoto

controlados a distancia obviamente por infrarrojos. Un diodo PIN y un preamplificador se ensamblan en el marco principal, el paquete epoxi contiene un filtro IR. La señal de salida demodulada se puede conectar directamente a un microprocesador para decodificar. (Vishay Semiconductors, 2018)

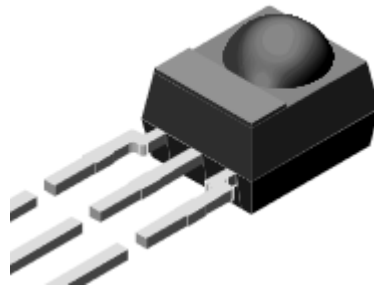


Figura 3. 9: Esquemático simplificado de funcionamiento del integrado TPS54340.
Fuente: (Vishay Semiconductors, 2018)

Los dispositivos de la serie TSOP24, TSOP44 están optimizados para suprimir casi todos los impulsos espurios de las fuentes Wi-Fi y CFL. Pueden suprimir algunas señales de datos si se transmiten continuamente. Los dispositivos de la serie TSOP22, TSOP48 se proporcionan principalmente para compatibilidad con viejos diseños AGC2. Los nuevos diseños deberían preferir las series TSOP24, TSOP44 que contienen el AGC4 más nuevo. Estos componentes no han sido calificados de acuerdo con las especificaciones del móvil. (Vishay Semiconductors, 2018)

A continuación, se describen sus principales características:

- Inmunidad mejorada contra el ruido de HF y RF.
- Baja corriente de suministro.
- Detector de fotos y preamplificador en un paquete.
- Filtro interno para frecuencia PCM.
- Voltaje de suministro: 2.5 V a 5.5 V.
- Mejora de la inmunidad contra el ruido óptico.

- Insensible al suministro de ondulación de voltaje y ruido. (Vishay Semiconductors, 2018)

3.1.10. Multiplexor analógico / demultiplexor de 16 canales de alta velocidad CMOS CD74HC4067

Los dispositivos CD74HC4067 son conmutadores analógicos controlados digitalmente que utilizan CMOS como tecnología de comunicación entre periférico y receptor de datos, tiene una compuerta de silicio para lograr velocidades de operación similares a LSTTL, con el bajo consumo de energía de los circuitos integrados CMOS estándar. (Texas Instruments, 2018)

Estos multiplexores / de-multiplexores analógicos controlan voltajes analógicos que pueden variar a través del rango de suministro de voltaje. Son conmutadores bidireccionales que permiten que cualquier entrada analógica se use como salida y viceversa. Los interruptores tienen baja resistencia de "encendido" y bajas fugas de "desconexión". Además, estos dispositivos tienen un control de habilitación que cuando está alto deshabilita todos los interruptores a su estado "apagado". (Texas Instruments, 2018)

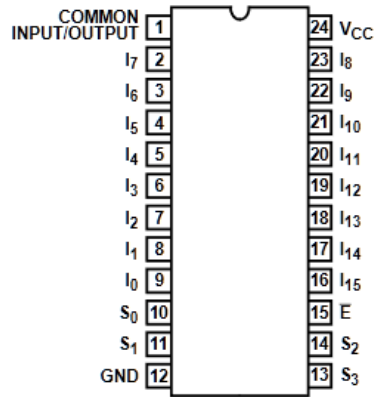


Figura 3. 10: Diagrama de distribución de puertos del integrado CD74HC467.
Fuente: (Texas Instruments, 2018)

3.2. Diseño de la placa de circuito impreso PCB

La evolución del proceso de diseño de PCB ha progresado considerablemente desde los días de las mesas de luz, cinta y Mylar. Los años 80 introdujeron el primer software de diseño de PCB, marcando una nueva era en la capacidad y la tecnología de autoría de diseño. (Altium, 2016)

Antes de realizar el diseño electrónico en el programa Altium, se necesitó realizar un diseño esquemático total de los componentes electrónicos necesarios, tal como se muestra en la figura 3.1. El microcontrolador, los sensores, los reguladores, los codificadores y multiplexores necesarios para tener una idea de la cantidad de periféricos necesarios para el desarrollo de la tarjeta electrónica.

En las figuras 3.12, 3.13 y 3.14 se muestran los diseños de la PCB para el prototipo seguidor de línea, es decir, el diseño periférico, los elementos, las pistas de comunicación y los elementos mecánicos en compañía de la fuente alimentación.

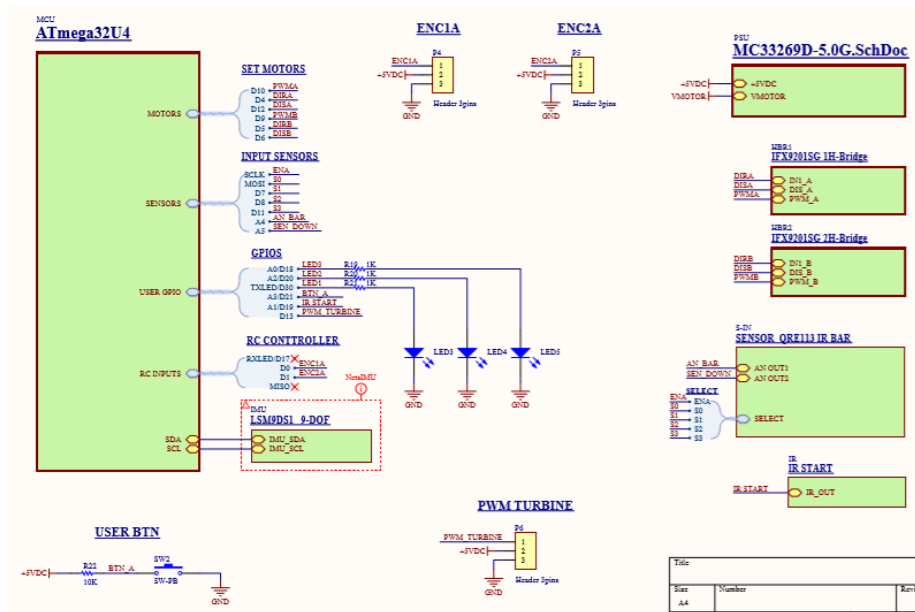


Figura 3. 11: Diagrama esquemático de elementos principales del prototipo seguidor de línea.
Elaborado por: Autor

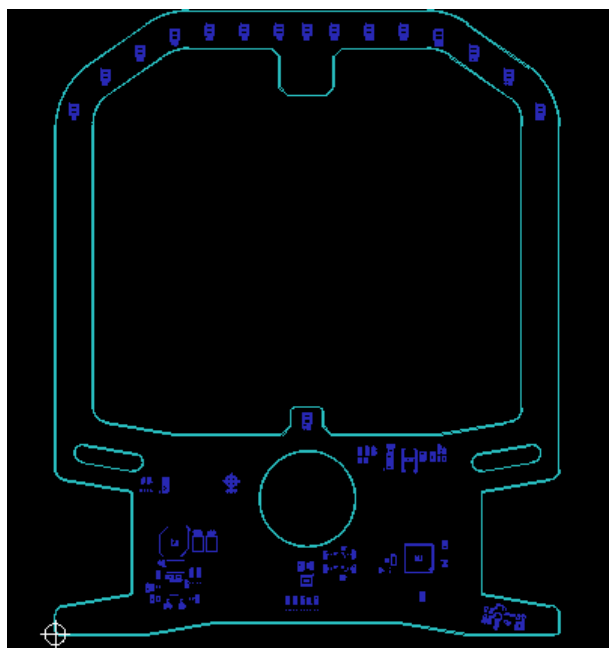


Figura 3. 12: Diagrama de límites periféricos y elementos principales del prototipo seguidor de línea.
Elaborado por: Autor

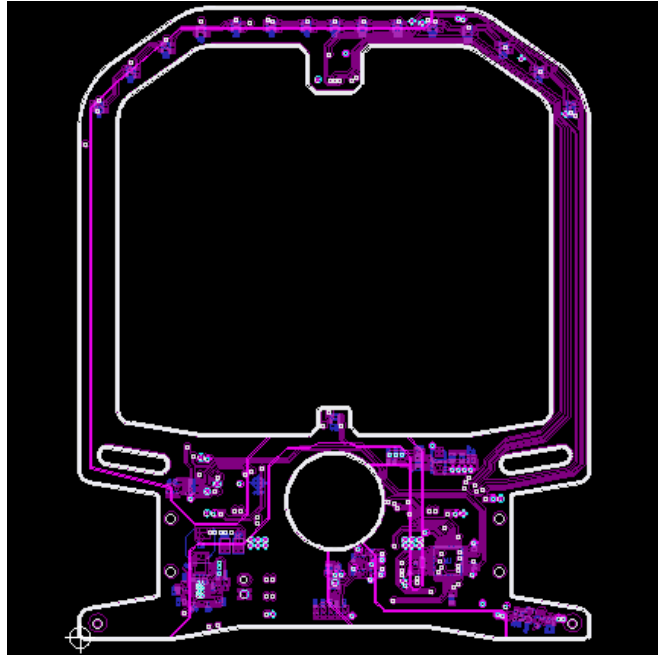


Figura 3. 13: Diagrama de distribución de pistas del prototipo seguidor de línea.
Elaborado por: Autor

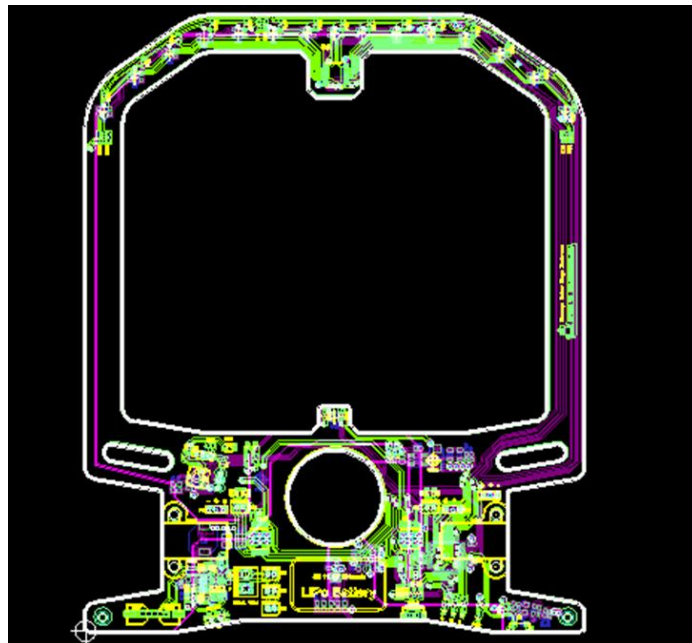


Figura 3. 14: Diagrama de distribución completa del prototipo seguidor de línea.
Elaborado por: Autor

Al momento de diseñar la tarjeta electrónica, se realizaron múltiples búsquedas y en conjunto al conocimiento adquirido en torneos de robótica en los cuales he asistido y participado personalmente, el diseño mostrado a

continuación es a criterio propio el más liviano, estable y veloz que se pueda diseñar para este tipo de prototipo.

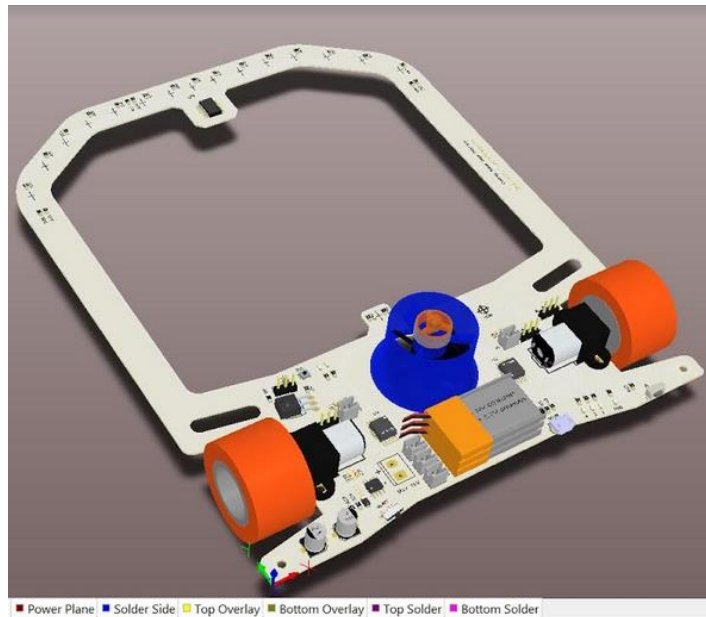


Figura 3. 15: Simulación en tres dimensiones del prototipo finalizado.

Elaborado por: Autor

3.3. Código de control con sistema de control proporcional, integral y derivativo PID.

A continuación, se muestran líneas de código que forman parte del algoritmo de control pertenecientes al prototipo seguidor de línea.

```

#define DIRA 14 //----- Pines de Control de Motores -----
#define DIRA 4 // DIR y DIS Señales digitales de Control de direccion
#define PWMA 10 // DIR | DIS | Motor Salida
#define DISB 6 // 0 | 0 | forward
#define DIRB 5 // 1 | 0 | Backforward
#define PWMB 9 // 1 | 1 | Stop
#define BTN_A 21
#define ENA_BAR_SCK
#define nBits sizeof(ledPins)/sizeof(ledPins[0]) // numero de bits de los Leds de # de estrategia
#define nBitsB sizeof(BarPins)/sizeof(BarPins[0]) // numero de bits de los Leds de # de estrategia

const unsigned int numSensors = 13;
const int maximum = 100;

int ledPins[] = { 30, 20, 18 }; //Pin 30,20 y 18 Leds de # de estrategia 3bits Max 7 Estrategias deñ 1-7
int BarPins[] = { MOSI, 7, 8, 11 }; //Pin 30,20 y 18 Leds de # de estrategia 3bits Max 7 Estrategias deñ 1-7
int count = 1; // Variable que incrementa la Estrategias
int cycle = 0; // Variable de Tiempo (La utilizo para esperar apxim. 5 segundos que mantengp presionado el Boton A)
int Estrategia; // Variable de Estrategia
unsigned int calmin[numSensors]= {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
unsigned int calmax[numSensors]= {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
unsigned int sensor_values[numSensors]= {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
unsigned int position;
unsigned int last_proportional = 0;
int proportional;
long integral = 0;
int derivative;

```

Figura 3. 16: Declaración de variables que se usarán en funciones.

Elaborado por: Autor

```

void SET_MOTORS(int MOTOR1, int MOTOR2) { // Funcion de Motores

//***** MOTOR 1 *****
if (MOTOR1 < 0) { // Forward
    MOTOR1 = -MOTOR1;
    digitalWrite(DISA, LOW);
    digitalWrite(DIRA, HIGH);
} else { // BackForward
    digitalWrite(DISA, LOW);
    digitalWrite(DIRA, LOW);
}
if (MOTOR1 == 0) { // Stop
    digitalWrite(DISA, HIGH);
}
//***** MOTOR 2 *****
if (MOTOR2 < 0) { // Forward
    MOTOR2 = -MOTOR2;
    digitalWrite(DISB, LOW);
    digitalWrite(DIRB, LOW);
} else { // BackForward
    digitalWrite(DISB, LOW);
    digitalWrite(DIRB, HIGH);
}
if (MOTOR2 == 0) { // Stop
    digitalWrite(DISB, HIGH);
}
}

```

Figura 3. 17: Creación de función SET_MOTORS para control de motores.

Elaborado por: Autor

```

int QTRreadLine(){
    unsigned char i, on_line = 0;
    unsigned long avg;
    unsigned int sum;
    static int last_value=0;

    for(int k=1;k<14;k++){
        SenBar(k);
        sensor_values[k-1] = map(analogRead(A4),32,900-5,0,1000);
        if(sensor_values[k-1]> 940)
            sensor_values[k-1]=1000;
        if(sensor_values[k-1]< 15)
            sensor_values[k-1]=0;
        // Serial.print(sensor_values[k-1]);
        // Serial.print(" ");
    }

    avg = 0;
    sum = 0;

    for(i=0;i<numSensors;i++) {
        int value = sensor_values[i];

        // keep track of whether we see the line at all
        if(value > 200) {
            on_line = 1;

```

Figura 3. 18: Creación de función QTRreadLine para detectar línea negra.

Elaborado por: Autor

```

void setup() { //----- Configuración de entradas y Salidas -----

pinMode(DIRA, OUTPUT);
pinMode(DIRB, OUTPUT);
pinMode(FWMA, OUTPUT);
pinMode(DISB, OUTPUT);
pinMode(DIRB, OUTPUT);
pinMode(FWMB, OUTPUT);
pinMode(ENA_BAR, OUTPUT);
pinMode(BTN_A, INPUT);
for (byte i = 0; i < nBits; i++) {
  pinMode(ledPins[i], OUTPUT);
}
for (byte j = 0; j < nBitsB; j++) {
  pinMode(BarPins[j], OUTPUT);
}
} //----- Fin de Configuración de entradas y Salidas -----
Serial.begin(9600); // Set Baudrate (Velocidad de Transmisión Serial) Serial USB para Configurar Receptor y ver valores

LedsBinary(0); // Llamada a función LedsBinary(0) los 3 bits de los leds marcaran Cero (Los 3 Leds Apagados = OFF OFF OFF )
SET_MOTORS(0, 0); // Llamada a Función SET_MOTORS(0, 0); Ambos Motores detenidos
delay(100); // espera 100ms
digitalWrite(ENA_BAR, LOW);
delay(3000);

while (cycle <= 3) { // Calibración Min
  for(int x=0;x<=3;x++){
    if(x>2)
      LedsBinary(x+1);
    else
      LedsBinary(x);
    delay(200);
  }
  if (!digitalRead(BTN_A)) {
    cycle = 0;
    count++;
    if (count > 7)
      count = 1;
    while (!digitalRead(BTN_A) && cycle <= 3) {
      for(int x=0;x<=3;x++){
        if(x>2)
          LedsBinary(x+1);
        else
          LedsBinary(x);
        delay(200);
      }
      cycle++;
    }
  }
}
while (cycle <= 3) { // Calibración Max
  for(int x=3;x>=0;x--){
    if(x>2)
      LedsBinary(x+1);
    else
      LedsBinary(x);
    delay(200);
  }
  if (!digitalRead(BTN_A)) {
    cycle = 0;
    count++;
    if (count > 7)
      count = 1;
    while (!digitalRead(BTN_A) && cycle <= 3) {
      for(int x=3;x>=0;x--){
        if(x>2)
          LedsBinary(x+1);
        else
          LedsBinary(x);
        delay(200);
      }
      cycle++;
    }
  }
}
}

```

Figura 3. 19: Configuración de variables entrada/salida y calibración.

Elaborado por: Autor

```

void loop() { // Programa Principal

    position = QTRreadLine();

    if(position>3500 && position<8500){ //control PID
        proportional = position - 6000;
        derivative = proportional - last_proportional;
        integral += proportional;
        last_proportional = proportional;

        power_difference = Kp*proportional + Ki*integral + Kd*derivative;

        if (power_difference > maximum)
            power_difference = maximum;
        if (power_difference < -maximum)
            power_difference = -maximum;

        if (power_difference < 0)
            SET_MOTORS(maximum, maximum + power_difference);
        else
            SET_MOTORS(maximum - power_difference,maximum);

    }else{
        //seguidor curva
        if(position>=8500)
            SET_MOTORS(-120, 120);
        if(position<=3500)

```

Figura 3. 20: Creación del bucle principal utilizando control PID.

Elaborado por: Autor

Conclusiones

Después de toda la recopilación de información realizada tanto en la parte teórica como en la parte de implementación, ha sido provechosa pues ha servido de referencia y de guía para saber qué tipo de elementos usar cuando se necesita solucionar un problema.

Al momento de investigar y saber con profundidad en lo que se está trabajando. Se comenzó revisando las posibles soluciones que existen en el mercado. Realizar una lista de opciones de microcontroladores disponibles fue favorable para estar seguros de que se cuenta con el mejor, luego de eso es bueno realizar un diseño esquemático de la circuitería electrónica, para saber que componentes se van a necesitar para que exista una correcta comunicación entre el centro de control y sus elementos periféricos.

En el diseño de la circuitería electrónica total fue sencillo y con un buen acabado gracias al buen programa de diseño, el cual es muy completo con sus herramientas y medios interactivos con el usuario, para estar seguros que nuestro trabajo al momento de mandarlo a imprimir vaya a terminar de la mejor manera posible, se utilizó la simulación en 3D para ver el acabado.

Se debe seleccionar de igual manera un entorno de programación que cumpla con las mismas características que el programa de diseño. Arduino cuenta con un interfaz de desarrollo de código muy amigable y simple de entender para la realización de la programación de alto nivel.

Recomendaciones

Es importante saber con qué elementos se están trabajando, esto quiere decir que al momento de diseñar o elaborar cualquier sistema electrónico, las características de todos los elementos electrónicos debe ser tomada en cuenta. Las hojas de datos que acompañan a los elementos electrónicos establecen cuales son los valores ideales en los cuales trabajan sin ningún inconveniente. Tener en cuenta todos los elementos y sus características al momento de diseñar una tarjeta, nos proporciona una seguridad y confianza vital al momento de trabajar con ese sistema.

Cuando se diseña un nuevo prototipo, es recomendable que éste cuente con las mismas o mejores características que los diseños ya existentes que cumplen su misma función. Para esto, es importante realizar una profunda investigación que nos oriente y nos de ideas importantes, para mejorar y de esta manera evolucionar nuestro producto final. Realizar prototipos que tengan una mejor tecnología, nos brinda reconocimiento y nos enseña cómo ser mejores profesionales.

Referencias bibliográficas.

Altium. (2016). *PCB Design Software*. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de http://www.altium.com/resources/PDFs/AD_16.1_Leak_Whitepaper.pdf

Atmel. (2010). *ATmega16U4/32U4 Datasheet*. Recuperado el 11 de Febrero de 2018, de http://academy.cba.mit.edu/classes/embedded_programming/doc7766.pdf

Dynamics research. (2002). *Techniques For Digitizing Rotary and Linear Motion*. Recuperado el 11 de Febrero de 2018, de http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~tcs3/tcs3/0306_conceptual_design/Docs/05_Encoders/encoder_primer.pdf

Fairchild. (2009). *QRE miniature reflective object sensor datasheet*. Recuperado el 11 de Febrero de 2018, de https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/QR_QRE1113.GR.pdf

Honeywell, D. (2006). *A mathematical introduction to robotic manipulation PID Control*. Recuperado el 13 de Febrero de 2018, de http://www.cds.caltech.edu/~murray/books/AM08/pdf/am06-pid_16Sep06.pdf

Infineon technologies. (2015). *IFX9201SG H-Bridge with SPI*. Recuperado el 11 de Febrero de 2018, de https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IFX9201SG-DS-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d4624cb7f111014d2e8916795dea

Motorola. (2005). *Low dropout positive fixed and adjustable voltage regulators*. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/motorola/MC33269D-5.0.pdf>

Pololu. (2015). *Magnetic Encoder Pair Kit for Micro Metal Gearmotors, 12 CPR, 2.7-18V*. Recuperado el 11 de Febrero de 2018, de <https://www.pololu.com/product/3081/resources>

Pololu. (2016). *10:1 Micro Metal Gearmotor HPCB 6V with Extended Motor Shaft*. Recuperado el 11 de Febrero de 2018, de <https://www.pololu.com/product/3071/specs>

STmicroelectronics. (2013). *iNEMO inertial module*. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/1e/3f/2a/d6/25/eb/48/46/DM00103319.pdf/files/DM00103319.pdf/jcr:content/translations/en.DM00103319.pdf>

Texas Instruments. (2017). *TPS54340 42 V 3.5A datasheet*. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps54340.pdf>

Texas Instruments. (2018). *16-Channel analog multiplexer/demultiplexer datasheet*. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4067.pdf>

Vishay Semiconductors. (2018). *IR receiver modules for remote control systems*. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de <https://www.vishay.com/docs/82459/tsop48.pdf>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **VEGA ZAMBRANO, ROBERT ANDRÉS** con C.C: # 0922457106 autor del Trabajo de Titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR DE LÍNEA VELOCISTA CONTROLADO CON FUNCIÓN PID UTILIZANDO UN ATMEGA 32U4** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 8 de Marzo de 2018

f. _____

Nombre: VEGA ZAMBRANO, ROBERT ANDRÉS

C.C: 0922457106

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR DE LÍNEA VELOCISTA CONTROLADO CON FUNCIÓN PID UTILIZANDO UN ATMEGA 32U4		
AUTOR(ES)	VEGA ZAMBRANO, ROBERT ANDRÉS		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. EDWIN F. PALACIOS MELÉNDEZ		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	8 de Marzo de 2018	No. DE PÁGINAS:	50
ÁREAS TEMÁTICAS:	Electrónica, Sistemas Digitales y Microcontroladores		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	SEGUIDOR DE LINEA, ATMEGA 32U4, PID, IDE, ARDUINO, PCB.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>La creación del actual trabajo de titulación se basó de primera mano, en una pequeña investigación de tipo bibliográfica enfocada en los seguidores de líneas, para poder concretar las definiciones que son fundamentales conocer, para entender cómo funcionan los distintos tipos de controles existentes. Cuando se realizó la búsqueda, se pudo revisar y analizar los planes y proyectos que se encontraron en su mayoría dentro del servidor de publicaciones técnicas y tecnológicas profesionales pertenecientes al Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) que está establecido actualmente en Internet. Se entendió los parámetros y condiciones que debería tener un seguidor de línea velocista, y también, en los distintos tipos de controles que existen en el mundo de la automatización. En el caso actual, se utilizó un control PID para poder tener una respuesta inteligente y lo más inmediatamente posible del robot en sus motores. Una vez entendido todo esto, se procedió a trabajar en el desarrollo de la placa de circuito impreso (Print Circuit Board, PCB) en el programa Altium Designer. Para poder realizar la programación, se utilizó el entorno de desarrollo integrado (Integrated Development Environment, IDE) que posee Arduino para el microcontrolador Atmega 32u4.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-79227321	E-mail: robertvega22@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-68366762		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
No. DE REGISTRO (en base a datos):			
No. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			