

6. SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

Resumen: La automatización de los procesos ha permitido mejorar e incrementar la producción de las empresas, sin embargo, pasar de un proceso manual a uno automatizado demanda una importante inversión económica, por lo cual automatizar sus procesos puede que para las pequeñas y medianas empresas sea algo difícil de lograr a corto plazo. El sistema de llenado volumétrico automatizado que desarrollamos permitirá que las pequeñas y medianas empresas

J.D. BERTÉ-NARVAEZ¹, J.D. URUETA- SALTARIN¹, K.A. CASTILLA-MONTES¹, A. RUIZ-GARIZADO¹, F.J. FLÓREZ-ARRIETA² | jdsaltarin@hotmail.com

¹ Servicio nacional de aprendizaje SENA / Centro para la industria petroquímica / Semillero de investigación en Mantenimiento electrónico e instrumental industrial SIMELL, Colombia.

² Grupo de investigación en procesos para la industria petroquímica (GIPI). Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Centro para la Industria Petroquímica regional Bolívar Cartagena

puedan automatizar el proceso de producción sin hacer una gran inversión. Para la creación de este sistema de llenado volumétrico automatizado para líquidos en la industria alimentaria, investigamos los sistemas de llenado que se utilizan actualmente y que elementos de control podemos utilizar para desarrollar un sistema económico y fiable accesible a estas pequeñas y medianas empresas. Al integrar un sensor de peso o celda de carga encargada de pesar la sustancia que se desea dosificar y para

medir su volumen utilizamos un medidor de flujo o caudalímetro, actualmente obtuvimos resultados precisos con una desviación Max de 5,12, el sistema posee actuadores, sensores y el sistema de control se desarrolló con microcontrolador de Microchip.

SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

1. Introducción

Los sistemas más comunes de llenado de líquidos en la industria alimentaria son la dosificación volumétrica que consiste en la regulación del líquido que se produce exclusivamente en función del volumen, y con ello, de las cantidades. Como los dosificadores que trabajan de manera volumétrica no miden la masa, sus componentes de dosificación se tendrán que calibrar en función del líquido antes de cada uso: es preciso determinar qué cantidad de masa tiene que dosificar el componente en un periodo de tiempo definido; el principio de dosificación gravimétrico o en función del peso, integra una o varias celdas de carga que miden el líquido dosificado por lo tanto la única unidad de medida es el peso [1].

El llenado por gravedad, Es uno de los métodos más clásicos, ya que no requiere de la ayuda de ningún elementos para que se produzca el llenado ideales para el envasado de líquidos de alta y media viscosidad. Por bomba en este modo de actuación encontramos una ayuda externa que fuerza el paso del producto, este método se emplea para productos

densos principalmente y medición de caudal este tipo de llenado lo empleamos cuando se desea conseguir mucha precisión a la hora de envasar.

Llenadoras de pistones son ideales para el llenado de una diversa gama de productos. Estas llenadoras son de diseño resistente pero de precisión y proporcionan un funcionamiento prolongado sin problemas. Las viscosidades de los productos pueden fluctuar entre 1 y 100.000 centipoise y más [2]. Llenadoras de tiempo-presión se realiza mediante el control del flujo de producto a través de la tubería. El producto queda en el colector que alimenta los tubos. Una computadora calcula el tiempo de flujo de producto necesario basándose en la presión del colector, el tamaño de la boquilla y el volumen de llenado objetivo [2].

Llenadoras de tornillo La dosificación se produce por intermedio de un tornillo sinfín tallado especialmente diseñado para ajustar las dosis a los requerimientos del cliente [3]. Llenadoras para jeringuillas El sistema de dosificación es volumétrico y posee con

pistón regulable y con boquillas para llenar jeringas con cono luer slip hasta 20 ml y cánula larga (mastitis) de 5 ml y 10 ml. Esta llenadora es apta para procesar productos líquidos y/o viscosos [4]. Llenadoras de vacío Son utilizadas para el envasado de vino, aceite, cerveza, licores y otros productos líquidos, funciona mediante sistema de vacío. La operación de vacío asegura el respeto por el producto, que se embotella en la forma más natural posible. El líquido es aspirado por el vacío que la máquina crea dentro de las botellas, con un envasado sin tirones y sin ningún contacto con bombas o elementos mecánicos [5]. Las llenadoras volumétricas sufren problemas relacionados con cambios en las propiedades de los materiales, como la viscosidad, la densidad y la espumificación por otra parte, los métodos gravimétricos usan una báscula para pesar el material de llenado por lo que la operación de pesaje no se ve afectada por las propiedades del material ni del contenedor. Las llenadoras gravimétricas se pueden clasificar en llenadoras de peso neto, de pesaje sustractivo

SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

o de peso bruto. En el primer método, el material se pesa primero en una báscula con un receptor de carga específico y luego se descarga en el contenedor. El peso de llenado «neto» se determina de forma independiente del contenedor, de ahí su nombre llenadora de pesaje sustractivo es similar a la de peso neto en cuanto a que el material se detiene en una báscula con un receptor de carga especializado y se descarga en contenedores sin pesar. Sin embargo, el receptor de carga suele tener suficiente material para llenar varios contenedores, y el peso neto se determina observando el «pesaje sustractivo» del receptor de carga se rellena de forma periódica cuando no tiene material suficiente para completar el próximo llenado. En el método de llenado de peso bruto, el contenedor que se va a llenar es el contenedor de carga; se coloca en una báscula y se llena hasta su peso bruto, de ahí su nombre. Si los contenedores son relativamente ligeros o tienen un peso uniforme, se puede realizar el llenado hasta el peso bruto sin tener en

cuenta el peso de los contenedores individuales. Sin embargo, es habitual determinar primero el peso real del contenedor y descontar la «tara», y después proceder con el llenado hasta el peso neto. Este método es más preciso y puede usarse con líquidos o sólidos. [6]

2. Metodología

Realizamos una búsqueda para identificar los diferentes sistemas de dosificación que existen actualmente, sus componentes y aplicaciones en la industria alimentaria, teniendo en cuenta que el objetivo es crear un sistema económico pero eficiente, implementamos microcontroladores para desarrollo del programa, estos ejecutan diferentes subrutinas que le permiten mantener el control y evitar fallas en el desarrollo del proceso por medio de cálculos que logran establecer cuánto mililitros se desea dosificar y así mismo reprogramar la cantidad de llenado.

El diseño de las tarjetas electrónicas se realizó en los programas PROTEUS y MULTISIM, las PCB se obtienen mediante el método de transmisión térmica, para mejorar la calidad de las tarjetas la máquina LDKF realizó el diseño final. Las etapas de alimentación del sistema se diseñan en base a el consumo eléctrico de los circuitos electrónicos, actuadores y sensores. Para el diseño de las estructuras laterales en acrílico, los rodillos y los soportes metálicos de la banda transportadora utilizamos los programas CorelDraw y Solidwork; el diseño de la estructura de soporte para la celda de carga debe tener la capacidad de soportar las fuerzas correspondientes a la carga; finalmente realizamos las pruebas de ajuste y precisión del sistema de dosificación.

3. Resultados y discusión

En el sistema de dosificación integramos una celda de carga o “célula de carga diseñada específicamente para la medida de fuerzas” [7], integrando estos dos sensores obtenemos un sistema de llenado eficiente, competitivo y económico que garantiza una medida exacta de la masa del líquido. Para minimizar los tiempos de producción y aumentar la precisión de la dosificación utilizando Microcontroladores estos se han desarrollado para cubrir las más diversas aplicaciones. Se usan en automoción, en equipos de comunicaciones y de telefonía, en instrumentos electrónicos, en equipos médicos e industriales de todo tipo [8]. Actualmente las PYMES requieren automatizar sus procesos para mejorar la calidad del producto y incrementar su producción. “La producción de alimentos y bebidas en Colombia es, dentro de la industria nacional, uno de los rubros más dinámicos, que representa entre el 22% y el 24% del PIB industrial del país, desde el año 2000” (Dinero, 2018). A la hora de aumentar sus cifras de producción se ven limitados debido a los altos costos de adqui-

sición y mantenimiento de equipos automatizados, pensando en el desarrollo tecnológico de la PYMES en Colombia construimos un prototipo con margen de dosificación de 10 ml a 500 ml permitiendo automatizar el proceso de llenado.

3.1 Sensores Capacitivos

Utilizamos sensores de proximidad capacitivos HUCHDQ LJC18A3-B-Z/BX ya que estos tienen la capacidad de detectar cualquier tipo de materias, es decir si utilizamos botellas de vidrio y/o plástico, estas pueden ser detectadas, además estos sensores cuentan con una rango de medición de 10mm y su voltaje de trabajo de 6 a 36 Voltios, esto le permite tener el mismo rango de voltaje que el de la electroválvula la cual trabaja a 12V lo cuales facilitan su integración de con la fuente de 12V que tenemos para la creación del prototipo. Utilizando microcontroladores para procesar las señales análogas y digitales del proceso, nos permite controlar la posición de la botella en la banda transportadora y el nivel de la botella durante el

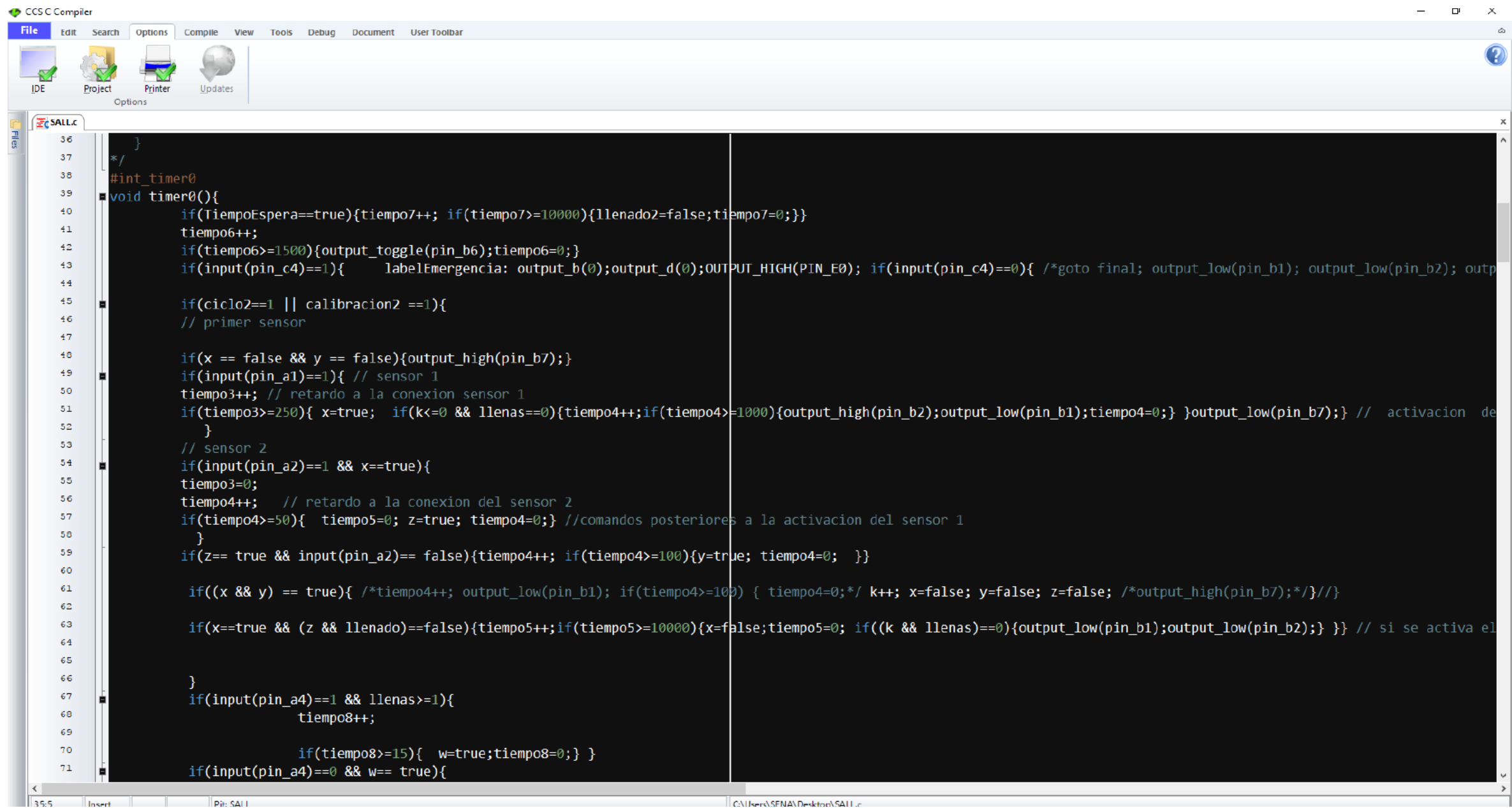
proceso de llenado. la banda transportadora tiene sensores capacitivos que son capaces de detectar cualquier tipo de material, durante el paso de la botella estos envían señales digitales las cuales son acondicionadas y luego procesadas por el microcontrolador. Los actuadores son accionados por medio de circuitos electrónicos, capaz de suministrar la energía necesaria para que estos operen en sus condiciones ideales.

Para manejar señales análogas que se envían desde la celda de carga, usamos el convertidor de aproximaciones sucesivas que se utiliza en aplicaciones donde se necesitan altas velocidades de conversión. Se basa en realizar sucesivas comparaciones de forma ascendente a descendente hasta encontrar un valor digital que iguale a la tensión entregada por el conversor D/A y la tensión de entrada [9].

3.2 Diseño de tarjetas electrónicas

El diseño de las tarjetas electrónicas lo realizamos en el programa PROTEUS, como son tarjetas de prueba usamos el método de planchado, para conseguir las

SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.



The image shows the CCS C Compiler IDE interface. The menu bar includes File, Edit, Search, Options, Compile, View, Tools, Debug, Document, and User Toolbar. The toolbar contains icons for IDE, Project, Printer, and Updates. The main editor window displays a C program for a liquid filling system. The code includes comments in Spanish and various conditional statements and function calls for controlling the filling process.

```
36 }
37 /*
38 #int_timer0
39 void timer0(){
40     if(TiempoEspera==true){tiempo7++; if(tiempo7>=10000){llenado2=false;tiempo7=0;}}
41     tiempo6++;
42     if(tiempo6>=1500){output_toggle(pin_b6);tiempo6=0;}
43     if(input(pin_c4)==1){ labelEmergencia: output_b(0);output_d(0);OUTPUT_HIGH(PIN_E0); if(input(pin_c4)==0){ /*goto final; output_low(pin_b1); output_low(pin_b2); outp
44
45     if(ciclo2==1 || calibracion2 ==1){
46         // primer sensor
47
48         if(x == false && y == false){output_high(pin_b7);}
49         if(input(pin_a1)==1){ // sensor 1
50             tiempo3++; // retardo a la conexion sensor 1
51             if(tiempo3>=250){ x=true; if(k<=0 && llenas==0){tiempo4++;if(tiempo4>=1000){output_high(pin_b2);output_low(pin_b1);tiempo4=0;} }output_low(pin_b7);} // activacion de
52         }
53         // sensor 2
54         if(input(pin_a2)==1 && x==true){
55             tiempo3=0;
56             tiempo4++; // retardo a la conexion del sensor 2
57             if(tiempo4>=50){ tiempo5=0; z=true; tiempo4=0;} //comandos posteriores a la activacion del sensor 1
58         }
59         if(z== true && input(pin_a2)== false){tiempo4++; if(tiempo4>=100){y=true; tiempo4=0; }}
60
61         if((x && y) == true){ /*tiempo4++; output_low(pin_b1); if(tiempo4>=100) { tiempo4=0; /* k++; x=false; y=false; z=false; /*output_high(pin_b7);*///}
62
63         if(x==true && (z && llenado)==false){tiempo5++;if(tiempo5>=10000){x=false;tiempo5=0; if((k && llenas)==0){output_low(pin_b1);output_low(pin_b2);} }} // si se activa el
64
65     }
66     if(input(pin_a4)==1 && llenas>=1){
67         tiempo8++;
68
69         if(tiempo8>=15){ w=true;tiempo8=0;} }
70     if(input(pin_a4)==0 && w== true){
```

Figura 1. Entorno de programación PIC C compiler,

SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

tarjeta electrónica se descargan los archivos PDF que debe ser impresos a láser en papel fotográfico, para la transferencia de la tinta por principio térmico se coloca la impresión sobre la capa de cobre de la FR4 previamente cortada a la medida, y se le suministra calor por medio de una plancha por diez minutos o más dependiendo el tamaño de la tarjeta, luego se perforan los packs donde van los componentes y se pintan. Para el diseño final de la PCB se usó el programa MULTISIM este genera un archivo gerber el cual debe ser cargado a el programa CircuitPro que utiliza la máquina LPKF.

Los programas de simulación PROTEUS y MULTISIM nos permitieron realizar la comprobación del algoritmo, el diseño electrónico y las PCB. las etapas de alimentación del sistema se diseña en base a el consumo eléctrico de los circuitos electrónicos,

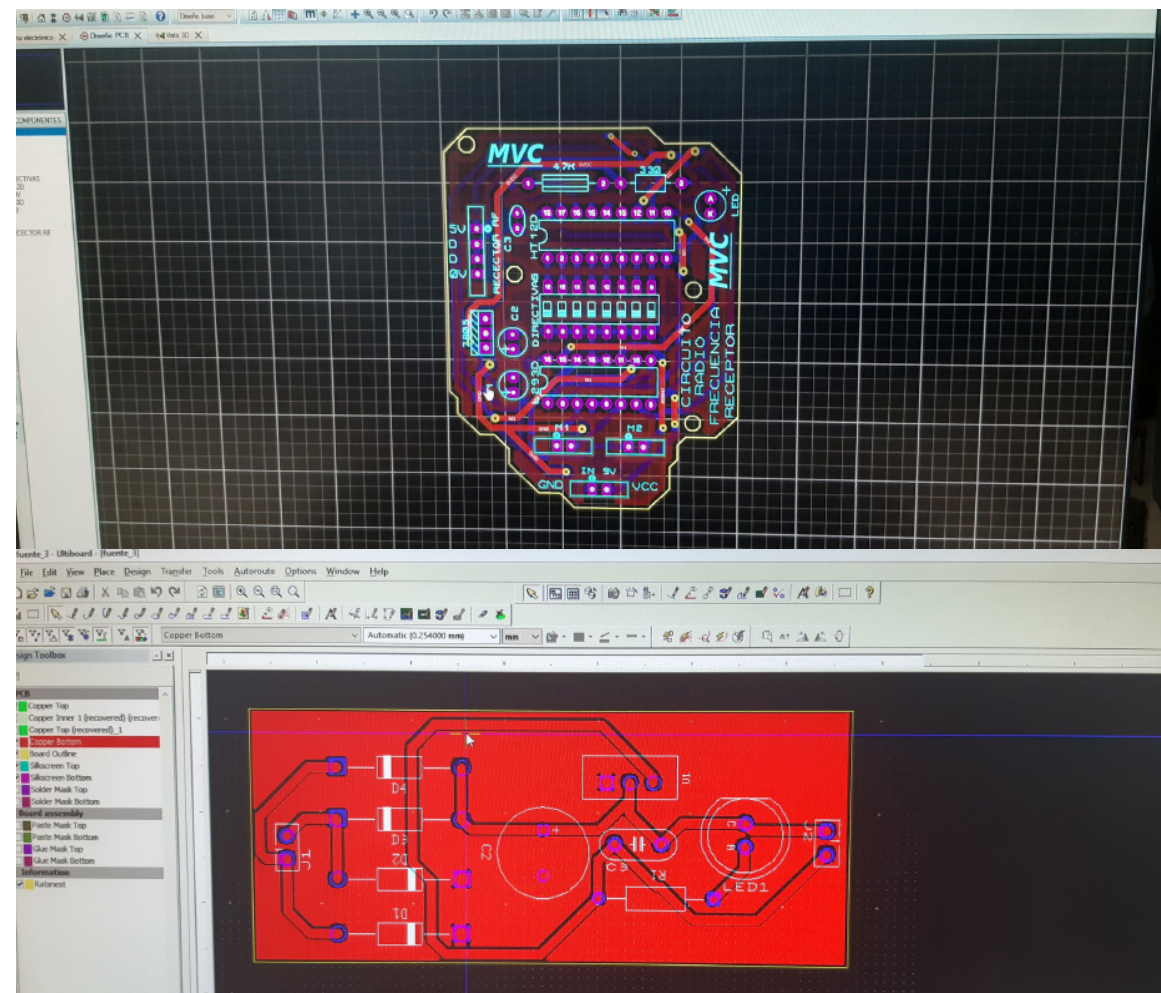


Figura 2. Entorno de simulación Proteus y Multisim.

SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

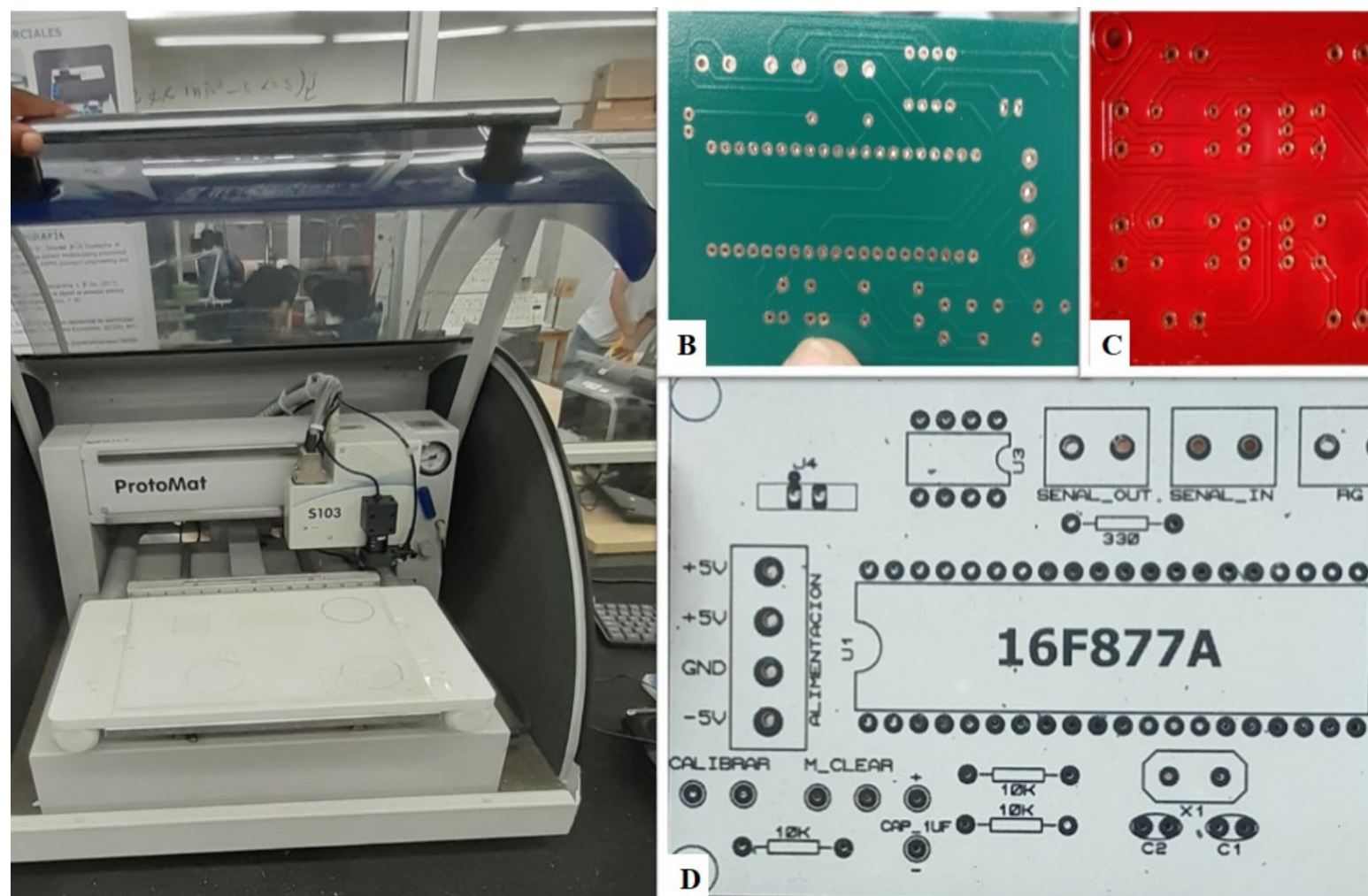


Figura 3. a. Maquina LPKF, b. tarjeta por método de planchado, c. tarjeta hecha por LPKF, d. Máscara de componentes.

actuadores y sensores, los voltajes requeridos para el funcionamiento son 5VDC, GND, -5VDC y 12VDC, las tarjetas de control y la celda de carga trabajan a con 5VDC GND Y -5VDC y los sensores capacitivos, el motor y la electroválvula trabajan a 12VDC, el suministro de energía puede ser tomado de la red pública 110vac o directamente de baterías esto con el fin de implementar paneles solares para su recarga, consumo de la etapa de control la potencia máx del sistema es 1W/h.

3.3 Diseño de la banda transportadora

Antes de utilizar los programas para el diseño de las piezas en metal y las estructuras en acrílico, pensamos detenidamente y dibujamos a mano en hojas de papel los planos de banda a escala. En el programa Solidworks diseñamos el rodillo, las patas de banda y las piezas en metal, para el diseño de la estructura de la banda en acrílico usamos CorelDraw, este nos permite generar un archivo CDR el cual se utilizamos para cortar el acrílico a laser.

SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

Se utilizó un diseño en acrílico para la estructura de soporte de la celda de carga, esta debe tener la aseguramos una transferencia de carga homogénea de la base de la célula de carga a la estructura de soporte. La celda tiene una capacidad max de 5 kg este transductor nos envía señales en milivoltios las cuales son acondicionadas y llevadas a una escala de voltaje o corriente establecidas ya sea de 0V a 5V o de 4mA a 20mA. capacidad de soportar variaciones de fuerza entre 0 gramos y 1000 gramos, con una base rígida.

Enfocamos los resultados de las pruebas en la precisión del dosificador, empleando un lenguaje de programación de alto nivel para programar el algoritmo que nos permite controlar el proceso de llenado de los distintos líquidos, las pruebas que hemos realizado han sido con agua.

Para medir la velocidad de llenado de utiliza el reloj del microcontrolador el cual está compuesto por un cristal de cuarzo de 4Mz y 2 capacitores de 22pF, este oscilador genera una señal eléctrica con una frecuencia estable de 4MHz. Luego se configura un

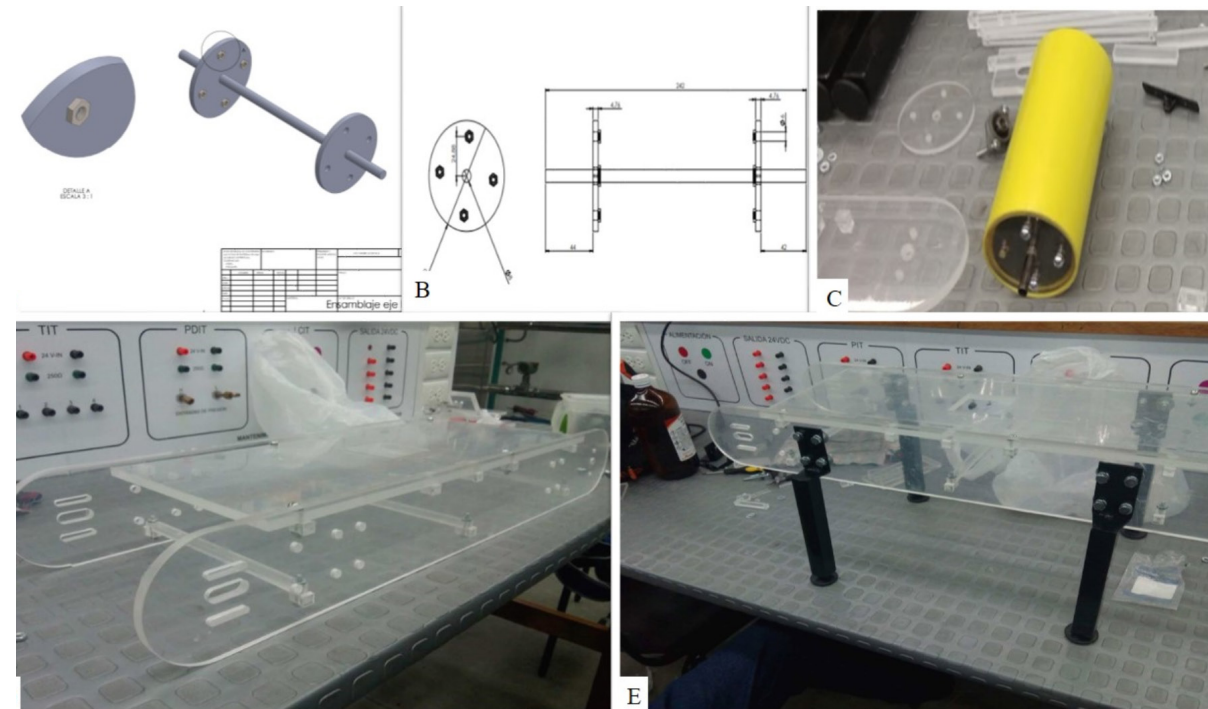


Figura 4. a. Vista 3D del interior del rodillo, b. Planos del rodillo, c. Rodillo Armado, d. Estructura de la banda transportadora, e. Patas metálicas de la estructura de la banda transportadora.

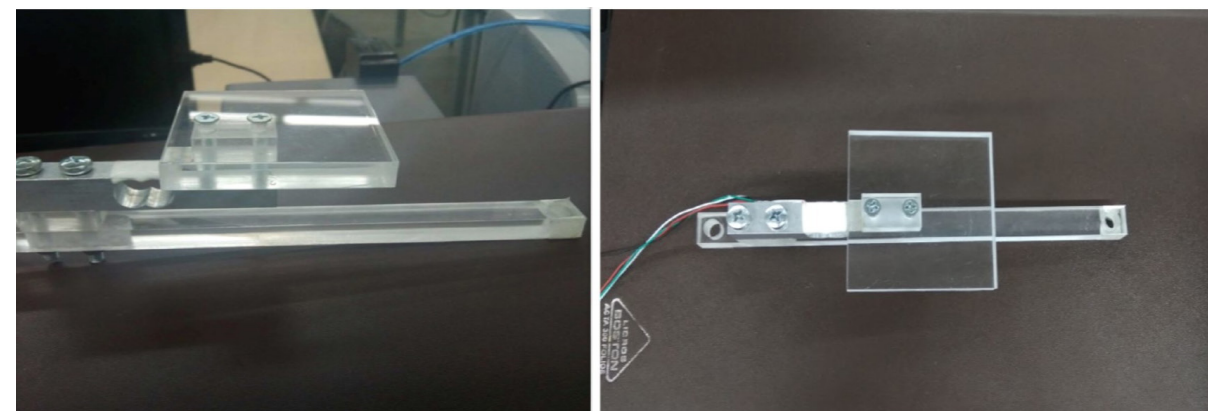


Figura 5. Soporte y base de la celda de carga.

SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

temporizador para que este cuente los pulsos desde que inicia el llenado hasta que finaliza. Cabe destacar que el tiempo de llenado depende del líquido que se desea dosificar.

Otra manera de medir la velocidad de llenado es con un cronometro como se muestra en la figura 7 .

Para medir la presión de nuestro sistema es necesario hablar de la resolución del conversor A/D que utilizan los PIC de gama media este tiene un número de bits de 10, por lo que su resolución es igual a $V_{in}/2^n - 1$. Donde V_{in} es el voltaje de entrada máx. que el conversor puede detectar y N es el número de bits que tiene el conversor en nuestro caso es 10, entonces $0.5V/1023 = 0.000488V$, esta fórmula nos permite determinar cuál es el peso mínimo que puede detectar el sistema.

Para determinamos la relación entre voltaje y el peso colocamos un peso conocido de 250g luego verificamos el cambio en la señal y esta tuvo un aumento de 246 mV entonces se puede decir que $1g = 0.984 \text{ mV}$ aproximadamente, entonces cuál es el valor mínimo que puede detectar el sistema en condiciones ideales

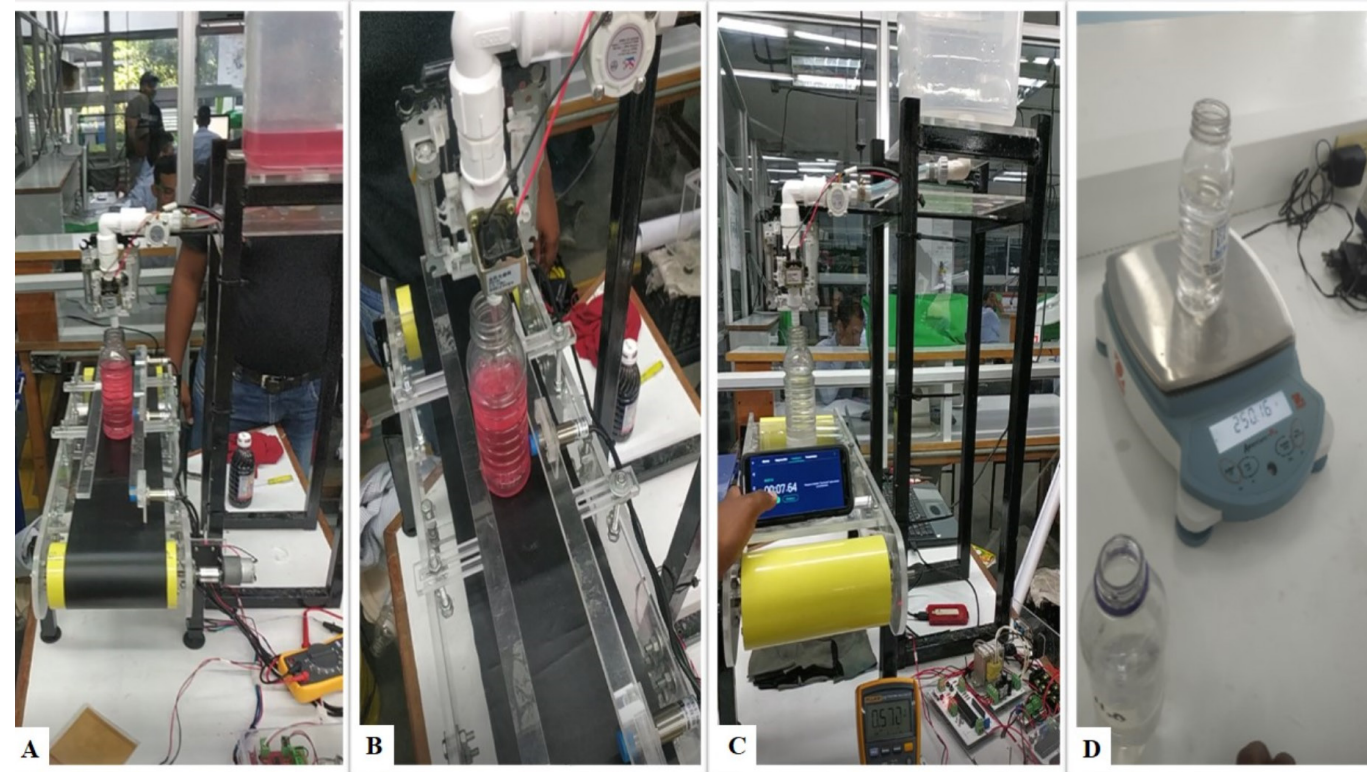
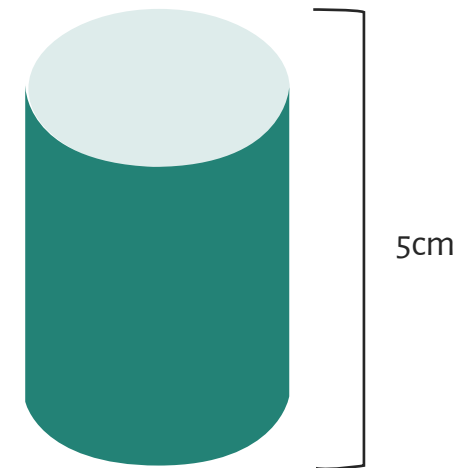


Figura 6. Pasos para verificar y validar el funcionamiento del sistema de dosificación.

SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

$1 \cdot 488 \text{ mV} / 0.984 = 0.495 \text{ g}$ para obtener mejores resultados hay que tener en cuenta la calidad de los sensores y de los actuadores principalmente, la altura entre la electroválvula y la botella está nos genera un error el cual se debe compensar.

Realizamos 40 pruebas con el sistema dosificador de líquidos obtuvimos los resultados ilustrados en la figura 8, estos dentro de los siguientes rangos: 10ml a 260 ml con un tiempo máximo de 7,9 seg para 260ml de agua con una desviación Max de 5,12.



$$\text{resolución} = \frac{V_{IN}}{2^N - 1}$$

$$v = \pi r^2 h \quad v = 3.1416 \cdot 0.635^2 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm} \quad v = 6.3 \text{ cm}^3$$

Figura 7. Error de compensación del sistema cuando se dosifica de forma gravimétrica. Este error disminuye al integrar el caudalímetro tiene un margen de error de 3ml aproximadamente.

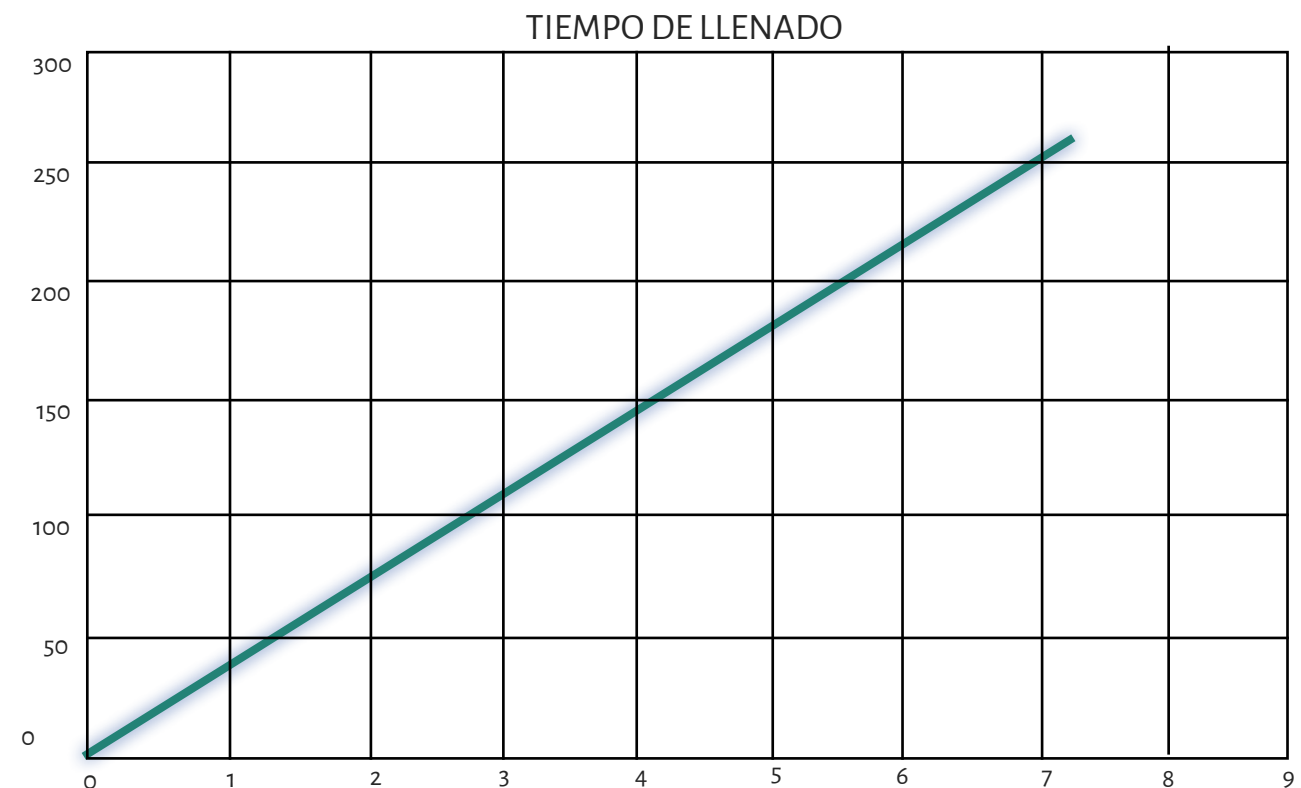


Figura 8. Pruebas para verificar y validar el funcionamiento del sistema de dosificación

SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

4. Conclusiones

En este trabajo se construyó un prototipo de un sistema de llenado volumétrico, consiguiendo llenar las botellas con precisión dentro de margen de dosificación de 10 ml - 500 ml o de 10g – 500g, con una Velocidad de llenado es de 1 ml/0.03seg realizando pruebas con agua, estas determinaron que para para obtener mayor caudal hay que aumentar el diámetro de salida del líquido ya que el líquido desciende por acción de la gravedad, para obtener mayor precisión en el sistema y evitar derrames se deben tener en cuentas los siguientes consejos: La resolución y la velocidad del conversor A/D son importantes para adquirir los datos de las celda de carga una buena resolución permite obtener más datos de la señal, minimizando la altura de la boquilla del dosificador con el recipiente ayuda a evitar derrames y mejora la precisión ya que el líquido no ha sido sensado es menor, usando boquilla con una válvula en la punta se evitan derrames y para obtener velocidad y precisión en el llenado se puede adaptar una bomba centrífuga para dosificar con dos velocidades (Mettler toledo, 2014).

5. Referencias

- [1] Tecnología del Plástico.2014. En qué se diferencian los sistemas de dosificación volumétricos de los gravimétricos. Recuperado <http://www.plastico.com/temas/En-que-se-diferencian-los-sistemas-de-dosificacion-volumetricos-de-los-gravimetricos+97156>
- [2] Cozzoli Machine company, <http://www.cozzoli.com.es/metodos-de-llenado.html>
- [3] Ingesir envasadoras <https://www.ingesir.com.ar/maquinas/ensadoras-semiautomaticas/ensadora-semiautomatica-a-tornillo-sinfin-para-polvos>
- [4] Catalogo de empaque <http://www.catalogodeempaques.com/ficha-producto/Llenadora-de-jeringas+109216>
- [5] Olmos equipos y envsados
- [6] Mettler toledo AG, pautas de llenado integración exitosa del pesaje para un llenado rápido y preciso. 2014, P.7-9, 28.
- [7] Granda. Mercedes y Mediavilla b. Elena. 2015. Instrumentación electrónica: transductores y acondicionadores de señal. Santander : Editorial de

la Universidad de Cantabria (Manuales ; 32. Textos universitarios ; 15) P. 6, 353, 362.

[8] Fernando E. Valdés, Ramón Pallás.2007. microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con pic. Barcelona. Editorial Marcolombo.

[9] Eduardo García. 2008. Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC. España. Marcombo, S.A. P.117

Agradecimientos

Al equipo de trabajo de semillero de investigación en mantenimiento electrónico e instrumentación industrial (SIMEII), por su desempeño, motivación y dedicación en la ejecución de este proyecto, a los tutores por su aporte en la parte de electrónica, automatización y electricidad, al SENNOVA por la aprobación del proyecto SGPS 4037-2019 en el área de mantenimiento electrónico e instrumentación industrial igualmente al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Centro para la Industria Petroquímica de la regional Bolívar (CIP).