

# Sistema de Instrumentación y Control para Tanques de Almacenamiento de Agua Potable

## Instrumentation and Control System for Storage Tanks of potable Water

Javier Andres Vargas Guativa\*  
Jeisson Andrés López Velásquez\*\*  
Leonardo Conde Cárdenas\*\*\*

### RESUMEN

En la necesidad de aportar a los procesos productivos en cuanto a la tecnificación se realizó la automatización de un sistema de tanques de almacenamiento de agua potable diseñando e implementando un sistema de control que permite visualizar dos variables distintas: temperatura y nivel de tanque (mediante sensor óptico y sensor capacitivo). Para tal fin, se realizó la parametrización y ajustes de curvas de los sensores para enviar la señal a una tarjeta de desarrollo, la cual permite realizar la captura de las variables análogas. Mediante el conversor análogo-digital, se da el procesamiento digital a la señal y al resultado se transmite mediante comunicación serial al computador, donde se diseñó un software en LabView. La visualización suministra información en tiempo real y se le brinda la opción al usuario de visualizar el comportamiento de los sensores de forma múltiple o individual.

**Palabras Claves:** Sistema de instrumentación, LABVIEW, MBED, PC.

### ABSTRACT

The need to contribute to the production process regarding the automation allowed to construct a tank storage system for potable water, designing and implementing a monitoring system for displaying two different variables: temperature and tank level optical sensor (level tank with capacitive sensor). For that purpose, a parameterization and sensors curve adjustment was achieved to send the signal to a development board which allows to capture analog variables. Using the analog-digital converter, digital signal processing is reached and the result is transmitted via serial port to a PC where LabView software was designed. Information in real time is displayed and the software gives the customer the option of visualizing the behavior of single or multiple sensors.

**Key Words:** Instrumentation System , LABVIEW , MBED , PC.

\*Ingeniero Electrónico, Esp. Pedagogía y Docencia Universitaria, Msc. Administración Y Planificación Educativa , Docente FCBI Universidad de los Llanos, Miembro grupo de investigación Macrypt. Correo electrónico: javier.andres.vargas@unillanos.edu.co

\*\*Estudiante de ingeniería electrónica Universidad de los Llanos. Correo electrónico: andreslopez-92@hotmail.com

\*\*\*Estudiante de ingeniería electrónica Universidad de los Llanos. Correo electrónico: j.leonardoccf@live.com

## 1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta el desarrollo de un sistema de control de bombeo y almacenamiento de agua potable utilizando un sistema scada diseñado bajo plataforma Labview. Haciendo uso de técnicas de programación, se establecieron protocolos de comunicación para el manejo de dispositivos de potencia.

Bajo el principio de funcionamiento de osciladores astable se realizó la calibración del sensor capacitivo y óptico para medición del nivel de agua. Para el monitoreo de la temperatura se utilizó una termocupla tipo k realizando la respectiva parametrización y linealización.

Este desarrollo tecnológico cubre una necesidad de una planta de tratamiento de agua, la cual requiere una supervisión constante de sus tanques y requiere la opción de controlar, en ciertas condiciones, los parámetros de producción deseados.

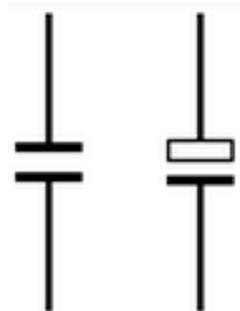
## 2. REVISION DE LITERATURA

Para llevar a cabo el desarrollo del laboratorio es necesario tener en cuenta los fundamentos teóricos. A continuación se explica el funcionamiento del condensador.

### 2.1. Condensador eléctrico

El condensador es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. Está formado por un par de superficies conductoras, generalmente en forma de láminas o placas, en situación de influencia total, separadas por un material dieléctrico o por el vacío. Las placas, sometidas a una diferencia de potencial, adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una de ellas y negativa en la otra, siendo nula la variación de carga total. [1].

Al ser introducido en un circuito, es un elemento “capaz” de almacenar la energía eléctrica que recibe durante el período de carga, la misma energía que libera después, durante el periodo de descarga [1].



**Figura 1. Símbolo del capacitor.**  
Fuente: Elaboración de los autores.

**Funcionamiento:**

La carga almacenada en una de las placas es proporcional a la diferencia de potencial entre esta placa y la otra, siendo constante de proporcionalidad la llamada capacidad o capacitancia. En el sistema internacional de unidades se mide en Faradios (F), siendo 1 faradio la capacidad de un condensador en el que sometidas su armadura a una d.d.p de 1 voltio. Estas adquieren una carga eléctrica de 1 culombio. [1]

La capacidad de 1 faradio es mucho más grande que la de la mayoría de los condensadores, por lo que en la práctica se suele indicar la capacidad en micro-  $\mu\text{F} = 10^{-6}$ , nano-  $\text{nF} = 10^{-9}$  o pico-  $\text{pF} = 10^{-12}$  -faradios. [1]

**Condensador variable:**

Un condensador variable es aquel en el cual se pueda cambiar el valor de su capacidad. En el caso de un condensador plano, la capacidad puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

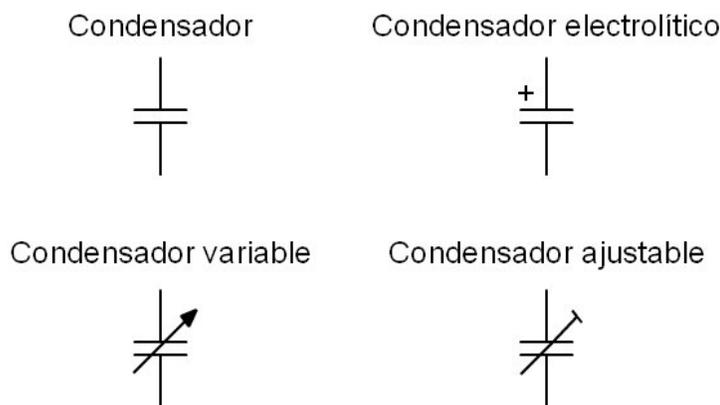
Donde,

$\epsilon_0$  : es la permitividad del vacío  $\approx 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$

$\epsilon_r$  es la constante dieléctrica o permitividad relativa del material dieléctrico entre las placas;

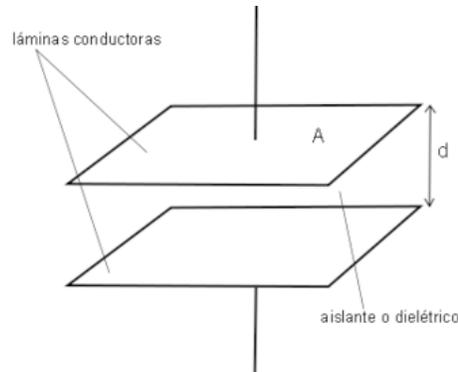
A es el área efectiva de las placas y d es la distancia entre las placas o espesor del dieléctrico.

Para tener un condensador variable hay que hacer que por lo menos una de las tres últimas expresiones cambie de valor. De este modo, se puede tener un condensador en el que una de las placas sea móvil, por lo tanto varía d y la capacidad dependerá de ese desplazamiento, lo cual podría ser utilizado, por ejemplo, como sensor de desplazamiento. [1].



**Figura 2. Símbolo de los capacitores.**

Fuente: Elaboración de los autores.



**Figura 3. Capacitor (partes).**

Fuente: Elaboración de los autores.

## 2.2. LabVIEW

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Este programa es recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza el lenguaje Gráfico empleado [2].

## 2.3. MBED

MBED es una herramienta sencilla de prototipado rápido, la cual utiliza un procesador ARM con una buena cantidad de periféricos, programación y comunicación USB [3]. El espaciamiento de pines de 0.1" lo hace ideal para protoboards y similares. Soporta gran cantidad de interfaces, incluyendo: USB, SPI, I2C, CAN, Ethernet y serial. Posee las siguientes características:

- 40-pin DIP, 0.1 de separación entre pines
- Programación Drag y drop, con la board como controlador USB
- ARM 100MHz con 64KB de SRAM, 512 KB de flash
- Ethernet, USB OTG
- SPI, I2C, UART, CAN
- GPIO, PWM, ADC, DAC

Dentro de las herramientas online de fácil uso ligadas a MBED se encuentran:

- Ambiente de programación C/C++ basado en Web
- Motor de compilación ARM RealView
- Librerías con interfaces intuitivas
- Ayuda fácil de comprender y comunidad online.

## 2.4. Electrobomba

Una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos, como puede ser el hormigón

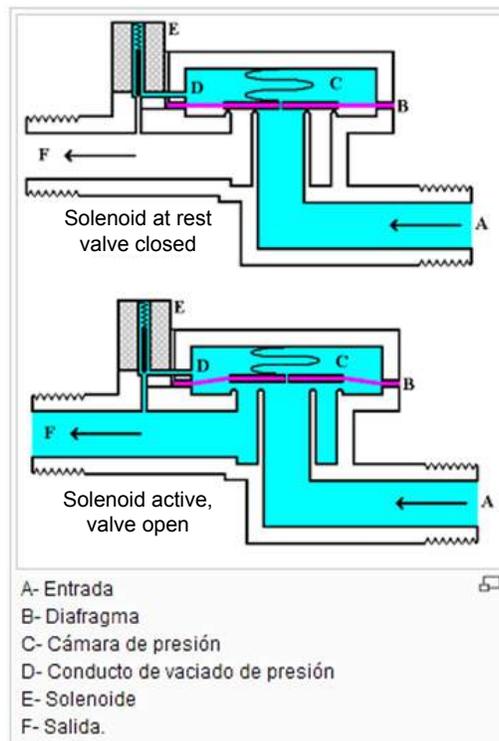
antes de fraguar o la pasta de papel. Al incrementar la energía del fluido se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud [3, 4].



**Figura 4. Electrobomba.**  
Fuente: Elaboración de los autores.

## 2.5. Electrovalvula

Una electroválvula es una válvula electromecánica diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto, como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal [5]. Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula [3, 5].



**Figura 5. Esquema de electroválvula.** Fuente: González, Alfonso (2012).  
Fuente: Elaboración de los autores.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Sistema de instrumentación

##### 3.1.1. Sensor capacitivo

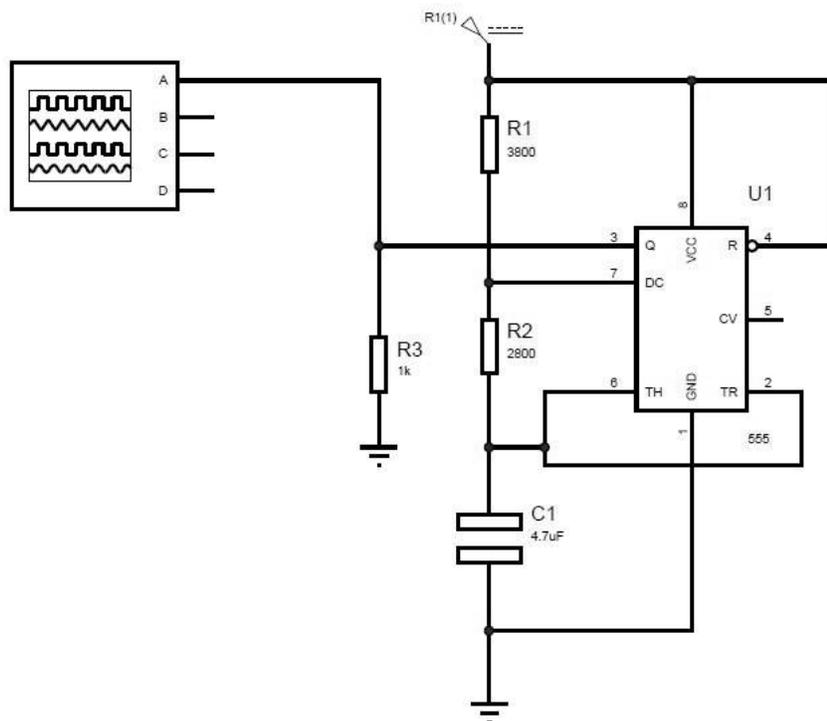
El capacitor empleado funciona en el oscilador 555 en modo astable y es determinante para establecer un periodo, incluyendo en este un tiempo de carga y descarga según el valor de R1 y R2 en el circuito.

$$R1 = 3.6k\Omega$$

$$R2 = 2.8k\Omega$$

$$C1 = 4.7\mu F \text{ // capacitor con valor inicial.}$$

Para tener una frecuencia de referencia, se diseñó un oscilador con un periodo de muestre de 30.5mS, siendo 32 Hz la frecuencia en un estado de tanque vacío. Ver (Figura 6).



**Figura 6. Circuito frecuencia inicial 30.5mS, 32Hz**

Fuente: Elaboración de los autores.

El circuito fue parametrizado cada 7 onzas con un total de 77 onzas, lo cual corresponde a un estado de "llenado total". Así, el capacitor que varía con el agua se construyó con dos placas de aluminio paralelas a una distancia de 1 cm; el agua funciona como dielectrico. Luego, el cambio en la frecuencia es inversamente proporcional al nivel del tanque y también a la capacitancia.

VC1 sería el capacitor variable (figura 10) que se encuentra en paralelo con un capacitor conocido, C1, sabiendo que cuando incremente el valor de este se va a agregar, obteniendo una capacitancia mayor correspondiente a la siguiente expresión:

$$C = C1 + VC1$$

Con C1 igual a 4.7uF y VC1 como capacitor variable (casero).

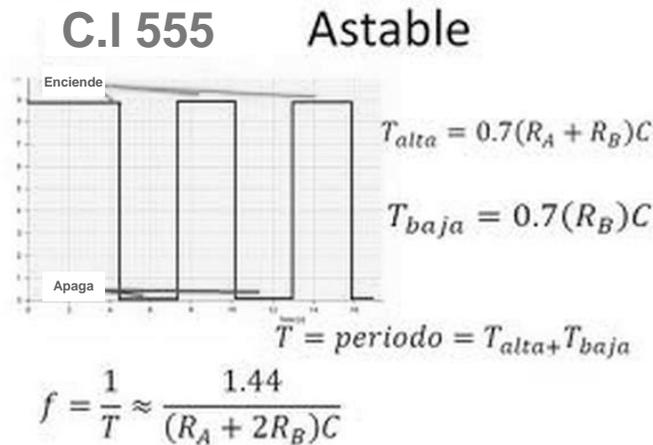


Figura 7. Señal de salida, ecuaciones tiempo en alto (carga) y tiempo en bajo (descarga), periodo y frecuencia.

Fuente: Elaboración de los autores.

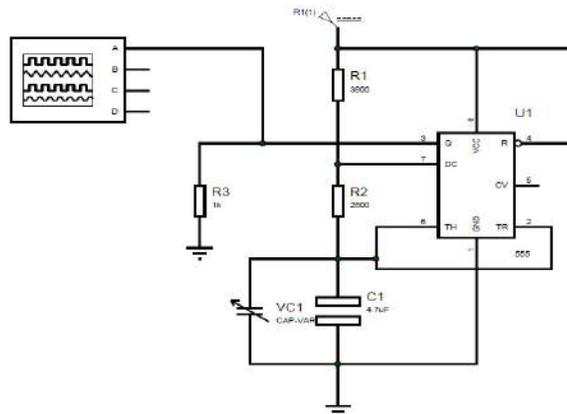


Figura 8. Circuito con un  $C = VC1 + C1$

Fuente: Elaboración de los autores.

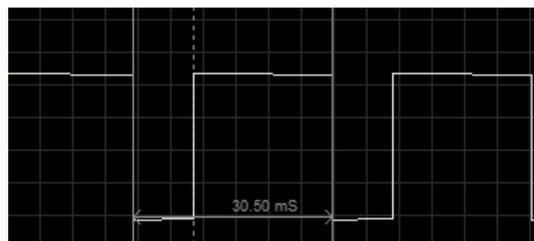


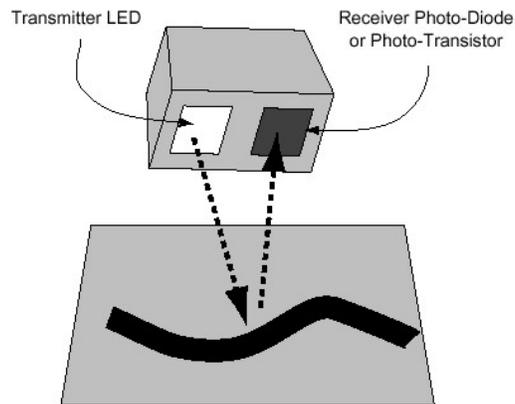
Figura 9. Simulación en ISIS Proteus (osciloscopio digital).

Fuente: Elaboración de los autores.

### 3.1.2. Sensor nivel óptico

El sensor utilizado es la unión de dos dispositivos eléctricos, un fotodiodo y un LED infrarrojo en un circuito impreso. La sensibilidad del sensor puede establecerse con el circuito de polarización. El nivel estaría dado por la incidencia que se genera al reflejarse en el fotodiodo el haz de luz que viajaría desde el infrarrojo, chocaría con el punto referente en el nivel de agua e incidiría en el receptor.

El circuito de acondicionamiento se puede hacer con un divisor de voltaje.

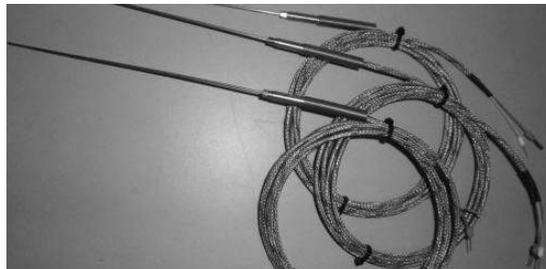


**Figura 10. Sensor de proximidad, nivel óptico.**

Fuente: Elaboración de los autores.

### 3.1.3. Sensor de temperatura

Este sensor es un termopar de tipo k, de uso industrial. El principio de funcionamiento está dado por la generación de un voltaje en sus extremos a partir de la temperatura que halla en la unión de los dos metales que conforman la punta del sensor. La tabla correspondiente a este tipo de termopares arroja que la resolución del sensor es demasiado pequeña; por esta razón, el voltaje tiene que ser amplificado mediante operacionales de instrumentación.



**Figura 11. Termopar tipo k.**

Fuente: Elaboración de los autores.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la estructura en mano y el tanque al alcance, se dio paso a la parametrización de los sensores luego de asegurar su libre funcionamiento en el circuito, de acuerdo a lo descrito en los apartados siguientes.

### 4.1. Sensor capacitivo

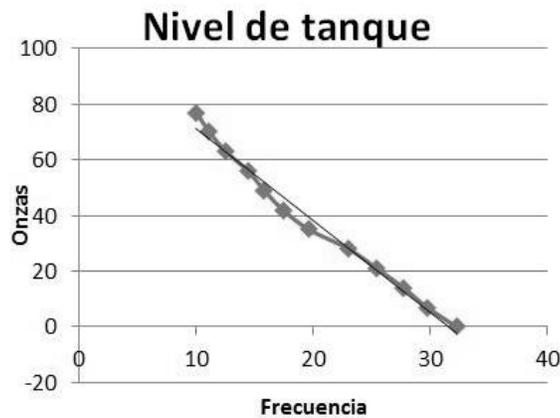
- Análisis de datos obtenidos con el sensor capacitivo:

Se procedió a tabular el sensor de nivel capacitivo mediante las variaciones que se presentaron cada 7 onzas. Para esto, se estableció un rango desde las 0 oz hasta 77 oz. A partir de la curva del sistema se halla la ecuación 1 correspondiente; los valores de frecuencia se aprecian en la Tabla 1,

**Tabla 1. Onzas vs frecuencia del oscilador.**

Onzas	Hz
0	32,2
7	29,7
14	27,7
21	25,4
28	23
35	19,6
42	17,4
49	15,8
56	14,4
63	12,5
70	11,1
77	10

Fuente: Elaboración de los autores.



**Figura 12. Grafica onzas vs frecuencia.**

Fuente: Elaboración de los autores.

*Ecuación 1:*  $y = -3,3069x + 104,31$

### 4.2. Sensor de óptico

Para este sensor se realizó una doble parametrización: la primera (Tabla1) corresponde a un registro tomado con la condición de que el sensor tuviera un libre funcionamiento, sin ninguna

protección de incidencia de luz externa. La segunda (Tabla 2) sí posee lo necesario para disminuir la luz incidente y hacer que el valor se ajustara al haz de luz que emitía el infrarrojo.

**Tabla 2. Sensor de proximidad o nivel óptico.**

Dato	Distancia	Milvoltio	Dato	Distancia	Milvoltio
1	2	2760	16	17	362
2	3	2600	17	18	338
3	4	2560	18	19	321
4	5	2400	19	20	310
5	6	2100	20	21	297
6	7	1740	21	22	270
7	8	1470	22	23	248
8	9	1350	23	24	240
9	10	960	24	25	220
10	11	885	25	26	210
11	12	650	26	27	200
12	13	620	27	28	190
13	14	560	28	29	182
14	15	503	29	30	160
15	16	489	30	31	146

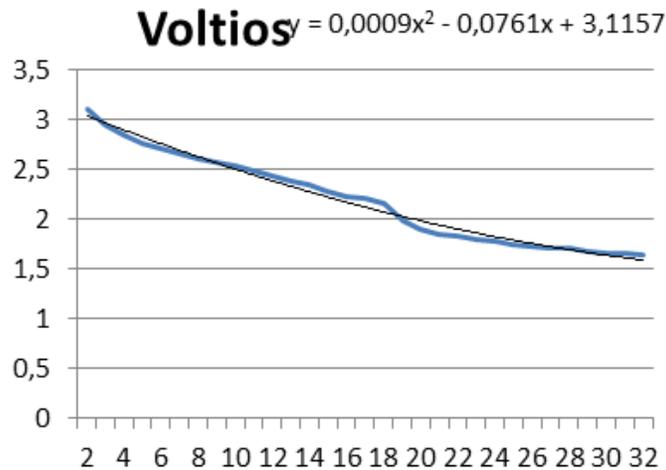
Fuente: Elaboración de los autores.

**Tabla 3. Sensor de proximidad, nivel óptico.**

Dato	Distancia	Voltios	Dato	Distancia	Voltios
1	2	3,1	16	17	2,2
2	3	2,95	17	18	2,15
3	4	2,85	18	19	1,98
4	5	2,76	19	20	1,89
5	6	2,7	20	21	1,84
6	7	2,65	21	22	1,82
7	8	2,6	22	23	1,79
8	9	2,57	23	24	1,78
9	10	2,54	24	25	1,75
10	11	2,49	25	26	1,72
11	12	2,43	26	27	1,71
12	13	2,38	27	28	1,7
13	14	2,35	28	29	1,67
14	15	2,27	29	30	1,66
15	16	2,23	30	31	1,65

Fuente: Elaboración de los autores.

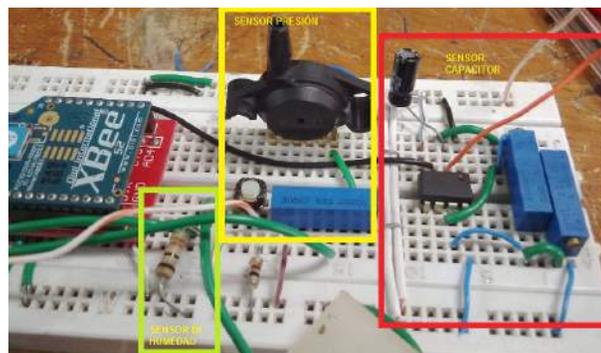
Para el sensor óptico se procedió a dar niveles según el voltaje. En este caso, el voltaje generado procede a darse en lectura mediante el ADC del MBED, para hacer el respectivo procesamiento y visualizar su comportamiento en el software.



**Figura 13. Linealización.**  
Fuente: Elaboración de los autores.

### 4.3. Sensor de temperatura

Para el sensor de temperatura se tiene en cuenta que su rango de operación estará limitado por el valor de lectura del microcontrolador que va desde los 0 V hasta los 3.3 V; así puede recurrir a un circuito de amplificación donde se logra una salida de 10mV por grado. La variable es llevada al conversor análogo digital. Esta variable digitalizada es transmitida por serial y no necesita mayor modificación ya que la lectura es brindada por la tarjeta de desarrollo MBED.

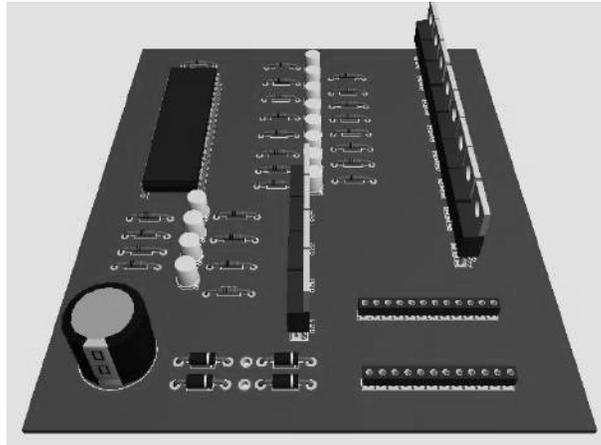


**Figura 14. Pruebas de acondicionamiento y linealización.**  
Fuente: Elaboración de los autores.

### 4.4. Sistema de instrumentación, código y software

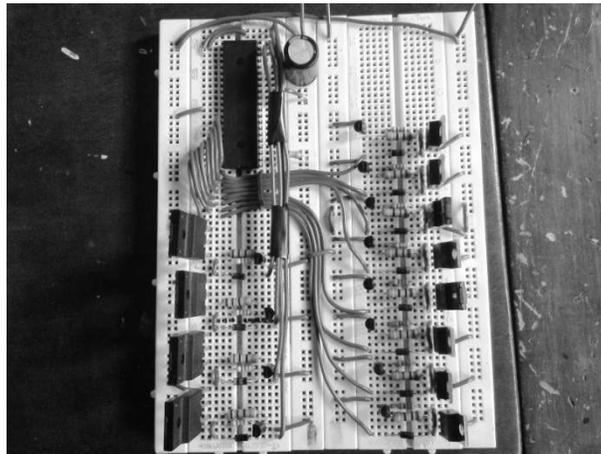
El código se realizó en el compilador online MBED, el cual consta de dos variables análogas (temperatura y óptico), las cuales están habilitadas para dar lectura al sensor termocupla y al nivel óptico de proximidad.

En la parte de control de potencia se observa la selección de los canales o tuberías para cada uno de los tanques mediante electroválvulas así como el encendido y apagado de las electroválvulas. Se establecen unas opciones de arranque que pueden ser enviadas por el usuario a través de teclado.



**Figura 15. Tarjeta de módulo de potencia.**

Fuente: Elaboración de los autores.



**Figura 16. Circuito de control e interfaz de potencia.**

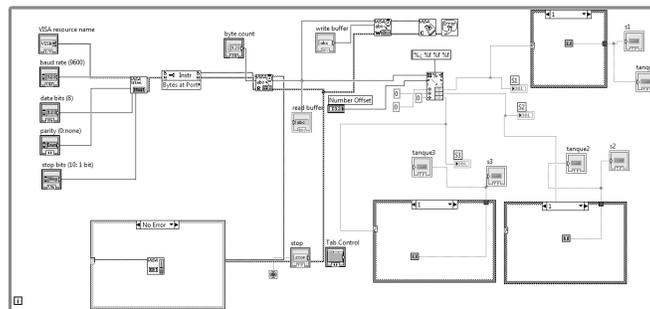
Fuente: Elaboración de los autores.

Una interrupción que sea ejecutada por cada flanco que presente la entrada digital y, con ella, una función que sirve de cuenta para determinar cuál es el periodo que presenta a la entrada, se procede a convertir en frecuencia, dando lectura y validación al circuito (que no se presente error de lectura) y se procede a enviar por serial las tres variables.

#### 4.5. Software

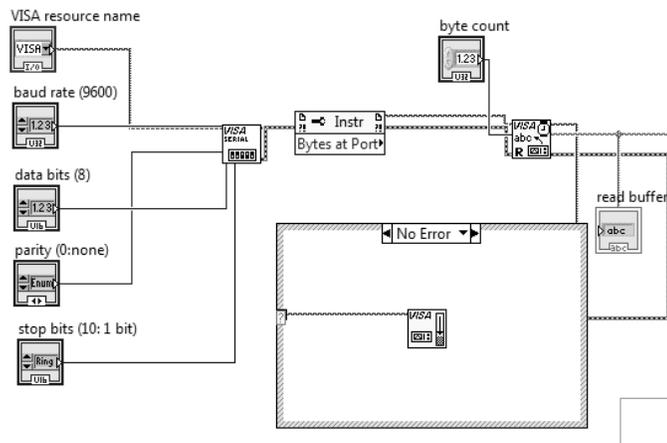
El desarrollo cuenta con la utilización de la herramienta VISA que permite acceder a un puerto COM y realizar comunicación serial para leer el código que determina el número de baudios, la paridad y los bits de cuenta para llenar el buffer del puerto. Se habilita un condicional para hacer

lectura y si se presenta error cierre. Los valores leídos por el puerto son de carácter string; por este motivo, se usa el módulo de conversión scan from string con el cual se puede determinar un valor de lectura por defecto y añadir múltiples variables de lectura con su respectivo formato de impresión, facilitando así la selección de los datos y permitiendo con los valores numéricos que hay en la salida la realización de los bucles Para validar el correcto funcionamiento de la representación gráfica, ésta se realizó con la estructura While para cada sensor, teniendo en cuenta que el valor de lectura que hay en cada uno se encuentra entre los rangos de operación. Las figuras 14 a 22 muestran el desarrollo del software realizado; la 23, el esquema realizado y las figuras 24 a 26 el registro fotográfico del tanque en funcionamiento.



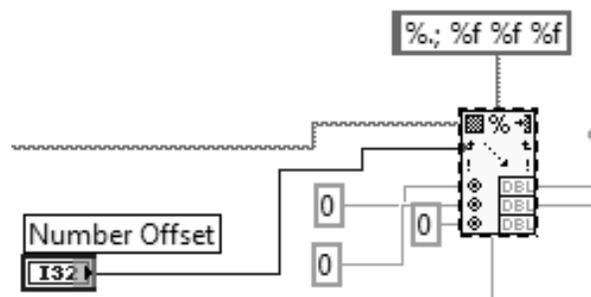
**Figura 17. Software – Visualización en LabVIEW.**

Fuente: Elaboración de los autores.



**Figura 18. Selección y configuración del puerto.**

Fuente: Elaboración de los autores.



**Figura 19. Modulo que convierte de string a número, permite leer el dato según el formato especificado.**

Fuente: Elaboración de los autores.

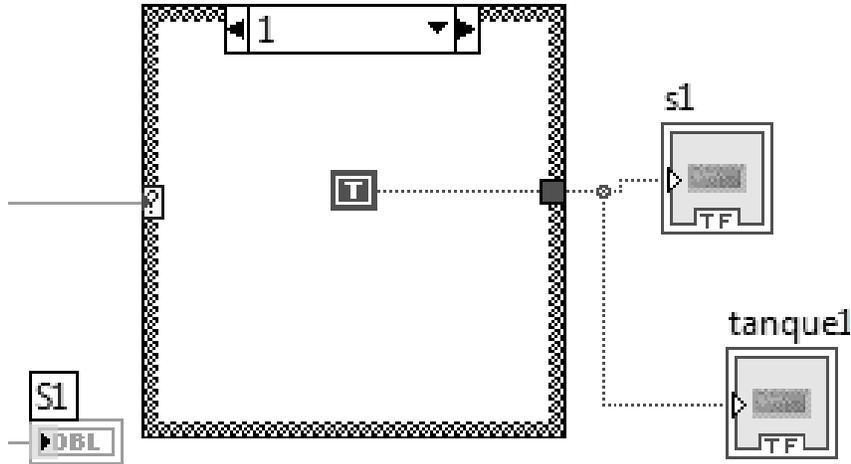


Figura 20. Módulo While que evalúa el rango de funcionamiento del sensor 3 y realiza el acondicionamiento para su visualización.

Fuente: Elaboración de los autores.



Figura 21. Interfaz gráfica, plantilla de presentación.

Fuente: Elaboración de los autores.

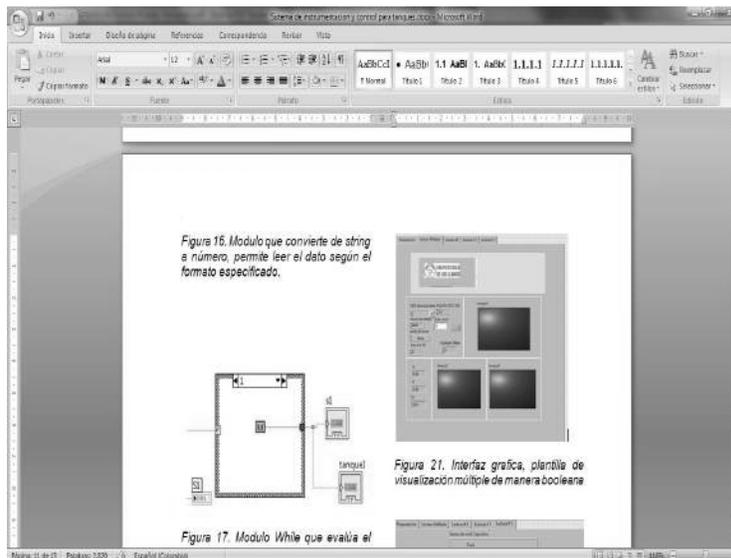
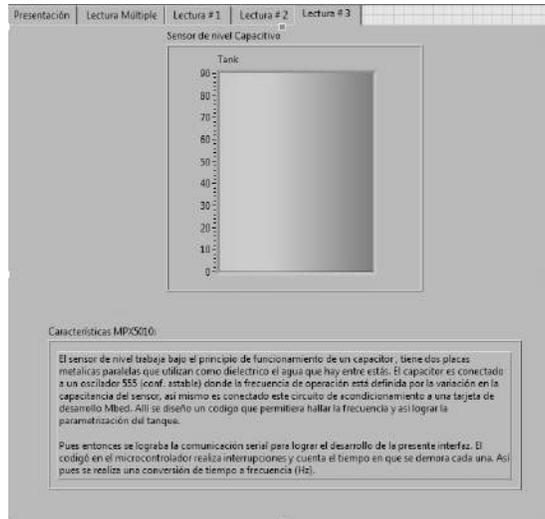
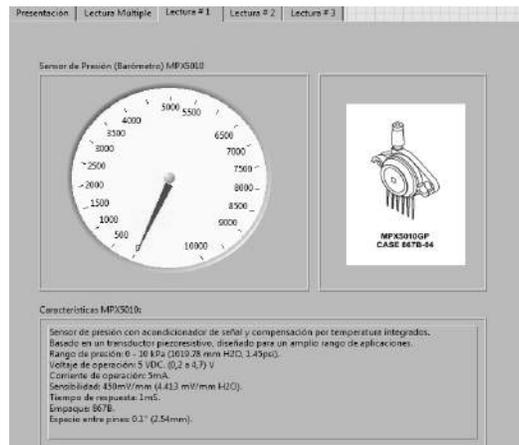


Figura 22. Interfaz gráfica, plantilla de visualización múltiple de manera booleana.

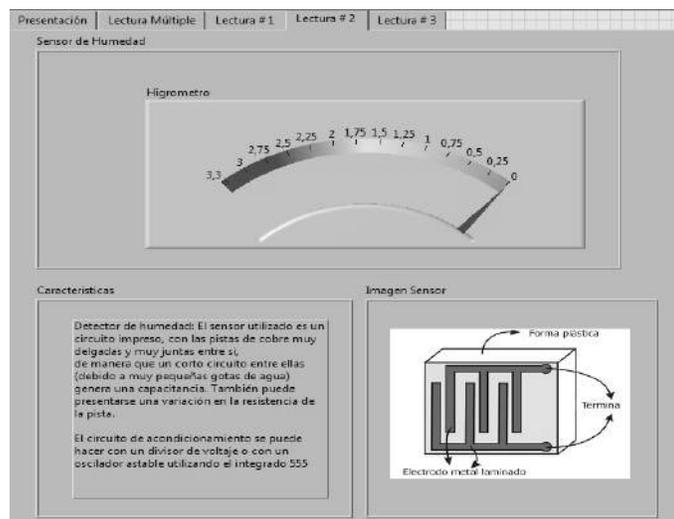
Fuente: Elaboración de los autores.



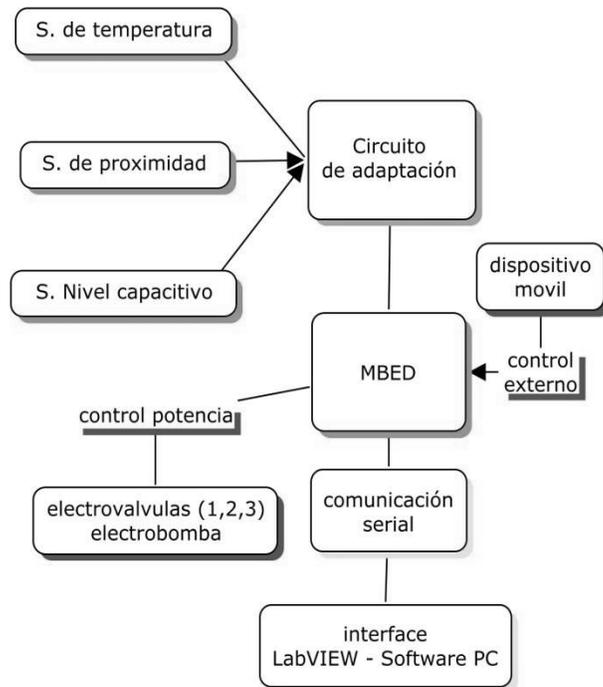
**Figura 23. Interfaz gráfica, plantilla de visualización sensor de nivel capacitivo.**  
Fuente: Elaboración de los autores.



**Figura 24. Interfaz gráfica, plantilla de visualización sensor de presión.**  
Fuente: Elaboración de los autores.

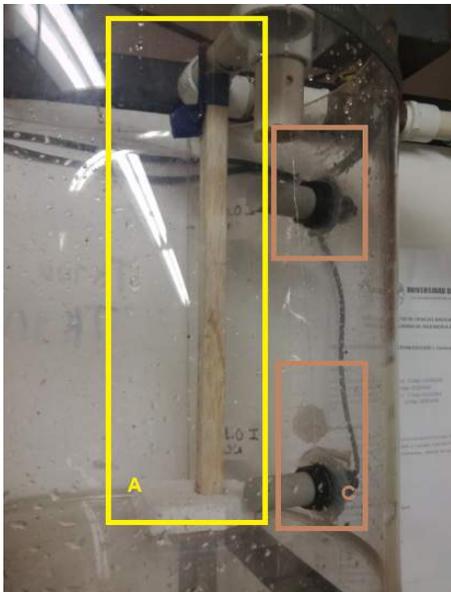


**Figura 25. Interfaz gráfica, plantilla de visualización sensor de humedad.**  
Fuente: Elaboración de los autores.



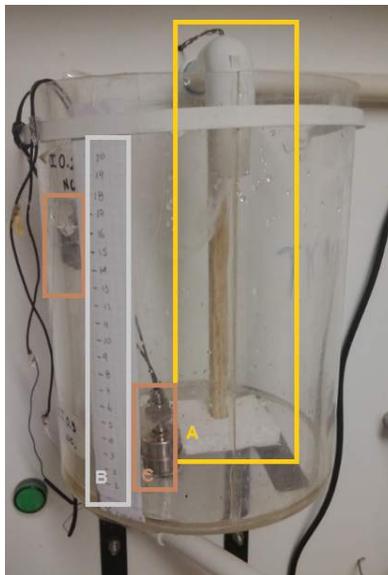
**Figura 26. Funcionamiento sistemas de instrumentación múltiple.**

Fuente: Elaboración de los autores.



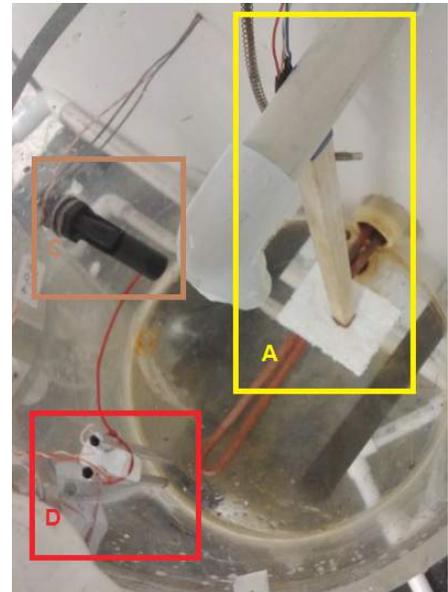
**Figura 27. Tanque #1.**

Fuente: Elaboración de los autores.



**Figura 28. Tanque #2.**

Fuente: Elaboración de los autores



A=sensor de nivel óptico.  
 B= regla de nivel  
 C= detectores ( capacitivos, flotadores normalmente abierto y normalmente cerrados)  
 D=sensor capacitivo

**Figura 29. Tanque#3.**

Fuente: Elaboración de los autores

## 5. CONCLUSIONES

De la investigación realizada se extraen las siguientes conclusiones:

- ✓ El sistema de instrumentacion virtual permite visualizar múltiples parámetros en tiempo real. Las perturbaciones por ruido fueron disipadas por sistemas de acondicionamiento magnético.
- ✓ La respuesta de control de las electroválvulas y electrobobina presentó ruido eléctrico al sistema de instrumentación, lo cual se estabilizó mediante trampas en la fuente de alimentación electrónica.
- ✓ La comunicación establecida entre la estación base y los actuadores permitieron un control estable y en tiempo real.
- ✓ La infraestructura de los sensores debe conservar parámetros de higiene para que el agua potable almacenada no se vea afectada o contaminada.
- ✓ Los dispositivos de potencia se aislaron acústica y térmicamente para evitar afectaciones en el sistema informático.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Pallas Areny, *Sensores y acondicionadores de señal*, 4ªed. Barcelona: Marcombo, 2003.
- [2] M. Pérez García, *Instrumentación electrónica*. Madrid: Paraninfo, 2003.
- [3] A. Creus, *Instrumentación industrial*. Barcelona: Marcombo, 2010,
- [4] M. Nawrocki, R. Bitter and T. Mohiuddin, *Labview: advanced programming techniques*.
- [5] R. Piedrafita, *Ingeniería de la automatización industrial*(2ªed.). Madrid: RA-MA, 2004.