

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DIDÁCTICA PARA LA  
APLICACIÓN DE AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

DANNY ALEXANDER BENAVIDES JOJOA  
MARIO ANDRES SUAREZ BUCH

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2016

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DIDÁCTICA PARA LA  
APLICACIÓN DE AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

DANNY ALEXANDER BENAVIDES JOJOA  
MARIO ANDRÉS SUÁREZ BUCH

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

ASESOR  
ALVARO ANDRÉS JIMÉNEZ OCAÑA  
INGENIERO ELECTRÓNICO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2016

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva de sus autores“

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Mayo de 2016

## AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres y hermanos, por su apoyo incondicional, comprensión, paciencia e inmensurable amor.

A nuestra alma máter por ser el pilar de nuestros conocimientos y formación ética profesional.

Al ingeniero Luis Afranio Portilla Salazar por su colaboración al permitirnos utilizar el multitaller como espacio principal para el desarrollo de nuestro proyecto.

A los docentes y trabajadores de los departamentos de física y zootecnia por brindarnos nuestra primer oportunidad laboral durante el transcurso de nuestro proyecto

Al ingeniero Álvaro Andrés Jiménez Ocaña por su valioso apoyo como docente y asesor.

*A mis padres, mi hermano y mi novia por su incondicional apoyo y amor.  
A José, Teresa y Robert Buch por ser mis guardianes espirituales.  
A los docentes del programa de electrónica por sus invaluable enseñanzas.  
A mi compañero Danny por su fiel y amigable compañía.*

*Mario Andrés*

*A mis padres, Rosa y Leopoldo, por darme la vida, siempre creer en mí y apoyarme en todo momento.*

*A mis hermanos Angie y Cristian, por todo el apoyo y cariño brindado incondicionalmente en mi formación tanto académica, como de la vida.*

*A mí amada novia Sandra por todos sus consejos y ese amando cariño brindado en estos últimos años de mi vida.*

*A familiares y demás amigos quienes me han acompañado en este largo proceso de mi vida y han hecho de mi un gran profesional.*

*Danny Alexander*

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo principal brindar una planta de procesos a escala que permita aplicar métodos de automatización y control, con el propósito de ofrecer un elemento interactivo y dinámico como recurso didáctico para el aprendizaje en el laboratorio de ingeniería electrónica de la universidad de Nariño. La construcción de este sistema permitirá la programación de procesos mediante actuadores y sensores que podrán ser dispuestos de manera que anime al usuario a recrear diferentes sistemas imitando aquellos que se pueden encontrar en plantas de procesos industriales, pero a escala, siendo controlados por medio de lógica TTL a través de plataformas tales como microcontroladores o PLC enviando señales de control a los actuadores por medio de módulos electrónicos.

## **ABSTRACT**

The present work has as principal objective to offer a scale process plant which allows to apply control and automation methods, with the purpose of offering a dynamic and interactive element as a learning resource in the electronic engineering laboratory of the University of Nariño. The construction of this system will allow program process, which along with actuators and sensors could be set in a way to encourage the student to recreate arranges of processes that could be found on industrial enviroments, but in scale, being controled by TTL logic on plataforms like microcontrollers or PLC, sending control signals to the actuators through electronic modules.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	16
1. DISEÑO DE LA PLANTA .....	19
1.1 SECCION CONTROL DE NIVEL.....	22
1.1.1 Servoválvula.....	22
1.1.2 Electroválvula.....	25
1.1.3 Motobomba.....	25
1.1.4 Sensor ultrasónico.....	25
1.2 SECCION BANDA DE PROCESO .....	27
1.2.1 Banda transportadora.....	27
1.2.2 Disco giratorio.....	28
1.2.3 Brazo automático.....	29
1.2.4 Sensor infrarrojo.....	30
1.3 PANEL DE CONTROL.....	31
1.3.1 Servoválvula.....	31
1.3.2 Electroválvula.....	34
1.3.3 Brazo automático.....	35
1.3.4 Motobomba .....	37
1.3.5 Base para microcontroladores PIC.....	39
1.3.6 Interfaz de control para PLC.....	41
1.3.7 Tarjeta para control de velocidad.....	43
1.3.8 Tarjeta inversora de señal IR.....	44
1.3.9 Módulo de interruptores y leds piloto.....	45
1.3.10 Tarjeta principal de conexiones.....	47
1.4 ARMAZÓN DEL SISTEMA .....	50
2. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO.....	53
2.1 ESCALA LIKERT .....	53
2.2 METODOLOGÍA .....	53
2.3 RESULTADOS OBTENIDOS .....	53
2.4 ANALISIS DE RESULTADOS .....	57
3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	58
REFERENCIAS .....	60
ANEXOS .....	62

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mapa interconexión sección control de nivel.....	52
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema base de una planta embotelladora. ....	19
Figura 2. Esquema base del montaje. ....	20
Figura 3. Medida de torque en válvula con dinamómetro. ....	23
Figura 4. Servoválvula a) Diseño 3D del chasis b) Diseño 3D Montaje c) Montaje real.....	24
Figura 5. Diagrama de tiempo para señales de control del servomotor. ....	24
Figura 6. Electroválvula a) Diseño 3D del sujetador b) Montaje real. ....	25
Figura 7. Banda a) Diseño 3D b) Montaje real. ....	28
Figura 8. Disco giratorio a) Diseño 3D b) Montaje real. ....	29
Figura 9. Brazo Automático a) Diseño 3D b) Montaje real. ....	30
Figura 10. Soporte Sensores Infrarrojos a) Diseño 3D b) Montaje real. ....	31
Figura 11. Servoválvula a) Esquemático b) PCB c) Montaje real. ....	32
Figura 12. Etapa potencia a) Esquemático b) PCB c) Montaje real. ....	34
Figura 13. Brazo automático a) Esquemático b) PCB c) Montaje real. ....	36
Figura 14. Movimiento brazo configurado en modo CCLK. ....	37
Figura 15. Movimiento brazo configurado en modo CLK. ....	37
Figura 16. Esquema de funcionamiento para tarjeta de potencia. ....	38
Figura 17. Etapa de potencia para la motobomba a) Esquemático b) PCB c) Montaje real. ....	38
Figura 18. Tarjeta Base PIC a) Esquemático b) PCB Tarjeta Base PIC c) Montaje real. ....	40
Figura 19. Tarjeta Interfaz de entrada PLC a) Esquemático b) PCB c) Montaje real. ....	42
Figura 20. Tarjeta Interfaz de salida PLC a) Esquemático. b) PCB c) Montaje real. .....	43
Figura 21. Tarjeta para control de velocidad a) Esquemático b) PCB c) Montaje real. ....	44
Figura 22. Tarjeta Inversora de señal IR a) Esquemático b) PCB c) Montaje real. ....	45
Figura 23. Módulo de interruptores y leds piloto a) Esquemático b) PCB	

c) Montaje real. ....	46
Figura 24. Extensión Módulo de interruptores y leds piloto a) Esquemático b) PCB	
c) Montaje real. ....	47
Figura 25. Tarjeta principal de conexiones a) Esquemático b) PCB	
c) Montaje real. ....	48
Figura 26. Extensión Tarjeta principal de conexiones a) Esquemático b) PCB	
c) Montaje real. ....	49
Figura 27. Soporte de la planta a) Diseño 3D b) Montaje real. ....	51
Figura 28. Mapa sección de control de nivel. ....	52
Figura 29. Resultados pregunta 1 de la encuesta de validación. ....	54
Figura 30. Resultados pregunta 2 de la encuesta de validación. ....	54
Figura 31. Resultados pregunta 3 de la encuesta de validación. ....	55
Figura 32. Resultados pregunta 4 de la encuesta de validación. ....	55
Figura 33. Resultados pregunta 5 de la encuesta de validación. ....	56
Figura 34. Resultados pregunta 6 de la encuesta de validación. ....	56
Figura 35. Resultados pregunta 7 de la encuesta de validación. ....	57

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 CODIGO PIC12F629 TARJETA SV1 .....	62
ANEXO 2 CODIGO PIC12F629 TARJETA SV2 .....	65
ANEXO 3 CODIGO PIC12F629 TARJETA SV3 .....	68
ANEXO 4 CODIGO PIC12F629 TARJETAS BA (1, 2, 3) .....	71
ANEXO 5 CODIGO PIC12F675 MODULOS PWM (1, 2) .....	73
ANEXO 6 CODIGO SENSORES US CON ARREGLO PARA TANQUES 1 Y 2 CON TRANSMISION USB PARA PIC18F4550 .....	75
ANEXO 7 ESPECIFICACIONES ELECTROVALVULA 1/2" .....	77
ANEXO 8 MANUAL DE USUARIO PARA PLANTA DIDACTICA .....	78

## GLOSARIO

**ACTUADOR:** elemento que se encarga de generar la potencia necesaria para que un mecanismo pueda ejecutar su movimiento. Los actuadores pueden ser de tipo mecánico, hidráulico, eléctrico o de combinaciones entre ellos

**AUTOMATIZACIÓN:** se refiere a la acción y el efecto de poner en práctica la automática; que a su vez es la ciencia que trata de sustituir parcial o totalmente en un proceso, el operador humano por dispositivos mecánicos y/o electrónicos. La automatización se lleva a cabo realizando cambios en la estructura del proceso o implantando nuevas sub-estructuras a través de la toma de medidas y la aplicación de métodos, además de la utilización de conceptos relativos a la electrónica, la mecánica y el área de aplicación del proceso en cuestión.

**ELECTROVALVULA:** también conocida como válvula solenoide, es una válvula que controla el paso de un fluido por un conducto o tubería, por medio de la apertura o cierre de la misma a través de la energización de un solenoide.

**MICROCONTROLADOR:** dispositivo electrónico programable que basa su funcionamiento en un conjunto de instrucciones. Generalmente consta de una parte lógica de interpretación de instrucciones (RAM), una memoria donde se almacena las mismas (ROM), una memoria de datos no volátiles (EEPROM), puertos de entrada y salida de datos y pines de funciones especiales dependientes de la clase de microcontrolador y su escala de integración. Éstos se pueden programar fácilmente, a menudo mediante la utilización de circuitos programadores enlazados a un ordenador, en el cual se manipula programas para grabar los datos y compilar las instrucciones.

**SERVOVALVULA:** válvula de control electrónico de alta precisión que se utiliza para controlar el caudal de salida por medio de la apertura variable que posee la misma, en este trabajo resulta de un acople mecánico de un servomotor con piñonera metálica y una válvula de paso de 1/2".

**TRANSISTOR DE UNION BIPOLAR (BJT):** transistor constituido por tres regiones de semiconductor dopadas separadas por dos uniones pn. Según sea el dopado de las tres regiones (N – negativa o P – Positiva), existen transistores ya sea de tipo NPN o PNP.

**TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO (FET):** tipo de transistor unipolar controlado por voltaje, en el que se usa un campo eléctrico inducido para controlar la corriente que este conduce. 1/2"

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo surge como solución a la falta de una herramienta que sirva como soporte a la teoría y permita la ejemplificación de procesos de control y automatización, partiendo de la aplicación de dichos métodos sobre un entorno en el cual el estudiante pueda visualizar y relacionarse con características presentes en máquinas que hagan uso de actuadores y sensores en tiempo real. Para esto, se añadió al sistema variedad de perturbaciones no presentes en un entorno simulado tales como ruido electrostático que afecte el funcionamiento de microcontroladores y sensores, ondulaciones sobre líquidos que afecten en la reflexión de ondas de sensores de tipo ultrasónico, el calentamiento de componentes electrónicos que alteren el normal funcionamiento de los mismos, interferencia de luz ambiente que actúe sobre sensores de tipo infrarrojo, entre otros. El objetivo principal que se desea cumplir al llevar a cabo este proyecto es diseñar e implementar una planta didáctica para la aplicación de procesos de control y automatización con lo cual se pretende dotar al laboratorio del programa de ingeniería electrónica de la Universidad de Nariño con una nueva herramienta para el aprendizaje, con la finalidad de la puesta en práctica de métodos aprendidos en la teoría de materias tales como automatización y control. El diseño de la planta es capaz de variar su funcionamiento con el objetivo de ampliar el uso de la máquina, es decir el sistema pretende ser adaptable. El compromiso de dejar un elemento totalmente activo para el programa de ingeniería electrónica requiere un ciclo de mejoras para su depuración, concluyendo en un prototipo funcional. Por ello, el prototipo no es entregado hasta el punto en que sea validado por medio de una encuesta sobre su funcionamiento después de una exposición del mismo en plena actividad. Como herramienta de aprendizaje, el prototipo cuenta con interfaces que permite su uso por medio de diferentes controladores, con el objetivo de ampliar su uso a diversas poblaciones estudiantiles que quieran hacer uso de la herramienta. Es importante enfatizar que la principal causa para el desarrollo del proyecto en cuestión es la inexistencia de una herramienta como ésta en el laboratorio de ingeniería electrónica de la Universidad de Nariño, debido a que las prácticas que se desarrollan en materias tales como automatización y control implican el uso de programadores lógicos y únicamente disponen de herramientas del tipo simuladas tales como software.

En profesiones en que se necesiten destrezas y habilidades prácticas como en la ingeniería, los métodos teóricos serían de gran dificultad a la hora del aprendizaje, ya que estos dejan a un lado el contacto del profesional con el mundo real. Este es el caso de áreas como la automatización y sistemas de control, áreas cuya principal actividad requiere destrezas prácticas para la construcción de hardware o software enfocados a dichas tareas. Por tal motivo, para el completo desarrollo del proceso formativo se considera necesaria la implementación de una planta didáctica capaz de permitir a los estudiantes desarrollar actividades prácticas que conlleven a un aprendizaje eficaz. La ingeniería didáctica está ligada a las intervenciones experimentales en clase, entendidas como la puesta en práctica de

un trabajo teórico<sup>1</sup>. Haciendo referencia a la Teoría de Situaciones Didácticas (TSD) (1986; 1997) en la cual el autor Guy Brousseau plantea de una manera constructivista “El alumno adquiere conocimientos a través de diversas formas de adaptación a las restricciones de su entorno”<sup>2</sup> se plantea la duda de cuan efectiva puede tornarse la enseñanza a través de la ejemplificación, logrando un acercamiento del alumno con el entorno real en el cual deba aplicar los métodos y conocimientos adquiridos en clase, en la medida que la ejemplificación se torne más compleja, iniciando con ejercicios de análisis, hasta el proceso de desarrollo de soluciones a través del análisis, diseño y aplicación de la teoría en problemas aproximados a la realidad que requieran soluciones prácticas. Aquí es donde comienza la relación del estudiante con elementos destinados al aprendizaje tales como módulos, plataformas de desarrollo de hardware (Arduino), plantas piloto, u otros dispositivos con los cuales estudiantes puedan interactuar según las normas aprendidas en clase, permitiendo un contacto más eficiente con las restricciones con las cuales podrían verse enfrentados en entornos laborales.

En el foro mundial de educación en ingeniería celebrado en el año 2013 en Cartagena, toma lugar la exposición del documento “LA INCIDENCIA DEL USO DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN - HAS 200 COMO HERRAMIENTA EN LA ENSEÑANZA – APRENDIZAJE EN LA FUNDACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICO COMFENALCO CARTAGENA” en el cual se explica la decisión de la fundación universitaria en mención de implementar un sistema HAS200 debido a la necesidad de un escenario de prácticas reales que le permitan al estudiante contextualizar la teoría abordada en el aula de clase y la oportunidad de dirigirse a empresas altamente automatizadas donde puedan evidenciar sus procesos. HAS 200 (Highly Automated System)<sup>3</sup>, es un sistema compuesto de un numero de sub-áreas que permiten la clasificación, etiquetado y embalaje de perlas diferenciándolas por medio de características distintivas como el color, emulando el funcionamiento de una fábrica real. Sistemas como HAS 200 presentan una clara ventaja pedagógica respecto a sus oponentes virtuales, debido a su HMI (Human-Machine Interface por sus siglas en ingles) que permite un manejo óptimo, versátil y más cercano a la realidad de un proceso industrial<sup>4</sup>. También se pueden encontrar herramientas didácticas comercializadas

---

<sup>1</sup> GODINO, Juan D., Batanero, C., Contreras A. La ingeniería didáctica como investigación basada en el diseño [Versión electrónica]. [En línea]. [http://www.ugr.es/~jgodino/eos/JDGodino%20et%20al\\_2013%20Ingenieria%20didactica.pdf](http://www.ugr.es/~jgodino/eos/JDGodino%20et%20al_2013%20Ingenieria%20didactica.pdf) [Citado el 05 de Marzo de 2015]

<sup>2</sup> BROUSSEAU, G. 2007. Buenos Aires. 1ª Ed. Iniciación al estudio de la teoría de las situaciones didácticas 1ª Ed. Libros del Zorzal. (P. 86).

<sup>3</sup> HAS-200 Sistema altamente automatizado (español) [Archivo de video]. <<https://www.youtube.com/watch?v=N5x1JiaAuu4> [Citado el 10 De Marzo de 2015]>

<sup>4</sup> QUINTERO A. Humberto, MEDINA M. Prudencia, GOMEZ V. Elvira. Incidencia del uso del laboratorio de automatización - HAS 200 Como Herramienta de Enseñanza – aprendizaje en la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco Cartagena. Foro “Innovación en investigación y

por marcas tales como, FESTO, QUANSER, LABVOLT, entre otros. Que son eficaces al momento de ser aplicadas como herramientas de aprendizaje pero a un elevado costo económico, lo cual dificulta su adquisición.

El trabajo se encuentra dividido de la siguiente forma: En el capítulo 1 se encuentra el diseño de la planta que está constituida en tres secciones principales que son sección control de nivel, sección banda de procesos y panel de control. En estas se detalla el diseño, ensamblaje mecánico, software y hardware de cada uno de los actuadores y sensores del sistema. En el capítulo 2 se describe la metodología y resultados que se obtuvieron para la validación del sistema. Por último los resultados y conclusiones se encuentran en el capítulo 3.

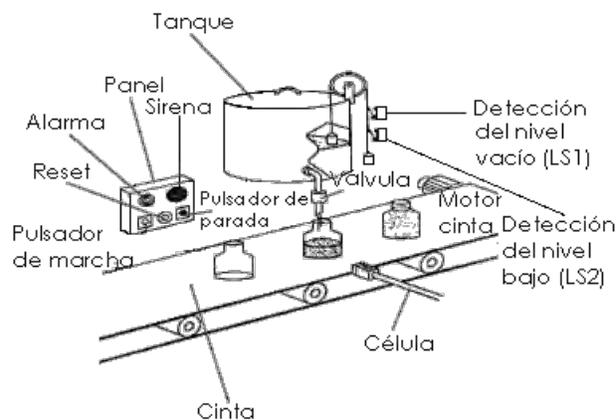
---

educación en ingeniería: factores claves para la competitividad global” WEEF 2013 Cartagena de indias, Colombia. [En línea]  
<<http://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/view/561/100>> [Citado el 29 De Agosto de 2014]

## 1. DISEÑO DE LA PLANTA

Como primera instancia se optó por realizar un diseño esquemático de la planta y como se ubicarían sus componentes en el montaje. Se tomó como referencia algunos diseños de plantas de montaje en serie que se pueden hallar en fábricas encargadas del ensamblaje de vehículos o embotelladoras las cuales presentan procesos lineales que implican el uso de actuadores para lograr un objetivo final, como se observa en la figura 1.

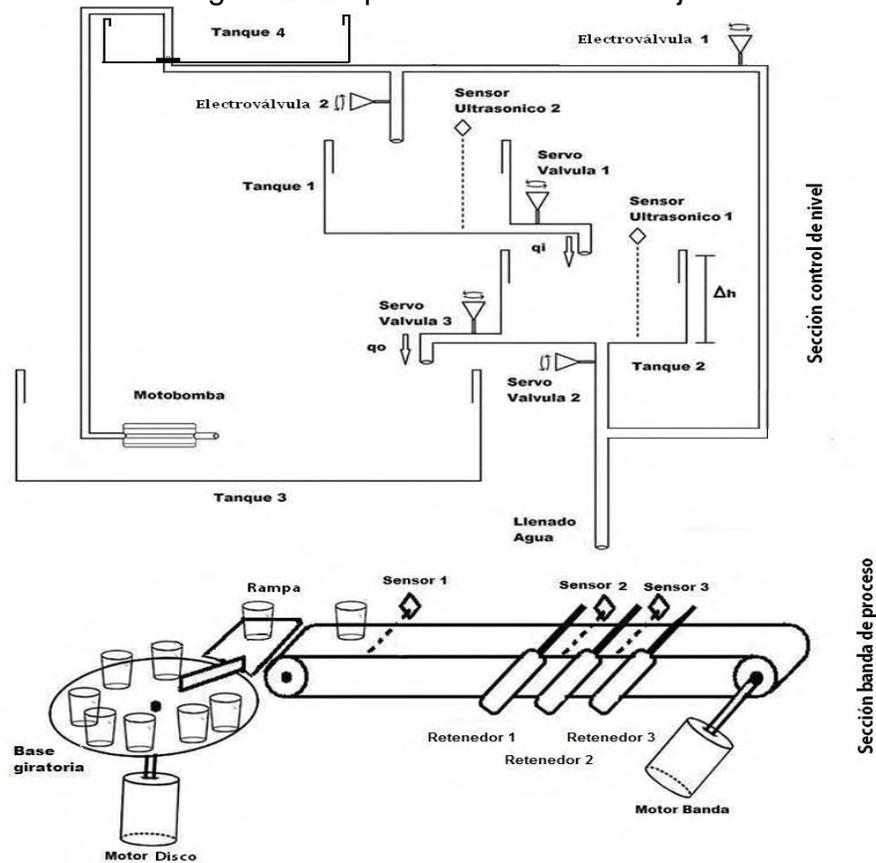
Figura 1. Esquema base de una planta embotelladora.



Fuente: Dibujo de la embotelladora. Abril de 2015. [En Línea]. <[http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCS1/dibujo\\_de\\_la\\_embotelladora.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCS1/dibujo_de_la_embotelladora.htm)> [Citado el 25 de Marzo de 2015].

Inicialmente se consideró el uso de pistones como actuadores pero debido a su costo, se decidió sustituirlos por servomotores, a los cuales mediante un arreglo de acoples en su eje, se le adiciono un brazo que cumple la función de bloquear objetos sobre una banda de procesos.

Figura 2. Esquema base del montaje.



Fuente: Esta investigación.

El prototipo está conformado por tres secciones principales, el área de control de nivel, banda de procesos, Panel de control. Las primeras dos secciones son dedicadas para el emplazamiento de los actuadores y sensores que serán controlados mediante la tercera sección, como se observa en la figura 2.

**Composición sección control de nivel.** Esta sección se encuentra integrada por 4 tanques, tanque 1, tanque 2, tanque 3 (reserva), tanque 4 (desagüe/emergencia), tres servoválvulas (SV1, SV2, SV3), una electroválvula (EV1), dos sensores ultrasónicos (US1, US2), motobomba (MB). A continuación se realiza una breve explicación sobre su función y ubicación.

- **Tanque 1:** Se encuentra ubicado en la mitad del sistema, su función es permitir la implementación de control de nivel mediante el uso de los actuadores y el sensor que se encuentran acoplados a este.
- **Tanque 2:** Se encuentra ubicado en la mitad del sistema y su función es permitir la implementación de control de nivel mediante el uso de los actuadores y el sensor ultrasónico. Puede implementarse al sistema junto al

tanque 1 como un sistema SISO ó SIMO debido a que posee dos servoválvulas para su desagüe.

- **Tanque 3:** Se encuentra ubicado en la parte inferior del sistema, es el tanque más grande por lo que es utilizado para el almacenamiento de todo el líquido que será enviado hacia el sistema.
- **Tanque 4:** Se encuentra ubicado en la parte superior del sistema y su función es en el específico caso de que se envíe líquido desde el tanque 3 hacia el sistema y ningún actuador se encuentre habilitado para permitir su flujo. Por ello, el líquido que no se transfiere a ninguna parte del sistema retornará por la manguera de alimentación y desembocará en este tanque como medida preventiva ante cualquier esfuerzo sobre el actuador de alimentación del sistema.
- **Servoválvula 1 (SV1):** Se encuentra ubicada a la salida del tanque 1 sirviendo como desagüe del mismo y como alimentación del tanque 2.
- **Servoválvula 2(SV2):** Se encuentra ubicada a la salida del tanque 2 sirviendo como desagüe del mismo y comunicándolo con el tanque 3.
- **Servoválvula 3 (SV3):** Se encuentra ubicada a la salida del tanque 2 sirviendo como desagüe del mismo y comunicándolo con la sección de banda de proceso.
- **Electroválvula 1(EV1):** Se encuentra ubicada a la entrada del tanque 1 sirviendo para su alimentación, la válvula principal de entrada del sistema de control de nivel.

**Composición sección banda de proceso.** Esta sección se encuentra ubicada en el lado derecho del prototipo y se compone por un disco, una banda motorizada, 3 sensores IR (IR1, IR2, IR3) y 3 brazos automáticos (BA1, BA2, BA3) que pueden ser ubicados a gusto y necesidad del usuario a través de dos carriles que se encuentran ubicados a cada lado de la banda. A continuación se realiza una breve explicación sobre su función y ubicación.

- **Disco (DSK):** Se encuentra a la entrada de la banda de proceso y se encarga de proveer de vasos al sistema por medio de una rampa que se comunica con la banda.
- **Banda (BND):** Se encarga de transportar los vasos a través del sistema.
- **Sensores Infrarrojo (IR):** Estos pueden ser emplazados a través de la banda y cumplen la función de detectar los vasos que se encuentren en frente durante el recorrido. Su conexión puede ser realizada por el usuario sobre las tarjetas de acoplamiento que se encuentran a cada lado de la banda.
- **Brazos automáticos (BA):** Pueden ser emplazados a través de la banda y cumplen la función de al ser activados detener los vasos que se encuentren en frente durante el recorrido.

**Composición panel de control.** Esta sección del prototipo es la encargada de permitir al usuario hacer uso de todos los actuadores y sensores emplazados en

las secciones de control de nivel y banda de proceso. Se compone de un cajón de madera que soporta las tarjetas de control de cada actuador (motores, servoválvulas, electroválvulas, brazos automáticos, motobomba) así como una tarjeta para la adaptación de microcontroladores PIC, una regleta de conexión principal para los actuadores y sensores, un módulo de switch y leds piloto. También cuenta con las extensiones de cada regleta de conexión, un módulo de simulación para la sección de control con PLC u otro microcontrolador, tarjetas de interfaz para el manejo del dispositivo PLC CPU1214CDC-DC-RLY, además esta sección cuenta con dos módulos de control PWM.

Los circuitos impresos que componen el panel de control del prototipo fueron diseñados mediante el hardware gratuito EAGLE, también se hizo uso del hardware de programación de alto nivel PICC 4.104 CCS, para la depuración de los algoritmos implementados en las tarjetas de control diseñadas para las servoválvulas, también se hizo uso del software de análisis y simulación PROTEUS 7 para la depuración de los diseños electrónicos que componen la circuitería de control de los actuadores y sensores del prototipo.

## 1.1 SECCION CONTROL DE NIVEL

**1.1.1 Servoválvula.** Se utiliza una válvula de bola, de 1/2", debido a su bajo costo y que su apertura total se realiza con un movimiento sobre la manija de 90°, permitiendo la implementación de motores DC con rotación controlada, además de facilitar una rápida apertura.

- Prueba de torque para accionamiento: Para hacer un cálculo del torque necesario en la apertura de la válvula se procedió a realizar una prueba con un dinamómetro de 0.1N de resolución, como se observa en la figura 3. Se sostuvo la válvula en una prensa de banco y se sujetó el dinamómetro a la manija a través de una perforación realizada a 7,5 cm del eje ejerciendo una fuerza de forma perpendicular a esta. El resultado obtenido fue que la mínima fuerza necesaria para realizar la apertura de la válvula es de 7N. Realizando los cálculos para obtener el torque necesario se obtuvo lo siguiente:

F=7 N; Fuerza mínima para la apertura de la válvula  
B=7,5 cm; Brazo de palanca hasta el eje de la válvula

Sabiendo que:  $1 \text{ Kgf} = 9,8067 \text{ Newton}$

Se obtiene: F=0,71 Kgf

La fórmula para el cálculo de torque es:

$$(1) \vec{\tau} = \vec{B} \times \vec{F}$$

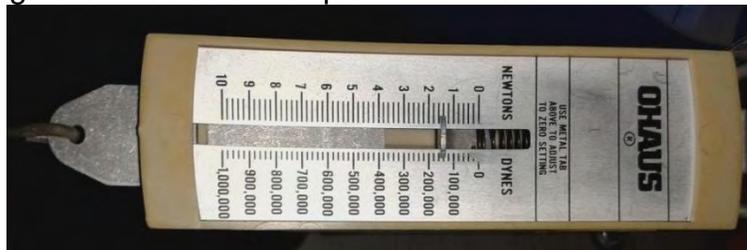
Tomando el valor absoluto de la operación vectorial, y debido a que la fuerza se aplica de manera perpendicular al brazo de palanca, reemplazando en (1) se obtiene:

$$|\vec{\tau}| = B \cdot F \cdot \sin 90^\circ$$

Reemplazando valores:  $\tau = 7,5 \text{ cm} * 0,71 \text{ Kgf}$   
 $\tau = 5,36 \text{ Kgf. cm}$

Por lo tanto se necesitara un motor que permita ejercer un torque mayor a 5,4 kg.cm

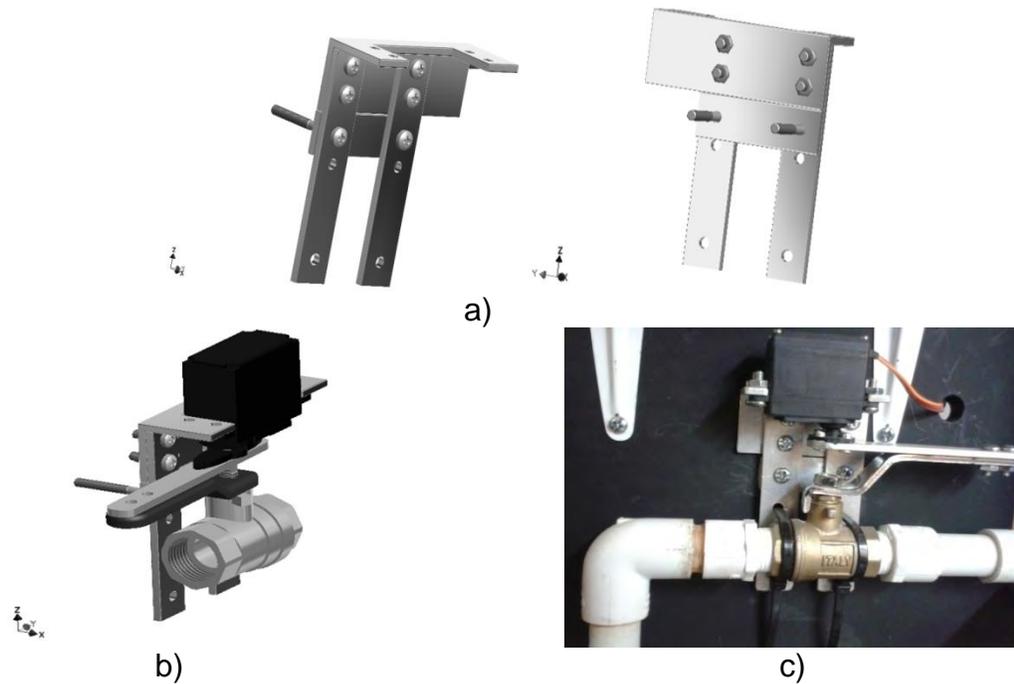
Figura 3. Medida de torque en válvula con dinamómetro.



Fuente: Esta investigación.

**Servomotor.** Para el diseño de las servoválvulas se optó por utilizar servomotores debido a que vienen equipados con un sistema de engranajes que aumentan el torque del motor DC. Además, cuentan con un sistema de control que a través de un PWM se encarga de posicionar el eje en un ángulo determinado. El servomotor consta de una caja reductora de engranajes metálicos para mayor resistencia y durabilidad del mecanismo además de un torque mayor a 5,4kg.cm, útil para la apertura de la válvula de acuerdo con los resultados obtenidos en la sección anterior.

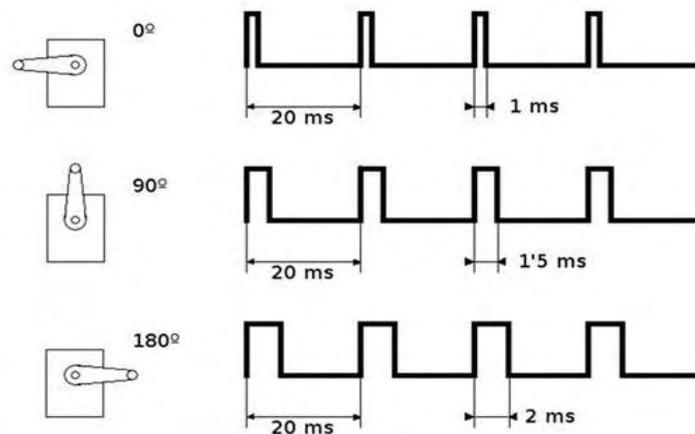
Figura 4. Servoválvula a) Diseño 3D del chasis b) Diseño 3D Montaje c) Montaje real.



Fuente: Esta investigación.

**Funcionamiento de un servomotor.** El modo de funcionamiento de los servomotores está ligado al ingreso de una señal de control PWM. Esta señal debe tener un periodo entre 10ms y 20ms sugerido por el fabricante, del cual el ciclo útil debe ubicarse entre 0.5ms y 1.5ms para ubicar el rotor entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , como se observa en la figura 5.

Figura 5. Diagrama de tiempo para señales de control del servomotor.



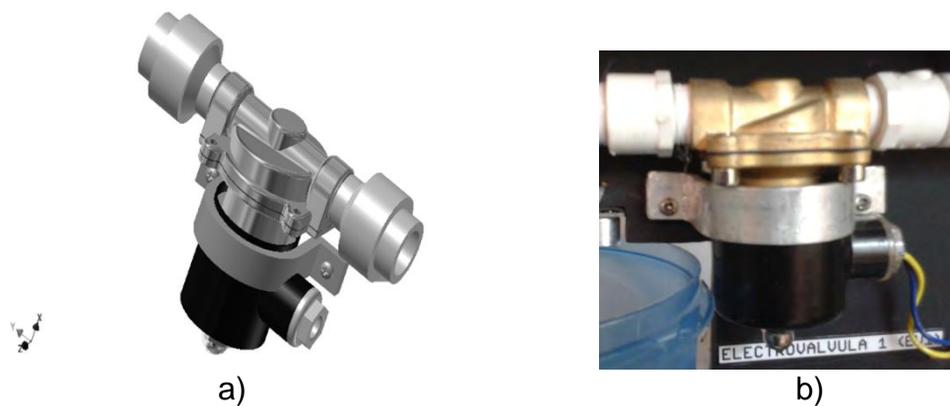
Fuente: Apéndice del ejercicio 3: señales de control RC. Abril de 2015. [En Línea]. <http://www.ardumania.es/apendice-del-ejercicio-3-senales-de-control-rc/> [Citado el 03 de Abril de 2015]

**Ensamblaje mecánico.** El acoplamiento entre la válvula y el servomotor se realiza mediante un chasis metálico diseñado en un software de modelamiento 3D, el cual fue elaborado sobre un ángulo de aluminio de 5/4" y platina de aluminio de 3/4". Las perforaciones para las uniones fueron realizadas con una broca 5/32". Ver figura 4.

**1.1.2 Electroválvula.** Cuenta con una válvula de 1/2" que es accionada por medio de un proceso electromecánico, ejecutado mediante la aplicación de voltaje en las terminales de un devanado. El campo electromagnético generado aplica una fuerza de atracción a un embolo sujeto a la válvula interna del dispositivo que provoca la apertura de la misma. Para especificaciones técnicas ver Anexo 7.

**Ensamblaje mecánico.** Para la sujeción de las electroválvulas sobre el tablero de soporte de la sección de control de nivel se elaboró un gancho de seguridad con una platina de aluminio de 1/2" que se adapta a la forma de la carcasa del solenoide, como se observa en la figura 6.

Figura 6. Electroválvula a) Diseño 3D del sujetador b) Montaje real.



Fuente: Esta investigación.

**1.1.3 Motobomba.** Para la retroalimentación del sistema de control de nivel se decidió utilizar una motobomba por cuanto resulta bastante fácil el sistema de acople entre el tanque de almacenamiento (tanque 3) y el sistema de control de nivel (tanque 1 – tanque 2). Esto requiere el uso de una manguera que se adapte a la boquilla de salida de la motobomba.

**Ensamblaje mecánico.** Para el acoplamiento de este actuador con el sistema, se hizo uso de manguera de nivel transparente de 1/2" sujeta al armazón del sistema por medio de grapas de hierro atornilladas a la base vertical del prototipo.

**1.1.4 Sensor ultrasónico.** Para la medición del nivel de un líquido se puede encontrar gran variedad de sensores en el mercado, como capacitivos, resistivos, piezoeléctricos, ultrasónicos, infrarrojos entre otros. La elección de este sensor

depende de diversos factores, como el líquido utilizado para el llenado, sus características y/o estado. Debido a que el fluido que se utiliza en la planta es agua, además de la disponibilidad y asequibilidad económica, se realizó la elección de sensores tipo ultrasónicos. El funcionamiento básico de éstos radica en un emisor que emite un pulso ultrasónico que rebota sobre el objeto a medir cuya reflexión es detectada por un receptor.

Para realizar la medición se debe desarrollar el siguiente algoritmo en un microcontrolador:

- Emitir un pulso de 10  $\mu$ s de duración en el pin Trigger del sensor.
- Esperar el inicio del pulso en el pin Eco resultante de la onda entrante en el receptor del sensor y poner a cero un temporizador.
- Esperar el fin del pulso en Eco y guardar el conteo del temporizador.
- Calcular el tiempo de duración del eco, que como se sabe es proporcional al tiempo empleado en ir y venir hasta y desde el objeto con una velocidad de 340 m/s (Velocidad del sonido).
- Calcular la distancia sabiendo el tiempo empleado en recibir el eco y la velocidad de la onda de medición. El fabricante sugiere implementar la formula " **$\mu$ s/58=cm**" para obtener la medida en una escala de centímetros (Ver anexo 6).

Los sensores ultrasónicos en el diseño fueron ubicados en el centro de los tanques 1 y 2, pero al momento de realizar pruebas el sensor empezó a muestrear medidas erróneas debido a las ondulaciones y salpicaduras que generaba el flujo de agua al caer y golpear en la superficie. Por tal motivo se decidió reubicarlos al extremo de cada tanque en donde este problema es menor.

## 1.2 SECCION BANDA DE PROCESO

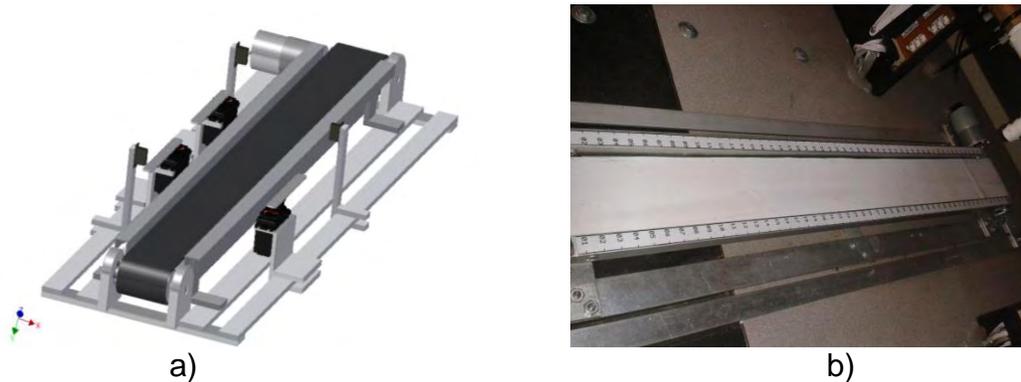
**1.2.1 Banda transportadora.** El diseño de la banda cuenta con una sección de ejes realizados mediante el uso de balineras interconectadas a través de tubo pvc de 1/2" que se ubica en una base de 60 cm, así como un motor DC con encoder en el eje final de la banda.

**Ensamblaje mecánico.** Con base en el esquema inicial del diseño se procedió a realizar un montaje sobre una base fija compuesta de platinas de aluminio de 1" que actúa como base de la banda y ubicando los rodillos a través de ésta como se observa en la figura 17. Estos fueron previamente moldeados en un torno para permitir el acoplamiento con las balineras.

El motor está sujeto a la estructura mediante una pieza de acople de chasis adquirida en el mercado. Una vez montado el armazón del mecanismo se procedió a insertar una banda realizada con una sección de lona cortada a la medida aproximada del ancho del sistema, como se observa en la figura 7.

Pruebas posteriores del mecanismo revelaron que el sistema de rodillos dejaba espacios sin soporte en secciones de la banda que dejarían hundir a los vasos y perder estabilidad durante el transporte. Además al no tener una senda definida la banda tendía a cruzarse y salirse de los ejes. Debido a esto se implementó una serie de cambios sobre el diseño que consistieron en ubicar canaletas tipo U de aluminio de 1/2" en los bordes de la banda para evitar el cruce y aumentar la estabilidad en el transporte de los vasos. Además se ubicó un tubo rectangular de aluminio de 2"x1" sustituyendo a los dos rodillos centrales, permitiendo así que durante toda la trayectoria del mecanismo los vasos tengan una base sólida. Para permitir una mayor versatilidad del sistema se decidió agregar un riel a cada lado del montaje para la sujeción de los actuadores y sensores y se puedan deslizar a través de la banda, pudiéndose ubicar en cualquier posición. Cada actuador y sensor cuenta con un chasis que permite el agarre y ajuste de cada actuador o sensor a través de estos carriles.

Figura 7. Banda a) Diseño 3D b) Montaje real.



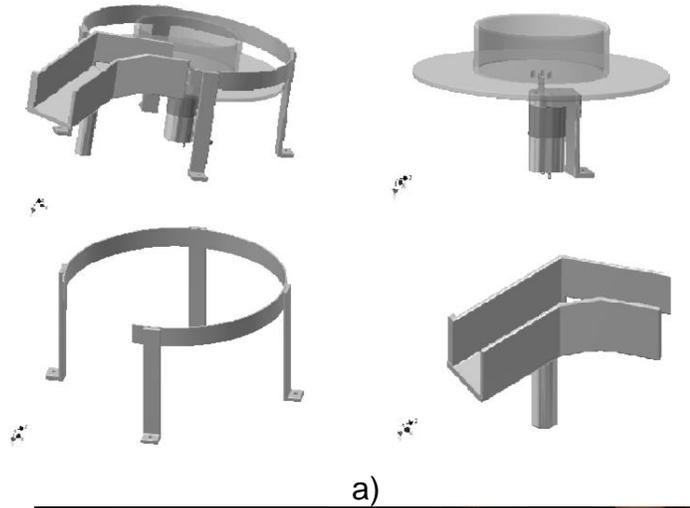
Fuente: Esta investigación.

Para el acoplamiento de señal de control de tipo TTL utilizadas por los microcontroladores, se utilizó el mismo modelo de tarjeta de potencia que se especifica en la sección panel de control, que se encarga también de controlar las electroválvulas. Se la dispuso como driver del motor de la banda, debido a que esta tarjeta únicamente hace acople de una señal de entrada de 5V para generar una salida de 12V. Solo permite el control del motor en un sentido de giro, pero es ideal para el manejo del mismo debido a que el mosfet incluido (IRFZ44N) en la tarjeta soporta hasta 50A cubriendo perfectamente las altas corrientes de arranque de los motores.

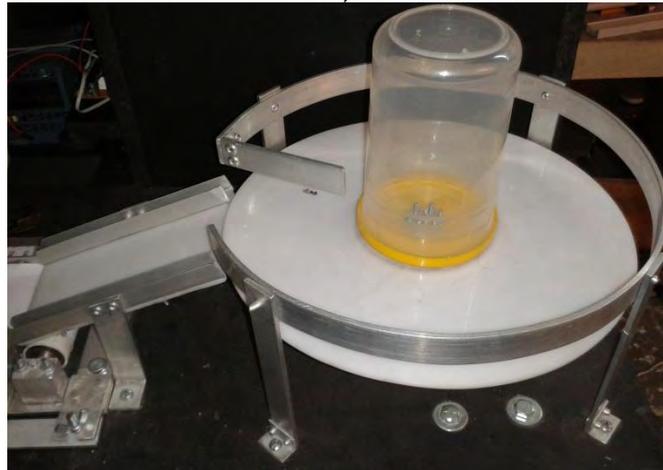
**1.2.2 Disco giratorio.** Como elemento complementario a la banda transportadora se diseñó un disco rotatorio que cumpla la función de entregar vasos a la banda. La estructura también cuenta con una rampa en descenso, que concatena el inicio de la banda y sobre la cual se deslizan los vasos para posteriormente ser transportados. El sistema cuenta con un motor DC de 12V, un disco de material liviano (acrílico para este diseño) y un corral que direcciona los vasos alrededor del disco para que evite su caída y sean entregados a la banda a través de la rampa. Está construido con platina de aluminio de 1/2". Para el acople del motor con el disco se hace uso de una pieza de acople de chasis adquirida en el mercado además de un acople de eje atornillado al centro del disco y una tapa de un recipiente que formaría el centro del disco. El corral fue moldeado con unos centímetros de desfase respecto al grosor del disco para poderlo ubicar al exterior y ser manipulado como una pieza independiente del disco.

Una vez construido el disco se procedió a realizar la rampa de descenso. El material elegido fue acrílico para la base del montaje. Se adicionaron canaletas tipo U de aluminio de 1/2" para los carriles guía y platina de 1/2" para formar dos soportes base que serían atornillados a la mesa de manera que el montaje se puede manipular de manera independiente al sistema, como se observa en la figura 8.

Figura 8. Disco giratorio a) Diseño 3D b) Montaje real.



a)



b)

Fuente: Esta investigación.

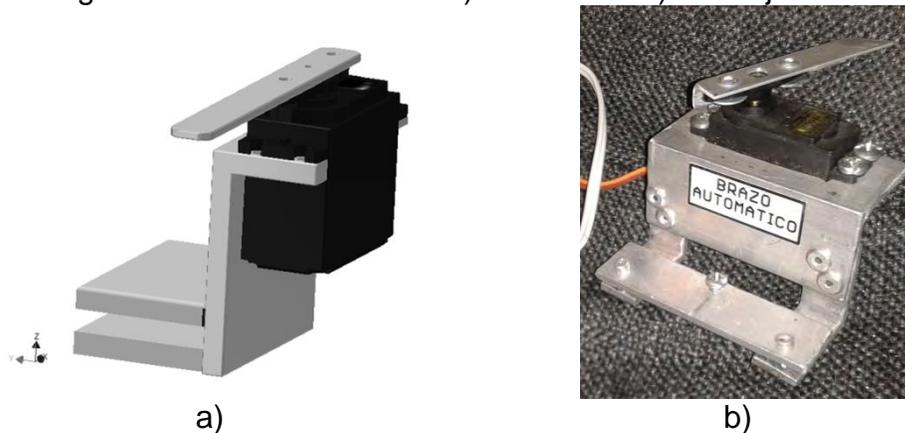
Para el control del motor del disco mediante señales tipo TTL generadas por los microcontroladores, se utilizó el mismo modelo de tarjeta de potencia que controla las electroválvulas y se la dispuso como driver del motor del disco. Debido a que esta tarjeta únicamente hace acople de una señal de entrada de 5V generando una salida de 12V solo permite el control del motor en un sentido de giro, pero es ideal para el manejo del mismo debido a que el mosfet IRFZ44N soporta hasta 50A, cubriendo perfectamente las altas corrientes de arranque de los motores.

**1.2.3 Brazo automático.** Para el diseño de los brazos automáticos se utilizan servomotores puesto que estos cuentan con todos los requerimientos necesarios tanto de hardware como de software para su funcionamiento, a través de PWM. Para la retención de los vasos sobre la banda se acopló un ángulo de aluminio de

1/2" en el eje de salida del servomotor. Los servomotores de los cuales se hace uso son los mismos utilizados para las servoválvulas con el fin de manejar una única referencia. Ver figura 9.

Pensando en la variabilidad de modos de función en lo que respecta a la banda transportadora, se implementó un carril por el cual los brazos automáticos puedan deslizarse con el fin de que el usuario pueda ubicarlos en la posición deseada dependiendo del proceso que quisiese realizar. Por consiguiente, el chasis del brazo automático cuenta con un tornillo prisionero para fijarse al carril y así evitar que el actuador se desplace por error.

Figura 9. Brazo Automático a) Diseño 3D b) Montaje real.



Fuente: Esta investigación.

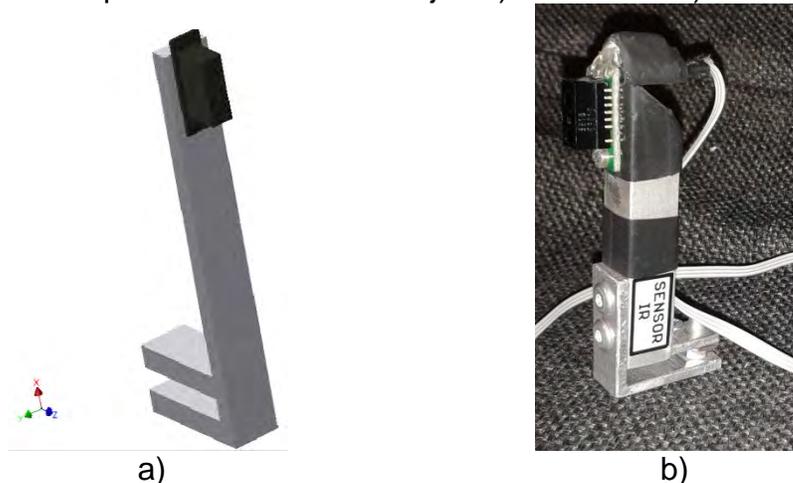
**Ensamblaje mecánico.** Cuenta con un ángulo de aluminio de 5/4" y platina de 3/4" para el chasis que sujeta al servomotor con los rieles de manera paralela a la banda, por medio de un tornillo que actúa como prisionero; un ángulo de 1/2" para formar el brazo que se ensambla al servomotor y un adaptador plástico provisto por el fabricante remachado al ángulo.

**1.2.4 Sensor infrarrojo.** Para la detección de los vasos que atraviesan la banda, se optó por utilizar sensores infrarrojos de salida digital de referencia "Sharp GP2Y0D810Z0F" de la distribuidora la Pololu. Este sensor detecta objetos en un rango de 2 a 10cm y contiene una tarjeta de acoplamiento que cuenta con 3 pines de conexión, de los cuales 2 son de alimentación, se pueden identificar como GND, VIN y OUT en la PCB de acople. El funcionamiento del sensor consiste en que al momento de detección de un objeto, entrega una señal TTL de estado bajo (0V), en cualquier otro momento el estado en la salida es alto (5V).

- **Cambios en el diseño:** Debido a que la arquitectura de microcontroladores PIC resulta afectada al recibir una señal de voltaje por cualquier pin, esto provoca que el microcontrolador entre en activación, generando la ejecución del código. Por lo tanto, se optó por realizar una inversión de las

señales emitidas por el sensor IR, mediante la implementación de una compuerta lógica inversora tipo Schmitt Trigger 74ls14 para enviar un 0 lógico cuando el sensor se encuentre en un estado de no detección. El ensamblaje mecánico del sensor se observa en la figura 10.

Figura 10. Soporte Sensores Infrarrojos a) Diseño 3D b) Montaje real.



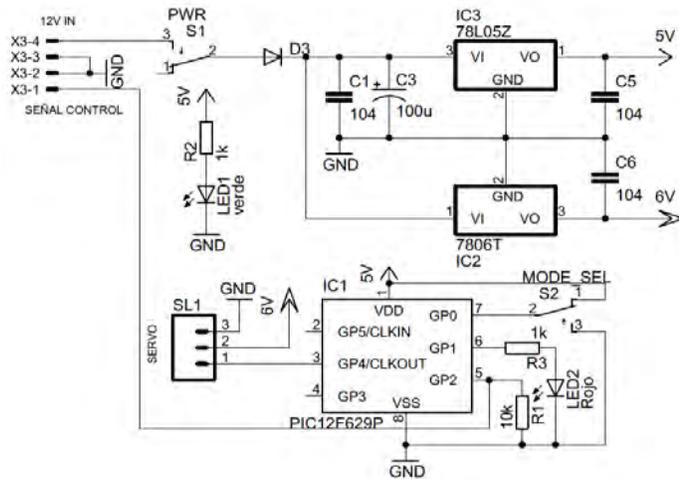
Fuente: Esta investigación.

### 1.3 PANEL DE CONTROL

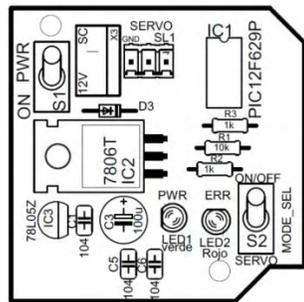
#### 1.3.1 Servoválvula.

**Hardware:** Debido a que el ensamblaje de cada servoválvula no fue exactamente el mismo puesto que la unión entre la manija y el rotor cambia entre cada actuador y únicamente se necesitaría un accionamiento de  $90^\circ$  sobre las válvulas, los ciclos útiles de cada uno varían. Por ello se implementó una tarjeta de interfaz que modula todas las servoválvulas para que conserven un ciclo de funcionamiento único. La tarjeta de interfaz consta de un microcontrolador de referencia PIC12F629, dos reguladores de voltaje de referencias 7806 y 78105, leds indicadores, interruptor de encendido y un interruptor de selección de modo de control, resistores y capacitores. El módulo se alimenta con 12V provenientes de la fuente principal de la planta alimentando cada regulador con el fin de utilizar el voltaje del 7806 (6V) para alimentar la servoválvula y el voltaje del 78105 (5V) para alimentar el microcontrolador. Los indicadores sirven para notificar al usuario del encendido del módulo y de un estado de error ocasionado por una señal de control inadecuada; el interruptor de selección de modo de control permite establecer si la servoválvula será utilizada en modo ON/OFF o modo SERVO. Ver figura 11.

Figura 11. Servoválvula a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



a)



b)



c)

Fuente: Esta investigación.

**Software.** Como el ciclo útil de cada servoválvula para ubicar la manija en una misma posición cambia en cada modelo, se desarrolló un módulo que se encarga de recibir una señal de control y modularla para que la posición que adquiere el actuador sea única en todos los dispositivos. Esta señal de control puede estar en dos rangos, entre 100-1000 $\mu$ s o de 2000-10000 $\mu$ s. Los valores 100 y 2000 $\mu$ s cierran la válvula totalmente, mientras que 1000 y 10000 $\mu$ s la abren de forma total. Se estableció estos dos rangos de control debido a que este actuador está diseñado para trabajar con distintos tipos de microcontroladores, dependiendo de la velocidad de procesamiento de cada modelo al momento de generar una señal de control PWM, dejando así el rango de 100-1000 $\mu$ s a dispositivos rápidos como PICs, ATMEGAs entre otros, mientras que el rango de 2000 a 10000 $\mu$ s se lo realizó pensando en PLCs de salida por relay. Independiente a este motivo, se pueden trabajar igualmente con cualquier microcontrolador en los dos rangos,

siendo elección del usuario. Este proceso fue realizado mediante la aplicación de una ecuación<sup>5</sup> para intercambio de rangos.

$$(2) \text{ New Value} = \frac{(\text{Old Value} - \text{Old Min}) * (\text{New Max} - \text{New Min})}{\text{Old Max} - \text{Old Min}}$$

La ecuación (2) se compone de la siguiente manera:

**New Value:** Es el valor resultante del intercambio de rangos. Oscila entre 650 y 1400, los cuales son los valores en  $\mu\text{s}$  que acepta cada uno de los servomotores. Estos presentan variaciones de  $\pm 50 \mu\text{s}$ , es por ello que se decidió realizar el ajuste de valores a un único rango que consista de valores ubicados entre 100 y 1000  $\mu\text{s}$ .

**Old Value:** Es el valor que ingresa a la formula. Se encuentra entre 100 y 1000 ( $\mu\text{s}$ ).

**Old Min:** Es el valor mínimo del anterior rango, es decir 100 ( $\mu\text{s}$ ).

**Old Max:** Es el valor máximo del anterior rango, es decir 1000 ( $\mu\text{s}$ ).

**New Min:** Es el valor mínimo del nuevo rango, es decir  $650 \pm 50 \mu\text{s}$ , su valor exacto varía dependiendo de cada servomotor utilizado en las servoválvulas 1,2 y 3.

**New Max:** Es el valor máximo del nuevo rango, es decir  $1450 \pm 50 \mu\text{s}$ , su valor exacto varía dependiendo de cada servomotor utilizado en las servoválvulas 1,2 y 3.

Cuando una señal de control que ingrese a la servoválvula sea errónea, es decir se encuentre por fuera de los 2 rangos de control, se encenderá el led piloto rojo que advertirá de este estado.

El modulo cuenta con dos modos de funcionamiento para la servoválvula, seleccionados por el usuario a través del interruptor "MODE\_SEL":

- ON/OFF: La señal de control que el módulo debe recibir es de tipo booleana, siendo 1 el equivalente a la apertura total de la válvula y 0 el cierre de esta.
- SERVO: La señal de control que el modulo debe recibir es de tipo PWM, que se debe caracterizar de manera que el periodo sea mayor de 10ms definiendo el ciclo útil en el rango de uso del módulo (100-1000 $\mu\text{s}$ ) ó (2000-10000 $\mu\text{s}$ ), de manera que los valores intermedios de estos rangos seria la equivalencia lineal a la apertura en grados de la válvula.

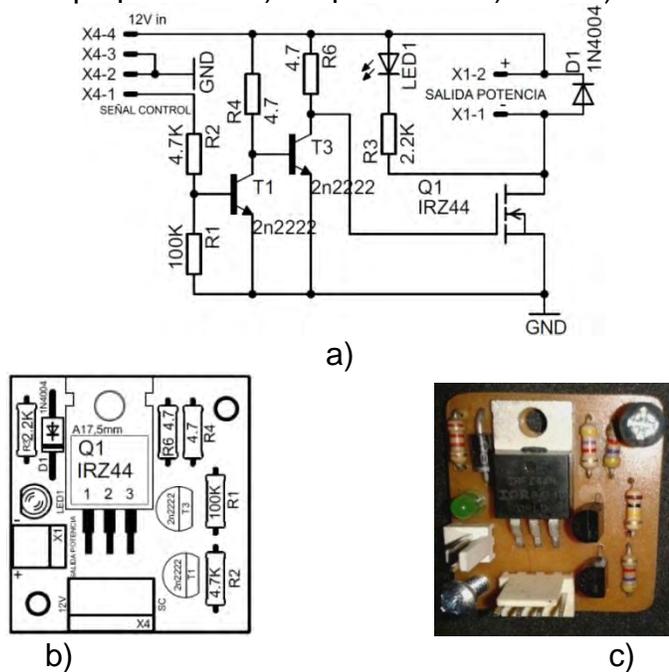
---

<sup>5</sup> Convertir un rango de número a otro rango el mantenimiento de la relación. [En línea]<<http://www.iteramos.com/pregunta/16900/convertir-un-rango-de-numero-a-otro-rango-el-mantenimiento-de-la-relacion>>[Citado el 14 Agosto de 2015].

### 1.3.2 Electroválvula.

**Hardware.** Debido a que la electroválvula necesita 12v y 3A para su activación se realizó una tarjeta de potencia que se compone de un transistor MOSFET IRFZ44<sup>6</sup> y un arreglo de transistores NPN 2n-2222 con su respectivo arreglo de resistencias. En la hoja de datos del IRF Z44 (para más información referirse al datasheet del dispositivo) se notifica que para la activación del transistor hay que tener en cuenta que la tensión mínima de Gate para que el transistor comience a conducir está ubicada entre 2 y 4V. La máxima tensión aplicable respecto al terminal Source es de 20V. Con 10V de tensión sobre el Gate el transistor alcanza la mínima resistencia entre Drain y Source ( $R_{ds_{min}} = 0.024\Omega$ ). Si se sobrepasa la tensión  $V_{gs}$  (tensión de Gate respecto a Source) máxima de 20 V el transistor se daña y si no se alcanza la tensión mínima de 2 a 4V, el transistor no entrará en conducción. El problema a destacar es que si se trabaja siempre con 5V, se está sobre el límite de activación del transistor, mientras que si se trabaja con mayor tensión sobre el Gate se logra un mejor desempeño con menor disipación de calor al ofrecer menor resistencia a la circulación de corriente entre Drain y Source Por tal motivo se decidió que el arreglo de transistores BJT tendrían un  $V_{ce}=12V$ , a la salida para la activación del IRF Z44, mientras que a la entrada del arreglo sobre la base del primer transistor se utilizarían voltajes de 0-5 V a manera de activación lógica. Ver figura 12.

Figura 12. Etapa potencia a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



Fuente: Esta investigación.

<sup>6</sup> IRFZ44N: El MOS-FET de batalla para PWM. [En línea]. <<http://www.neoteo.com/irfz44n-el-mosfet-de-batalla-para-pwm>> [Citado el 30 Septiembre de 2015]

El arreglo de transistores BJT<sup>7</sup> permite invertir la señal ingresada por el usuario que será de tipo lógica TTL para que se use a manera de señal de activación del transistor de potencia FET, debido a que este transistor hace uso de una señal activa baja para la conducción de los 12V hacia el actuador.

### 1.3.3 Brazo automático.

**Hardware.** Debido a que el brazo automático tendrá un accionamiento de 0° a 90° y de 180° a 90° dependiendo del lado en el que se ubique el actuador con respecto a la banda (90° perpendicular a la banda y 0° ó 180° paralelo a esta) se diseñó un módulo de control en el cual el usuario debe únicamente ingresar señales digitales de 0 y 5V (0V representa la posición paralela a la banda (0° y 180°), mientras que 5V representa la posición perpendicular (90°)). Para seleccionar el sentido de giro dependiendo del lado de la banda donde se ubica el actuador, el modulo debe ser programado a través de una señal digital.

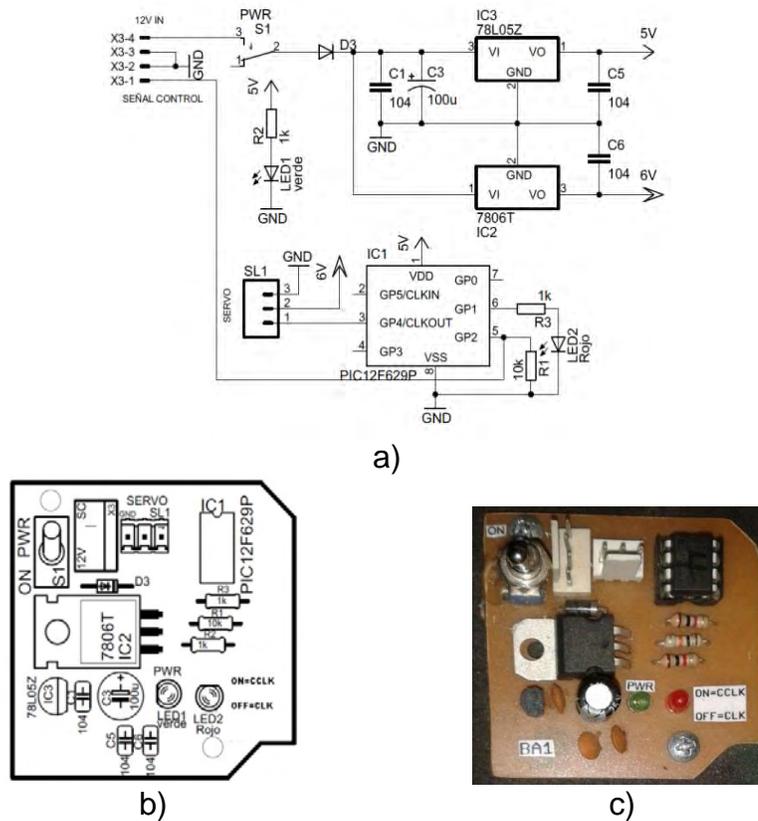
La tarjeta de interfaz consta de un microcontrolador de referencia PIC12F629, dos reguladores de voltaje de referencias 7806 y 78l05, leds indicadores, interruptor de encendido, resistores y capacitores.

El módulo se alimenta con 12V provenientes de la fuente principal de la planta que se aplican a cada regulador. De esta manera el voltaje del 7806 (6V) alimenta el brazo automático y el voltaje del 78l05 (5V) alimenta al microcontrolador. Los indicadores sirven para notificar al usuario del encendido del módulo (led verde) y del tipo de giro que realiza el actuador (led rojo). Ver figura 13.

---

<sup>7</sup> Using Transistor as a Switch. Mayo 2015. [En línea]. <<http://www.ermicro.com/blog/?p=423>> [Citado el 03 de Octubre de 2015]

Figura 13. Brazo automático a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



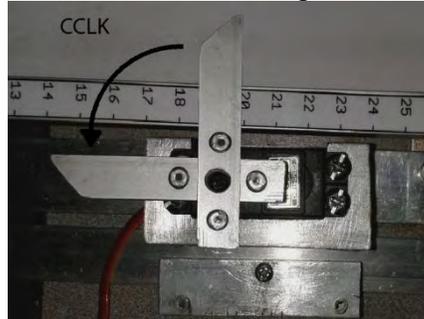
Fuente: Esta investigación.

**Software.** El brazo automático está diseñado para trabajar con voltajes lógicos TTL provenientes de cualquier tipo de fuente, diferenciándose de las servoválvulas en que ya que no es necesario un tren de pulsos para su accionamiento. El módulo cuenta con dos modos de funcionamiento para el brazo automático, seleccionados por el usuario a través de un pulso inicial que deberá ser ingresado al módulo en los primeros 5 segundos, después de su encendido. Durante este tiempo, el led indicador rojo se encontrara funcionando de manera intermitente notificando al usuario la espera por la señal de control. La señal de control deberá ser de 1 lógico en caso de querer configurar el brazo en modo CCLK (led indicador rojo queda encendido). De lo contrario, se debe esperar el paso de los 5 segundos para que el modulo quede configurado en modo CLK, (led indicador rojo queda apagado).

Modos de funcionamiento:

- CCLK: Para configurar el brazo automático en este modo, el usuario debe ingresar una señal lógica de 1 durante los 5s de espera que indica el modulo después de su encendido. En este modo, el brazo se mueve en sentido anti horario, partiendo de la posición inicial del brazo perpendicular a la banda. Además el indicador rojo queda encendido. Ver figura 14.

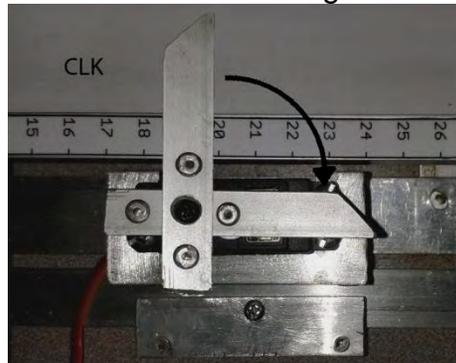
Figura 14. Movimiento brazo configurado en modo CCLK.



Fuente: Esta investigación.

- CLK: Para configurar el brazo automático en este modo, el usuario debe ingresar una señal lógica de 0 durante los 5s de espera o en caso contrario dejar correr el tiempo de programación, debido a que el modulo cuenta con una resistencia de Pull-down, dejando el estado lógico 0 como predeterminado. En este modo, el brazo se mueve en sentido horario, partiendo de la posición inicial del brazo perpendicular a la banda y el indicador rojo queda apagado. Ver figura 15.

Figura 15. Movimiento brazo configurado en modo CLK.



Fuente: Esta investigación.

#### 1.3.4 Motobomba

**Hardware.** Debido a que este actuador es el único en utilizar 110V AC, se implementó un circuito de acoplamiento de señal que permite la activación del

actuador mediante las señales lógicas 0 - 5V emitidas por el microcontrolador. Este diseño fue encontrado en la red y adaptado para la necesidad<sup>8</sup>. En la figura 16 se puede observar el diagrama de bloques para el funcionamiento de la tarjeta de potencia.

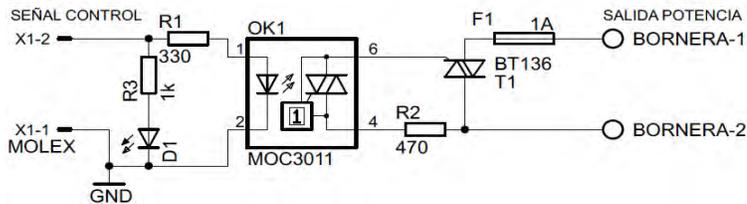
Figura 16. Esquema de funcionamiento para tarjeta de potencia.



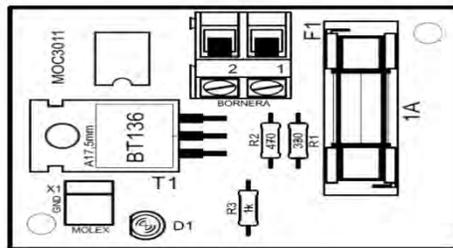
Fuente: Acoplamiento óptico entre un sistema digital y una etapa de potencia. [En Línea].<<http://www.monografias.com/trabajos35/acoplamiento-optico/acoplamiento-optico.shtml>> [Citado el 10 de Octubre de 2015]

El diseño consiste en un opto acoplador (MOC3011), un led indicador, resistencias, un triac de potencia tipo BT136 y un fusible para la sección de potencia. El funcionamiento del diseño se resume en la activación del opto acoplador mediante la señal lógica proveniente del microcontrolador, provocando la alimentación de la compuerta del triac logrando su activación que permite el cierre del circuito de potencia, como se observa en la figura 17.

Figura 17. Etapa de potencia para la motobomba a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



a)



b)



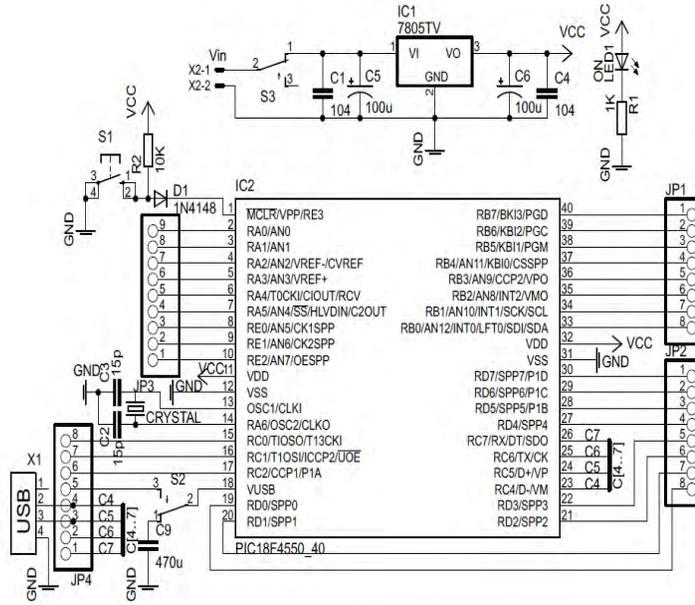
c)

Fuente: Esta investigación.

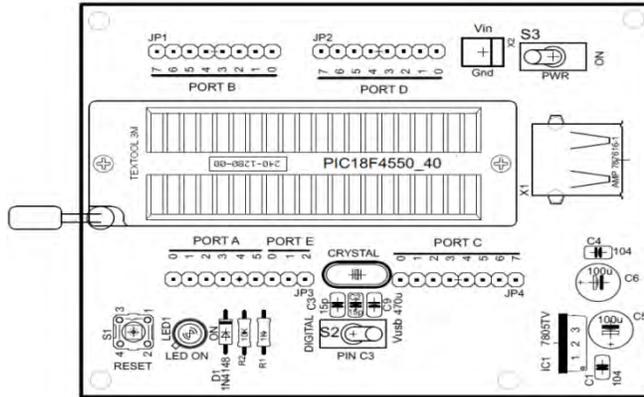
<sup>8</sup> Acoplamiento óptico entre un sistema digital y una etapa de potencia. [En línea].<<http://www.monografias.com/trabajos35/acoplamiento-optico/acoplamiento-optico.shtml>> [Citado el 10 de Octubre de 2015]

**1.3.5 Base para microcontroladores PIC.** Con el fin de permitir al usuario un control más sencillo de la planta, se ha dotado al sistema de una tarjeta base en la cual se puede insertar un microcontrolador de 40 pines. Esta cuenta con salidas para todos sus puertos, interruptor para encendido de la tarjeta, led indicador de encendido, base para intercambio del oscilador, cristal pulsador para reseteo del dispositivo y un interruptor para intercambio del pin c3 por un condensador de 100nf para la referencia pic18f4550, facilitando el uso de su modo de conexión USB para la adquisición de datos si es requerida, como se observa en la figura 18.

Figura 18. Tarjeta Base PIC a) Esquemático b) PCB Tarjeta Base PIC c) Montaje real.



a)



b)



c)

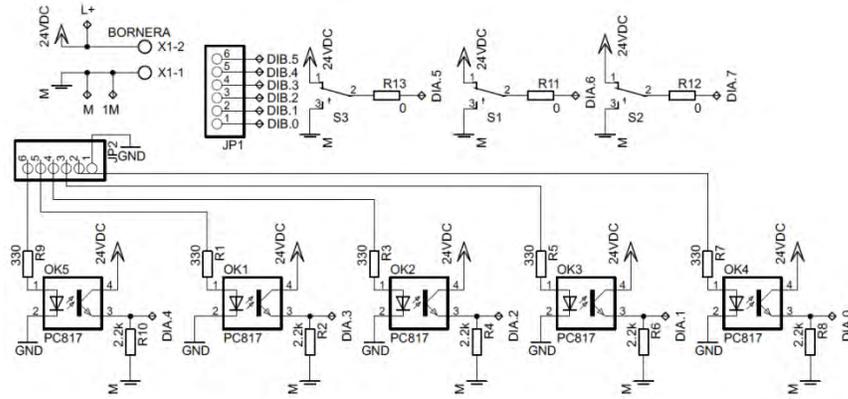
Fuente: Esta investigación.

**1.3.6 Interfaz de control para PLC.** Con la finalidad de permitir al usuario controlar la planta mediante arquitecturas diferentes a PIC se decidió dotar al sistema de tarjetas de una interfaz para el uso de dispositivos PLC de referencia CPU 1214C AC-DC-RLY, los cuales se hallan disponibles en el laboratorio de electrónica.

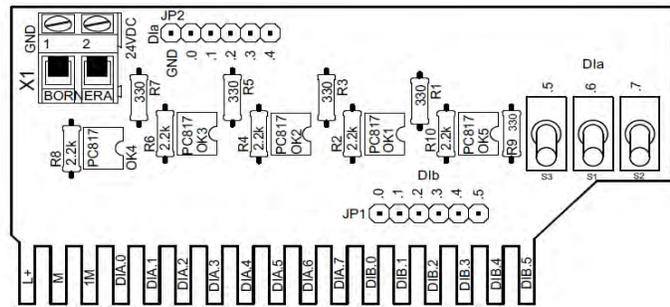
- **Tarjeta entrada de señales para PLC.** Esta tarjeta permite la conversión de señales lógicas tipo TTL a señales de 24V, únicas registradas como entradas por el PLC. Además cuenta con un módulo integrado de ingreso de señales tipo ON/OFF mediante el uso de interruptores. Esta tarjeta fue diseñada e implementada con el fin de permitir el ingreso de señales provenientes de los sensores infrarrojos que se hallen en funcionamiento en la planta. Ver Figura 19.

La conversión de señales se realiza mediante el uso de opto acopladores pc817, que reciben la señal de activación tipo TTL permitiendo el paso de la señal de 24V al pin de entrada hacia el PLC.

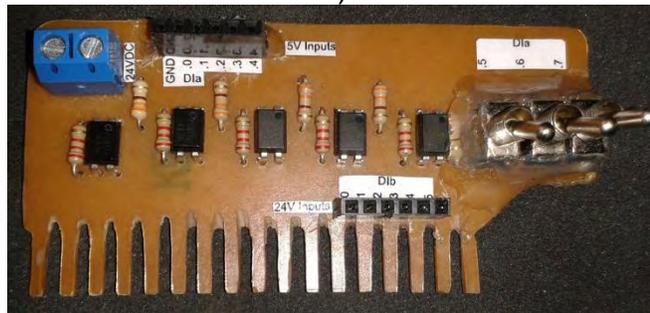
Figura 19. Tarjeta Interfaz de entrada PLC a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



a)



b)

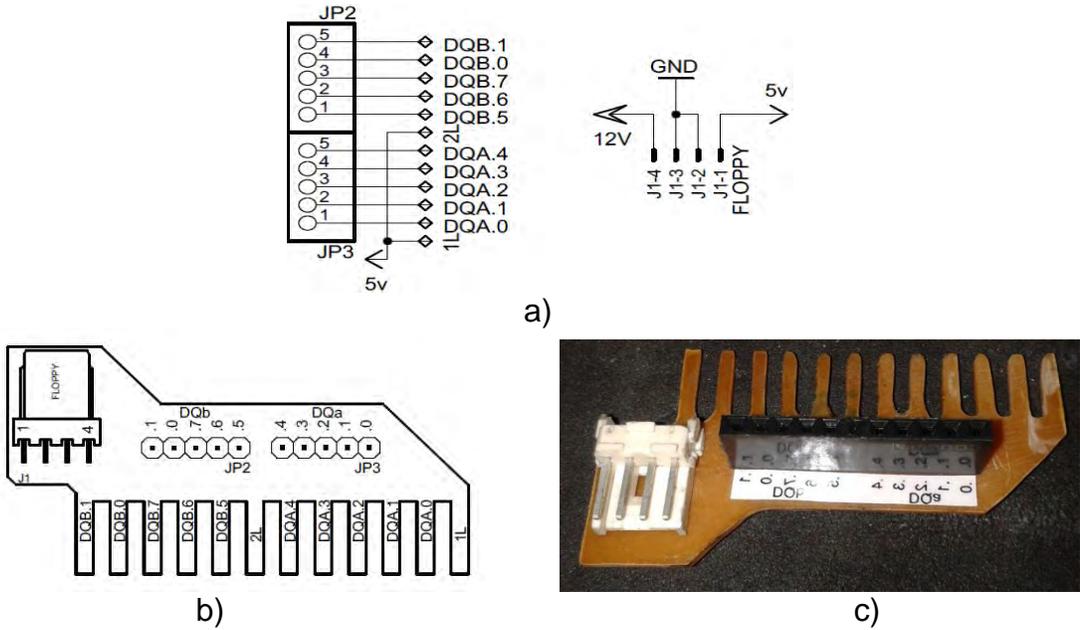


c)

Fuente: Esta investigación.

- **Tarjeta salida de señales para PLC.** Esta tarjeta permite la salida de señales del PLC pues cuenta con un conector tipo FLOPPY proveniente de la fuente principal de la planta. Este ingresa 5V a las líneas principales de la salida del PLC 1L y 2L. Ver figura 20.

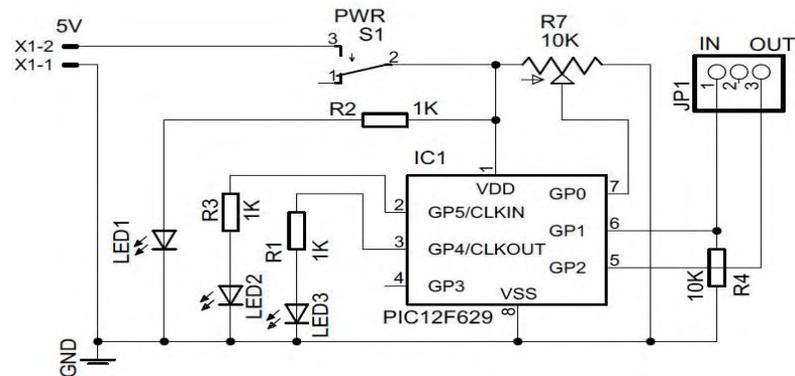
Figura 20. Tarjeta Interfaz de salida PLC a) Esquemático. b) PCB c) Montaje real.



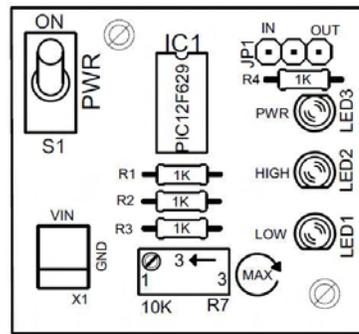
Fuente: Esta investigación.

**1.3.7 Tarjeta para control de velocidad.** Debido a la incapacidad del PLC CPU 1214C AC-DC-RLY de emitir un PWM debido a sus salidas tipo relay, el manejo de la velocidad de los motores tanto de la banda como del disco se realiza con una tarjeta que permite el control de velocidad mediante el uso de un microcontrolador, que recibe una señal de activación proveniente del PLC y modula el ciclo de trabajo de un PWM generado por el mismo a través de un potenciómetro. Ver figura 21.

Figura 21. Tarjeta para control de velocidad a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



a)



b)

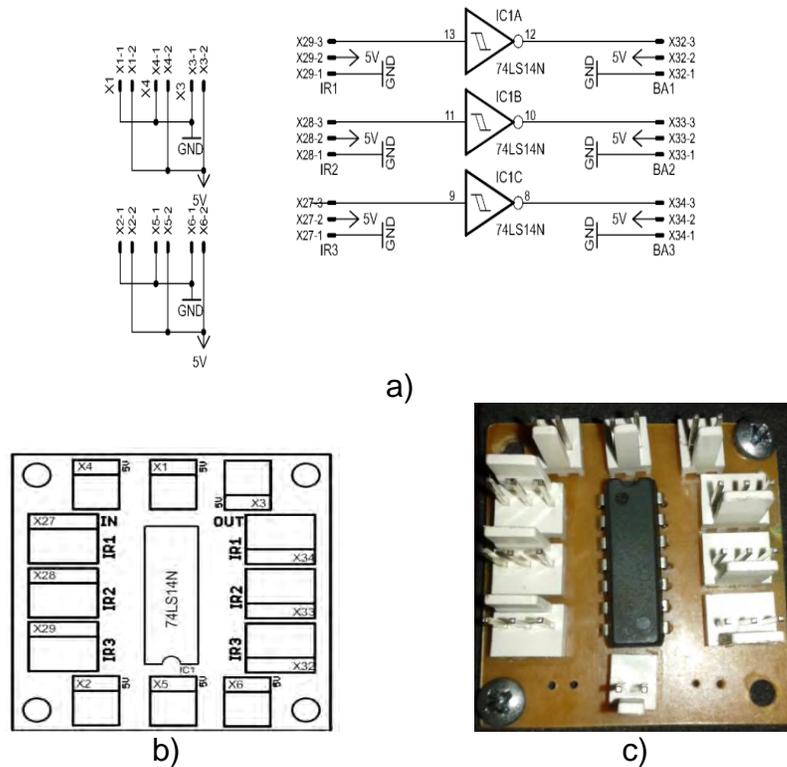


c)

Fuente: Esta investigación.

**1.3.8 Tarjeta inversora de señal IR.** Debido a que los sensores infrarrojos manejan lógica inversa, es decir su estado activo es definido mediante un voltaje de 0v, se optó por realizar un diseño que permita la inversión de esta señal para conservar la lógica general de la máquina, siendo el estado activo 5V e inactivo 0V. Para ello se hizo uso de una compuerta lógica inversora de tipo Schmitt Trigger 74ls14 en la que se ingresan las señales provenientes de los sensores IR y se invierten para ser entregadas sobre la regleta principal de conexiones y su respectiva extensión para el dispositivo PLC. Ver figura 22.

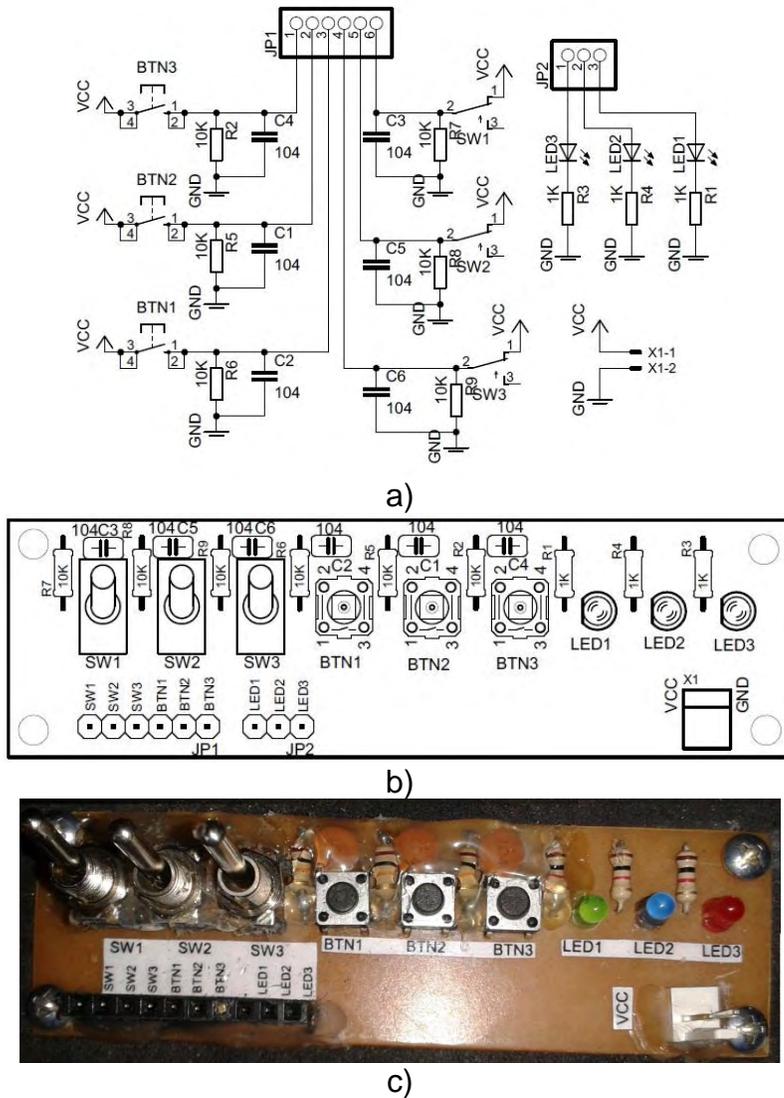
Figura 22. Tarjeta Inversora de señal IR a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



Fuente: Esta investigación.

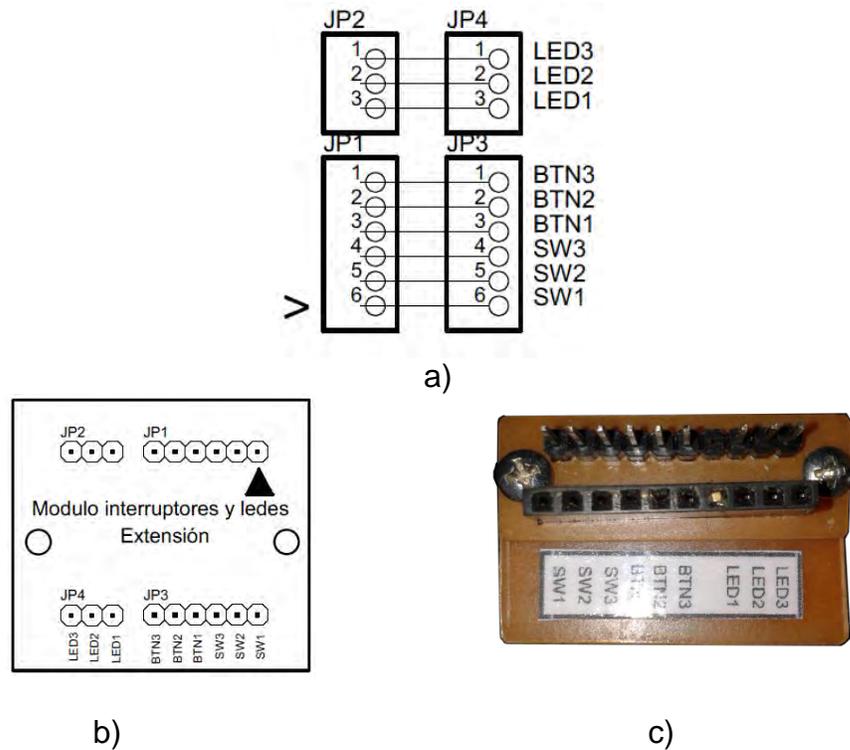
**1.3.9 Módulo de interruptores y leds piloto.** Con el propósito de permitir al estudiante simular señales de activación en las entradas de cualquiera de los dispositivos de programación (PLC/Microcontrolador) se construyó un módulo que consta de pulsadores para generar señales momentáneas e interruptores para señales continuas. Además cuenta con tres leds indicadores para que el estudiante pueda monitorear secciones o accionamientos de los actuadores durante el proceso. Ver figura 23. Esta también cuenta con una tarjeta de extensión en la sección para PLC u otros microcontroladores. Ver figura 24.

Figura 23. Módulo de interruptores y leds piloto a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



Fuente: Esta investigación.

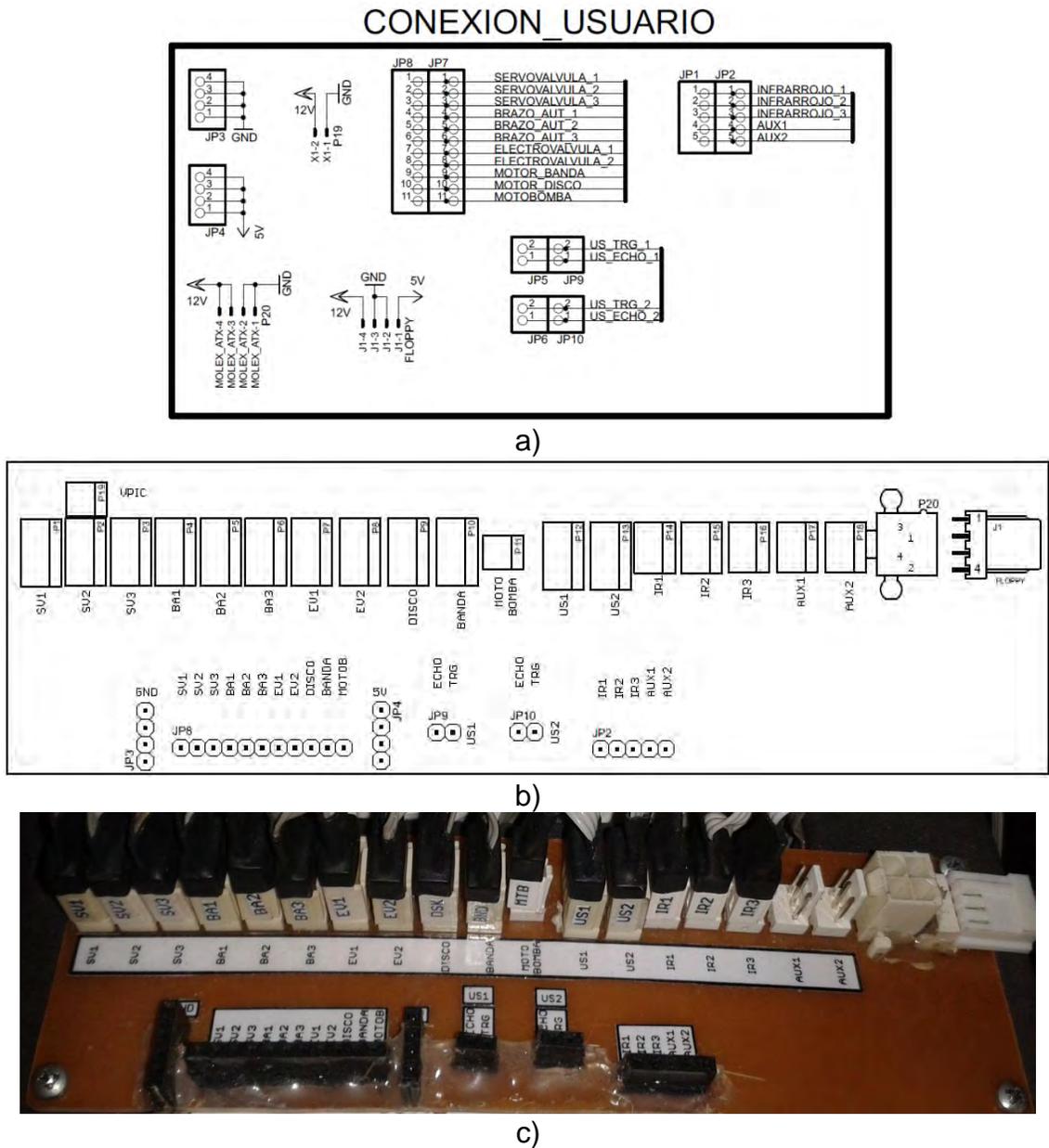
Figura 24. Extensión Módulo de interruptores y leds piloto a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



Fuente: Esta investigación.

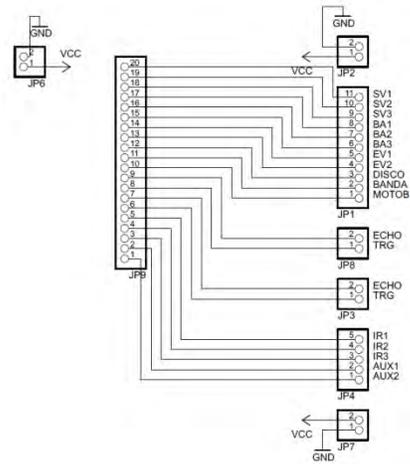
**1.3.10 Tarjeta principal de conexiones.** Esta tarjeta permite al usuario tener acceso a un nodo central de conexiones sobre el cual se puede introducir las señales de manejo para cada actuador y sensor. Sobre la tarjeta se encuentra la serigrafía necesaria para guiar al usuario en las conexiones que requiera realizar. Ver figura 25. También cuenta con una extensión en la sección de PLC u otros microcontroladores para facilitar el acceso a usuarios de otras plataformas diferentes a los microcontroladores PIC. Ver figuras 26.

Figura 25. Tarjeta principal de conexiones a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.

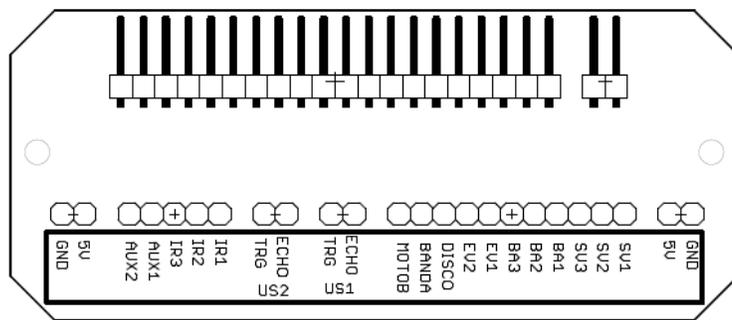


Fuente: Esta investigación.

Figura 26. Extensión Tarjeta principal de conexiones a) Esquemático b) PCB c) Montaje real.



a)



b)



c)

Fuente: Esta investigación.

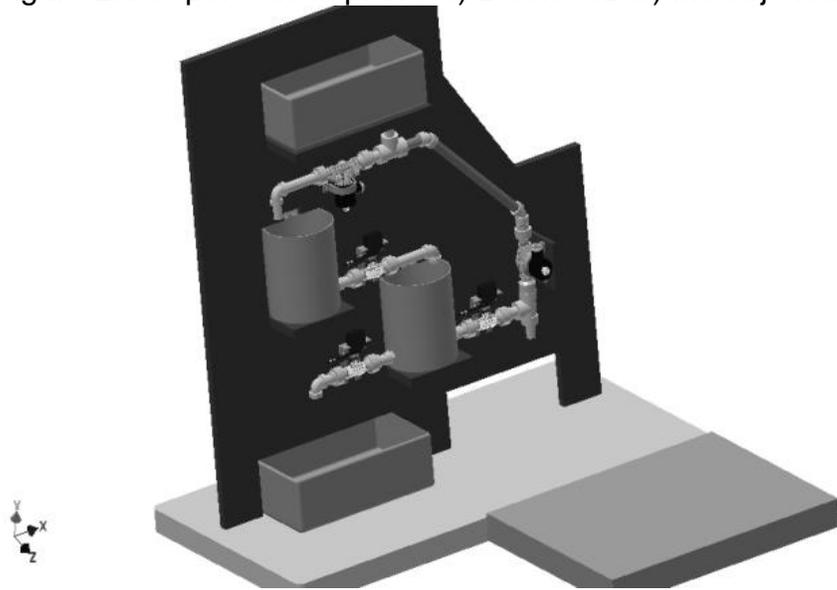
## 1.4 ARMAZÓN DEL SISTEMA

**Sección mesa de soporte:** Como base para la implementación de la planta didáctica se dispuso de una mesa 119.5x59.5 cm, modificada para que la sección de la banda encaje de manera perpendicular a la sección de llenado. Debido a ello, se añadió un soporte de madera de 60.5x51cm de manera que se formó una base en forma de L para el sistema.

**Sección tablero de soporte control de nivel:** Como soporte para tanques y demás elementos electro-mecánicos se utilizó una hoja de MDF de 15mm de espesor, en la cual se trazó un bosquejo con las medidas obtenidas en el diseño de la planta para la perforación de los huecos en donde se ubican los tanques. Para la base de los tanques 1, 2 y 4 de la planta, se optó por añadir unos retazos de MDF asegurados perpendicularmente a través de soportes denominados pie de amigo. Esto con el fin de que el tanque quede firme y nivelado de manera paralela a la mesa principal.

**Sección panel de control:** Para el tablero donde se ubica el hardware del sistema se hizo uso de secciones de madera para la construcción de un cajón de 20cmx36cmx30cm (LxWxH) con una repisa media y una sección inferior en donde se ubicarían todas las tarjetas de control y la fuente de alimentación principal además del cableado del sistema respectivamente. Para detallar la estructura total del sistema ver figuras 27 y 28.

Figura 27. Soporte de la planta a) Diseño 3D b) Montaje real.



a)



b)

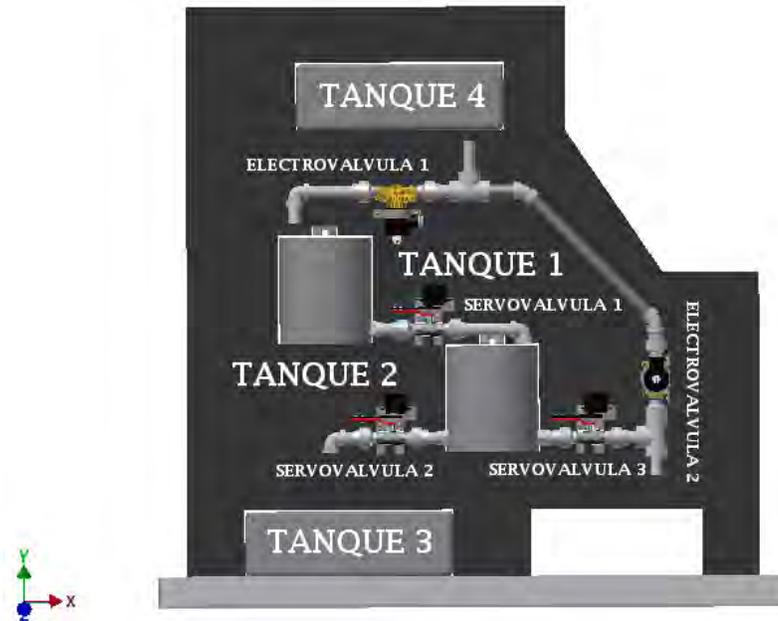
Fuente: Esta investigación.

Tabla 1. Mapa interconexión sección control de nivel.

SECCION	CONECTOR	SECCION
TANQUE 3	MANGUERA	TANQUE 4
TANQUE 3/4	ELECTROVALVULA 1	TANQUE 1
TANQUE 3/4	ELECTROVALVULA 2	BANDA
TANQUE 1	SERVOVALVULA 1	TANQUE 2
TANQUE 2	SERVOVALVULA 2	TANQUE 3
TANQUE 2	SERVOVALVULA 3	BANDA

Fuente: Esta investigación.

Figura 28. Mapa sección de control de nivel.



Fuente: Esta investigación.

## 2. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

### 2.1 ESCALA LIKERT

Esta escala permite medir actitudes y conocer el grado de conformidad del encuestado con cualquier afirmación que le es propuesta. Esta escala se puede utilizar para medir<sup>9</sup>:

- El nivel de acuerdo con una afirmación.
- La frecuencia con la que se realiza cierta actividad.
- El nivel de importancia que se atribuye a un determinado factor.
- La valoración de un servicio, producto, o empresa.
- La probabilidad de realizar una acción futura.

Con el propósito de validar el funcionamiento y nivel de agrado que los estudiantes puedan lograr con el prototipo, se decidió aplicar una encuesta que permita al estudiante valorar el nivel de desempeño, calidad y eficiencia de la máquina para el propósito con el cual fue diseñada y construida.

### 2.2 METODOLOGÍA

Para la validación del prototipo se decidió realizar una encuesta consistente de 7 preguntas a una población de 45 estudiantes pertenecientes al programa de ingeniería electrónica en la universidad de Nariño que se hallan cursando materias como automatización o control. Esta encuesta es aplicada después de una explicación sobre el funcionamiento y finalidad del sistema, además de la presentación de tres ejemplos del funcionamiento del sistema a los estudiantes, en los que se hacía uso de todos los actuadores e interfaces de control.

Para las preguntas incluidas en la encuesta se hizo uso de una variación de la escala likert consistente en 5 ítems para las primeras 6 preguntas y una pregunta de tipo dicotómica.

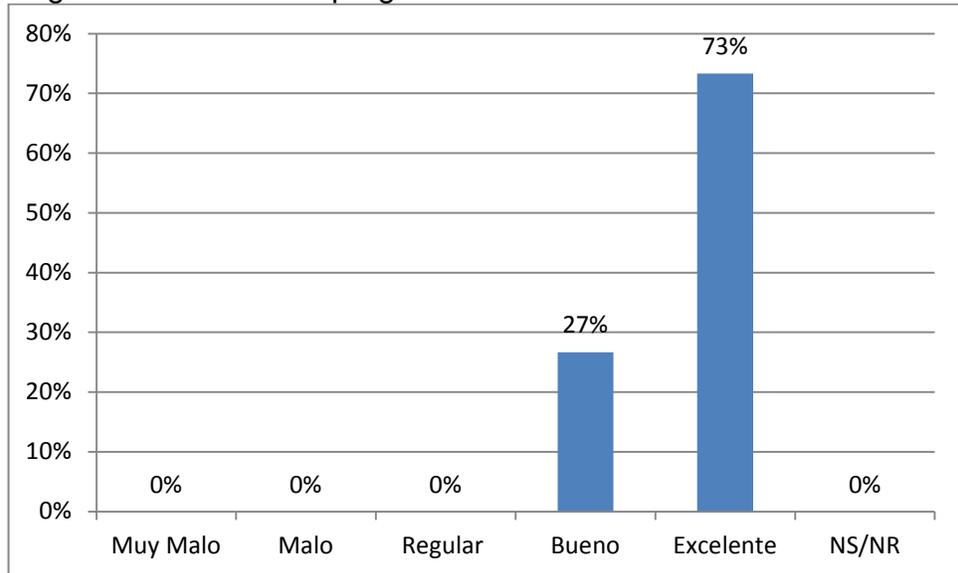
### 2.3 RESULTADOS OBTENIDOS

- **Pregunta 1: ¿Cómo califica el diseño del sistema?**  
Se realiza esta pregunta con el propósito de indagar sobre el aspecto físico del prototipo y su complejidad. Ver figura 29.

---

<sup>9</sup>La escala de likert: que es y cómo utilizarla. [En línea]. <<http://www.netquest.com/blog/es/la-escala-de-likert-que-es-y-como-utilizarla/>> [Citado el 29 De Agosto de 2014]

Figura 29. Resultados pregunta 1 de la encuesta de validación.

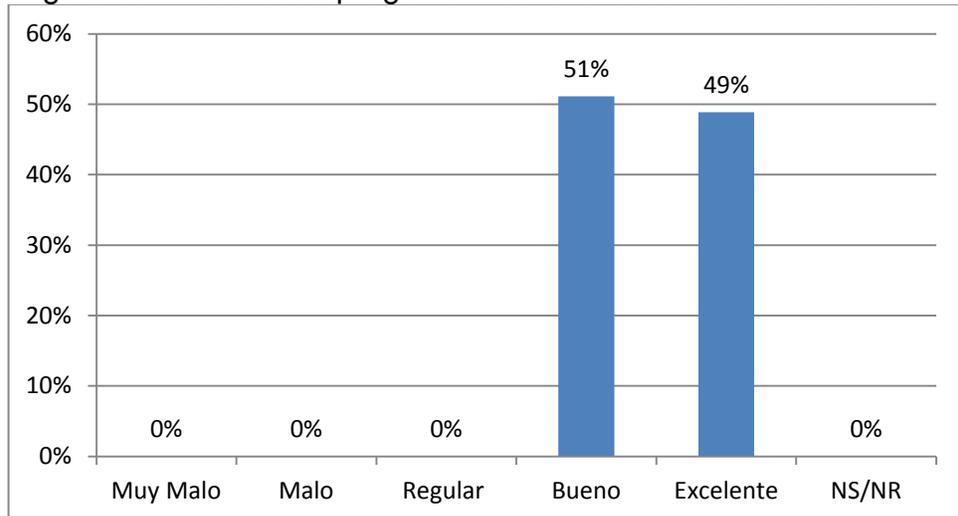


Fuente: Esta investigación

- **Pregunta 2: ¿Cómo califica la robustez del sistema?**

Se realiza con el propósito de indagar sobre la estabilidad de la estructura y la durabilidad que se cree tendrá. Ver figura 30.

Figura 30. Resultados pregunta 2 de la encuesta de validación.

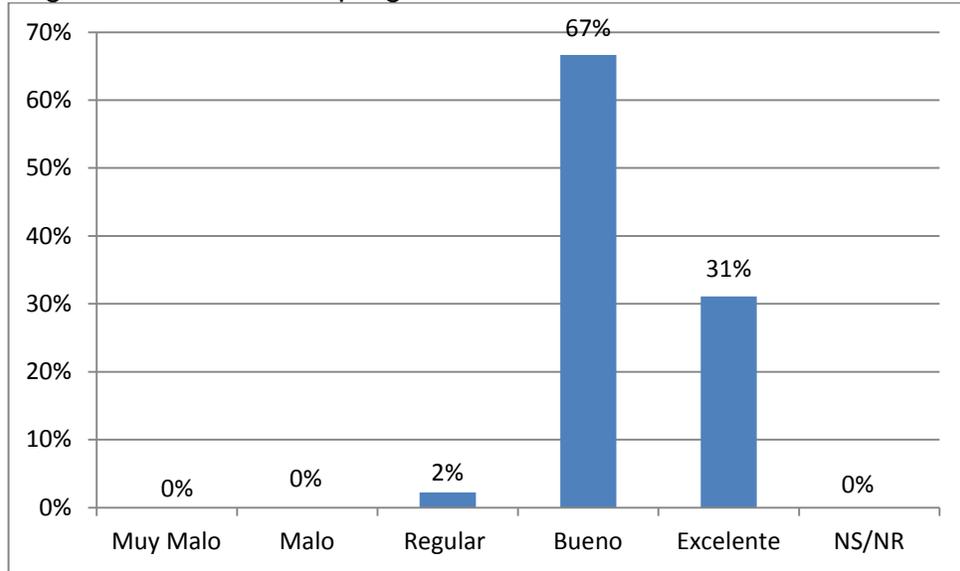


Fuente: Esta investigación

- **Pregunta 3: ¿Qué tan seguro considera al sistema?**

Se realiza con el propósito de indagar sobre la seguridad que el estudiante observa como usuario de la máquina. Ver figura 31.

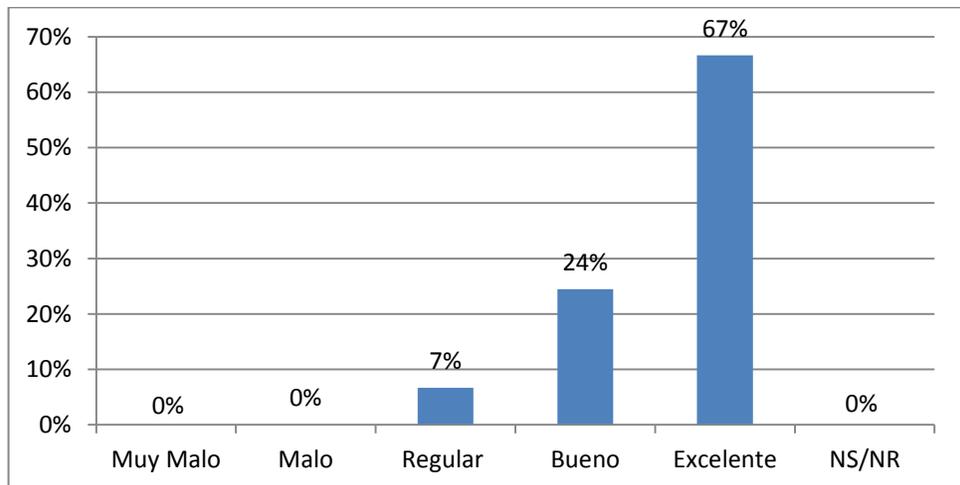
Figura 31. Resultados pregunta 3 de la encuesta de validación.



Fuente: Esta investigación

- **Pregunta 4: ¿Cómo califica la variedad de funcionamientos del prototipo?**  
Se realiza con el propósito de indagar sobre la cantidad de usos que el estudiante logra encontrar para la aplicación sobre el sistema y por parte de este. Ver figura 32.

Figura 32. Resultados pregunta 4 de la encuesta de validación.

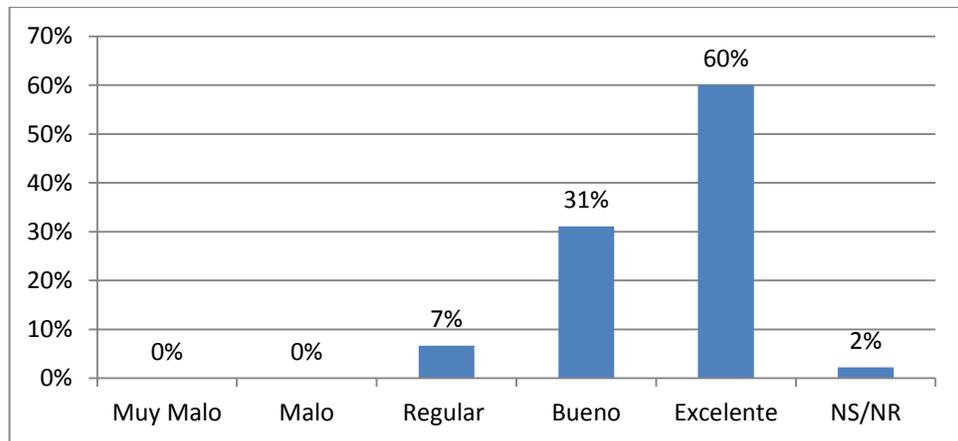


Fuente: Esta investigación

- **Pregunta 5: ¿Según los datos proporcionados en la presentación del prototipo, qué asimilación logró respecto a su funcionamiento y propósito?**

Se realiza con el propósito de averiguar el grado de entendimiento y abstracción de datos que el estudiante logra respecto a la sustentación del sistema, sobre su funcionamiento y finalidad. Ver figura 33.

Figura 33. Resultados pregunta 5 de la encuesta de validación.

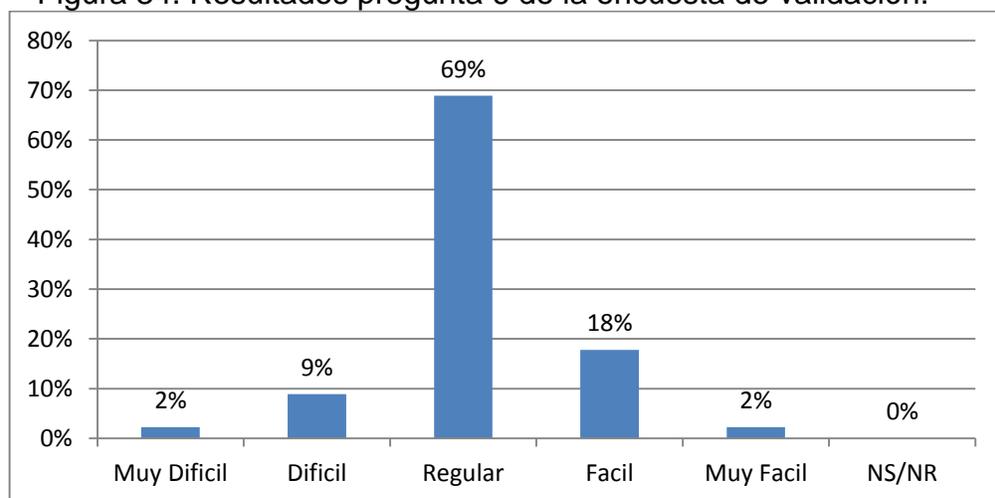


Fuente: Esta investigación

- **Pregunta 6: ¿Qué grado de dificultad cree usted presenta el manejo del prototipo?**

Se realiza con el propósito de indagar el grado de dificultad que el estudiante observa para poder hacer uso del prototipo. Ver figura 34.

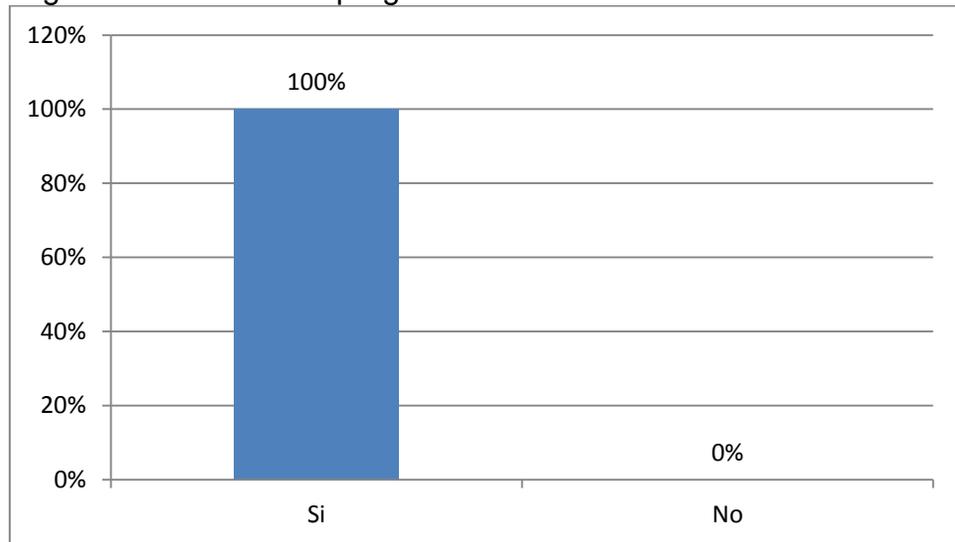
Figura 34. Resultados pregunta 6 de la encuesta de validación.



Fuente: Esta investigación

- **Pregunta 7: ¿Cree usted que el sistema es eficiente para el desarrollo de las actividades propuestas en materias como automatización y control?**  
Se realiza con el propósito de validar la factibilidad de que el sistema sea puesto en práctica como una herramienta para el aprendizaje en algunos campos de la electrónica. Ver figura 35.

Figura 35. Resultados pregunta 7 de la encuesta de validación.



Fuente: Esta investigación

#### 2.4 ANALISIS DE RESULTADOS

Según los datos obtenidos en la encuesta, se puede fácilmente apreciar, la aceptación que los estudiantes han dado al prototipo, asimilándolo como una herramienta para el aprendizaje, se define como eficaz su desempeño y estructuración, aunque difiriendo en su asimilación sobre el manejo y posibles usos. Esto es normal por cuanto su contacto con el sistema fue de manera superficial, únicamente atendiendo a 3 ejemplos y una breve explicación sobre su composición y funcionamiento. Es claro que esta opinión será contrastada al momento de tener un total contacto con el prototipo y su respectivo manual. Es decir, el acercamiento con el prototipo, su manipulación y programación de algunas de sus funciones esclarecerá cualquier duda sobre el manejo de cada actuador y/o sensor. Es alentador obtener como resultado que la población total encuestada dé un visto bueno a la aplicación para las tareas para las cuales el prototipo fue diseñado, siendo así un punto de referencia para este tipo de herramientas y para la posterior adquisición de herramientas similares por parte del departamento o la producción de otro tipo de sistemas didácticos.

### 3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El sistema se acopla a un manejo sencillo y práctico, contando con interfaces de adaptación para diferentes tipos de controladores, entre ellos PIC, PLC, o plataformas de desarrollo como Arduino, Esto permite al estudiante controlar el sistema con varios dispositivos sin restringirlos al uso o aprendizaje de uno en específico.

Cada uno de los actuadores y sensores presenta autonomía e independencia del resto, por lo que el prototipo permite el manejo de dos secciones principales de manera independiente o en conjunto. Esto se diseñó con el propósito de permitir al estudiante una curva de aprendizaje más eficiente al momento de hacer uso del sistema, creando un número considerable de variaciones en cuanto a su funcionamiento.

El sistema cuenta con un drenaje para el ruido electroestático que puede ser introducido al sistema por medio del contacto físico. Con esto el docente puede hacer uso de esta característica para enseñar al estudiante la necesidad de blindar el sistema ante perturbaciones de este tipo, debido a que en ambientes industriales, perturbaciones eléctricas que afecten actuadores o sensores pueden provocar alteraciones en el desarrollo normal del proceso e inclusive poner en riesgo vidas humanas.

Se diseñó una planta capaz de variar su funcionamiento puesto que esta cuenta con 2 secciones denominadas, control de nivel y banda de procesos. Estas secciones pueden ser trabajadas de manera independiente o en un sistema acoplado contando con 11 actuadores que incluyen 2 motores DC, 3 servoválvulas, 3 brazos automáticos, 2 electroválvulas DC, 1 motobomba, y 5 sensores: 3 sensores de proximidad IR digitales y 2 sensores ultrasónicos. Además, el motor que se encarga de mover la banda cuenta con un encoder si el usuario lo requiere. Esta variedad de actuadores y sensores hace de la planta un sistema versátil.

El contacto que los estudiantes lograron con el prototipo únicamente recibiendo una explicación de su composición, función y finalidad deja prever que el sistema es de su agrado, validando su funcionamiento y dando un visto bueno a la aplicación del sistema para prácticas en materias tales como automatización y control. Por esto se sugiere hacer uso del sistema como una herramienta de apoyo para el diseño de guías de trabajo en materias en las cuales la herramienta pueda presentar utilidad didáctica.

El prototipo fue sometido a prueba mediante la implementación de 3 ejemplos como propósito demostrativo en el proceso de validación, mostrando un correcto y

eficaz funcionamiento al momento de desempeñar las funciones programadas. Esto debido a la correcta actividad de los actuadores y sensores que fueron accionados en conjunto demostrando estabilidad en sus funciones.

El sistema fue construido tomando precauciones ante el posible riesgo de líquido sobre el mismo, contando con una correcta conexión de tuberías, empalmes a los sistemas de válvulas y aislamiento de la circuitería. Estética y funcionalmente el sistema cumple con los objetivos planteados inicialmente, presentando estabilidad física y eléctrica, variabilidad de usos. Además, es del agrado de los estudiantes y por supuesto, permite la aplicación de los temas para los cuales fue diseñada. El control y manejo tanto de los actuadores como de los sensores es de fácil abstracción para el usuario, que cuenta con el manual provisto y los ejemplos de uso presentados junto a este documento.

## REFERENCIAS

GODINO, Juan D., Batanero, C., Contreras A. La ingeniería didáctica como investigación basada en el diseño [Versión electrónica]. [En línea]. [http://www.ugr.es/~jgodino/eos/JDGodino%20et%20al\\_2013%20Ingenieria%20didactica.pdf](http://www.ugr.es/~jgodino/eos/JDGodino%20et%20al_2013%20Ingenieria%20didactica.pdf) [Citado el 05 de Marzo de 2015]

BROUSSEAU, G. 2007. Buenos Aires. 1ª Ed. Iniciación al estudio de la teoría de las situaciones didácticas 1ª Ed. Libros del Zorzal. (P. 86).

HAS-200 Sistema altamente automatizado (español) [Archivo de video]. <<https://www.youtube.com/watch?v=N5x1JiaAuu4> [Citado el 10 De Marzo de 2015]>

QUINTERO A. Humberto, MEDINA M. Prudencia, GOMEZ V. Elvira. Incidencia del uso del laboratorio de automatización - HAS 200 Como Herramienta de Enseñanza – aprendizaje en la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco Cartagena. Foro “Innovación en investigación y educación en ingeniería: factores claves para la competitividad global” WEEF 2013 Cartagena de indias, Colombia. [En línea] <<http://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/view/561/100>> [Citado el 29 De Agosto de 2014]

Apéndice del ejercicio 3: señales de control RC. [En Línea]. <<http://www.ardumania.es/apendice-del-ejercicio-3-senales-de-control-rc/>> [Citado el 03 de Abril de 2015]

Dibujo de la embotelladora. Abril de 2015. [En Línea]. <[http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCS1/dibujo\\_de\\_la\\_embotelladora.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCS1/dibujo_de_la_embotelladora.htm)> [Citado el 25 de Marzo de 2015]

Convertir un rango de número a otro rango el mantenimiento de la relación. [En línea]<<http://www.iteramos.com/pregunta/16900/convertir-un-rango-de-numero-a-otro-rango-el-mantenimiento-de-la-relacion>>[Citado el 14 Agosto de 2015].

IRFZ44N: El MOS-FET de batalla para PWM. Mayo 2015. [En Línea]. <<http://www.neoteo.com/irfz44n-el-mos-fet-de-batalla-para-pwm>> [Citado el 30 Septiembre de 2015]

Using Transistor as a Switch. Mayo 2015. [En Línea]. <<http://www.ermicro.com/blog/?p=423>> [Citado el 03 de Octubre de 2015]

Acoplamiento óptico entre un sistema digital y una etapa de potencia. [En Línea].<<http://www.monografias.com/trabajos35/acoplamiento-optico/acoplamiento-optico.shtml>> [Citado el 10 de Octubre de 2015]

## ANEXOS

Los códigos que se anexaran a continuación fueron escritos en el software compilador PICC 4.104 CCS®.

### ANEXO 1 CODIGO PIC12F629 TARJETA SV1

```
linclude <12F629.h>
```

```
#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES INTRC_IO        //Internal RC Osc, no CLKOUT
#FUSES NOMCLR          //Master Clear pin used for I/O
##FUSES NOCPD         //No EE protection
##FUSES NOPROTECT     //Code not protected from reading
##FUSES NOPUT         //No Power Up Timer
#FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
##FUSES BANDGAP_HIGH
##FUSES RESERVED
```

```
#use delay(clock=4000000) // Clock Interno (4 Mhz)
```

```
#define SELECT (input_state(pin_a0))
#define HIGH (output_high(pin_a4));
#define LOW (output_low(pin_a4));
#define ALERTON (output_high(pin_a1));
#define ALERTOFF (output_low(pin_a1));
#define SERVOACT (input_state(pin_a2))
//---Variables---
int1 flg=0;
int16 ctrl,x,xr;//,new_max=1400,new_min=750;
int8 const ustick= 1;
//-----
```

```
//-----INTERRUPCION-----
```

```
#int_EXT
void EXT_isr(void)
{
if(flg==1)
{
x=get_timer1();
//Seccion de lectura de los pulsos que se ingresan por parte del usuario (100-1000
uS)
x=ustick*x; // 100 - 1000 uS
```

```

Ext_Int_Edge(L_TO_H);

HIGH
delay_us(ctrl);
LOW
// Seccion de envio de pulsos al servomotor despues de la conversion de rangos
delay_us(xr);
x=ustick*x; // 100 - 1000 uS
flg=0;
}

else if (flg==0){
set_timer1(0);
Ext_Int_Edge(H_TO_L);
flg=1;
}
}

//----- MAIN PROGRAM-----
void main()
{
  setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);
  enable_interrupts(GLOBAL);
  Ext_Int_Edge(L_TO_H);

//SERVO 1 |1450->(0°) - 750->(90°|

while(true){
//-----MODO VARIABLE-----
enable_interrupts(INT_EXT);
while(SELECT==0){
//-----Entrada datos PIC-----
if((x>=75)&&(x<=1025)){

if (x<100) x=100;
else if (x>1000) x=1000;

ALERTOFF;
ctrl=((x-100)*(6.5/9.0))+750;//0.66666667
//Conversion de rangos para PIC (100-1000 uS) -> (750-1400 uS)
}
//-----Entrada datos PLC-----
else if((x>=1900)&&(x<=10100)){

if (x<2000) x=2000;

```

```

else if (x>10000) x=10000;

ALERTOFF;
ctrl=((x-2000)*(6.5/80.0))+750;
//Conversion de rangos para PLC (2000-10000 uS) -> (750-1400 uS)

}
//-----ERROR-----
else ALERTON;
//ERROR EN PIC o PLC ya que no se encuentra en ninguno de los dos casos
anteriores entrara en estado ERR
//-----
xr=10000-ctrl;
}while(Select==0)

//-----MODO ON/OFF-----
disable_interrupts(INT_EXT);
ALERTOFF;
while(SELECT==1)
{
//-----ABIERTO-----
if(SERVOACT==1) {
HIGH
delay_us(750);
// Seccion activacion de modo ON/OFF: al ingresar un 1 logico se envia una orden
de apertura al servomotor
LOW
delay_us(19250);
}
//-----CERRADO-----
else {
HIGH
delay_us(1400);
LOW
delay_us(18600);
// Seccion desactivacion de modo ON/OFF: al ingresar un 0 logico se envia una
orden de cierre al servomotor
}
}while (Select==1)
//-----
}
}while(true)
}
}

```

## ANEXO 2 CODIGO PIC12F629 TARJETA SV2

```
#include <12F629.h>

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES INTRC_IO        //Internal RC Osc, no CLKOUT
#FUSES NOMCLR          //Master Clear pin used for I/O
##FUSES NOCPD          //No EE protection
##FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
##FUSES NOPUT          //No Power Up Timer
##FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
##FUSES BANDGAP_HIGH   //Used to set the reserved FUSE bits
##FUSES RESERVED       //Used to set the reserved FUSE bits

#use delay(clock=4000000)

#define SELECT (input_state(pin_a0))
#define HIGH (output_high(pin_a4));
#define LOW (output_low(pin_a4));
#define ALERTON (output_high(pin_a1));
#define ALERTOFF (output_low(pin_a1));
#define SERVOACT (input_state(pin_a2))
//----Variables----
int1 flg=0;
int16 ctrl,x,xr;//,new_max=1350,new_min=675;
int8 const ustick= 1;
//-----

//-----INTERRUPCION-----
#int_EXT
void EXT_isr(void)
{
if(flg==1)
{
x=get_timer1();
x=ustick*x; // 100 - 1000 uS
Ext_Int_Edge(L_TO_H);
flg=0;

HIGH
delay_us(ctrl);
LOW
delay_us(xr);
}
}
```

```

else{
set_timer1(0);
Ext_Int_Edge(H_TO_L);
flg=1;
}
}
//----- MAIN PROGRAM-----
void main()
{
  setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);
  enable_interrupts(GLOBAL);
  Ext_Int_Edge(L_TO_H);
  //SERVO 1 |1400->(0°) - 675->(90°)
  while(true){
  //-----MODO VARIABLE-----

  enable_interrupts(INT_EXT);

  while(SELECT==0){
  //-----Entrada datos PIC-----

  if((x>=50)&&(x<=1050)){

  if (x<100) x=100;
  else if (x>1000) x=1000;

  ALERTOFF;
  ctrl=((x-100)*(6.75/9.0))+675;//0.66666667
  //Conversion de rangos para PIC (100-1000 uS) -> (675-1350 uS)
  }
  //-----Entrada datos PLC-----
  else if((x>=1900)&&(x<=10100)){

  if (x<2000) x=2000;
  else if (x>10000) x=10000;

  ALERTOFF;
  ctrl=((x-2000)*(6.75/80.0))+675;
  //Conversion de rangos para PLC (2000-10000 uS) -> (675-1350 uS)
  }
  //-----ERROR-----
  else ALERTON;
  //ERROR EN PIC o PLC ya que no se encuentra en ninguno de los dos casos
  anteriores entrara en estado ERR
  //-----

```

```

xr=10000-x;

} //while(Select==0)

//-----MODO ON/OFF-----
disable_interrupts(INT_EXT);
ALERTOFF;

while(SELECT==1)
{
if(SERVOACT==1) {
HIGH
delay_us(675);
LOW
delay_us(19325);
// Seccion activacion de modo ON/OFF: al ingresar un 1 logico se envia una orden
de apertura al servomotor
}

else {
HIGH
delay_us(1350);
LOW
delay_us(18650);
// Seccion desactivacion de modo ON/OFF: al ingresar un 0 logico se envia una
orden de cierre al servomotor
}

} //while (select==1)

//-----
} //While(1)
} //void

```

### ANEXO 3 CODIGO PIC12F629 TARJETA SV3

```
#include <12F629.h>

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES INTRC_IO       //Internal RC Osc, no CLKOUT
#FUSES NOMCLR         //Master Clear pin used for I/O
##FUSES NOCPD         //No EE protection
##FUSES NOPROTECT     //Code not protected from reading
##FUSES NOPUT        //No Power Up Timer
##FUSES NOBROWNOUT   //No brownout reset
##FUSES BANDGAP_HIGH
##FUSES RESERVED     //Used to set the reserved FUSE bits

#use delay(clock=4000000)

#define SELECT (input_state(pin_a0))
#define HIGH (output_high(pin_a4));
#define LOW (output_low(pin_a4));
#define ALERTON (output_high(pin_a1));
#define ALERTOFF (output_low(pin_a1));
#define SERVOACT (input_state(pin_a2))
//----Variables----
int1 flg=0;
int16 ctrl,x,xr;//,new_max=1400,new_min=675;
int8 const ustick= 1;
//-----

//-----INTERRUPCION-----
#int_EXT
void EXT_isr(void)
{
if(flg==1)
{
x=get_timer1();
x=ustick*x; // 100 - 1000 uS
Ext_Int_Edge(L_TO_H);
flg=0;

HIGH
delay_us(ctrl);
LOW
delay_us(xr);
}
}
```

```

else{
set_timer1(0);
Ext_Int_Edge(H_TO_L);
flg=1;
}
}

//----- MAIN PROGRAM-----
void main()
{
  setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);
  enable_interrupts(GLOBAL);
  Ext_Int_Edge(L_TO_H);

//SERVO 1 |1425->(0°) - 700->(90°|

while(true){
//-----MODO VARIABLE-----
enable_interrupts(INT_EXT);

while(SELECT==0){
//-----Entrada datos PIC-----
if((x>=50)&&(x<=1050)){

if (x<100) x=100;
else if (x>1000) x=1000;

ALERTOFF;
ctrl=((x-100)*(6.75/9.0))+675;//0.66666667
//Conversion de rangos para PIC (100-1000 uS) -> (675-1400 uS)
}
//-----Entrada datos PLC-----
else if((x>=1900)&&(x<=10100)){

if (x<2000) x=2000;
else if (x>10000) x=10000;

ALERTOFF;
ctrl=((x-2000)*(6.75/80.0))+675;
//Conversion de rangos para PIC (2000-10000 uS) -> (675-1400 uS)
}
//-----ERROR-----
else ALERTON; //ERROR EN PIC o PLC ya que no se encuentra en ninguno de
los dos casos anteriores entrara en estado ERR
//-----

```

```

xr=10000-x;

} //while(Select==0)

//-----MODO ON/OFF-----
disable_interrupts(INT_EXT);
ALERTOFF;

while(SELECT==1)
{
//-----ABIERTO-----
if(SERVOACT==1) {
HIGH
delay_us(675); //750
LOW
delay_us(19325);
// Seccion activacion de modo ON/OFF: al

ingresar un 1 logico se envia una orden de apertura al servomotor
}
//-----CERRADO-----
else {
HIGH
delay_us(1350); //1475
LOW
delay_us(18600);
// Seccion desactivacion de modo ON/OFF:

al ingresar un 0 logico se envia una orden de cierre al servomotor
}

} //while (Select==1)
//-----
} //While(1)
} //void

```

## ANEXO 4 CODIGO PIC12F629 TARJETAS BA (1, 2, 3)

```
#include <12F629.h>

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES INTRC_IO       //Internal RC Osc, no CLKOUT
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES NOMCLR         //Master Clear pin used for I/O

#use delay(clock=4000000)

#define HIGH (output_high(pin_a4));
#define LOW (output_low(pin_a4));
#define LED (pin_a1);
#define IZQ (output_high(pin_a1))
#define DER (output_low(pin_a1))
#define SERVOACT (input_state(pin_a2))
//----Variables----
int1 flg=0;
int8 i=0;
//-----
//----- MAIN PROGRAM-----
void main()
{
//-----SELECCION DE DIRECCION-----
for(i=0;i<30;i++)
{
output_toggle LED //La tarjeta enciende intermitentemente el led indicador rojo
para esperar orden de eleccion sentido de giro
delay_ms(100);
}
if (SERVOACT==1){flg=1;IZQ;} //Si se envia un 1 logico por el pin de control del
actuador, el sentido de giro sera antihorario CCLK
else{flg=0;DER;} //Si se envia un 0 logico por el pin de control del
actuador, el sentido de giro sera horario CLK

while(true){//WHILE PPAL
//-----IZQUIERDA-----
while (flg==1){ //while izq
while((SERVOACT==1)){
HIGH
delay_us(1350);
LOW
delay_us(18650);
```

```

//Si se envia un 1 logico por el pin de control del actuador, el microcontrolador
enviara una orden de cierre del brazo es decir de accionamiento,
//por lo cual girara el brazo quedando en sentido perpendicular a la banda
impidiendo el paso de vasos a traves de la misma.
}
while(SERVOACT==0){
HIGH
delay_us(2200);
LOW
delay_us(17800);
//Si se envia un 0 logico por el pin de control del actuador, el microcontrolador
enviara una orden de apertura del brazo,
//por lo cual brazo quedara en posicion paralela a la banda, permitiendo el paso de
vasos a traves de la misma.
}
} //while izq
//-----DERECHA-----
while(flg==0){ //while der

while(SERVOACT==1){
HIGH
delay_us(600); //750
LOW
delay_us(19400);
//Si se envia un 1 logico por el pin de control del actuador, el microcontrolador
enviara una orden de cierre del brazo es decir de accionamiento,
//por lo cual girara el brazo quedando en sentido perpendicular a la banda
impidiendo el paso de vasos a traves de la misma.
}
while(SERVOACT==0){
HIGH
delay_us(1350); //1475
LOW
delay_us(18650);
//Si se envia un 0 logico por el pin de control del actuador, el microcontrolador
enviara una orden de apertura del brazo,
//por lo cual brazo quedara en posicion paralela a la banda, permitiendo el paso de
vasos a traves de la misma.
}
} //While Der
//-----

} //WHILE PPAL
} //VOID

```

## ANEXO 5 CODIGO PIC12F675 MODULOS PWM (1, 2)

```
#include <12F675.h>
#device adc=8
#FUSES INTRC_IO, NOWDT, NOPROTECT, NOMCLR, NOPUT,
NOBROWNOUT
#use delay(clock=4000000)

#define ledRed pin_a4 //led piloto rojo (low)
#define ledBlue pin_a5 //led piloto azul (high)
#define in pin_a1 //entrada activador
#define out pin_a2 //salida PWM

/*PWM con un ciclo de trabajo del 10% a 90% en forma lineal con
una frecuencia de 5KHz y periodo de 200 us*/
//----variables-----

int16 xUs=0,xUsC;
int16 x1,x2;
int16 adc;
int8 value,i;

int8 const uSxTick = 1.0;// us por Tick de TMR1 a 4 Mhz y preescaler de 1

//-----

#int_TIMER1
void TIMER1_isr(VOID) {

    if (xUs<=100){
        output_high(out);
        delay_us(xUs);
        output_low(out);
        set_timer1(x2);}

    else if (xUs>100){
        output_low(out);
        delay_us(xUsC);
        output_high(out);
        set_timer1(x1);}

}

void main()
{
```

```

setup_adc_ports(sAN0|VSS_VDD);
setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_8);
setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);
enable_interrupts(INT_TIMER1);
enable_interrupts(GLOBAL);
set_adc_channel(0);

while(true){

    adc=0;
    for(i=1;i<=5;i++){
        delay_us(20);
        value=read_adc();
        adc=adc+value;
    }
    adc=adc/5;

    adc=255-adc;//cambia sentido de giro del trimmer para aumento de velocidad
    xUs=adc*200/255;//conversion de rango: 255 adc = 200[us] xUs
    xUsC=200-xUs;
    x1=(65536.0-(xUs/uSxTick))+40;//calculo pulso en alto,
    x2=(65536.0-((xUsC)/uSxTick))+40;//calculo pulso en bajo
    /*+40 representa los 40us de retardo que tiene el pic en entrar
    a la interrupción del timer 1*/

    if (!input(in)||xUs<20){disable_interrupts(INT_TIMER1);
        output_low(out);
        output_low(ledBlue);
        output_high(ledRed);}
    else if(xUs>180){disable_interrupts(INT_TIMER1);
        output_high(out);
        output_high(ledBlue);
        output_low(ledRed);}
    else {enable_interrupts(INT_TIMER1);
        output_low(ledRed);
        output_low(ledBlue);}
    }
}

```

## ANEXO 6 CODIGO SENSORES US CON ARREGLO PARA TANQUES 1 Y 2 CON TRANSMISION USB PARA PIC18F4550

```
#include <18F4550.h>
#fuses
HSPLL,NOWDT,PROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VREGE
N,MCLR //XTAL 20MHz/4=> PLL=5
#use delay(clock=48000000)//48
#include <usb_cdc.h>//Siempre va antes del include usb_desc_cdc.h

#define TRIGGER1 (output_high(pin_d5))
#define TRIGGER1off (output_low(pin_d5))
#define ECHO1 (input_state(pin_d6))

#define TRIGGER2 (output_high(pin_d3))
#define TRIGGER2off (output_low(pin_d3))
#define ECHO2 (input_state(pin_d4))

int32 x1,x2,xt1,xt2;
float d1=0,d2=0;
int1 flg;
int8 i;
float const ustick=16.0/48.0; //(4*4)/Fosc

void main() {

    usb_cdc_init();
    usb_init();           //inicializamos el USB
    delay_ms(1000);

    while (!usb_cdc_connected()) {}
    delay_ms(1000);

    if (usb_cdc_connected()){

        usb_task();

        if(usb_enumerated())
            {//INICIO PROGRAMA PPAL
            setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_4);
```

```

while (true)
{
//-----Ultrasónico 2-----
xt1=0;

for (i=1;i<=100;i++)
{
TRIGGER1;
delay_us(10);
TRIGGER1off;

while (ECHO1==0)set_timer1(0);
while (ECHO1==1)x1=get_timer1();

xt1+=x1;
delay_ms(20);
} //for

xt1=xt1*ustick; -> Determina tiempo perdida por Ticks del PIC

// (ustick=16/48) ->(4*PRE)/Fosc;
// PRE:preescalar, Fosc:Clock

d1=xt1/100; // Saca promedio de las muestras
d1=xt1/58; // Determina la distancia por medio de la formula dada en el
// datasheet del sensor US (HCSR04)

// Es decir -> [ d1=xt1*(16/(48*58*100)) -> d=xt1*(1/17400) ]

d1=20.0-d1; //20 es el equivalente a la separación total entre el sensor
ultrasónico y el fondo del tanque 1, para el tanque 2 la separacion es de 19 (cm)

d1=20.0-d1;
if(d1<=0)d1=0;
//-----Ultrasónico 2-----
xt2=0;

for (i=1;i<=100;i++)
{
TRIGGER2;
delay_us(10);
TRIGGER2off;

while (ECHO2==0)set_timer1(0);
while (ECHO2==1)x2=get_timer1();

```

```

xt2+=x2;
delay_ms(20);
} //for

d2=xt2/17400.0;
d2=19.0-d2;

if(d2<=0)d2=0;

printf(usb_cdc_putc,"\n\rDistancia 1= %3.1f,Distancia 2= %3.1f ",d1,d2);
} //WHILE TRUE
} // if enumerate
} // USB Connected
} //void

```

#### ANEXO 7 ESPECIFICACIONES ELECTROVALVULA 1/2"

MODELO	2W200-20
MEDIO DE FUNCIONAMIENTO	AIRE,AGUA,ACEITE,GAS
VOLTAJE DE OPERACION	12V
MODO DE OPERACION	ACCION DIRECTA
TIPO DE ACCIONAMIENTO	NORMALMENTE CERRADA
TAMAÑO DE ORIFICIO	40 mm
TAMAÑO DE PUERTO	G1/2
OPERACIÓN DE VISCOSIDAD DE FLUIDO	POR DEBAJO DE 20 CST
OPERACIÓN DE PRESION	AIRE: 0Mpa - 1.0Mpa AGUA: 0Mpa – 0.7Mpa ACEITE: 0.9Mpa
RESISTENCIA MAXIMA DE PRESION	1.0Mpa
TEMPERATURA DE OPERACION	-5°C ± 80°C
RANGO DE VOLTAJE	±10%
MATERIAL DE LA ESTRUCTURA	COBRE
MATERIAL DE SELLO DE ACEITE	NB4 ó VITON

### COMPOSICION DEL PROTOTIPO

El prototipo está conformado por tres secciones principales, el área de control de nivel, banda de procesos y panel de control. Las primeras dos secciones son dedicadas para el emplazamiento de los actuadores y sensores que serán controlados mediante la tercera sección.

### SECCIÓN CONTROL DE NIVEL

Esta sección se encuentra integrada por 4 tanques, tanque 1, tanque 2, tanque 3 (reserva), tanque 4 (desagüe/emergencia), tres servo válvulas (SV1, SV2, SV3), una electroválvula (EV1), dos sensores ultrasónicos (US1, US2), motobomba (MB). A continuación se realiza una breve explicación sobre su función y ubicación.

- **Tanque 1:** Se encuentra ubicado en la mitad del sistema, su función es permitir la implementación de control de nivel mediante el uso de los actuadores y el sensor que se encuentran acoplados a este.
- **Tanque 2:** Se encuentra ubicado en la mitad del sistema y su función es permitir la implementación de control de nivel mediante el uso de los actuadores y el sensor ultrasónico. Puede implementarse al sistema junto al tanque 1 como un sistema SISO ó SIMO debido a que posee dos servoválvulas para su desagüe.
- **Tanque 3:** Se encuentra ubicado en la parte inferior del sistema, es el tanque más grande por lo que es utilizado para el almacenamiento de todo el líquido que será enviado hacia el sistema.
- **Tanque 4:** Se encuentra ubicado en la parte superior del sistema y su función es en el específico caso de que se envíe líquido desde el tanque 3 hacia el sistema y ningún actuador se encuentre habilitado para permitir su flujo. Por ello, el líquido que no se transfiere a ninguna parte del sistema retornará por la manguera de alimentación y desembocará en este tanque como medida preventiva ante cualquier esfuerzo sobre el actuador de alimentación del sistema.
- **Servoválvula 1 (SV1):** Se encuentra ubicada a la salida del tanque 1 sirviendo como desagüe del mismo y como alimentación del tanque 2. Su funcionamiento específico se describirá en la sección del panel de control.
- **Servoválvula 2(SV2):** Se encuentra ubicada a la salida del tanque 2 sirviendo como desagüe del mismo y comunicándolo con el tanque 3. Su funcionamiento específico se describirá en la sección del panel de control.
- **Servoválvula 3 (SV3):** Se encuentra ubicada a la salida del tanque 2 sirviendo como desagüe del mismo y comunicándolo con la sección de banda de proceso. Su funcionamiento específico se describirá en la sección del panel de control.

- **Electroválvula 1(EV1):** Se encuentra ubicada a la entrada del tanque 1 sirviendo para su alimentación, la válvula principal de entrada del sistema de control de nivel y su funcionamiento específico se describirá en la sección del panel de control.

## SECCIÓN BANDA DE PROCESO

Esta sección se encuentra ubicada en el lado derecho del prototipo y se compone por un disco, una banda motorizada, 3 sensores IR (IR1, IR2, IR3) y 3 brazos automáticos (BA1, BA2, BA3) que pueden ser ubicados a gusto y necesidad del usuario a través de dos carriles que se encuentran ubicados a cada lado de la banda. A continuación se realiza una breve explicación sobre su función y ubicación.

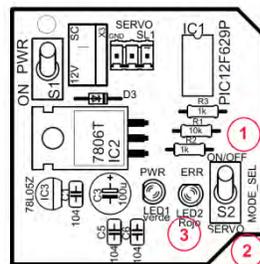
- **Disco (DSK):** Se encuentra a la entrada de la banda de proceso y se encarga de proveer de vasos al sistema por medio de una rampa que se comunica con la banda.
- **Banda (BND):** Se encarga de transportar los vasos a través del sistema.
- **Sensores Infrarrojo (IR):** Estos pueden ser emplazados a través de la banda y cumplen la función de detectar los vasos que se encuentren en frente durante el recorrido. Su conexión puede ser realizada por el usuario sobre las tarjetas de acoplamiento que se encuentran a cada lado de la banda.
- **Brazos automáticos (BA):** Pueden ser emplazados a través de la banda y cumplen la función de al ser activados detener los vasos que se encuentren en frente durante el recorrido.

## PANEL DE CONTROL

Esta sección del prototipo es la encargada de permitir al usuario hacer uso de todos los actuadores y sensores emplazados en las secciones de control de nivel y banda de proceso. Se compone de un cajón de madera que soporta las tarjetas de control de cada actuador (motores, servoválvulas, electroválvulas, brazos automáticos, motobomba) así como una tarjeta para la adaptación de microcontroladores PIC, una regleta de conexión principal para los actuadores y sensores, un módulo de switch y leds piloto. También cuenta con las extensiones de cada regleta de conexión, un módulo de simulación para la sección de control con PLC u otro microcontrolador, tarjetas de interfaz para el manejo del dispositivo PLC CPU1214CDC-DC-RLY, además esta sección cuenta con dos módulos de control PWM.

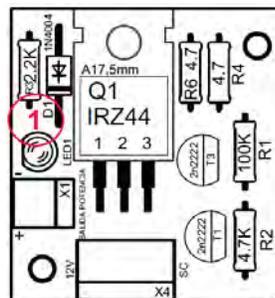
- **Tarjeta de control para Servoválvulas (SV):** El modulo cuenta con dos modos de funcionamiento para la Servoválvula, seleccionados por el usuario a través del switch "**MODE\_SEL**":

- **ON/OFF:** Una vez ubicado el selector en este modo de uso (1) la señal de control que el módulo debe recibir es de tipo booleana, siendo 1 el equivalente a la apertura total de la válvula y 0 el cierre de esta.
- **SERVO:** Una vez ubicado el selector en este modo de uso (2) la señal de control que el módulo debe recibir es de tipo PWM, que se debe caracterizar de manera que el periodo sea mayor de 10ms definiendo el ciclo útil en el rango de uso del módulo (100-1000us) ó (2000-10000us). Los valores intermedios de estos rangos son la equivalencia lineal a la apertura en grados de la válvula. Cuando una señal de control que ingrese a la servoválvula sea errónea, es decir se encuentre por fuera de los 2 rangos de control, se encenderá una el led piloto rojo (3) que advertirá de este estado.



### TARJETA DE CONTROL PARA SERVOVÁLVULAS

- **Tarjeta de control para Electroválvula (EV):** La tarjeta de control únicamente cuenta con un solo modo de manejo que se ejecuta al ingresar una señal de 5v en la regleta de conexión principal. Esto hace que la electroválvula entre en un estado de apertura. El actuador se encuentra en un estado de cierre por defecto. Además, la tarjeta cuenta con un led piloto verde (1) el cual indica en su estado activo la entrada en funcionamiento de la electroválvula.

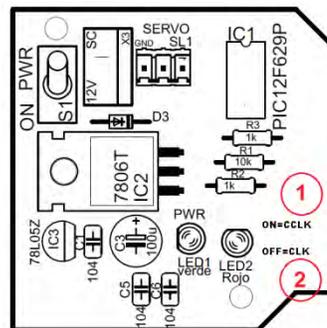


### TARJETA DE CONTROL PARA ELECTROVALVULAS Y MOTORES

- **Tarjeta de control para Motor (DSK, BND):** La tarjeta de control únicamente cuenta con un solo modo de manejo que se ejecuta al ingresar una señal de 5v en la regleta de conexión principal que hace que el motor

se alimente con 12V y gire en un solo sentido. El control de velocidad se realiza con una señal PWM. El actuador se encuentra en un estado de reposo por defecto. Además la tarjeta cuenta con un led piloto verde (1) el cual indica en su estado activo la entrada en funcionamiento del motor.

- **Tarjeta de control para Brazos Automáticos (BA):** Modos de funcionamiento:
  - **CCLK:** Para configurar el brazo automático en este modo, el usuario debe ingresar una señal lógica de 1 durante los 5s de espera que indica el modulo después de su encendido. En este modo, el brazo se moverá en sentido anti horario, partiendo de la posición inicial del brazo perpendicular a la banda. Además, el indicador rojo queda encendido (1).
  - **CLK:** Para configurar el brazo automático en este modo, el usuario debe ingresar una señal lógica de 0 durante los 5s de espera o en caso contrario dejar correr el tiempo de programación, debido a que el modulo cuenta con una resistencia de Pull-down, dejando el estado lógico 0 como determinado. En este modo, el brazo se moverá en sentido horario, partiendo de la posición inicial del brazo perpendicular a la banda. El indicador rojo queda apagado (2).



**TARJETA DE CONTROL PARA BRAZOS AUTOMÁTICOS**

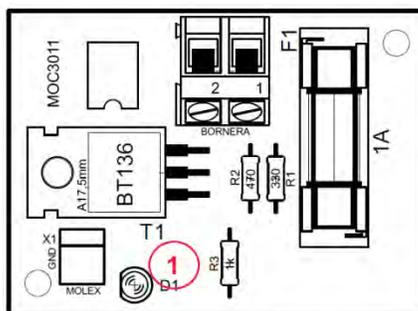


**MOVIMIENTO BRAZO CONFIGURADO EN MODO CCLK**



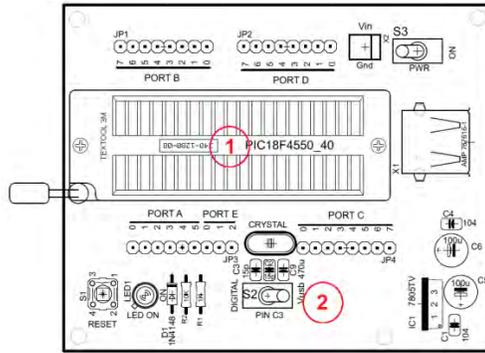
**MOVIMIENTO BRAZO CONFIGURADO EN MODO CLK**

- **Tarjeta de control para Motobomba (MB):** La tarjeta de control únicamente cuenta con un solo modo de manejo que se ejecuta al ingresar una señal de 5v en la regleta de conexión principal. Esto hace que la motobomba entre en un estado activo bombeando agua hacia el sistema de control de nivel a través de la electroválvula 1 o hacia la banda de proceso a través de la electroválvula 2. El actuador se encuentra en un estado inactivo por defecto. La tarjeta cuenta con un led piloto azul (1) que indica en su estado activo la entrada en funcionamiento de la motobomba.



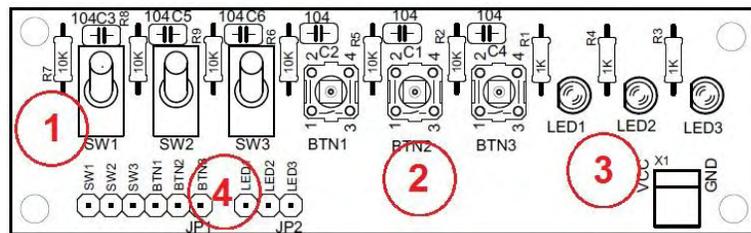
**TARJETA DE CONTROL MOTOBOMBA**

- **Tarjeta de conexión PIC:** Esta tarjeta cuenta con un conector ZIF (1) para microcontroladores PIC de 40 pines. Además cuenta con un switch (2) para aquellos microcontroladores que posean módulo de conexión USB pudiendo intercambiar la salida del pin C3 por un capacitor de 100nF que se conectara al pin Vusb de estos PIC.



**TARJETA DE CONEXIÓN PIC**

- Módulo de switches y leds piloto:** Esta tarjeta cuenta con 3 switch de activación permanente (1), 3 switch de activación momentánea (pulsadores) (2) y 3 leds (3). Los switch proveen una señal de entrada de 5v al dispositivo de control en uso y los leds permiten al usuario sacar señales del controlador y monitorear momentos o accionamientos específicos del proceso que se encuentre desarrollando. Este módulo cuenta con su respectiva extensión que deberá ser conectada por medio del cable MOD\_SW\_EXT en la regleta de conectores (4) y en el módulo respectivo hallado en la sección de control para PLC u otros microcontroladores.



**MODULO SWITCHS Y LEDS PILOTO**



**CABLE MOD\_SW\_EXT**



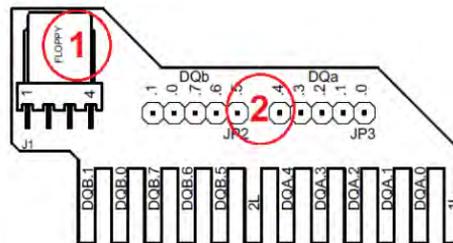


- Calcular el tiempo de duración del eco, que como se sabe es proporcional al tiempo empleado en ir y venir hasta y desde el objeto con una velocidad de 340 m/s (Velocidad del sonido).
- Calcular la distancia sabiendo el tiempo empleado en recibir el eco y la velocidad de la onda de medición. El fabricante sugiere implementar la formula “ $\mu\text{s}/58=\text{cm}$ ” para obtener la medida en una escala de centímetros.

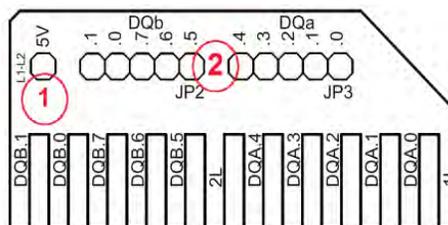


**SENSOR ULTRASONICO HC-SR04**

- **Tarjeta de salida de señales para PLC:** Esta tarjeta está diseñada para ser acoplada a la salida del PLC. Cuenta con una regleta que permite cablear las salidas necesarias con la extensión de la tarjeta principal de conexiones ubicada en la sección de abajo del panel de control. Debe ser realizada una conexión de 5v en el pin o conector indicado (1) para la alimentación de los nodos correspondientes a cada salida por relay.



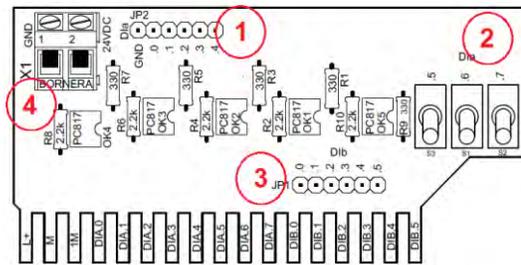
**TARJETA DE SALIDA DE SEÑALES PARA PLC #1**



**TARJETA DE SALIDA DE SEÑALES PARA PLC #2**

- **Tarjeta de entrada de señales para PLC:** Esta tarjeta está diseñada para ser acoplada a la entrada del PLC, cuenta con

- Una regleta (1) para la conexión de 5 entradas de la sección DIa (.0, .1, .2, .3, .4) para el ingreso de señales de 0 o 5V, además con un pin GND que deberá ser conectado con la señal tierra ubicada en la extensión de la tarjeta principal de conexiones.
- 3 switch (2) ubicados en los pines restantes de la sección DIa (.5, .6, .7) los cuales envían una señal de 24v a la entrada del PLC. También se cuenta con una regleta de 6 pines.
- Una regleta (3) para la conexión de 6 entradas la sección DIb (.0, .1, .2, .3, .4, .5) para el ingreso de señales de 24v. Este voltaje puede ser obtenido mediante la bornera (4) de conexión ubicada en el extremo superior derecho de la tarjeta



**TARJETA DE ENTRADA DE SEÑALES PARA PLC**

## ADVERTENCIAS Y RECOMENDACIONES

### DRENAJE DE RUIDO ELECTROSTÁTICO

El sistema cuenta con protecciones para blindar de intromisiones de ruido eléctrico, un cable se conecta como drenaje hacia el chasis de la fuente ATX, que se encarga de desviar el ruido electrostático introducido al momento de existir contacto entre el usuario y el chasis de la banda. Es por ello que se recomienda mantener este cable en conexión tanto con el chasis de la banda como el chasis de la fuente ATX. Además, todas las tarjetas de control de los actuadores y sensores cuentan con capacitores de filtrado de 100nF. Estos capacitores no es posible retirarlos pues vienen por defecto en las tarjetas, sin embargo, el cable de drenaje del chasis, se puede desacoplar del sistema mediante un interruptor. Con esto se brinda la posibilidad de indicar las consecuencias de no proveer a un sistema de blindaje ante perturbaciones electromagnéticas.

### DRENAJE DEL LÍQUIDO CIRCUNDANTE EN EL SISTEMA

El sistema cuenta con una válvula en su tanque de almacenamiento (tanque 3) para el drenaje de toda el agua disponible en el sistema. Se recomienda realizar un mantenimiento constante vaciando el líquido y limpiando los tanques con el fin de evitar la proliferación de bacterias que ponga en riesgo la funcionalidad de los

actuadores, la oxidación de las partes mecánicas y la contaminación de las tuberías.

### **SERVOVALVULAS**

En caso de remover las servoválvulas, sus módulos o microcontroladores, se debe tener la precaución de rearmarlos en el orden correcto, realizando la conexión pertinente y ordenada de los cables para que cada módulo concuerde con su respectiva servoválvula. Se recomienda esto debido a que cada módulo se encuentra calibrado para una servoválvula en específico y si por algún motivo estos se intercambian, el actuador puede presentar un mal funcionamiento incurriendo en daños sobre el mismo o en su módulo.

### **MAXIMO NIVEL DE LLENADO PARA TANQUES 1 Y 2**

Se recomienda no exceder el límite de llenado de los tanques (16 cm) debido a las limitaciones del sensor ultrasónico para la medida de distancias menores a 2 cm. Además, se corre el riesgo de derramar el líquido sobre el sistema al superar los 17 cm.

### **INFORMACION ADICIONAL**

Para la consulta adicional, además de este manual se proveerá por medios digitales algoritmos que ejemplifiquen algunos modos de uso del prototipo, además de los algoritmos de programación para los microcontroladores de cada módulo y tarjeta de control que componen el sistema.