



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Ingeniería de Mecánica Eléctrica

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LLENADO DE GRANOS AGRÍCOLAS

Abel Antonio Ramírez Juárez

Asesorado por el Ing. Romeo Neftalí López Orozco

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LLENADO DE GRANOS AGRÍCOLAS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ABEL ANTONIO RAMÍREZ JUÁREZ

ASESORADO POR EL ING. ROMEO NEFTALÍ LÓPEZ OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
EXAMINADORA	Inga. Wendy Nora Miranda López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LLENADO DE GRANOS AGRÍCOLAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 6 de abril de 2015.

Abel Antonio Ramírez Juárez


Guatemala, 08 de octubre de 2015

Ingeniero Carlos Guzmán
Coordinador de Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería

Señor Coordinador:

Tengo el gusto de informar a usted que he concluido con el asesoramiento del trabajo de graduación con título: **"DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATICO DE LLENADO DE GRANOS AGRÍCOLAS"**, desarrollado por el estudiante **Abel Antonio Ramírez Juárez**, con carné **201020507**. Después de revisar su contenido final, considero que cumple con los requerimientos necesarios, y doy mi entera aprobación al mismo.

Atentamente,



Ing. Romeo Nefthalí López Orozco

Colegiado No. 3364

ROMEO NEFTALÍ LÓPEZ OROZCO
INGENIERO ELECTRICISTA
Colegiado No. 3364



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 07. 2016.
Guatemala, 12 de OCTUBRE 2015..

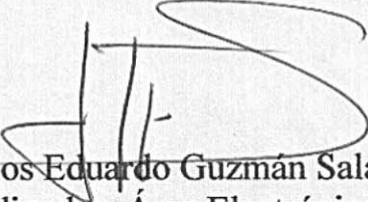
Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LLENADO DE
GRANOS AGRÍCOLAS, del estudiante Abel Antonio Ramírez
Juárez, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DISEÑAD Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



S/O



REF. EIME 07. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ABEL ANTONIO RAMÍREZ JUÁREZ Titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LLENADO DE GRANOS AGRÍCOLAS, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 4 DE FEBRERO 2016.

Universidad de San Carlos
De Guatemala

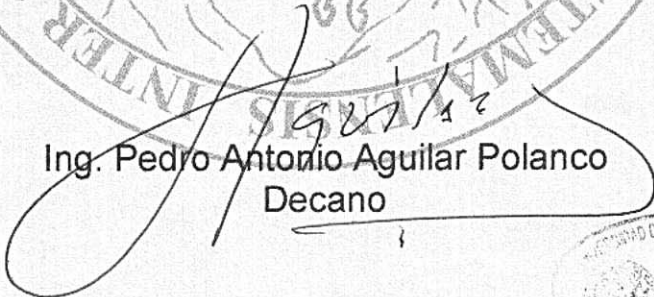


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.D.141 -2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LLENADO DE GRANOS AGRÍCOLAS**, presentado por el estudiante universitario: **Abel Antonio Ramírez Juárez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el pilar que sostiene la unión de mi conocimiento y fe en los caminos de mi vida.
- Mis padres** Marco Antonio Ramírez Villatoro y Ruth Juárez Herrera, por su amor y apoyo incondicional en mis proyectos de vida.
- Mis hermanos** Esteban y Pablo Ramírez, por acompañarme y darme su apoyo en todo momento para esta meta de vida.
- Mis abuelos** Claudia de Jesús Villatoro Ruana, Anita Juárez, Pedro Bulux, por su inmenso amor, dedicación y consejos brindados durante toda mi vida.
- Mis tíos** Pedro, Alcira, Galya y Dina Juárez, por creer en mí siempre.
- Mis compañeros** Por haber formado un excelente grupo de trabajo en donde todos nos apoyamos incondicionalmente, aprendimos unos de otros, y con base en el esfuerzo y sacrificio salimos todos adelante.

AGRADECIMIENTOS A:

EIME, USAC

Por ser parte importante en mi preparación como profesional.

Ing. Romeo López

Por ser un excelente catedrático, por su paciencia y valiosa asesoría del presente trabajo.

Licda. Keila Valle

Por su ejemplo como profesional y consejos que son parte importante de mi formación como profesional y personal.

Mis amigos de la carrera

Por haber compartido conmigo buenos y malos momentos durante el transcurso de la carrera en especial a: Luis Herrera, Ángelo Caal, Rodrigo Chang, Rodrigo Arana, Daniel Oxom, Hector Cojulun, Douglas Ixtecoc, Gabriel Ávila, Víctor Salazar, Francisco García, Hugo López, Óscar Milian y Jorge Illescas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. ELECTRÓNICA DE CONTROL.....	1
1.1. Sistemas de control	1
1.1.1. Definiciones básicas	1
1.1.2. Tipos de sistemas de control.....	4
1.1.2.1. Sistema de lazo abierto.....	4
1.1.2.2. Sistema de lazo cerrado.....	5
1.2. Dispositivos de medición y acción	7
1.2.1. Sensores ultrasónicos.....	7
1.2.1.1. Principio de funcionamiento	8
1.2.1.2. Rango de medición	9
1.2.1.3. Ruido externo.....	10
1.2.2. Electroválvula	10
1.2.2.1. Funcionamiento.....	11
1.2.2.2. Tipos de electroválvulas.....	12
1.2.2.2.1. Electroválvulas sencillas	12
1.2.2.2.2. Electroválvulas de tres vías	12

2.	CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRÓNICA A UTILIZAR	13
2.1.	Electrónica analógica	13
2.1.1.	Componentes utilizados en la electrónica analógica.....	13
2.1.1.1.	Resistencia	14
2.1.1.1.1.	Ley de Ohm	15
2.1.1.1.2.	Potenciómetros.....	16
2.1.1.2.	Diodo ideal.....	16
2.1.1.3.	Transistor BJT	18
2.1.1.4.	Capacitor	21
2.1.1.4.1.	Capacitor electrolítico ...	22
2.1.1.4.2.	Capacitores cerámicos	23
2.1.1.5.	Inductancias	24
2.1.1.6.	Filtro	25
2.1.1.6.1.	Filtro pasivo	26
2.1.1.6.2.	Filtro activo	28
2.1.1.7.	Oscilador electrónico	29
2.2.	Electrónica digital	30
2.3.	Microcontrolador	32
2.3.1.	Compilador MikroBasic.....	34
3.	ELECTRÓNICA DEL PROYECTO.....	37
3.1.	Diseño del controlador del sensor ultrasónico	38
3.1.1.	Protocolo de comunicación del sensor ultrasónico.....	38
3.1.2.	Ancho del pulso de Eco y medición de la distancia	40

3.1.3.	Valores de componentes y conexiones para el módulo HC-SR04.....	41
3.2.	Diseño del controlador del actuador	44
3.2.1.	Circuito de acople	45
3.2.1.1.	Componentes electrónicos a utilizar	46
3.3.	Diseño de la interfaz de usuario y del tablero de control.....	47
3.3.1.	Interfaz de usuario	48
3.3.2.	Tablero de control	49
	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES.....	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	57
	APÉNDICE	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema de control básico	1
2.	Componentes de un sistema.....	2
3.	Partes de un sistema de control	3
4.	Sistema de control de lazo abierto	5
5.	Sistema de control de lazo cerrado	6
6.	Sensor ultrasónico	8
7.	Diagrama de control.....	9
8.	Electroválvula.....	11
9.	Símbolo eléctrico de una resistencia	14
10.	Resistencias en su forma física.....	15
11.	Símbolo eléctrico de un potenciómetro	16
12.	Curva del diodo.....	17
13.	Símbolo electrónico del diodo	17
14.	Polarización del diodo	18
15.	Símbolos del transistor.....	19
16.	Curva característica del transistor	20
17.	Símbolo eléctrico del capacitor.....	22
18.	Capacitor electrolítico.....	23
19.	Capacitor cerámico	23
20.	Símbolo electrónico del inductor	24
21.	Función de transferencia.....	26
22.	Símbolos de filtros.....	28
23.	Filtro pasa bajo.....	29

24.	Señal binaria.....	32
25.	Microcontrolador 16F628A de 18 pines	34
26.	Logo MikroBasic	35
27.	Diagrama de bloques del sistema	38
28.	Módulo ultrasónico HC-SR04	39
29.	Diagrama de tiempos del HC-SR04.....	40
30.	Proceso de comunicación del HC-SR04	41
31.	Diagrama de pines PIC16F628A	43
32.	Diagrama de conexión con el sensor	44
33.	Diagrama de bloques del acople entre sistemas.....	46
34.	Diagrama interno del 4N35.	46
35.	Esquemático del circuito de acople.....	47
36.	Conexiones con leds de visualización.....	49
37.	Diagrama esquemático del tablero de control.	51

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CI	Circuito integrado
AC	Corriente alterna
DC	Corriente continua
F	Faradios
Hz	Hertz
Led	<i>Light-emitting diode</i> (diodo emisor de luz)
Ω	Omega
PIC	<i>Peripheral Interface Controller</i> (controlador de interfaz periférico)
α RX	Receptor
PNP	Transistor
NPN	Transistor
TX	Transmisor
V	<i>Volts</i>

GLOSARIO

Bit	Unidad mínima de información empleada en cualquier dispositivo digital, sus estados pueden ser 0 (bajo) o 1 (alto).
Código	Conjunto de símbolos que representan una información o mensaje, el cual se encuentra codificado.
Diagrama esquemático	Representación pictórica de un circuito eléctrico. Este muestra los diferentes componentes del circuito de manera simple con pictogramas uniformes de acuerdo a normas, y las conexiones de alimentación y de señal entre los distintos dispositivos.
Dopaje	En los semiconductores se denomina dopaje al proceso intencional de agregar impurezas en un semiconductor extremadamente puro, con el fin de cambiar sus propiedades eléctricas.
Firmware	Bloque de instrucciones de máquina para propósitos específicos, grabado en una memoria, normalmente de lectura/escritura, que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.

Led	Componente opto electrónico compuesto por dos conexiones llamadas ánodo y cátodo, que al polarizarlo directamente emite luz.
Onda cuadrada	Es la onda de corriente alterna (CA), que alterna su valor entre dos valores extremos sin pasar por los valores intermedios.
Sensor ultrasónico	Es un detector de proximidad que trabaja libre de cualquier fricción. El sensor emite un sonido y al medir el tiempo en que tarda la señal en regresar poder conocer la distancia en que se encuentra el objeto.
Visualizador	Dispositivo de ciertos aparatos electrónicos que permite mostrar información al usuario de manera visual.
Zona activa	Región del transistor bjt en donde la unión emisor - base está directamente polarizada y la unión base - colector inversamente polarizada.

RESUMEN

El diseño de un sistema automático de llenado de granos agrícolas, consiste en conocer a qué nivel del tanque se encuentran los granos. Esto con el fin de que el usuario conozca el nivel y lleve un mejor control de sus recursos.

El sistema se centralizó con un microcontrolador, con el fin de tener un solo control y manejo de los sensores y actuadores que llevarán a cabo la automatización del proceso. El sensor será la vista del operador y su fin es conocer el tamaño del tanque de forma que quede almacenado. En el diseño se utilizó un sensor ultrasónico, ya que el objetivo es no tener contacto físico con los granos. Esto se logró emitiendo un impulso acústico a alta frecuencia y de corta duración que se propagó por el aire.

Al almacenar, los datos recibidos por el sensor, se logran interpretar con el microcontrolador y saber la capacidad total del tanque. Este dato en específico se utilizó para tres partes del diseño. La primera es la calibración del sistema. La segunda es para desplegar los datos en la interfaz gráfica y que por medio de los leds de visualización se conozca el nivel de llenado

La tercera parte es para enviar señales al actuador. Esto para controlar el paso de los granos al tanque, con lo que se finaliza el sistema de control de lazo cerrado.

OBJETIVOS

General

La realización del diseño del sistema automático de llenado de granos, con el propósito de optimizar los recursos y ayudar al usuario a llevar el control de proceso.

Específicos

1. Diseñar un sistema que disponga de un monitor simple, donde se visualice el nivel de llenado.
2. Contar con un sistema de sensor, que indique al equipo de control el nivel en que se encuentra el tanque.
3. Sincronizar un control electrónico que accione la válvula mediante un acople de potencia para dar el paso de los granos al tanque.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de graduación se elaboró el diseño de un sistema automático de llenado de granos agrícolas. Es desarrollado en un sistema de comunicación con un sensor ultrasónico, utilizando un actuador para el paso de flujo de granos y una arquitectura centralizada.

En el capítulo 1 se dan a conocer los principios de funcionamiento de un sensor ultrasónico. Permite conocer las distancias en un espacio y los diferentes sistemas de control que se utilizan en el sistema junto con el actuador y sus diferentes tipos.

En el capítulo 2 se dan a conocer los conceptos básicos de electrónica a utilizar. Estos permiten conocer el funcionamiento de los componentes electrónicos de los circuitos de la electrónica analógica y digital que forman parte del diseño.

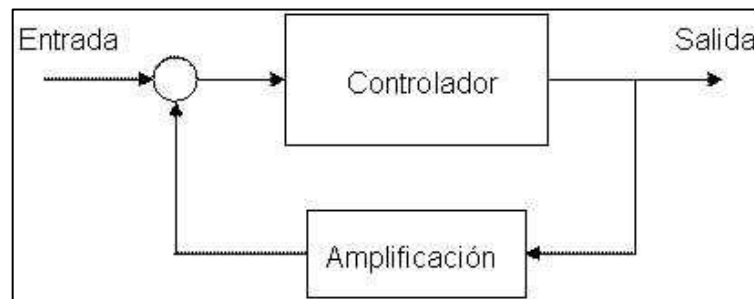
En el capítulo 3 se da a conocer el funcionamiento del diseño del llenado de granos. Es empleado mediante un sistema de control de lazo cerrado, utilizando el sensor ultrasónico, el microcontrolador como la máquina central o controlador central, la electroválvula como actuador, y utilizando los circuitos adicionales como el acople entre sistemas, el visualizador y el tablero de control.

1. ELECTRÓNICA DE CONTROL

1.1. Sistemas de control

Son aquellos dedicados a obtener la salida deseada de un sistema o proceso. En un sistema general se tienen una serie de entradas que provienen del sistema a controlar, llamado planta, y se diseña un sistema para que, a partir de estas entradas, modifique ciertos parámetros en el sistema planta, con lo que las señales anteriores volverán a su estado normal ante cualquier variación. Un sistema de control básico es el que se presenta en la figura 1.

Figura 1. Sistema de control básico



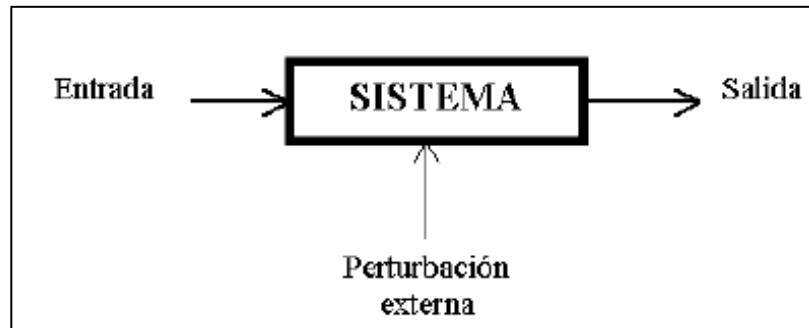
Fuente: *Electrónica de control*. http://es.wikipedia.org/wiki/Electrónica_de_control.

Consulta: junio de 2015.

1.1.1. Definiciones básicas

- Sistema: es la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo. Los componentes que intervienen en un sistema pueden observarse en la figura 2.

Figura 2. Componentes de un sistema

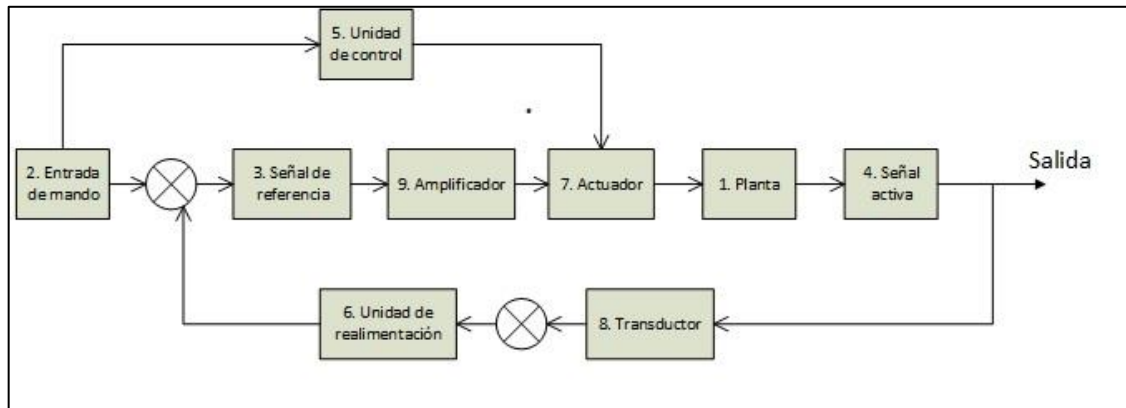


Fuente: FELIPE, Luis. *Introducción a los sistemas de control*.

http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf. Consulta: junio de 2015.

- Variable de entrada: es una señal tal que una modificación de su magnitud o condición puede alterar el estado del sistema.
- Variable de salida: es una señal del sistema cuya magnitud o condición se mide.
- Perturbación: es una señal que tiende a afectar el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se le denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y constituye una entrada.

Figura 3. Partes de un sistema de control



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

- Planta: sistema sobre el que se pretende actuar.
- Entrada de mando: señal externa al sistema que condiciona su funcionamiento.
- Señal de referencia: es una señal de entrada conocida que sirve para calibrar al sistema.
- Señal activa: también denominada señal de error. Representa la diferencia entre la señal de entrada y la realimentada.
- Unidad de control: gobierna la salida en función de una señal de activación.

- Unidad de realimentación: está formada por uno o varios elementos que captan la variable de salida, la acondicionan y trasladan a la unidad de comparación.
- Actuador: es un elemento que recibe una orden desde el regulador o controlador y la adapta a un nivel adecuado, según la variable de salida necesaria para accionar el elemento final de control, planta o proceso.
- Transductor: transforma una magnitud física en otra que es capaz de interpretar el sistema.
- Amplificador: proporciona un nivel de señal procedente de la realimentación, entrada, comparador, adecuada al elemento sobre el que actúa.

1.1.2. Tipos de sistemas de control

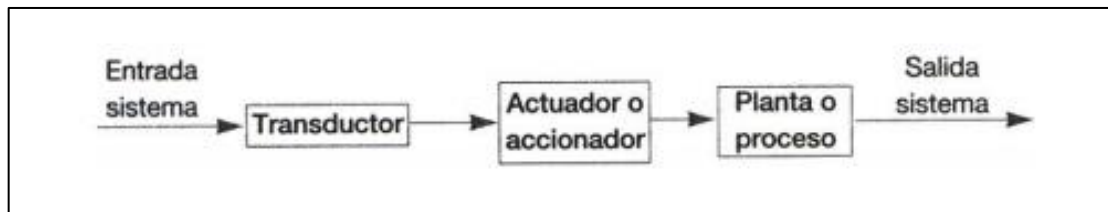
Hay varias clasificaciones dentro de un sistema de control. Existen analógicos, digitales o mixtos: atendiendo a su estructura (número de entradas y salidas) puede ser control clásico o control moderno, a su diseño pueden ser por lógica difusa, redes neuronales. La clasificación principal de un sistema de control es de dos grandes grupos, los cuales se describen a continuación.

1.1.2.1. Sistema de lazo abierto

Sistema de control en el que la salida no tiene efecto sobre la acción de control. Se caracteriza porque la información o la variable que controla el proceso circula en una sola dirección desde el sistema de control al proceso. El sistema de control no recibe la confirmación de que las acciones se han realizado correctamente.

La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada. El sistema se controla directamente, o bien mediante un transductor y un actuador. El esquema típico del sistema se presenta en la figura 4.

Figura 4. **Sistema de control de lazo abierto**



Fuente: ARANDA LLAMUCA, Diego Patricio. *Estudio del sistema de prensado de moquetas*. http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SI%20STEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf. Consulta: junio de 2015.

El transductor modifica o adapta la naturaleza de la señal de entrada al sistema de control.

1.1.2.2. Sistema de lazo cerrado

Sistema de control en el que la salida ejerce un efecto directo sobre la acción de control. Se caracteriza porque existe una relación de realimentación desde el proceso hacia el sistema de control a través de los sensores. El sistema de control recibe la confirmación si las acciones ordenadas han sido realizadas correctamente.

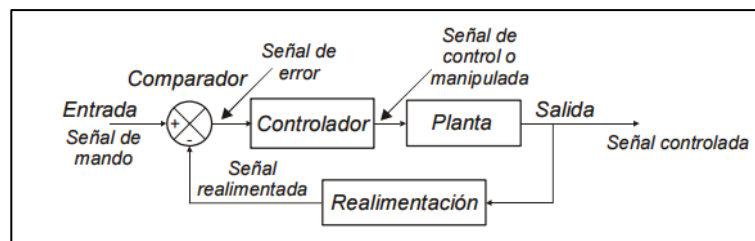
La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesario que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación (*feedback*).

La realimentación es la propiedad de un sistema lazo cerrado por la cual la salida o cualquier otra variable que esté controlada, se compara con la entrada del sistema, de manera que la acción del control se establezca como una función de ambas.

En ocasiones también se le llama realimentación al transductor de la señal de salida. Esta mide en cada instante el valor de la señal de salida y brinda un valor proporcional a dicha señal.

Por lo tanto, se definen también los sistemas de control de lazo cerrado, como aquellos sistemas en los que existe una realimentación de la señal de salida, ejerciendo un efecto sobre la acción de control. El diagrama de bloques correspondiente se muestra en la figura 5.

Figura 5. **Sistema de control de lazo cerrado**



Fuente: ARANDA LLAMUCA, Diego Patricio. *Representación de los sistemas de control y diagramas* http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf. Consulta: junio de 2015.

1.2. Dispositivos de medición y acción

Con el deseo de conocer el medio que nos rodea, es necesario cuantificar los fenómenos físicos con los cuales se trabajan para lograr un objetivo en particular. Como, la cantidad de agua en un tanque, el nivel de azúcar en la sangre, el peso de un material, y otros.

La electrónica moderna ofrece diferentes dispositivos con los cuales se mide los medios físicos. Estos funcionan por medio de presión, fuerza, temperatura, y otros. Son interpretados en señales eléctricas analógicas o digitales según sea el modelo y tipo del dispositivo, para que estas señales puedan ser utilizadas por el desarrollador y emplearlas según sea la necesidad.

1.2.1. Sensores ultrasónicos

Son interruptores electrónicos que trabajan sin contacto. La parte emisora genera pulsos de sonidos muy fuertes dentro del rango del ultrasonido.

Hay sensores ultrasónicos unidireccionales, pero la mayoría son bidireccionales. Aquí se aprovecha el efecto de rebote del sonido debido a la presencia del objeto. Un ejemplo del mismo está en la figura 5.

Según el tiempo que transcurre en ir y regresar el pulso sónico, se puede determinar la distancia entre el sensor y el objeto.

Las ondas sónicas solo pueden irradiarse si existe un medio. Este medio puede ser, para el caso del ultrasonido un gas, un fluido o un material rígido. Normalmente los sensores ultrasónicos se emplean bajo presión atmosférica.

Figura 6. **Sensor ultrasónico**

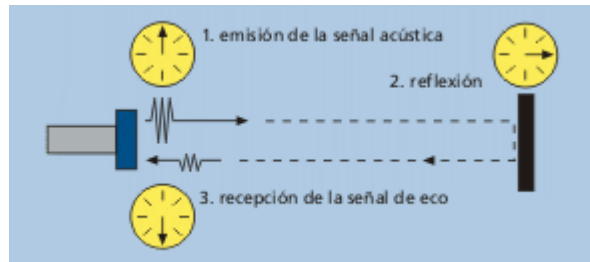


Fuente: *Electrónica VM*. <http://electronicavm.net/2011/07/07/sensor-de-aparcamiento-con-arduino/>. Consulta: junio de 2015.

1.2.1.1. Principio de funcionamiento

Es la forma en que un sensor ultrasónico realiza su trabajo. Este emite cíclicamente un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración y a su vez el impulso se propaga a la velocidad del sonido por el aire. Al encontrar un objeto es reflejado y vuelve como eco al sensor ultrasónico. El sensor calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal acústica y la recepción de la señal de eco.

Figura 7. **Diagrama de control**



Fuente: QUEZADA, Juan Manuel. *Diagrama de control*. <http://www.microsonic.de/es/Interesting-facts.htm>. Consulta: junio de 2015

La distancia hacia el objeto es medida por medio del tiempo de recorrido del sonido, y no por una medición de la intensidad. Los sensores ultrasónicos son insensibles hacia el ruido de fondo.

Prácticamente todos los materiales que reflejan el sonido son detectados, independientemente de su color. Aún materiales transparentes o láminas delgadas no presentan problemas para los sensores ultrasónicos.

1.2.1.2. Rango de medición

Los sensores ultrasónicos en un promedio permiten medir distancias entre 20 mm y 10 m, indicando el valor medido con una precisión de un milímetro. Esto gracias a la medición del tiempo de recorrido. Algunos sensores pueden inclusive obtener una precisión de la medición de distancia de 0,025 mm.

Los sensores funcionan en medio polvoriento o en una niebla de pintura. Depósitos delgados sobre la membrana del sensor tampoco influyen sobre su función.

Los sensores con una zona ciega de sólo 20 mm y con un haz acústico extremadamente delgado abren en la actualidad un abanico de aplicaciones completamente nuevas: Las mediciones en tubos de ensayo y el escaneado de botellas pequeñas en la industria de los embalajes pueden llevarse a cabo sin problemas, incluso alambres finos son reconocidos con seguridad.

1.2.1.3. Ruido externo

Hoy en día los sensores ultrasónicos con distancia de detección de 2 m, trabajan con frecuencias mayores a 100 kHz. Gracias a esto, los sensores son inmunes a los ruidos externos.

Si se tienen fuentes de ruido muy alto, que actúan directamente en el cono de detección, la sensibilidad del sensor se atenúa, de modo que podría originar problemas con la detección de objetos. En la medición del nivel de llenado, el sensor ultrasónico es insuperable.

1.2.2. Electroválvula

Es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierta y cerrada, o todo y nada. Las electroválvulas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos.

1.2.2.1. Funcionamiento

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica, mediante magnetismo, en energía mecánica para que la válvula pueda actuar.

Al circular corriente por solenoide genera un campo magnético que atrae el núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte. Las electroválvulas son más fáciles de controlar mediante programas de software secuencias de pulsos. En la figura 8 se observa un tipo de electroválvula, que en este caso es utilizada para diferentes tipos de presión, ya que usa un sistema de motor paso a paso para controlar la apertura del caudal.

Figura 8. **Electroválvula**



Fuente: MÜLLER A. u. K. *Electroválvulas por motor*. <http://www.directindustry.es/prod/u-k-muller/electrovalvulas-por-motor-paso-paso-servomando-27761-128429.html>.

Consulta: junio de 2015.

1.2.2.2. Tipos de electroválvulas

Dentro del mundo de las electroválvulas existen diversas opciones a elegir por conveniencia y funcionalidad, entre los diferentes tipos que existen, tenemos los siguientes:

1.2.2.2.1. Electroválvulas sencillas

Las electroválvulas de tipo directo pueden ser normalmente abiertas o cerradas, lo que significa sin alimentación eléctrica quedan cerradas o abiertas respectivamente. En el primer caso la válvula se mantiene cerrada por la acción de un muelle y el solenoide la abre venciendo la fuerza del muelle, Es decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo energía mientras la válvula está abierta. Las normalmente abiertas, funcionan de forma inversa.

1.2.2.2.2. Electroválvulas de tres vías

Este tipo de electroválvulas realizan la conmutación de una entrada entre dos salidas. Se usan a menudo en los sistemas que tienen calefacción y preparación de agua caliente sanitaria. Esto permite permutar el calentamiento de uno u otro sistema alternativamente utilizando una sola bomba de circulación.

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRÓNICA A UTILIZAR

Las dos divisiones de la electrónica que interesarán, para el desarrollo de este proyecto son analógica y digital.

2.1. Electrónica analógica

La electrónica es la ciencia que estudia los fenómenos físicos en los que intervienen las cargas eléctricas aplicadas a los semiconductores.

La evolución constante de sus componentes y la aparición de nuevos materiales ha permitido que en la actualidad esté presente en todo tipo de aplicaciones. Esta ciencia ha hecho posible que las comunicaciones y la informática hayan alcanzado el nivel del que se dispone hoy.

La electrónica analógica considera y trabaja con valores continuos pudiendo tomar valores infinitos. Se puede acotar que trata con señales que cambian en el tiempo de forma continua, porque estudia los estados de conducción y no conducción de los diodos. Los transistores que sirven para diseñar cómputos en el álgebra con las cuales se fabrican los circuitos integrados.

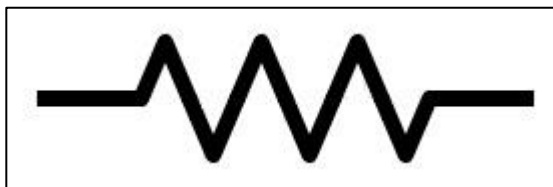
2.1.1. Componentes utilizados en la electrónica analógica

Dentro de la electrónica analógica existen componentes con diferentes funciones, que, dependiendo del diseño del circuito son elegidos para cumplir con un objetivo, limitar corriente, guardar carga, amplificar corriente, y otros.

2.1.1.1. Resistencia

Es la dificultad que ofrece un material al paso de la corriente eléctrica. En electrónica se encuentran resistencias fijas y resistencias variables (el valor óhmico depende de algún fenómeno físico). En los circuitos electrónicos se encuentran resistencias fijas para: limitar o regular una corriente o para proteger algunos componentes. El símbolo de la resistencia en un circuito. Se representa como se ve en la figura 9. El ohmio (símbolo Ω) es la unidad derivada de resistencia eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades.

Figura 9. **Símbolo eléctrico de una resistencia**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Word.

Las resistencias o resistores son fabricadas principalmente de carbón y se presentan en una amplia variedad de valores. Hay resistencias con valores de Ohmios (Ω), Kiloohmios ($K\Omega$), Megaohmios ($M\Omega$). Los resistores se utilizan en los circuitos para limitar el valor de la corriente o para fijar el valor de la tensión. A diferencia de otros componentes electrónicos, los resistores no tienen polaridad definida. La forma física de las resistencias se representa en la figura 10.

Figura 10. **Resistencias en su forma física**



Fuente: PRIETO, Javier. *Electrónica Digital*.

<http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/electro/electr-analogica-2.swf>.

Consulta: junio de 2015.

2.1.1.1.1. **Ley de Ohm**

La ley de Ohm, postulada por el físico y matemático alemán Georg Simon Ohm, es una ley básica de la electricidad. Establece que la intensidad de la corriente I que circula por un conductor es proporcional a la diferencia de potencial V que aparece entre los extremos del citado conductor.

Ohm completó la ley introduciendo la noción de resistencia eléctrica R : esta es el coeficiente de proporcionalidad que aparece en la relación entre I y V :

$$V = I * R \quad \text{[Ec. 2-1]}$$

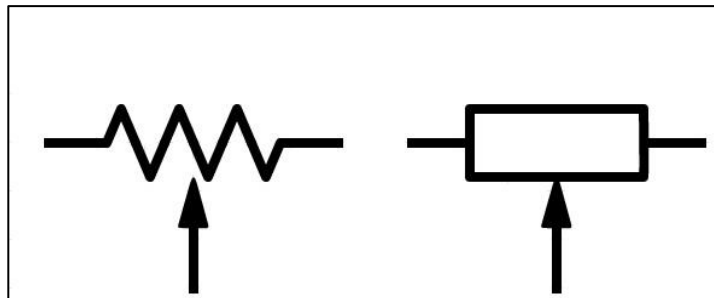
Donde V es voltaje, I es corriente eléctrica y R resistencia eléctrica. Las unidades que corresponden a estas tres magnitudes en el Sistema Internacional son, respectivamente: amperios (A), voltios (V) y ohmios (Ω).

2.1.1.1.2. Potenciómetros

Son resistencias cuyo valor en ohmios varía en función de algún parámetro. De esta manera, indirectamente, se puede controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial al conectarlo en serie.

Normalmente, los potenciómetros se utilizan en circuitos de poca corriente. Para circuitos de corrientes mayores se utilizan los reóstatos, que pueden disipar más potencia. El símbolo electrónico de un potenciómetro en un circuito electrónico se representa como se ve en la figura 11.

Figura 11. **Símbolo eléctrico de un potenciómetro**



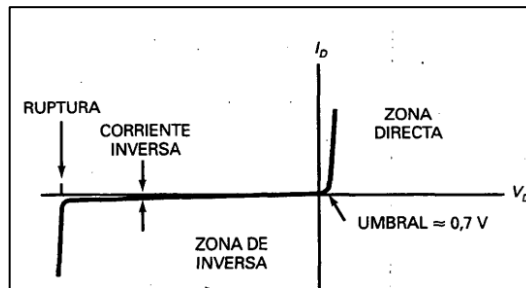
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.1.1.2. Diodo ideal

Es considerado como el elemento fundamental de circuitos no lineales. Puede estar construido de germanio o silicio. Una resistencia ordinaria es un dispositivo lineal debido a que la gráfica de su corriente en función de su tensión es una línea recta. Un diodo es diferente, es un dispositivo no lineal,

porque la gráfica de la corriente en función del voltaje no es una línea recta, como se puede observar en la figura 12.

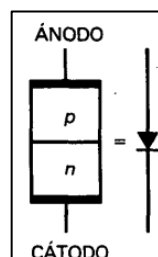
Figura 12. **Curva del diodo**



Fuente: MALVINO, Albert Paul. *Principios de electrónica*. p. 67.

Debido a que en el diodo existe una barrera de potencial, la corriente del diodo es pequeña; si la tensión del diodo supera esta barrera de potencial, la corriente de este se incrementa rápidamente. La figura 13 representa el símbolo electrónico de un diodo. Este dispositivo de dos terminales cuenta con el lado tipo p llamado ánodo y el lado tipo n llamado cátodo. El símbolo del diodo es una flecha que apunta del lado p al lado n, es decir, el ánodo al cátodo.

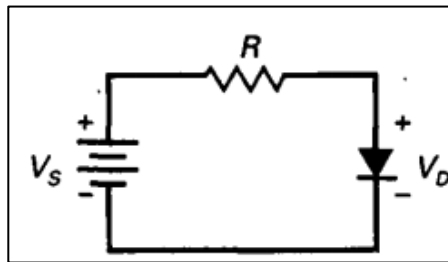
Figura 13. **Símbolo electrónico del diodo**



Fuente: MALVINO, Albert Paul. *Principios de electrónica*. p. 66.

El diodo puede estar en dos estados, ya sea en polarización directa o inversa. Cuando está polarizado directamente como en la figura 14, el diodo conduce, y cuando está polarizado inversamente, no conduce.

Figura 14. **Polarización del diodo**



Fuente: MALVINO, Albert Paul. *Principios de electrónica*. p. 66.

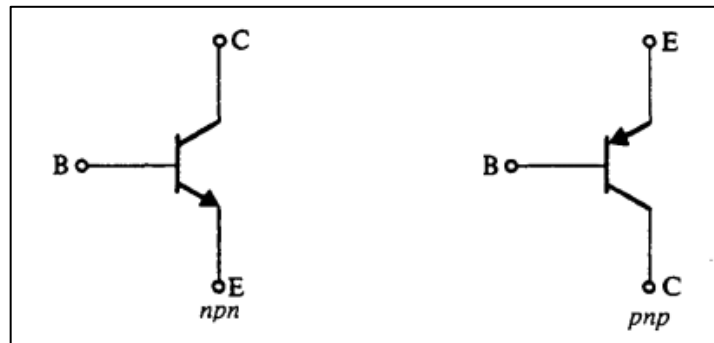
2.1.1.3. **Transistor BJT**

Es un dispositivo semiconductor de tres terminales. Consta de dos uniones (pn) construidas de manera especial y conectadas en serie, espalda con espalda. La corriente es conducida por electrones y huecos y de aquí se deriva su nombre de transistor bipolar.

Este dispositivo es utilizado ampliamente en circuitos discretos y en el diseño de circuitos integrados, (IC) tanto analógicos como digitales.

Existen dos tipos transistores: el NPN y el PNP, y la dirección del flujo de la corriente en cada caso. Esto indica la flecha que representa la corriente del emisor, como se puede observar en la figura 15.

Figura 15. **Símbolos del transistor**



Fuente: SEDRA, Adel S. *Circuitos microelectrónicos*. p. 234.

El transistor es un dispositivo de tres terminales. Estas son: base, colector y emisor; coincidiendo siempre, el emisor con la terminal que tiene la flecha en el gráfico de transistor.

El transistor bipolar es un dispositivo que cumple con la función de amplificador de corriente. Esto quiere decir que, si se le introduce una cantidad de corriente por una de las terminales, por lo general, la base entregará por otra de sus terminales (emisor), una cantidad mayor a esta en un factor que se llama amplificación, denotado β (beta), que viene dado por la fabricación de cada transistor.

Los principales parámetros del análisis para los transistores son: corriente de colector (I_c), corriente de base (I_b) y corriente de emisor (I_e). Del análisis se denotan las siguientes ecuaciones:

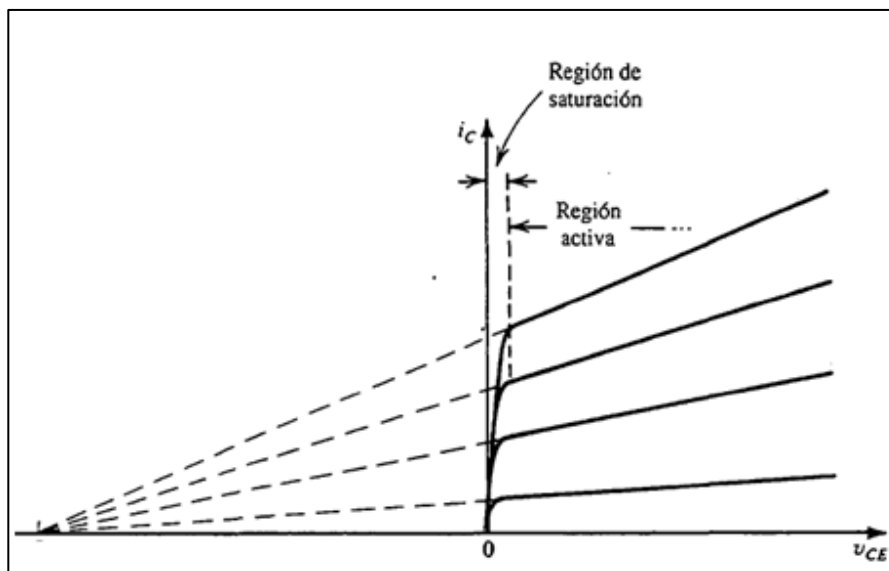
$$I_c = \beta \times I_b \quad [\text{Ec. 2-2}]$$

$$I_e = I_c + I_b \quad [\text{Ec. 2-3}]$$

Como se puede observar en la ecuación (2) el valor de la corriente de colector es el resultado de la amplificación de la corriente de base. La ecuación (3) denota la corriente de emisor como la suma algebraica de la corriente de base y colector. En algunos casos se realiza la aproximación $I_e \approx I_c$, debido a que la corriente de base es mínima.

De las fórmulas (2) y (3) las corrientes de polarización no dependen del voltaje que alimenta el circuito (V_{cc}), pero en la realidad sí lo hacen y la corriente I_b cambia ligeramente cuando se cambia V_{cc} . En la figura 16 se observa la curva característica del transistor:

Figura 16. **Curva característica del transistor**



Fuente: SEDRA, Adel S. *Circuitos microelectrónicos*. p. 240.

El transistor según su polarización puede trabajar en tres regiones: región de saturación, región activa y región de corte. La configuración que se le aplique al transistor dependerá de la función que se requiera alcanzar.

2.1.1.4. Capacitor

Es un dispositivo pasivo utilizado en circuitos electrónicos, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.

Está formado por un par de superficies conductoras. Generalmente en forma de láminas o placas, en situación de influencia total (todas las líneas de campo eléctrico que parten de una van a parar a la otra). Las mismas están separadas por un material dieléctrico o por el vacío.

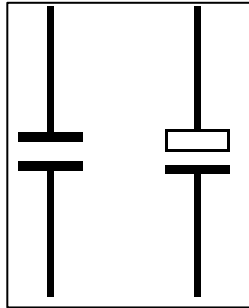
Las placas sometidas a una diferencia de potencial, adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una de ellas y negativa en la otra, siendo nula la variación de carga total.

La carga almacenada en una de las placas es proporcional a la diferencia de potencial entre las placas, siendo la constante de proporcionalidad la llamada capacidad o capacitancia, como se observa en la ecuación (2-4).

$$C = \frac{Q_1}{(V_1 - V_2)} = \frac{Q_2}{(V_1 - V_2)} \quad [\text{Ec. 2-4}]$$

C es la capacitancia, Q la carga y V el voltaje. La capacidad de 1 faradio es mucho más grande que la de la mayoría de los condensadores, por lo que en la práctica se suele indicar la capacidad en micro ($\mu\text{F} = 10^{-6}$), nano ($\text{nF} = 10^{-9}$), pico ($\text{pF} = 10^{-12}$) faradios. El símbolo eléctrico del capacitor se puede observar en la figura 17. Los dos tipos de capacitores que se utilizarán en el diseño son: electrolíticos y cerámicos.

Figura 17. **Símbolo eléctrico del capacitor**



Fuente: PALACIO, Abdallah David. *Carpintería*.

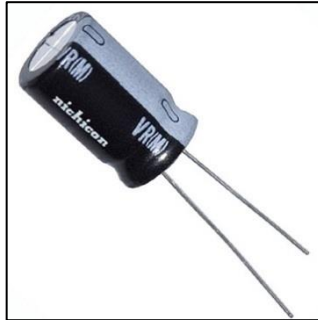
http://es.wikipedia.org/wiki/Condensador_el%C3%A9ctrico. Consulta: junio de 2015.

2.1.1.4.1. Capacitor electrolítico

Es un tipo de condensador que usa un líquido iónico conductor como una de sus placas. Típicamente con más capacidad por unidad de volumen que otros tipos de condensadores, son valiosos en circuitos eléctricos con relativa alta corriente y baja frecuencia. Este es especialmente el caso en los filtros de alimentadores de corriente, donde se usan para almacenar la carga, y moderar el voltaje de salida y las fluctuaciones de corriente en la salida rectificada. También son muy usados en los circuitos que deben conducir corriente continua, pero no corriente alterna.

Los condensadores electrolíticos pueden tener mucha capacitancia, permitiendo la construcción de filtros de muy baja frecuencia. Es un elemento polarizado, por lo que sus terminales no pueden ser invertidos como se puede observar en la figura 18. Generalmente, el signo de polaridad viene indicado en el cuerpo del capacitor.

Figura 18. **Capacitor electrolítico**

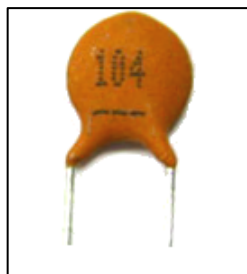


Fuente: RELA, Agustín. *Circuito eléctrico*. <http://neetescuela.com/capacidad-y-carga-de-un-capacitor>. Consulta: junio de 2015.

2.1.1.4.2. **Capacitores cerámicos**

Estos suelen ser de dos tipos diferentes. Son los más comunes y tienen una forma muy simple: se trata de un disco de material aislante cerámico de elevada constante dieléctrica metalizado en sus dos caras. Sobre el metalizado se sueldan los dos pines de conexión resultando un dispositivo como el mostrado en la figura 19, en donde se observa el capacitor sin su baño final de pintura epoxi que tapa el disco y parte de los terminales.

Figura 19. **Capacitor cerámico**



Fuente: VILARDELL, M. *Circuitos electrónicos*. <http://electronica-teoriaypractica.com/category/condensadores>. Consulta: junio de 2015.

Este tipo de capacitor se provee desde capacidades de 2,2 pF hasta .1 uF en tensiones relativamente bajas de 63 V. Existe también cerámica de mayor tensión para aplicaciones especiales que llegan a valores de 2 kv.

Asimismo, se utiliza en constantes de tiempo bajas del orden del μs o menores aún. La tolerancia más común es de 5 % y los de valores bajos hasta 100 pF no varían con la temperatura y se denominan NP0.

Los valores mayores pueden tener coeficientes de variación con la temperatura positivos o negativos. Estos algunas veces se utilizan para compensar el coeficiente del resistor y lograr una constante de tiempo fija que no varíe con la temperatura.

2.1.1.5. Inductancias

Un inductor, bobina o reactor es un componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético. El símbolo electrónico del inductor se observa en la figura 20.

Figura 20. **Símbolo electrónico del inductor**



Fuente: elaboración propia.

Un inductor está constituido, normalmente, por una bobina de conductor, alambre o hilo de cobre esmaltado. Existen inductores con núcleo de aire o con núcleo hecho de material ferroso, para incrementar su capacidad de magnetismo.

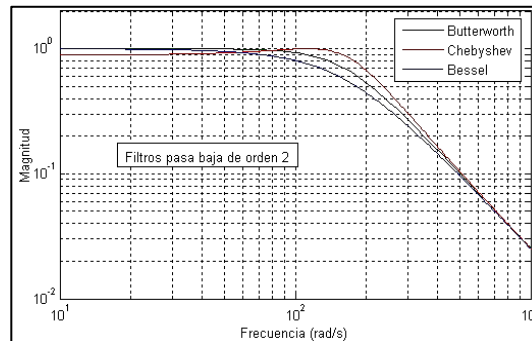
Los inductores pueden también estar contruidos en circuitos integrados, usando el mismo proceso utilizado para realizar microprocesadores. En estos casos se usa, comúnmente, el aluminio como material conductor. Es raro que se construyan inductores dentro de los circuitos integrados porque es mucho más práctico usar un circuito llamado girador que, mediante un amplificador operacional, hace que un condensador se comporte como si fuese un inductor.

2.1.1.6. Filtro

Un filtro eléctrico o electrónico es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.

Una de las características importantes en el diseño de un filtro es la función de transferencia del mismo, con independencia de la realización concreta del filtro, salvo que debe ser lineal, (analógico, digital o mecánico) su forma de comportarse se describe por su función de transferencia. Esta determina la forma en que la señal aplicada cambia en amplitud y en fase, para cada frecuencia al atravesar el filtro. Los filtros más habituales son: Butterworth, Chebyshev, y Bessel. En la figura 21 se observa la gráfica de la función de transferencia.

Figura 21. **Función de transferencia**



Fuente: *Filtro electrónico*. http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_electr%C3%B3nico. Consulta: junio de 2015.

2.1.1.6.1. **Filtro pasivo**

Un filtro es un circuito electrónico que posee una entrada y una salida. En la entrada se introducen señales alternas de diferentes frecuencias y en la salida se extraen esas señales atenuadas en mayor o menor medida según la frecuencia de la señal. Si el circuito del filtro está formado por resistencias, condensadores o bobinas (componentes pasivos) se dirá que es un filtro pasivo.

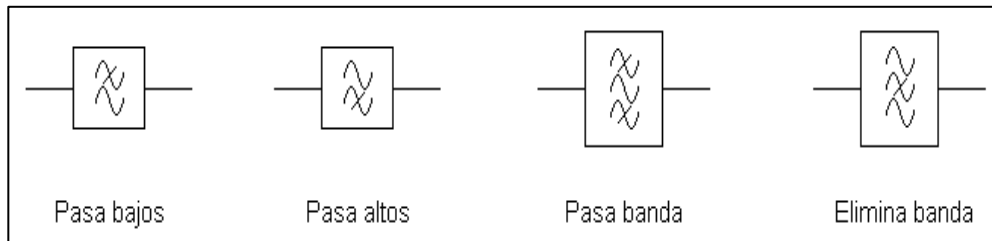
Por otro lado, como de cada tipo de filtro existe un esquema básico que lo implementa y además es posible conectarlos en cascada (uno a continuación del otro), si el circuito del filtro está formado por el esquema o célula básica se dirá que es de primer orden. Será de segundo orden si está formado por dos células básicas, de tercer orden si lo está por tres, y sucesivamente.

Según su respuesta en frecuencia, los filtros se pueden clasificar en cuatro categorías diferentes:

- Filtro pasa bajos: es aquel aquellos que introduce muy poca atenuación a las frecuencias que son menores que una determinada, llamada frecuencia de corte. Las frecuencias que son mayores que la de corte son atenuadas fuertemente.
- Filtro pasa altos: este tipo de filtro atenúa levemente las frecuencias que son mayores que la frecuencia de corte e introducen mucha atenuación a las que son menores que dicha frecuencia.
- Filtro pasa banda: en este filtro existen dos frecuencias de corte, una inferior y otra superior. Este filtro solo atenúa grandemente las señales cuya frecuencia sea menor que la frecuencia de corte inferior o aquellas de frecuencia superior a la frecuencia de corte superior. Por tanto, solo permiten el paso de un rango o banda de frecuencias sin atenuar.
- Filtro elimina banda: elimina en su salida todas las señales que tengan una frecuencia comprendida entre una frecuencia de corte inferior y otra de corte superior. Por tanto, eliminan una banda completa de frecuencias de las introducidas en su entrada.

Existe un símbolo para cada uno de estos filtros, símbolo que se usa en los diagramas de bloques de los aparatos electrónicos. Estos símbolos se muestran en la figura 22.

Figura 22. **Símbolos de filtros**



Fuente: *Filtros-símbolos*. <http://inigo.sendino.org/academico/index.php?title=Archivo:Filtros-simbolos.gif>. Consulta: junio de 2014.

2.1.1.6.2. **Filtro activo**

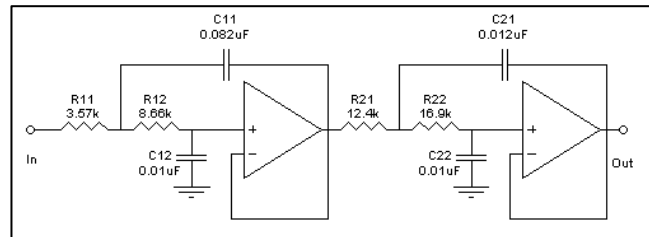
Es un filtro electrónico analógico, distinguido por el uso de uno o más componentes activos (que proporcionan una cierta forma de amplificación de energía), que lo diferencian de los filtros pasivos que solamente usan componentes pasivos. Este elemento activo puede ser un tubo de vacío, un transistor o un amplificador operacional.

Un filtro activo puede presentar ganancia en toda o parte de la señal de salida respecto a la señal de entrada. En su implementación se combinan elementos activos y pasivos, siendo frecuente el uso de amplificadores operacionales, que permiten obtener resonancia y un elevado factor (Q) sin el empleo de bobinas.

Se pueden implementar, entre otros, filtro pasa baja, pasa alto, paso banda. Configuraciones de circuitos de filtro activo incluyen:

- Filtro de Sallen-Key, que se muestra en la figura 23
- Filtro de estado variable

Figura 23. **Filtro pasa bajo**



Fuente: *Filtro de sellen key*. http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Sallen-Key.

Consulta: junio de 2015.

2.1.1.7. **Oscilador electrónico**

Es un circuito electrónico que produce una señal electrónica repetitiva, a menudo una onda sinusoidal o una cuadrada.

Oscilador es un circuito que genera una señal periódica, es decir, que produce una señal periódica a la salida sin tener ninguna entrada periódica. Los osciladores se clasifican en armónicos, cuando la salida es sinusoidal, o de relajación, si generan una onda cuadrada.

Un oscilador a cristal es un oscilador armónico, cuya frecuencia está determinada por un cristal de cuarzo o una cerámica piezoeléctrica.

Los sistemas de comunicación suelen emplear osciladores armónicos. Normalmente son controlados por cristal, como oscilador de referencia. Como también osciladores de frecuencia variable.

La frecuencia se puede ajustar mecánicamente (condensadores o bobinas de valor ajustable) o aplicando tensión a un elemento. Estos últimos se conocen

como osciladores controlados por tensión o VCO, es decir, osciladores cuya frecuencia de oscilación depende del valor de una tensión de control. Y también es posible hallar osciladores a cristal controlados por tensión o VCXO.

Existen parámetros que son muy importantes para la utilización de un oscilador. Estos son:

- Frecuencia: es la frecuencia del modo fundamental.
- Margen de sintonía, para los de frecuencia ajustable: es el rango de ajuste.
- Potencia de salida y rendimiento: el rendimiento es el cociente entre la potencia de la señal de salida y la potencia de alimentación que consume.
- Nivel de armónicos: potencia del armónico referida a la potencia del fundamental, en dB.
- *Pulling*: variación de frecuencia del oscilador al variar la carga.
- *Pushing*: variación de frecuencia del oscilador al variar la tensión de alimentación.
- Deriva con la temperatura: variación de frecuencia del oscilador al variar la temperatura.
- Ruido de fase o derivas instantáneas de la frecuencia.
- Estabilidad de la frecuencia a largo plazo, durante la vida del oscilador.

2.2. Electrónica digital

Es una rama de electrónica en la cual se estudian o se aplican solo dos estados de valores, magnitudes o tensiones: alto-bajo, cero-uno. En la representación digital los valores no se denotan por valores proporcionales, sino por símbolos llamados dígitos.

Cuando se manejan diversos valores es importante representar sus cantidades o magnitud con eficiencia y exactitud. Los sistemas digitales son una combinación de dispositivos diseñados para manejar cantidades físicas o información que está representada de forma digital; esto es, que solo pueden tomar valores discretos.

Estos dispositivos pueden ser magnéticos, neumáticos, mecánicos o electrónicos. Algunos de los sistemas digitales más conocidos son los relojes digitales, las computadoras, las calculadoras digitales y los controladores de señales del tráfico.

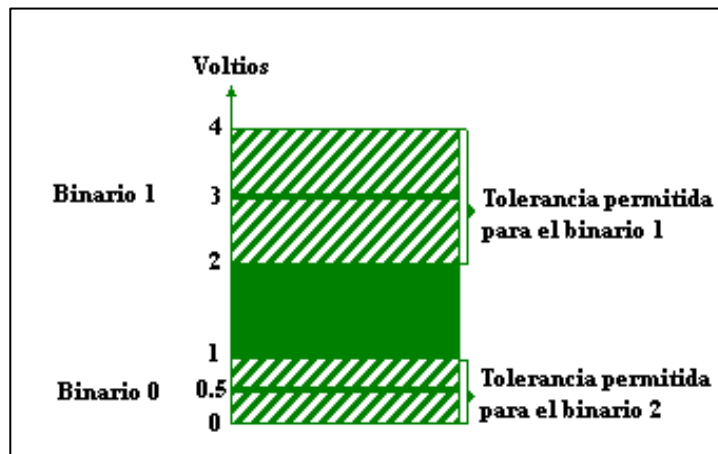
Los equipos digitales utilizan el sistema de números binarios, que tiene dos dígitos 0 y 1. Un dígito binario se denomina un bit. La información está representada en las computadoras digitales en grupos de bits.

Utilizando diversas técnicas de codificación los grupos de bits pueden hacerse que representen no solamente números binarios sino también otros símbolos discretos cualesquiera, tales como dígitos decimales o letras del alfabeto. Utilizando arreglos binarios y diversas técnicas de codificación, los dígitos binarios o grupos de bits pueden utilizarse para desarrollar conjuntos completos de instrucciones para realizar diversos tipos de cálculos.

La información binaria se representa en un sistema digital por cantidades físicas denominadas señales. Las señales eléctricas tales como voltajes existen a través del sistema digital en cualquiera de dos valores reconocibles y representan una variable binaria igual a 1 o 0.

Por ejemplo, un sistema digital particular puede emplear una señal de 3 volts para representar el binario 1 y 0,5 volts para el binario 0. En la figura 24 se muestra un ejemplo de una señal binaria.

Figura 24. **Señal binaria**



Fuente: CIFUENTES, Juan. *Ircuitos Lógicos Incluyendo Tecnologías*.[http://www.profesormolina.com .ar/electronica/componentes/int/comp_log.htm](http://www.profesormolina.com.ar/electronica/componentes/int/comp_log.htm). Consulta: junio de 2015.

En la figura 23, cada valor binario tiene una desviación aceptable del valor nominal. La región intermedia entre las dos regiones permitidas se cruza solamente durante la transición de estado. Los terminales de entrada de un circuito digital aceptan señales binarias dentro de las tolerancias permitidas y los circuitos responden en los terminales de salida con señales binarias que caen dentro de las tolerancias permitidas.

2.3. **Microcontrolador**

Abreviado μC , UC o MCU. Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios

bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

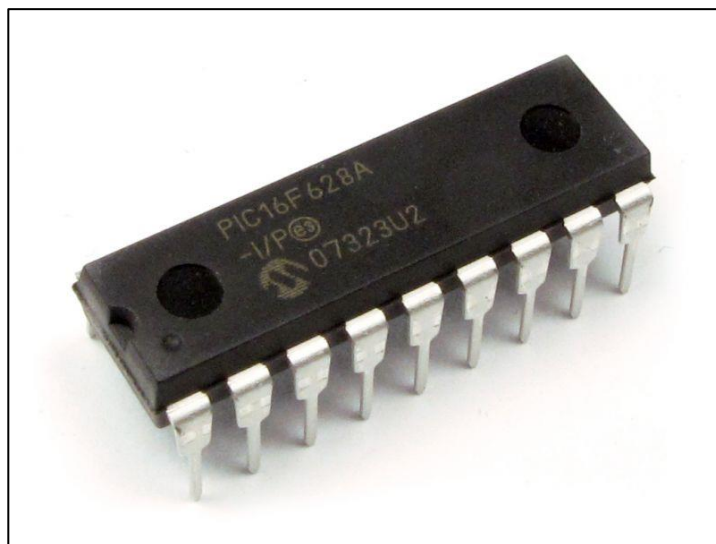
Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y funcionan a velocidad de reloj con frecuencias tan bajas como 4 kHz, con un consumo de baja potencia (mW o microvatios). Por lo general, tendrá la capacidad para mantener la funcionalidad a la espera de un evento como pulsar un botón o de otra interrupción. El consumo de energía durante el sueño (reloj de la CPU y los periféricos de la mayoría) puede ser solo en nanovalios, lo que hace a muchos de ellos adecuados para aplicaciones con batería de larga duración. Otros microcontroladores pueden servir para roles de rendimiento crítico, donde sea necesario actuar como un procesador digital de señal (DSP), con velocidades de reloj y consumo de energía más altos.

Cuando es fabricado, el microcontrolador no contiene datos en la memoria ROM. Para que pueda controlar algún proceso es necesario generar o crear un código y luego grabarlo en la EEPROM o equivalente del microcontrolador, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores. Sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la memoria del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal que es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador, cuando este es alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento.

Para que el programa pueda ser grabado en la memoria del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal. Este es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador cuando este es

alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento. En la figura 25 se observa cómo es físicamente un microcontrolador de 18 pines. Según sea la aplicación que se desee desarrollar se deberá buscar el que mejor se pueda acoplar a las necesidades, teniendo en cuenta la memoria, pines disponibles, convertidores A/C, y otros.

Figura 25. **Microcontrolador 16F628A de 18 pines**



Fuente: *Tratamiento de imágenes, electrónica*. <http://simplesoftmx.blogspot.com/2015/04/pic-16f628a-16f627a-lector-rfid-rc522.html>. Consulta: junio de 2015.

2.3.1. Compilador MikroBasic

MikroBasic PRO para PIC es un potente compilador de *basic* para microcontroladores PIC de Microchip. Está diseñado para el desarrollo, construcción y depuración de aplicaciones embarcadas basadas en PIC.

Figura 26. **Logo MikroBasic**



Fuente: *MikroElektronika*. <http://www.mikroe.com/forum/viewtopic.php?f=91&t=26979>. Consulta: junio de 2015.

Este ambiente de desarrollo tiene una variedad de características. Como: IDE fácil de usar, código compacto y eficiente, bibliotecas de software y hardware, documentación completa, simulador de software, soporte al depurador de hardware, generación de archivos COFF, numerosos ejemplos listos para usar que le dan un buen comienzo para proyectos integrados.

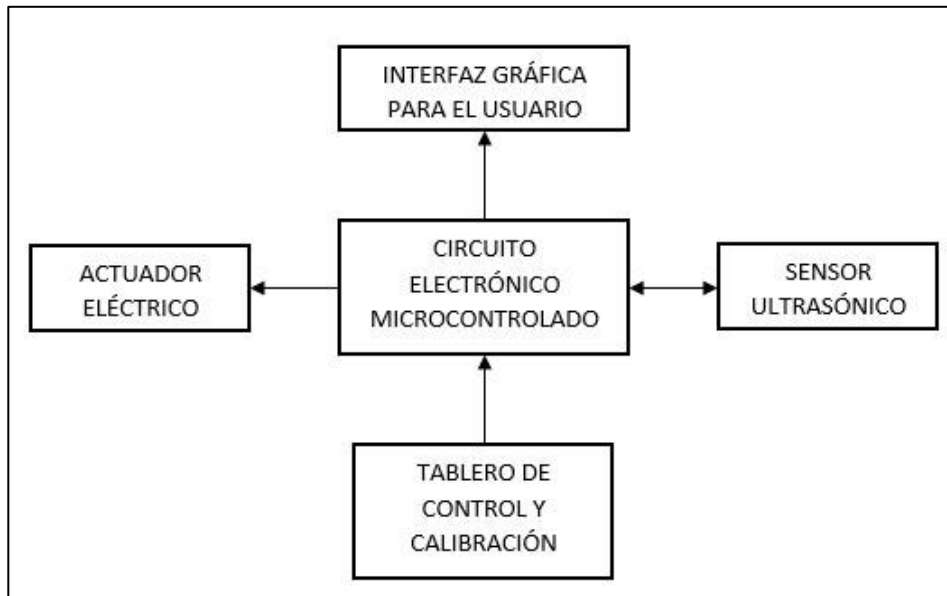
3. ELECTRÓNICA DEL PROYECTO

Para la realización del diseño será necesario explicar cómo los diferentes componentes electrónicos actuarán para llevar a cabo el proceso de llenado automático. El diseño está orientado a facilitar un proceso utilizando la menor cantidad de los recursos posibles para que esté al alcance de cualquier persona interesada.

La solución al problema del llenado de tanques consiste en el diseño de un sistema automático. Este permitirá desde una interfaz de usuario, visualizar el nivel de llenado en que se encuentra el tanque, y que a su vez se interconecte con el microcontrolador que monitoreará el nivel de llenado y mandará señales al actuador. Esto para permitir el paso de granos con que será llenado el tanque.

La forma en que se solucionará la problemática se muestra en el diagrama de bloques siguiente. La solución propuesta está formada por un microcontrolador como centro de operación, una interfaz de usuario, un sistema manual de calibración, un sensor para el conocimiento del nivel de llenado y un actuador para permitir el paso de granos al tanque.

Figura 27. **Diagrama de bloques del sistema**



Fuente: elaboración propia.

3.1. **Diseño del controlador del sensor ultrasónico**

El sensor ultrasónico será utilizado como medio de visión, que indicará el nivel de llenado, comunicándose con el microcontrolador mediante señales. Estas señales serán distintas dependiendo la distancia del sensor y los granos en el tanque. Para entender estas señales e interpretarlas se debe conocer el lenguaje del sensor. Por ello a continuación se detallará el proceso interno del mismo para usarlo a beneficio.

3.1.1. **Protocolo de comunicación del sensor ultrasónico**

El protocolo de comunicación depende directamente del modelo del ultrasónico que se utilice. Se empleará el sensor HC-SR04 que es un módulo

de alcance ultrasónico el cual tiene un alcance de 2 cm hasta 400 cm con una precisión de 3 mm. Este sensor tiene 4 conexiones directas, como se observa en la figura 28. Estos son:

- Fuente de 5 Voltios (Pin Vcc)
- Entrada del pulso para el Trigger (Pin Trig)
- Salida del pulso (Pin Echo)
- Tierra (Pin GND)

Figura 28. **Módulo ultrasónico HC-SR04**



Fuente: *Ultrasonic Sensor,*

<https://www.aimagin.com/hc-sr04-ultrasonic-sensor.html>. Consulta: junio de 2015.

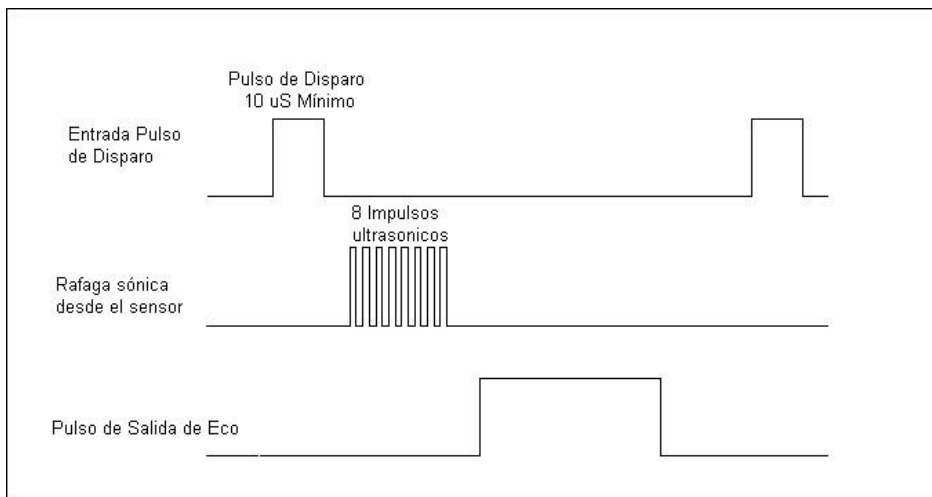
En principio, el diseño se centrará en manipular los pulsos de los pines 2 y 3 para medir distancias y conocer el nivel de llenado del tanque. El principio básico del funcionamiento es el siguiente:

- Usando el pin de Trig, mandar un pulso positivo de 10us con el microcontrolador.
- El módulo luego de este impulso al Trigger, envía 8 sonidos ultrasónicos a 40 kHz y espera a detectar un pulso de retorno.

- Si la señal regresa, por medio de un nivel alto, el tiempo en que la salida del pulso del pin “Echo” se mantenga en alto, será el tiempo desde que fue mandado el pulso ultrasónico y el retorno del mismo.

Con estos tres pasos, se entiende la forma en que trabaja el módulo ultrasónico. Se observa la gráfica del tiempo en la figura 29, para tener una mejor percepción del proceso interno del sensor.

Figura 29. **Diagrama de tiempos del HC-SR04**



Fuente: *Diagrama de tiempos del HC-SR04.*

<http://www.superrobotica.com/Imagenes/s320110c.GIF>. Consulta: junio de 2015

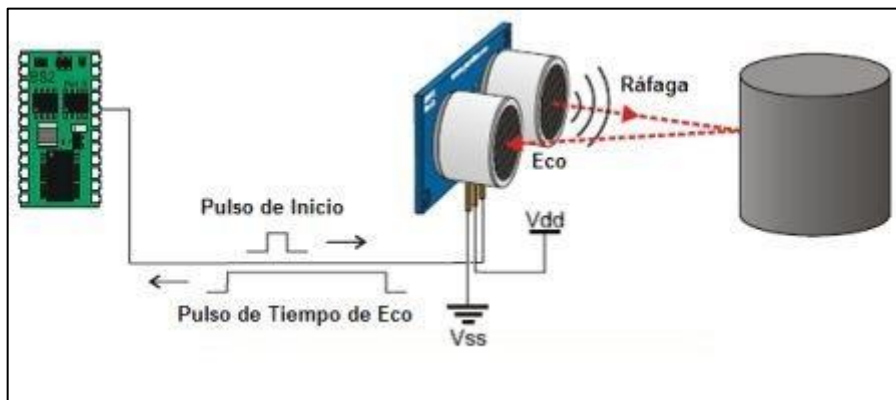
3.1.2. Ancho del pulso de Eco y medición de la distancia

Para conocer la distancia entre el sensor ultrasónico y los granos en el tanque, se utilizará el pulso brindado por el pin “Echo”. Como se puede observar en la figura 28, hay un ancho de pulso en la salida de Eco, el ancho de este pulso ayudará a calcular la distancia utilizando la fórmula 3-1.

$$distancia = \frac{\text{Tiempo del ancho del pulso} \times \text{la velocidad del sonido} \left(\frac{m}{s}\right)}{2} \quad (3-1)$$

De la fórmula presentada, se tienen dos valores fijos, estos son: 1. La velocidad del sonido es de 340 m/s y 2. El número 2 en la división es debido a que el ancho del pulso total del pin Echo, es el tiempo desde que la señal ultrasónica es enviada hasta que esta regresa nuevamente al módulo ultrasónico. El proceso de la comunicación con el módulo ultrasónico se aprecia en la figura 30.

Figura 30. **Proceso de comunicación del HC-SR04**



Fuente: *Proceso de comunicación del HC-SR04.*

http://tecbolivia.com/images/articulos/sensor_ping.jpg. Consulta: junio de 2015.

3.1.3. Valores de componentes y conexiones para el módulo HC-SR04

De parte del fabricante del módulo HC-SR04, hay parámetros eléctricos que se deben cumplir y que se tomarán en cuenta para el proceso del diseño. Estos se muestran a continuación.

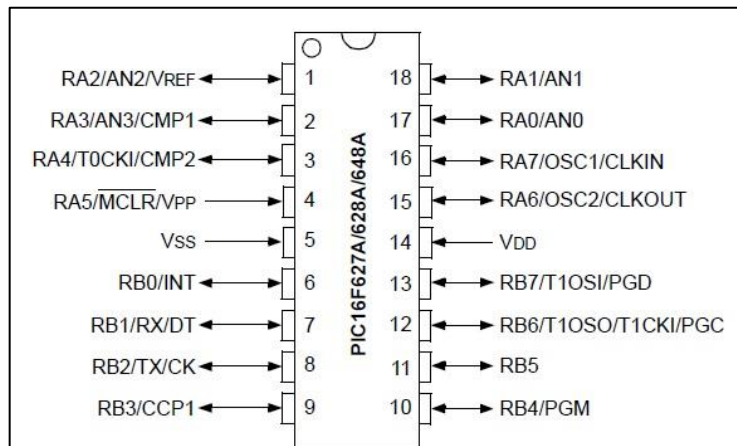
- Voltaje de trabajo: ----- 5 Voltios
- Corriente de trabajo: ----- 15 mA
- Frecuencia de trabajo: ----- 40kHz
- Rango máximo: ----- 4m
- Rango mínimo: ----- 2cm
- Angulo de medición: ----- 15°
- Trigger: ----- 10us pulso TTL
- Echo: ----- TTL
- Dimensión: ----- 40*20*15 mm

El control de este módulo será mediante el microcontrolador PIC16F628A. Este mediante el código de programación grabado en la EPROM, pero antes que se entre en detalle de las instrucciones en código C, se debe atender a las especificaciones de entrada y salida (I/O) del microcontrolador para evitar que señales quemem los pines. Se muestran las especificaciones eléctricas del PIC16F628A que servirán para el circuito de acople entre las señales del módulo y los puertos I/O.

- Temperatura ambiente bajo voltaje de polarización -40 a +125°C
- Temperatura de almacenamiento ----- -65°C a +150 °C
- Voltaje en VDD con respecto a VSS ----- -0.3 a +6.5V
- Voltaje sobre MCLR y RA4 con respecto a VSS ----- -0.3 a 14V
- Voltaje en todos los otros pines respecto a VSS -0.3 a VDD +0.3
- Potencia de disipación total ----- 800mW
- Máxima corriente de salida sobre VSS ----- 300mA
- Máxima corriente en VDD ----- 250mA
- Máxima corriente de salida suministrada ----- 25 mA
- Máxima corriente de entrada ----- 25mA

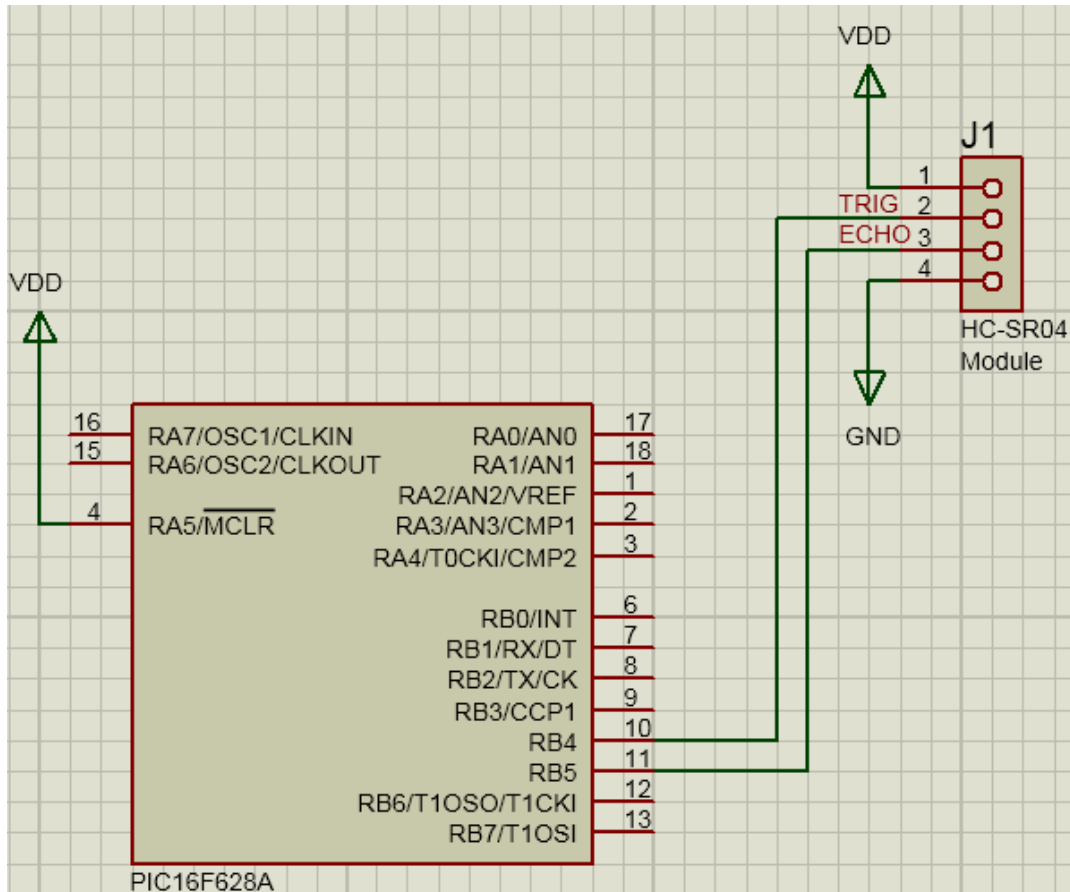
Con estas especificaciones se realiza el diseño de las conexiones entre el módulo y el microcontrolador. Para este caso se escogieron los pines RB4 y RB5 del 16F628A los cuales irán conectados a los pines de TRIG y ECHO del módulo HC-SR04 respectivamente. Estas interconexiones serán directas ya que, según las especificaciones del módulo ultrasónico, tiene una corriente de trabajo de 15 mA y el microcontrolador puede suministrar hasta 25mA lo que es suficiente para controlar el módulo ultrasónico. En la figura 31 se observan los pines del PIC 16F6285A y en la figura 32 se presenta la interconexión hacia el módulo HC-SR04.

Figura 31. **Diagrama de pines PIC16F628A**



Fuente: *Data Sheet PIC16f628A*. p. 4.

Figura 32. Diagrama de conexión con el sensor



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

3.2. Diseño del controlador del actuador

El diseño cuenta con un control de la electroválvula directamente con el microcontrolador PIC16F628A. Este estará sincronizado directamente con las señales del módulo HC-SR04 para dejar pasar los granos al tanque y empezar el ciclo de control del nivel automático. Para esto es necesario un intermediario entre el actuador y el PIC ya que el consumo de corriente y el voltaje no puede ser proporcionado por el mismo. Por ello, se necesita un circuito que suministre

energía suficiente para activar la electroválvula y a su vez proteger el PIC para evitar que se dañe. Esto será posible con el diseño de acoplamiento de un sistema digital con uno de potencia. Aunque existen diferentes tipos de acoples se utilizará el acople óptico.

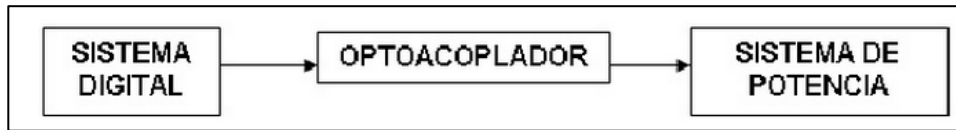
3.2.1. Circuito de acople

Se empleará el acoplamiento óptico con el fin de controlar un circuito que active el actuador y deje pasar los granos hacia el silo. Además de controlar el actuador el acoplamiento óptico ayudará a proteger el microcontrolador de corrientes que puedan exceder su límite, a la vez que, en caso de fallos, será más sencillo y económico cambiar el acoplador que totalmente el PIC.

Lo anteriormente descrito se puede diseñar utilizando optoacopladores. Este se realiza en el rango del espectro infrarrojo a partir de diodos emisores de luz (LED), usualmente IRED, y utilizando detectores de luz actuando como receptores.

El motivo fundamental para llevar este tipo de acoplamiento es el aislamiento eléctrico total del sistema digital. Si sucede un corte en la etapa de potencia, el optoacoplador protegerá toda la circuitería digital de control. En un diagrama de bloques el diseño del acoplamiento será como se observa en la figura 33.

Figura 33. **Diagrama de bloques del acople entre sistemas.**

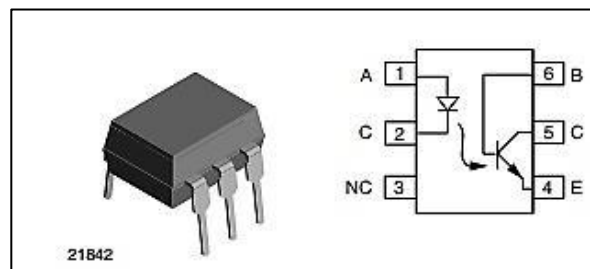


Fuente: CARRILLO, Ivan. *Acoplamiento óptico entre un sistema digital y una etapa de potencia.*
http://www.academia.edu/7156207/Acoplamiento_óptico_entre_un_sistema_digital_y_una_etapa_de_potencia. Consulta: junio de 2015.

3.2.1.1. Componentes electrónicos a utilizar

Para la elaboración del diseño del circuito se utilizarán un optotransistor 4N35, que en su interior tiene un diodo emisor de luz (LED) y un transistor. También se usará una resistencia de protección R1 de 220Ω para provocar una caída de tensión en ella y no provocar un daño en el LED interno. El empaquetado y el diagrama interno del 4N35 se observa en la figura 34.

Figura 34. **Diagrama interno del 4N35.**

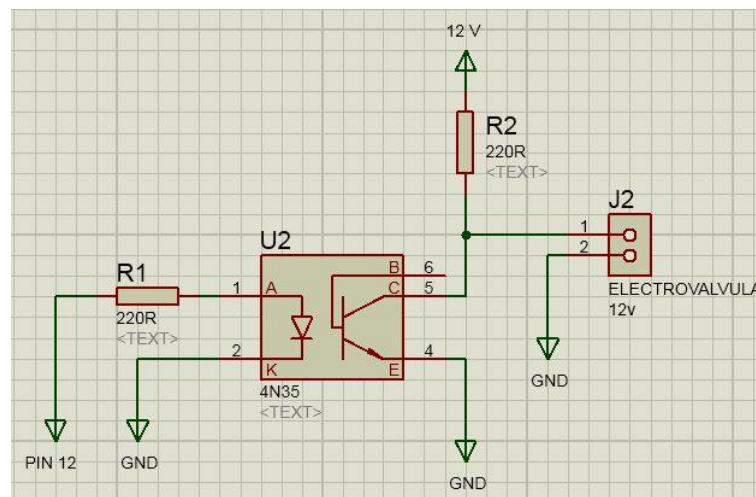


Fuente: *Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection.*
<http://www.vishay.com/docs/81181/4n35.pdf>: junio de 2015.

Utilizando este optoacoplador se garantiza un aislamiento de la circuitería digital con la acción de la electroválvula. La señal de disparo la brindará el pin

12 de PIC16F628A, la corriente de esta señal circulará por R1 para activar el led interno del 4N35 para excitar la base del transistor. Esto permitirá que la corriente entre colector y emisor circule y se active la electroválvula. En la figura 35 se puede observar las conexiones con el optoacoplador y la electroválvula.

Figura 35. **Esquemático del circuito de acople**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

3.3. **Diseño de la interfaz de usuario y del tablero de control**

Una parte de vital importancia es como el usuario puede interactuar con el circuito, ya que la interpretación de lo que está sucediendo en el circuito conlleva al perfecto funcionamiento de la operativa. Su diseño será muy sencillo, ya que se usará únicamente un visualizador led que le indique los niveles de llenado del tanque y un led que muestre si el paso de granos está activo o no.

3.3.1. Interfaz de usuario

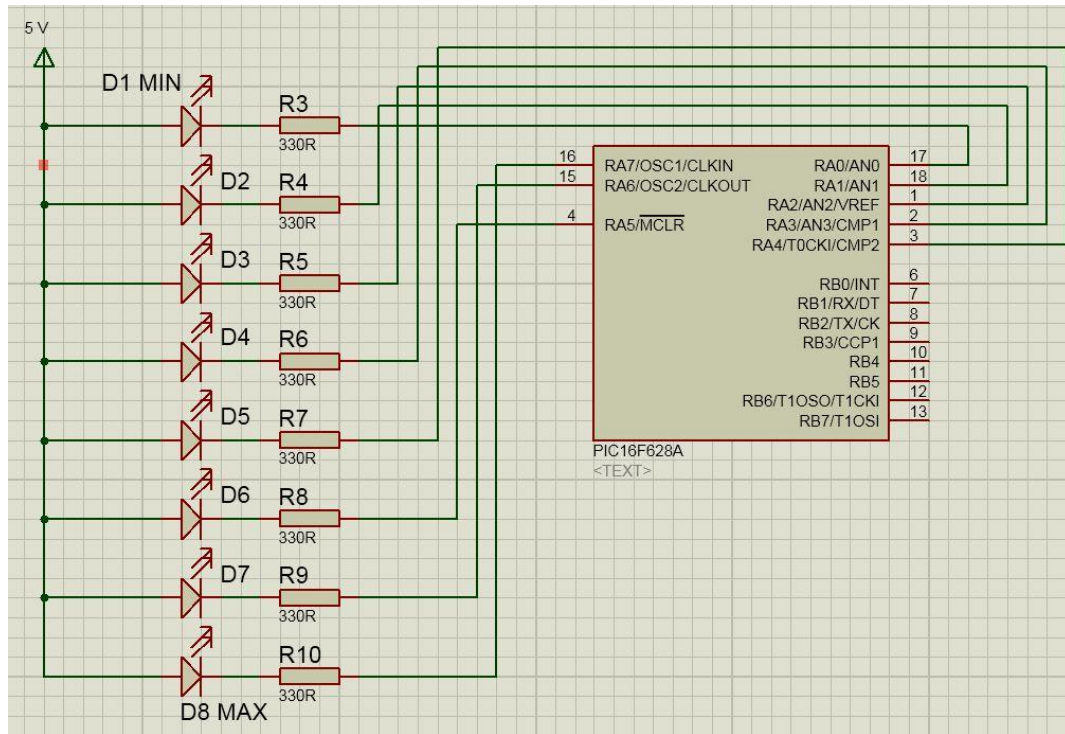
Será diseñada con base en el despliegue los niveles mediante una barra de leds. Este se incrementará mientras más alto se encuentre el nivel de llenado y bajará cuando el nivel de llenado disminuya. A continuación, se brinda la lista de materiales que emplea para el diseño.

- 8 leds
- 8 resistores de 330 Ω

Para el despliegue de niveles se utilizarán los 8 bits del puerto A del PIC 16F628A. Estos se encenderán dependiendo el nivel de llenado, indicando cuando todos los leds estén encendidos que el tanque está a su máximo nivel. Esto se realizará mediante la calibración realizada con el PIC, ya que en el cuadro de control el usuario podrá calibrar el sistema. Este paso será explicado en el punto siguiente.

La lógica de despliegue la realizará el PIC, (programación adjunta en el apéndice). Básicamente los leds se encenderán de uno a uno cuando el nivel de llenado vaya aumentando y se apagarán uno a uno cuando este vaya disminuyendo. En la figura 36 se detallan las conexiones de los pines del PIC con el circuito de leds.

Figura 36. Conexiones con leds de visualización



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

3.3.2. Tablero de control

Es el contacto directo con el usuario, donde podrá realizar acciones, pero aunque su opciones sean limitadas. En el diseño se brindarán 4 opciones:

- Encender el sistema
- Calibrar el sistema
- Iniciar llenado
- Detener el proceso de llenado

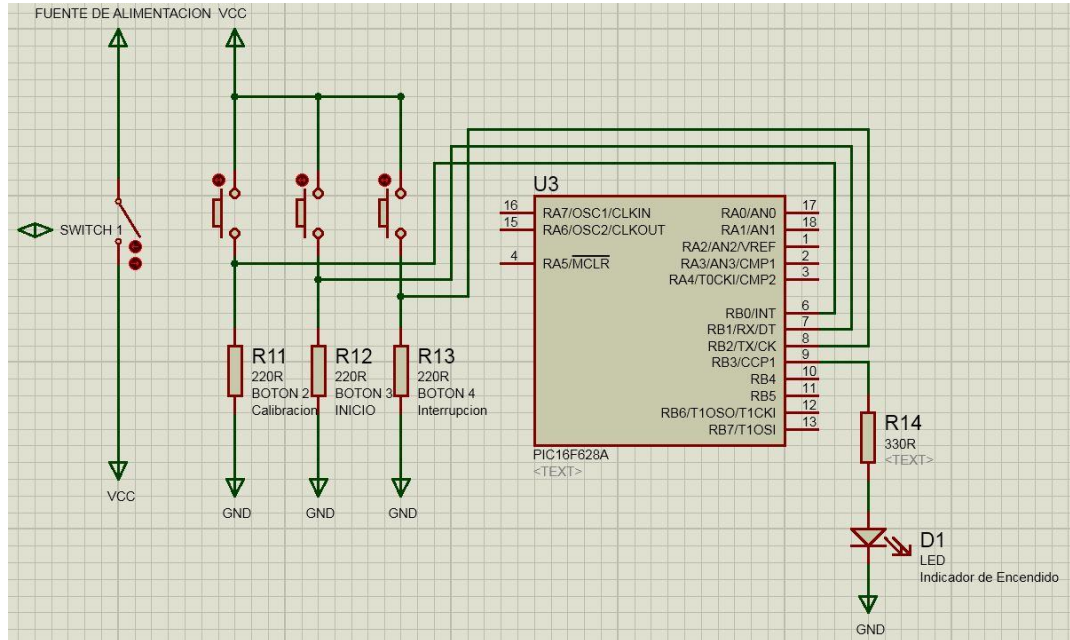
El primer botón será directamente un *switch* que dejará el paso de corriente a todo el circuito lógico, por lo que irá limitando directamente el voltaje al PIC y tendrá un indicador led que mostrará que el sistema está listo para recibir las instrucciones del usuario.

La calibración del sistema dependerá directamente del sensor HC-SR04, de la ráfaga y el resultado que brinde el sensor con la distancia. Idealmente el usuario deberá dar uso al botón de calibración cuando el tanque esté completamente vacío. Un punto importante a mencionar es que uno de los parámetros de instalación del diseño del sistema, es que el sensor debe estar a 10 cm sobre el nivel superior del tanque.

Una vez el sistema tenga un dato de calibración en el programa que esté corriendo el PIC, el usuario podrá utilizar el botón 3. Este es el de iniciar llenado para que mande una señal a la electroválvula y los granos empiecen a caer dentro del tanque.

El botón 4 será una interrupción al programa en el microcontrolador y enviará la instrucción directa de cerrar la electroválvula y evitar que el flujo de granos siga llenando el tanque. El flujo de granos seguirá hasta que el usuario, mediante el botón 3, indique que el proceso de llenado puede continuar. Toda la lógica es presentada en el código adjunto en los apéndices, ya que este será el cerebro de operación. En la figura 37 se observan las conexiones del PIC con los botones del tablero de control.

Figura 37. Diagrama esquemático del tablero de control



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

CONCLUSIONES

1. Es posible aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Electrónica, para promover soluciones que beneficien al comercio del país y que incentiven a actualizar los procesos de recolección de granos, utilizando productos diseñados dentro del país y así brindar soporte y costo económico más accesible.
2. Para el diseño del sistema automático de llenado de granos agrícolas se utilizó un sistema de control, usando sensores ultrasónicos para poder concretar un dato preciso al usuario.
3. El diseño del sistema automático de llenado está centralizado en el microcontrolador que procesa todas las instrucciones y computa los datos recibidos para accionar según con el *firmware* que se grabó en el mismo.
4. El tablero de visualización indicará al usuario el nivel de llenado del tanque, tomando en cuenta que previamente el sistema debe estar calibrado.
5. El acople con el optoacoplador separa eléctricamente el circuito digital, del circuito de potencia, protegiendo totalmente el PIC de cualquier flujo de voltaje que pueda dañar sus puertos I/O.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar el diseño automático, tanto para granos como para líquidos o materiales sólidos, ya que el sensor ultrasónico puede responder a estos materiales, pero se vuelve impreciso utilizando materiales gaseosos.
2. Para la utilización de electroválvulas muy potentes, debe utilizarse otro sistema de acople, tomando en cuenta las especificaciones eléctricas del actuador y el tipo de voltaje que utilice para funcionar, ya sea voltaje directo o alterno.
3. Promover el diseño automático en áreas rurales, como un proyecto de nación, con el fin de utilizar tecnologías con precios accesibles que apoyen a la pequeña y mediana empresa, fomentando la ingeniería en el país.
4. Fomentar en los estudiantes la creatividad para presentar soluciones a nivel de ingeniería, premiando los mejores diseños con la financiación del proyecto para que puedan ser implementados a gran escala.
5. Fomentar en los estudiantes los nuevos sistemas de desarrollo electrónico como el Arduino y la Raspberry pi como módulos centralizados para la operación de sistemas de control automáticos.

BIBLIOGRAFÍA

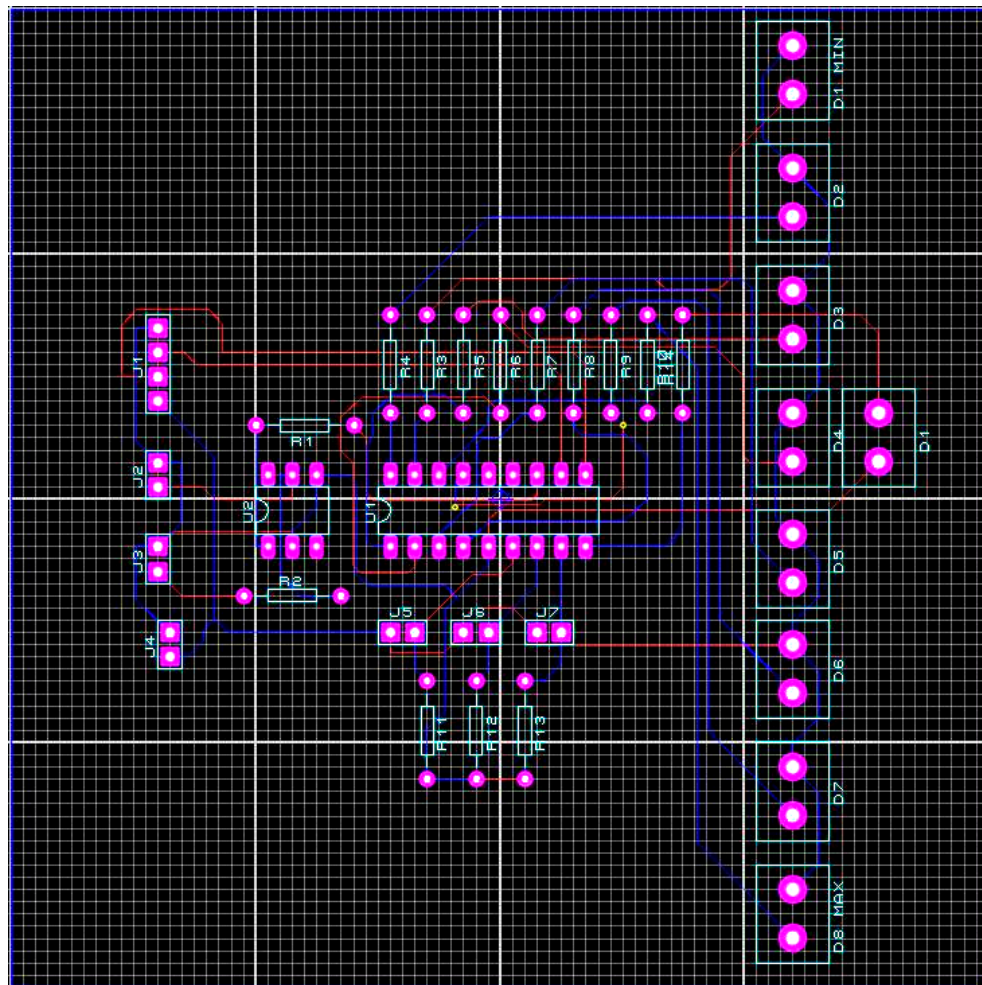
1. *Acoplamiento óptico entre un sistema digital y una etapa de potencia.* [en línea]. <http://www.academia.edu/7156207/Acoplamiento_óptico_entre_un_sistema_digital_y_una_etapa_de_potencia>. [Consulta: junio de 2015].
2. BOYLESTAD, Robert L. *Corriente y voltaje. Introducción al análisis de circuitos.* 10a ed. México: Pearson Educación, 2004. 1248. p.
3. _____. *Ley de Ohm, potencia y energía. Introducción al análisis de circuitos.* 10a ed. México: Pearson Educación, 2004. 1 228. p.
4. _____. *Resistencia. Introducción al análisis de circuitos.* 10a ed. México: Pearson Educación, 2004. 1 314. p.
5. *El principio ultrasónico.* [en línea]. <<http://www.microsonic.de/es/Interesting-facts.htm>>. [Consulta: junio de 2015].
6. *Electrónica Analógica.* [en línea]. <<http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/electr/electr-analogica-2.swf>>. [Consulta: junio de 2015].
7. *Electroválvula.* [en línea]. < <http://es.wikipedia.org/wiki/Electroválvula>>. [Consulta: junio de 2015].

8. *Filtros eléctricos/electrónicos*. [en línea]. <<http://quieroentrarentupagina.blogspot.com/2014/03/conectar-un-sensor-hc-sr04-con-la.html>>. [Consulta: junio de 2015].
9. MANO, M. Morris. *Álgebra booleana y compuertas lógicas. Diseño digital*. 3a ed. México: Pearson Educación, 2003. 521. p.
10. SEDRA, Adel S. *Etapas de salida y amplificadores de potencia. Circuitos microelectrónicos*. 4a ed. México: OXFORD University Press, 1999. 1355. p.
11. *Sensor ultrasónico*. [en línea]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_ultrasónico >. [Consulta: junio de 2015].
12. *Sistemas automáticos de control*. [en línea]. <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf>. [Consulta: junio de 2015].
13. Transistores bipolares. *Principios de electrónica*. 6a ed. España: McGraw-Hill, 2000. 1 126. p.

APÉNDICE

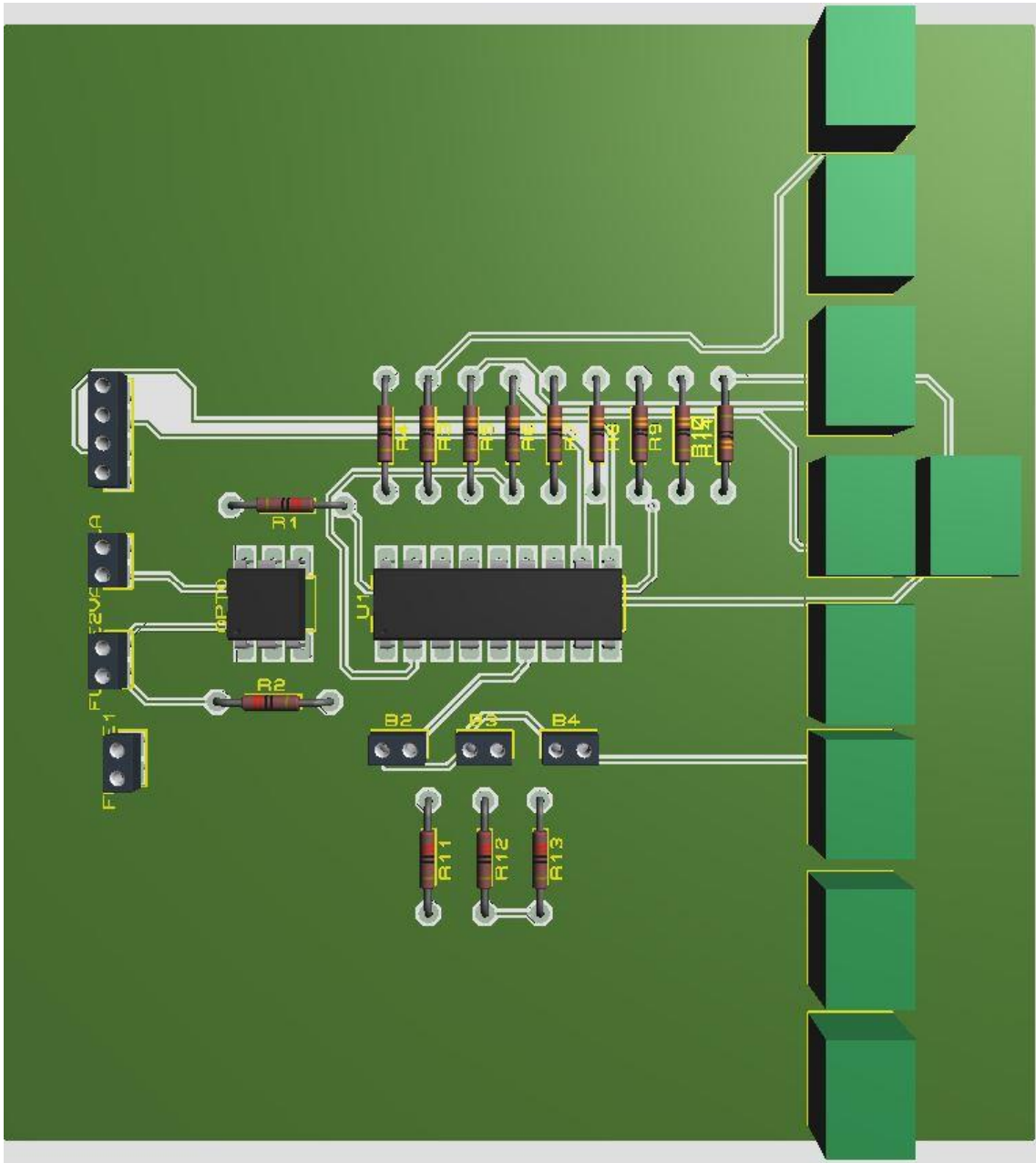
A continuación se expone el diseño PCB de las placas.

Apéndice 1. PCB circuito centralizado



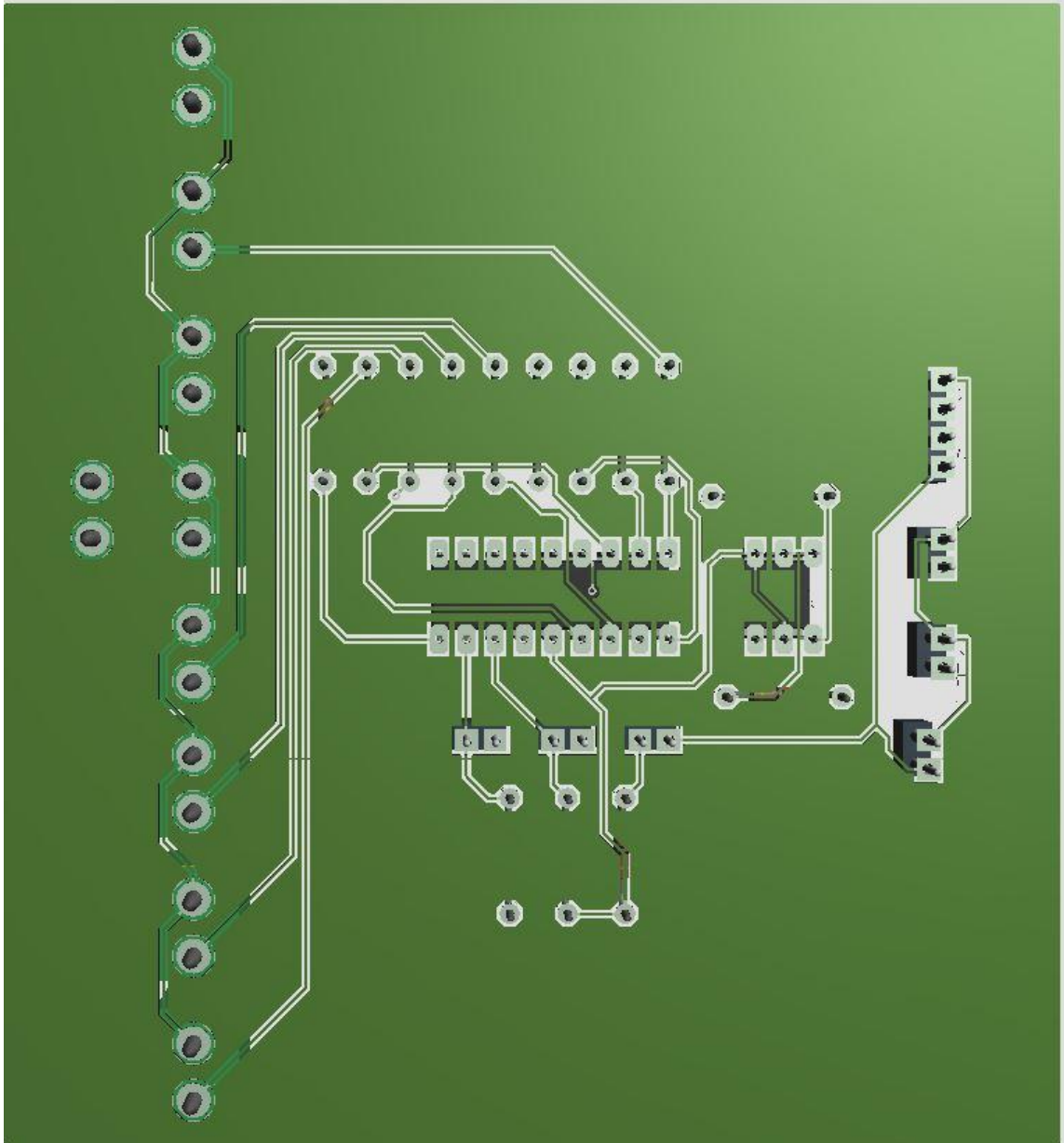
Fuente: elaboración propia, empleando ProfiCAD.

Apéndice 2. Vista frontal 3D



Fuente: elaboración propia, empleando ProfiCAD.

Apéndice 3. **Vista trasera 3D**



Fuente: elaboración propia.

Códigos realizados en MiKrobasic

Código de microcontrolador

```
signed int calibracionMSB=0;
unsigned int calibracionLSB=0;
unsigned int tama_tanque=0;
unsigned int llena=0;
unsigned int vacio=0;
timer_init();
```

```
void timer_init()
{
    T1CON.TMR1IE=0;
    T1CON.T1CKPS1=0;
    T1CON.T1CKPS0=0;
    T1CON.TMR1CS=0;
}
```

```
void calibracion()
{
    while (1){
        PORTB.B4=0;
        PORTB.B4=1;
        Delay_Us(10);
        PORTB.B4=0;

        TMR1H=177;
        TMR1L=224;
```



```

while (!PORTB.B5);
T1CON.TMR1ON=1;

while(PORTB.B5 && !TMR1IF);

T1CON.TMR1ON=0;
T1CON.TMR1IF=0;

calibracionMSB=TMR1H;
calibracionLSB=TMR1L;

tama_tanque= (calibracionMSB - 45536)/29/2;
    }
}

void niveles()
{
    if (llena<tama_tanque/8)
    {
        PORTA=0B00000001;
    }
    else if (tama_tanque/8 < llena < tama_tanque/4) {
        PORTA=0B00000011;
    }
    else if (tama_tanque/4 < llena < 3*tama_tanque/8){
        PORTA=0B00000111;
    }
    else if (3*tama_tanque/8 < llena < tama_tanque/2){

```

```

    PORTA=0B00001111;
}
else if (tama_tanque/2 < llena < 5*tama_tanque/8){
    PORTA=0B00011111;
}
else if (5*tama_tanque/8 < llena < 3*tama_tanque/4){
    PORTA=0B00111111;
}
else if (3*tama_tanque/4 < llena < 7*tama_tanque/8){
    PORTA=0B01111111;
}
else if (llena == tama_tanque){
    PORTA=0B11111111;
}
}
}

```

```

void llenado()
{
    PORTB.B6=1;
    do
    {
        PORTB.B4=0;
        PORTB.B4=1;
        Delay_Us(10);
        PORTB.B4=0;

        TMR1H=177;
        TMR1L=224;
        while (!PORTB.B5);
    }
}

```

```

T1CON.TMR1ON=1;

while(PORTB.B5 && !TMR1IF);

T1CON.TMR1ON=0;
T1CON.TMR1IF=0;

calibracionMSB=TMR1H;
calibracionLSB=TMR1L;

llenado = (calibracionMSB - 45536)/29/2;

}while (llenado < tama_tanque);

PORTB.B6=0;
}

void interrupt ()
{
    if(PORTB.B0)
        calibracion();
    if(PORTB.B1)
        llenado();
    if (PORTB.B2)
        PORTB.B6=1;
}

void main() {
    TRISA=0;

```

```
TRISB=0B10100111;
PORTA=0;
PORTB=0B00001000;
INTCON:0B10111000;
T1CON=0b10000100;
OPTION_REG=0b01000111;
INTCON.GIE = 1 ;           // habilitación Interrupciones globales
INTCON.PEIE = 1 ;         // habilitación interrupciones perifericas
PIE1.TMR1IE = 0 ;        // interrupción timer 1
PIR1.TMR1IF = 0 ;

while (1)
{
niveles();
}
```