

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA  
CONTROLAR EL NIVEL DE UN LÍQUIDO EN DOS TANQUES, EN EL  
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE SEÑALES DE LA UNIVERSIDAD DEL  
MAGDALENA”**

**AUTORES:**

**Alberto José Avendaño Cabarcas**

**2007119004**

**Luis Miguel Cabarcas López**

**2007219011**

**TUTOR:**

**Esp. Juan Gabriel González Lerma**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**SANTA MARTA D.T.C.H., MAGDALENA**

**COLOMBIA**

**2017**

## AGRADECIMIENTOS

Con las siguientes líneas expreso mis más profundos y sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que con su apoyo favorecieron la realización y consolidación del presente trabajo:

A mi padre *Alberto Enrique Avendaño Pizarro*, que ha sido una fuerza inmensa de propulsión hacia este gran acontecimiento y que pese a las diversas situaciones presentadas en el transcurrir de nuestras vidas, en apariencia no favorables, siempre sirvieron como lecciones de fortalecimiento absoluto en mi proceso de formación integral.

A mi madre *Zoe Patricia Cabarcas Gómez*, digna de toda mi admiración y fuente infinita de inspiración, porque siempre me ha mostrado el camino, como lo debía y lo debo seguir impulsándome a la realización de mis objetivos y propósitos de vida.

A mi abuela (materna) *Sara Emilia Gómez Avendaño (Q.E.P.D.)*, por haber sembrado valores y enseñanzas en vida, que hoy en día hacen parte de la gran persona en la que me he convertido. Por todos sus consejos de vida, todos sus llamados de atención, por estar en los momentos en los que sentí ‘no poder más’, muchas gracias por todo.

A mis hermanas *Yaritza Patricia Avendaño Cabarcas* y *Danitza Patricia Avendaño Cabarcas*, por el hecho de mostrarme la vida desde distintas perspectivas en donde comprendí y compartí muchas de las situaciones, de la manera más grata.

A mi tía (materna) *Rosa M. Cabarcas Gómez*, quien tuvo especial cuidado de mí, en los momentos que más lo necesité, dando oportunos y acertados consejos y siendo un motor y ejemplo a seguir.

A los Ingenieros *Juan Gabriel González Lerma*, tutor de este proyecto, *Carlos Arturo Robles Algarín* y *Omar Francisco Rodríguez Álvarez*, evaluadores, por la orientación, consejos, seguimiento y continua supervisión, pero sobre todo por la motivación y el apoyo que recibí de su parte, dando muestras reales de interés y puntos de vista objetivos que realmente guiaron, alimentaron y ajustaron muchas de las intenciones de este maravilloso proyecto.

A aquellos amigos y compañeros que también contribuyeron significativamente en algún aspecto al alcance de este trascendental logro en mi vida.

Finalmente, manifiesto especial agradecimiento a *Mi Familia*, por su infinita constancia, comprensión, paciencia, por ‘las palabras de consuelo en momentos adversos’ y moral brindada en todo este proceso de aprendizaje integral tanto en el ámbito como futuro profesional y como el personal.

A todos ellos, muchas gracias...

**Alberto José Avendaño Cabarcas**

**DEDICATORIA**

*A Dios, a mi familia, a mis amigos y a todas las situaciones vividas, porque gracias a eso estoy hoy acá, forjado y forjándome hacia nuevos caminos que me conducirán inequívocamente a la consecución de mis anhelos más profundos; hacia esos caminos de felicidad, sabiduría, amor, libertad, prosperidad y de bendiciones que el universo tiene listos para mí.*

*De forma muy amorosa, fervorosa y emotiva, dedico de manera muy especial este nuevo logro a una de las personas que representa una bendición invaluable en mi vida, apelando a esas palabras producto de una hermosa epifanía que tuve en un sueño, ya hace algún tiempo distante. Ella, **Sara Emilia Gómez Avendaño (Q.E.P.D.):***

*“Te amé, te amo y siempre te amaré”...*

*Gracias por todo...*

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos. Gracias también a mi esposa e Hijo, los cuales fueron el motivo que me dio fuerzas para culminar satisfactoriamente esta etapa y ser mi apoyo en momentos difíciles.*

***Luis Miguel Cabarcas López***

## Tabla de contenido

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla de contenido .....                                             | I   |
| Índice de ilustraciones.....                                         | V   |
| Resumen.....                                                         | VII |
| Introducción .....                                                   | 1   |
| 1. Planteamiento del problema .....                                  | 4   |
| 1.1 Formulación del problema .....                                   | 6   |
| 1.2 Sistematización del problema.....                                | 7   |
| 2. Antecedentes.....                                                 | 8   |
| 3. Marco teórico conceptual .....                                    | 14  |
| 3.1 Control.....                                                     | 14  |
| 3.1.1 Variable controlada. ....                                      | 15  |
| 3.1.2 Variable manipulada. ....                                      | 15  |
| 3.1.3 Perturbaciones.....                                            | 15  |
| 3.2 Adquisición de datos .....                                       | 15  |
| 3.2.1 Sensores. ....                                                 | 16  |
| 3.3 LabView .....                                                    | 17  |
| 3.3.1 Módulo LABVIEW datalogging and supervisory control (DSC). .... | 19  |
| 3.3.2 Linx de LABVIEW makerhub.....                                  | 19  |

|       |                                                |                                      |
|-------|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 3.4   | Arduino.....                                   | 20                                   |
| 3.5   | Sistema SCADA.....                             | 21                                   |
| 3.5.1 | Economía .....                                 | 22                                   |
| 3.5.2 | Accesibilidad.....                             | 22                                   |
| 3.5.3 | Mantenimiento .....                            | 22                                   |
| 3.5.4 | Ergonomía.....                                 | 23                                   |
| 3.5.5 | Gestión .....                                  | 23                                   |
| 3.5.6 | Flexibilidad .....                             | 23                                   |
| 3.5.7 | Conectividad .....                             | 23                                   |
| 3.5.8 | Arquitectura general de un sistema SCADA. .... | 24                                   |
| 3.6   | Bomba .....                                    | 26                                   |
| 3.6.1 | Aspiración .....                               | 26                                   |
| 3.6.2 | Impulsión. ....                                | 26                                   |
| 4.    | Justificación .....                            | 27                                   |
| 5.    | Objetivos.....                                 | 29                                   |
| 5.1   | General .....                                  | 29                                   |
| 5.2   | Específicos .....                              | 29                                   |
| 6.    | Diseño metodológico .....                      | 30                                   |
| 6.1   | Primera etapa.....                             | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 6.2   | Segunda etapa.....                             | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 6.2.1 | Sensores de ultrasonido HC-SR04.....           | 30                                   |

|       |                                                                                            |                                      |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 6.2.2 | Arduino Mega 2560 .....                                                                    | 31                                   |
| 6.2.3 | Electrobombas 12VDC .....                                                                  | 31                                   |
| 6.2.4 | Electroválvulas.....                                                                       | 31                                   |
| 6.2.5 | Software LABVIEW.....                                                                      | 32                                   |
| 6.2.6 | Acrílico .....                                                                             | 31                                   |
| 6.3   | Tercera etapa .....                                                                        | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 6.4   | Cuarta etapa.....                                                                          | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 6.5   | Quinta etapa.....                                                                          | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 7.    | Alcance y limitaciones.....                                                                | 34                                   |
| 8.    | Desarrollo del trabajo .....                                                               | 35                                   |
| 8.1   | Diseñar un sistema SCADA para la visualización del nivel de dos tanques.....               | 37                                   |
| 8.2   | Hacer un prototipo a escala del módulo de laboratorio.....                                 | 35                                   |
| 8.3   | Utilizar una herramienta computacional como LABVIEW para el diseño del sistema SCADA. .... | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 8.3.1 | Arduino Mega2560 .....                                                                     | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 8.3.2 | Módulo LINX de LABVIEW makerhub .....                                                      | 37                                   |
| 8.3.3 | Código.....                                                                                | 38                                   |
| 8.4   | Modelo matemático para medir el nivel del líquido de cada tanque en el sistema. ....       | 50                                   |
| 8.4.1 | Consideración 1. ....                                                                      | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 8.4.2 | Consideración 2: .....                                                                     | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 9.    | Resultados y discusión.....                                                                | 54                                   |



|        |                                                   |    |
|--------|---------------------------------------------------|----|
| 10.    | Conclusiones.....                                 | 59 |
| 11.    | Recomendaciones. ....                             | 61 |
| 11.1   | Recomendación uno .....                           | 61 |
| 11.2   | Recomendación dos.....                            | 61 |
| 11.3   | Recomendación tres .....                          | 61 |
| 11.4   | Recomendación cuatro .....                        | 61 |
| 11.5   | Recomendación cinco .....                         | 61 |
| 11.6   | Recomendación seis .....                          | 61 |
| 12.    | Presupuesto .....                                 | 62 |
| 12.1   | Presupuesto humano.....                           | 62 |
| 12.2   | Presupuesto institucional.....                    | 63 |
| 12.3   | Presupuesto adicional.....                        | 63 |
| 12.3.1 | Presupuesto en hardware.....                      | 63 |
| 12.3.2 | Presupuesto para materiales complementarios ..... | 64 |
| 12.4   | Presupuesto total .....                           | 64 |
| 13.    | Bibliografía .....                                | 65 |

## Índice de ilustraciones

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b> Esquema general del proyecto.....                               | VII |
| <b>Figura 2.</b> Elementos esenciales del control de procesos. ....              | 15  |
| <b>Figura 3.</b> Diagrama de funcionamiento DAQ.....                             | 16  |
| <b>Figura 4.</b> Función del sensor.....                                         | 16  |
| <b>Figura 5.</b> Panel frontal y diagrama de bloques LABVIEW.....                | 18  |
| <b>Figura 6.</b> Sistema SCADA, arquitectura básica.....                         | 24  |
| <b>Figura 7.</b> Idea básica de sistema SCADA.....                               | 25  |
| <b>Figura 8.</b> Diseño del depósito o Tanque principal. ....                    | 35  |
| <b>Figura 9.</b> Diseño del tanque de distribución. ....                         | 36  |
| <b>Figura 10.</b> Estructura de soporte en madera. ....                          | 36  |
| <b>Figura 11.</b> Interfaz gráfica para visualización y control de sistema. .... | 37  |
| <b>Figura 12.</b> Diagrama de bloques del sistema. ....                          | 38  |
| <b>Figura 13.</b> Módulo Linx para Cargar Firmware. ....                         | 38  |
| <b>Figura 14.</b> VI Comunicación serial.....                                    | 39  |
| <b>Figura 15.</b> VI Lectura puerto análogo.....                                 | 39  |
| <b>Figura 16.</b> Ciclo para lectura de los sensores.....                        | 40  |
| <b>Figura 17.</b> VI in range and coerce.....                                    | 40  |

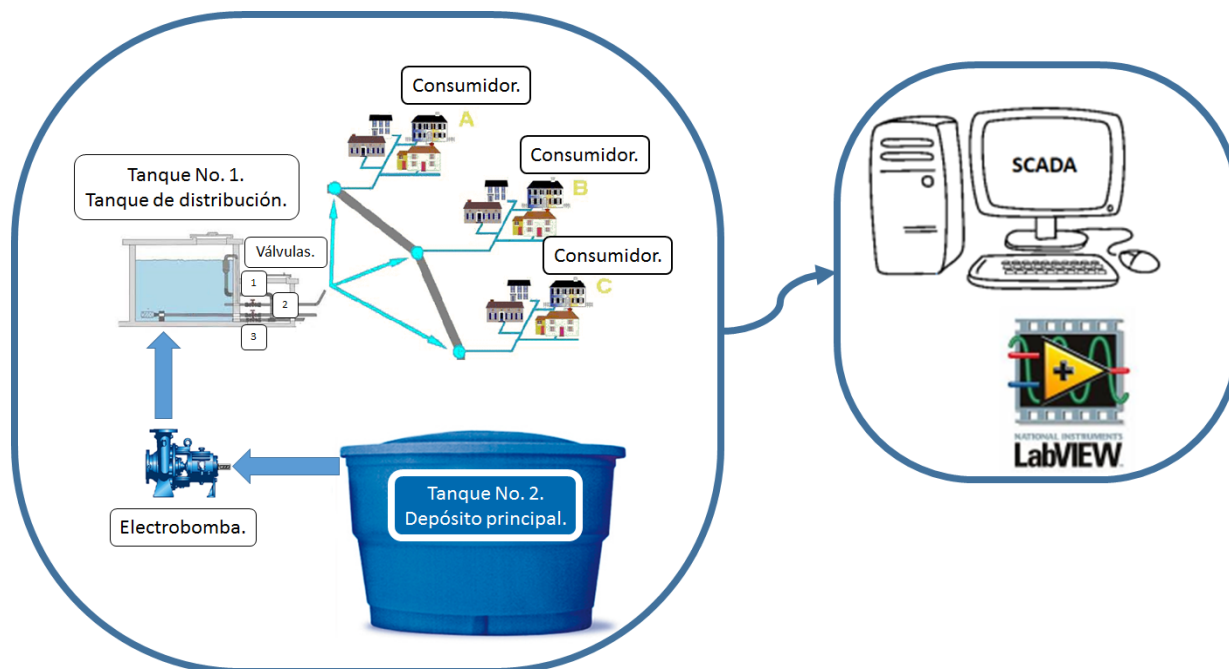
|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 18.</b> Diagrama para ajuste de estados. ....                                 | 41 |
| <b>Figura 19.</b> Configuración de pines.....                                           | 42 |
| <b>Figura 20.</b> Condiciones de estado de nivel. ....                                  | 43 |
| <b>Figura 21.</b> Representación esquemática de los consumidores y pines asignados..... | 43 |
| <b>Figura 22.</b> Diagrama del montaje en LABVIEW. ....                                 | 44 |
| <b>Figura 23.</b> Controles para ajuste de nivel de líquidos.....                       | 45 |
| <b>Figura 24.</b> Indicadores de estado del nivel de los depósitos.....                 | 45 |
| <b>Figura 25.</b> Diagrama de los puertos asignados a los consumidores.....             | 46 |
| <b>Figura 26.</b> Diagrama del voltaje del pulso.....                                   | 46 |
| <b>Figura 27.</b> Representación de la actividad de los consumidores. ....              | 47 |
| <b>Figura 28.</b> Diagrama de los depósitos.....                                        | 47 |
| <b>Figura 29.</b> Diagrama de condiciones de funcionamiento. ....                       | 48 |
| <b>Figura 30.</b> Relé doble: Conmuta los estados de las electrobombas. ....            | 49 |
| <b>Figura 31.</b> Relé simple: Conmuta los estados de los usuarios. ....                | 49 |
| <b>Figura 32.</b> Idea básica de sistema SCADA.....                                     | 50 |
| <b>Figura 33.</b> Señal tomada de los caudalímetros en actividad. ....                  | 55 |
| <b>Figura 34.</b> Señal tomada de los caudalímetros inactivos. ....                     | 56 |
| <b>Figura 35.</b> Señal tomada de los caudalímetros inactivos desde LABVIEW. ....       | 56 |
| <b>Figura 36.</b> Señal tomada de los caudalímetros en actividad desde LABVIEW. ....    | 57 |

## Resumen

En este proyecto diseñó e implementó un módulo a pequeña escala de una planta distribuidora de agua, en la cual se controla el nivel del líquido depositado en dos tanques. El módulo es implementado en el laboratorio de procesamiento de señales de la Universidad del Magdalena.

El prototipo contó con el depósito Número 1, llamado tanque de distribución y tiene la función de almacenar el agua que se distribuye a los consumidores. El depósito Número 2, llamado depósito principal, cumple la función de almacenar agua.

Haciendo uso de una motobomba, el agua pasa del depósito principal al tanque de distribución, y finalmente, por medio de electroválvulas se distribuyen hacia los consumidores finales.



**Figura 1.** Esquema general del proyecto.  
Fuente: Los Autores.

El control y visualización del comportamiento del módulo se realiza por medio de un sistema SCADA, implementado en la herramienta computacional LABVIEW 2014. Asimismo, se ha condicionado el sistema para asegurar su correcto funcionamiento durante todo el ciclo de ejecución, siguiendo la secuencia mostrada a continuación:

1. Si el tanque de distribución está vacío y el depósito principal tiene suficiente agua, la electrobomba debe encenderse y llenar el tanque hasta el nivel máximo definido por el usuario.
2. Si el deposito principal no tiene la suficiente cantidad de agua para llenar el tanque de distribución se debe activar una alarma sonora, y en el sistema SCADA se debe mostrar un mensaje de error.
3. El sistema SCADA fue diseñado e implementado en el software LABVIEW.
4. En el computador se debe estar visualizando siempre el nivel de agua del depósito y del tanque.
5. Si algún consumidor solicita agua, automáticamente la válvula debe abrirse, hasta que se le indique cerrarse, es decir:
  - Si el consumidor 1 necesita agua, debe abrirse la válvula 1.
  - Si el consumidor 2 necesita agua, debe abrirse la válvula 2.

Estas condiciones dependen expresamente del estado del nivel del líquido almacenado en el tanque de distribución, debido a que, éste es el depósito principal que almacena el agua del módulo. También cabe notar que los consumidores pueden pedir agua al mismo tiempo.

## Introducción

El siguiente trabajo de implementación hace referencia al diseño de una planta distribuidora de agua, reflejada en la implementación de un ‘Módulo Didáctico de Control y Automatización de Procesos’, dirigido a los estudiantes del Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Magdalena, con el propósito de que éstos puedan adquirir experiencias y destrezas que amplíen el conocimiento, mediante la realización de prácticas académicas en el laboratorio. De esta forma será posible instruirlo e inducirlo hacia la elaboración de hipótesis de trabajo, estrategias, ejecución de procedimientos y demás inventivas que permitan llevar a cabo los procedimientos necesarios para controlar y automatizar procesos industriales a pequeña escala en el laboratorio de procesamiento de señales de la Facultad de Ingeniería de esta Universidad.

Apoyados en referencias y trabajos anteriores donde se muestran investigaciones de este índole; se calibra y pule la idea de cómo implementar y diseñar un prototipo en donde se realicen los procedimientos antes mencionados y que despliegue a cabalidad las condiciones deseadas , así por ejemplo podemos mencionar :

*[...desarrollaron la temática de controlar el nivel de agua en un tanque principal a través de dos actuadores, una bomba que suministra agua desde el tanque reservorio al tanque principal, con caudal constante y una servoválvula que está ubicada en la parte inferior del tanque principal...]. (Borja y Paredes 2007: p. 7).<sup>[2]</sup>*

La investigación centro sus bases en la utilización de servovalvulas, con las cuales los estudiantes pueden realizar prácticas de control medición y monitoreo de la variable; nivel del líquido.

*[...controlar el nivel de agua en dos depósitos, uno principal y uno secundario. El agua pudo viajar a través de estos depósitos, gracias a una tubería y controlando el nivel del agua, con el diseño de una estructura equipada con unos dos actuadores, una bomba que suministra agua desde el tanque secundario al tanque principal y una servoválvula, la cual estará dispuesta para manipular el caudal que atraviesa las tuberías, formando así un circuito cerrado de agua...].*  
(Vaca y Castro 2010).

En la implementación, de esta investigación se utilizaron señales de ultrasonido, con el fin de poder llevar a cabo el control del proceso.

*[...en el cual se tuvo como objetivo principal utilizar un sensor de presión diferencial, el cual ejerce un control de nivel de líquido en un sistema hidráulico y de esa manera, controlar los niveles de un sistema de llenado y vaciado mediante un autómata programable siemens...]* (Arias y Marulanda, 2010).

El enfoque de la investigación contempla el control de nivel mediante la variable presión diferencial, ya con el sensor de presión existe mayor seguridad y precisión en la medición de aplicaciones en procesos industriales.

Teniendo como bases las observaciones e investigaciones anteriores; el diseño del módulo, está dotado de herramientas necesarias que permiten su correcto funcionamiento, tales como:

- a)** Dos depósitos destinados a albergar agua en donde se pueden efectuar las operaciones de control de nivel de líquido.
- b)** Mangueras de transporte de agua entre los compartimientos.
- c)** Válvulas de apertura y cierre del agua que se transporta entre el tanque de distribución y los consumidores.
- d)** Electrobombas para succión de agua.

- e)** Alarma sonora para cuando el depósito principal no tenga la suficiente agua.
- f)** Un sistema de adquisición de datos, para supervisar y realizar el seguimiento total de cada uno de los procesos ejecutados durante el tiempo de trabajo del prototipo.
- g)** Una interfaz de computadora que permite visualizar los procesos que se estén ejecutando, haciendo uso del software LABVIEW 2014, que ajusta todo a una escala de tiempo real, monitoreando a detalle, las características principales de funcionamiento.
- h)** En caso de fallos en el sistema automático, se dispone de la opción de operación manual directa por parte de los operarios de la planta.



## **1 Planteamiento del problema**

A través de la historia de la humanidad, el hombre ha tenido como meta mejorar sus condiciones de vida, ser mucho más competitivo y eficiente a la hora de la realización de actividades y procesos que generen muchas más riquezas a través de su trabajo. Haciendo uso de su ingenio e inmensa creatividad, logró avanzar en diseños e implementaciones que, de la mano de la tecnología, impulsaron el surgimiento de la automatización y control de procesos. La automatización y control de procesos, ha sido una de las mayores creaciones que existe a nivel industrial, agrícola y todos los campos en donde se le requiera, debido que a partir de sus excelentes resultados se obtuvo una disminución significativa en los fallos de tipo humano y de ahí radica la importancia del estudio de esta área.

Al analizar la situación actual del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Magdalena, en lo que concierne a las áreas de electrónica industrial ,control y automatización de procesos, se pone de manifiesto la insuficiencia en la realización de algunas prácticas, donde se afiance el conocimiento teórico adquirido en estas signaturas, debido a que en las instalaciones encauzadas para el desarrollo de estas prácticas dispone de pocos módulos, prototipos o equipos necesarios, en los cuales se consoliden los conocimientos obtenidos y relacionados con los procesos que abarcan estas disciplinas. Cuando el estudiante se vincula de lleno con el control y automatización de procesos, es seducido por la fascinante idea de controlar variables de muchas maneras, llegando a desplegar en su mente, un mundo de opciones e ideas de aplicación en la cotidianidad de la vida, pero llegada la hora de la ejecución de todos estos planteamientos teóricos, se encuentra con muchas limitantes, al no poder desarrollar en lo absoluto una práctica de tipo real y como consecuencia de esto, todo debe ser ejecutado desde el campo enteramente

ideal y de simulaciones, dejando pasar por alto muchas situaciones que solo se evidencian en el ámbito de la realidad y en definitiva, son las que nos proporcionarán experiencias que servirán más adelante en el ámbito profesional.

Teniendo en cuenta el problema planteado anteriormente, se realizó este proyecto, el cual consiste en la implementación de una planta a escala (didáctica), en donde se realiza el control de nivel de agua para dos depósitos, automatizando el sistema para esta variable de proceso. Se tiene en consideración para el funcionamiento de la planta, un control del tipo ON-OFF, que otorga al usuario un mecanismo de manipulación manual del sistema, que tiene como funciones específicas, evacuar los niveles del líquido restantes que se encuentren dentro del rango de operación pero sin poner en riesgo ningún elemento de la planta, en caso de que el sistema automático presente lecturas erróneas en el nivel del depósito principal, el usuario pueda controlar el agua almacenada en el depósito secundario. De igual forma, dentro del funcionamiento del prototipo, se hace uso de dispositivos como electroválvulas y caudalímetros, que pueden ser utilizados por el estudiante para poner en prácticas conceptos teóricos vistos en las asignaturas de electrónica industrial y control y automatización de procesos.

Con el fin de que los estudiantes puedan hacer una aproximación real del comportamiento físico y funcional de un sistema automático donde interactúan elementos electrónicos y condiciones básicas del nivel de un líquido, se diseñó un escenario que brinda la posibilidad de interactuar con situaciones reales, las cuales se puedan solucionar mediante los conceptos que otorga el control ON-OFF, de esta forma se puede contrastar, manipular y observar como varían las condiciones del prototipo de acuerdo a sus especificaciones, dejando de un lado las simulaciones y acercándose al manejo funcional de una planta, con un módulo didáctico que

emula las condiciones reales de nivel y mediciones de variables utilizando un sistema SCADA de monitoreo.

Para enriquecer el crecimiento del conocimiento y poner a prueba la destreza de los estudiantes, este módulo didáctico para el control del nivel de líquido en dos tanques cuenta con unas guías de laboratorios donde se verifican las condiciones de funcionamiento y despliegue de toda sus posibles fallas para el monitoreo y control y así poder verificar su funcionalidad.

Por otra parte la consecución y ejecución del proyecto está pensado como un aporte inicial, donde queda abierta la posibilidad de plantear mejoras como la distribución del líquido para más consumidores, utilizar depósitos de agua más grandes para poner a prueba las condiciones del proyecto y su aplicabilidad bajo otras tipo de condiciones adicionales que el operario pueda llegar a sugerir. También se deja un puerto de entrada donde se pueden cargar controladores PID, en caso que los operarios deseen la implementación de otro tipo de control, estimulando de esta manera el desarrollo de sus capacidades y procurando el progreso para el laboratorio de procesamiento de señales del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Magdalena y las asignaturas de control y automatización de procesos y electrónica industrial.

### **1.1 Formulación del problema**

¿De qué manera se pueden controlar los niveles de agua en el depósito principal y tanque de distribución y recolectar a distancia los datos recogidos para el adecuado control de nivel y distribución de agua?

## **1.2 Sistematización del problema**

A partir de esta problemática surgen algunos interrogantes, tales como: ¿Qué metodología se puede utilizar para una correcta distribución de agua en los tanques?

¿De qué manera se puede medir el nivel de los tanques de manera remota? ¿Qué tecnología se puede aplicar para la recolección de la información a distancia?

## 2 Antecedentes

El control y automatización de procesos en la vida de los seres humanos está a la ‘orden del día’ y avanza tan rápidamente como la tecnología lo permite. La mayoría de las grandes empresas tienen sus procesos automatizados con el fin de estar a la vanguardia y a la vez, ahorrar en mano de obra, disminuir el tiempo de consecución del proyecto y sobre todo, apuntar a la alta eficiencia en lo que al costo de oportunidades, se refiere. Sin embargo, no solamente en las empresas es en donde se puede establecer un sistema de automatización; en los hogares son de gran ayuda al ser utilizados con el fin de dar más comodidad, mejores condiciones de vida o un rango de seguridad considerablemente más elevado. Uno de los procesos más utilizados en la industria, es el control de nivel de sustancias en tanques, este proceso tiene gran importancia en sistemas de concentración, tanques de mezcla, procesos de fundición o en sistemas de distribución de agua en hogares o ciudades.

A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversos proyectos e investigaciones relacionadas con este tema, entre las cuales se puede destacar el estudio realizado en la universidad de Piura (Perú), en el marco de un proyecto investigativo sobre modelación y control de un sistema de cuatro tanques acoplados por Peter Saúl Gutarra Castillo (2016), que tuvo como objetivo principal,

*[...permitir la ilustración y estudio de conceptos de control multivariable, apoyándose en la construcción de una planta piloto de control de nivel de cuatro tanques, ubicada en el laboratorio de sistemas automáticos de control de la universidad, y que puede ser vista como un prototipo de diversas aplicaciones industriales, tales como en la industria química, petroquímica, fabricación de*

*papel, entre otras. El módulo cuenta con cuatro tanques acoplados con un sensor en cada tanque para poder medir la presión producida por el nivel de agua, dos electrobombas de corriente continua con velocidad variable, once válvulas y un tanque reservorio...]. (Gutarra Castillo, 2016: p. 5 - 6)*

El proyecto implementó la instrumentación de equipos electrónicos de adquisición de datos y comando, como son los PLC Click y la comunicación de éste con la PC mediante protocolo Modbus y a través de esta configuración, se pudieron seleccionar los actuadores (electrobombas) y transmisores de presión, que permitieron captar las señales a la salida del proceso y a partir de estos componentes, se utilizó un modelo matemático del sistema, basado en leyes físicas que rigen su comportamiento, linealizando éste entorno a un punto de operación para así poder implementarlo como un sistema de control lineal alrededor de ese punto. Este modelo, se validó con pruebas experimentales en el módulo, lo cual contribuyó al ajuste de los parámetros físicos considerados en el modelo, con los que se pudieron diseñar los algoritmos de control y ejecutados en software Matlab, en donde finalmente, se desarrolló una aplicación mediante una plataforma GUI que permitió seleccionar el algoritmo de control deseado, sintonizarlo y luego observar el comportamiento del nivel mediante una gráfica de nivel versus tiempo y también una interfaz gráfica del nivel de los tanques en el módulo, operando todo en tiempo real. <sup>[1]</sup>

Por otro lado y de forma muy similar, Borja y Paredes (2007), en su estudio titulado Diseño y construcción de un módulo didáctico para control de nivel de líquidos, en el cual:

*[...desarrollaron la temática de controlar el nivel de agua en un tanque principal a través de dos actuadores, una bomba que suministra agua desde el tanque reservorio al tanque principal, con caudal constante y una servoválvula*

*que está ubicada en la parte inferior del tanque principal...]. (Borja y Paredes 2007: p. 7).*

El diagnóstico permitió determinar que el sistema de distribución de aguas en dos depósitos, puede visualizarse y materializarse haciendo uso de distintas herramientas, como software y hardware que inequívocamente llevarán un resultado satisfactorio de los objetivos planteados.<sup>[2]</sup>

Asimismo, el trabajo desarrollado por Vaca y Castro (2010) denominado diseño e implementación de un módulo didáctico de monitoreo y control del nivel de agua basado en un computador, a través del PLC utilizando LABVIEW para el laboratorio de control; cuya idea principal fue:

*[...controlar el nivel de agua en dos depósitos, uno principal y uno secundario. El agua pudo viajar a través de estos depósitos, gracias a una tubería y controlando el nivel del agua, con el diseño de una estructura equipada con unos dos actuadores, una bomba que suministra agua desde el tanque secundario al tanque principal y una servoválvula, la cual estará dispuesta para manipular el caudal que atraviesa las tuberías, formando así un circuito cerrado de agua...]. (Vaca y Castro 2010).*

Estos proyectos nos han servido como marco referencial para el ensamblaje del módulo y la maqueta final y de guía en lo que se refiere a la automatización del proceso y el diseño de una interfaz manual entre el usuario y la planta en caso de que se cambie a un modo manual.

Paralelamente, Alzate R., (2010) realizó una investigación titulada control y medida de nivel de líquido con señales de ultrasonido, en el cual, uno de los objetivos principales trazados, fue

*[...controlar el nivel de un sistema hidráulico de almacenamiento de líquido mediante un autómata programable, utilizando señales de ultrasonido...]. (Alzate R., 2010).*

La metodología implementada para encontrar los parámetros del controlador, fue la respuesta en frecuencia, la cual representó la señal de salida en magnitud y fase, facilitando la búsqueda de los controladores adecuados, debido a la relación que existe entre el margen de fase y el factor de amortiguamiento relativo.

Haciendo particular énfasis en la necesidad de implementar sistemas de control automáticos como prenda de garantía, precisión y seguridad en la ejecución de tareas específicas, se concluye que los sensores ultrasónicos, brindan una viabilidad mayor en la materialización de cualquier proyecto a pequeña, mediana y gran escala, ya que aparte de presentar bajo costo, son fáciles de manipular y no necesitan un adaptador especial para su utilización, además, son capaces de medir distancias y profundidades con mucha más precisión que otras implementaciones presentes en el mercado.<sup>[3]</sup>

En el siguiente proyecto, titulado Control y medida de nivel de líquido por medio de un sensor de presión diferencial,

*[...en el cual se tuvo como objetivo principal utilizar un sensor de presión diferencial, el cual ejerce un control de nivel de líquido en un sistema hidráulico y de esa manera, controlar los niveles de un sistema de llenado y vaciado mediante un autómata programable siemens...] (Arias y Marulanda, 2010).*

Presentado por John Alexander Arias Lozada y Alejandro Marulanda Grajales, en la Universidad Tecnológica de Pereira - Facultad de Tecnología, Programa de Tecnología Eléctrica (2010), se concluyó que la acción de control a utilizar en un proceso, depende directamente del



tipo de respuesta de la planta y a la hora de realizar un control o automatización se requiere de fiabilidad y que implementando un autómatas adecuado, se puede realizar un excelente control que cumpla con un alto grado de precisión, calidad, exactitud, facilidad y velocidad.<sup>[4]</sup>

Otro proyecto colombiano, destacado por mostrar su diseño novedoso, complejo y completo, es el denominado Sistema electrónico de monitoreo y control para movimiento de volúmenes de agua en un laboratorio de aguas de bajo costo usando una interfaz web y un servidor embebido usando el shield ethernet basado en el CI WI5100 de WIZNET, presentado por Favian Ocampo Zapata, en la universidad católica de Manizales (2015).

*[...La propuesta consiste en diseñar un prototipo integrando un sensor de nivel de agua por cada tanque del sistema, un sistema de reglas para el estado de los diferentes niveles de los diferentes tanques y un conjunto de actuadores que se implementan a partir de motobombas de diferentes caudales dependiendo de la altura que sea necesaria y de acuerdo a las capacidades de las motobombas disponibles, este no utiliza moto válvulas ni electroválvulas proporcionales sino más bien electroválvulas con solenoide normalmente cerradas, para controlar el flujo de caudal (flujo masivo) de acuerdo a la ley de la gravedad, y motobombas controladas por electrónica para garantizar los flujos de subida hacia tanques superiores...](Ocampo Zapata, 2015)*

Los resultados de este proyecto mostraron un método de medición estable y robusto, integrando un sistema de control realimentado con afectación a motoválvulas o electroválvulas, las cuales tienen sistemas basados en el control de flujo de agua de acuerdo a la gravedad y a las necesidades de consumo de agua de las comunidades a afectar, pero no emplean retorno hacia los tanques superiores, con lo que se alcanzó a desarrollar una metodología para la reutilización de

agua en laboratorios, empresas y hogares y de esta forma disminuir el valor de la huella hídrica.<sup>[5]</sup>

Como conclusión, podemos destacar la gran eficiencia de los sensores ultrasónicos, no solo a nivel de rendimiento y funcionalidad sino a nivel de economía, siendo siempre una mejor opción a la hora de implementar proyectos que hagan uso de medidas de distancias y profundidades, y es allí donde se valida importancia de estos antecedentes, ya que nos brindan claridad en cuanto a la utilización de las herramientas más adecuadas para cada caso y aportaron bases que contribuyeron a la materialización de los objetivos planteados durante el desarrollo de la idea principal de este proyecto de investigación.

### 3 Marco teórico conceptual

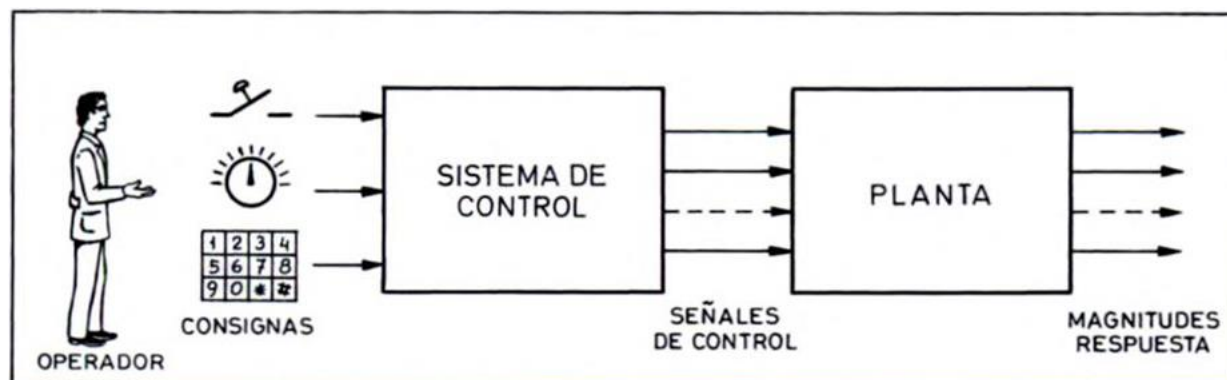
El control automático de procesos y sistemas, tiene como objetivo principal, el análisis, estudio y modelado matemático de sistemas dinámicos, así como sus propiedades, sus características y el cómo poder modificarlas mediante la implementación de otro sistema dinámico denominado controlador, el funcionamiento se basa en medir un valor esperado de operación de las variables de procesos, tal como temperatura, presiones, flujos, compuestos, etc., y compararlo con un intervalo de valores aceptables, haciendo uso de diferencias entre estas, para su posterior corrección o estabilización en el sistema, sin que se haga necesaria la intervención humana.

Los conocimientos de esta disciplina se aplican para controlar procesos químicos, todo tipo de maquinaria industrial, vehículos terrestres y aeroespaciales, robots industriales, plantas generatrices de electricidad y otros procesos que lo requieran. Las señales involucradas en los procesos y que tienden a tener fluctuaciones a medida que transcurre el tiempo se les denomina “variables” y en cuanto a las características físicas de la planta que son inamovibles e invariantes luego de cierto lapso, se les conocen con el nombre de” parámetros”. A continuación, se realizará una detallada descripción una serie de conceptos básicos y a la vez esenciales para el desarrollo satisfactorio del proyecto, y que ayudarán a robustecer el conocimiento previo y vincularse con la temática.

#### 3.1 Control

Podríamos definir el control como la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema denominado planta a través de otro sistema llamado sistema de control. La figura 2 muestra

esquemáticamente un diagrama de bloques con los dos elementos esenciales: sistema de control y planta.<sup>[6]</sup>



*Figura 2.* Elementos esenciales del control de procesos.  
Fuente: [6]

### 3.1.1 Variable controlada.

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla y normalmente, es representada como la salida del sistema.<sup>[6]</sup>

### 3.1.2 Variable manipulada.

La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.<sup>[6]</sup>

### 3.1.3 Perturbaciones.

Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.<sup>[6]</sup>

## 3.2 Adquisición de datos

La adquisición de datos (DAQ, por su significado en inglés data acquisition) es el proceso de medir con una PC, un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con

software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las computadoras estándares en la industria, proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.<sup>[7]</sup>

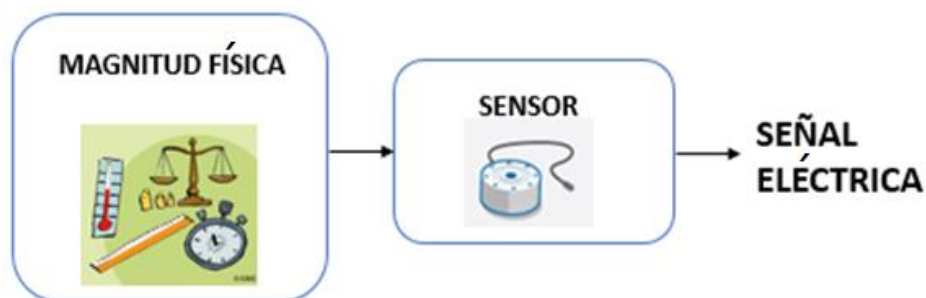


**Figura 3.** Diagrama de funcionamiento DAQ.  
Fuente: [7]

En el caso particular de este proyecto en cuestión, el DAQ utilizado, es un placa Arduino 2560, con Linx de LABVIEW MakerHub.

### 3.2.1 Sensores.

Transforma una magnitud física en una señal eléctrica.



**Figura 4.** Función del sensor.  
Fuente: Autores

Los sensores son los elementos primarios de medición de variables del proceso, siendo algunos usados para lectura e indicación y otros para transformar la variable medida en una señal eléctrica, los más usados en la industria son los de velocidad, nivel, presión, temperatura, flujo, proximidad, tensión, densidad, humedad, color, entre otros. Pueden ser de Contacto, No Contacto, Digital o Analógico.

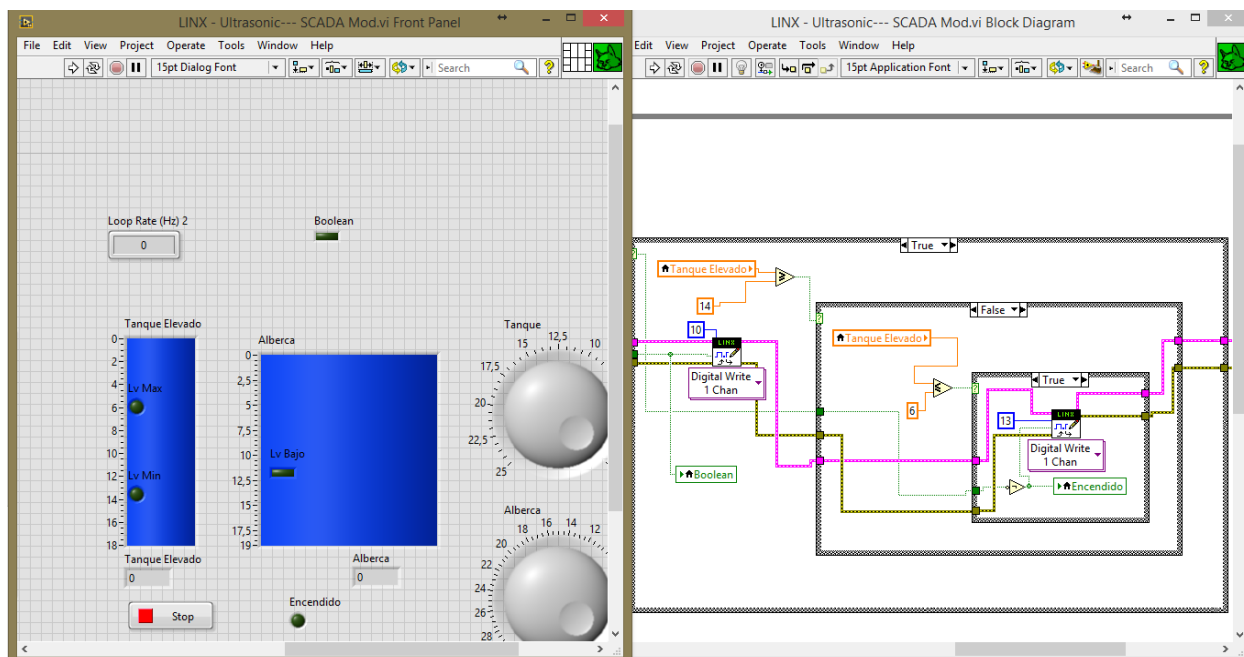
#### **3.2.1.1 Sensores ultrasónicos.**

Estos equipos basan su medición de nivel en un fenómeno mecánico llamado Piezoeléctrico, esto significa que tenemos un cristal que, al ser sometido a un voltaje, este comienza a vibrar emitiendo pulsos, estos son emitidos desde el sensor de nivel y este, a la vez, se transforma en receptor, y el tiempo que demoran en recorrer esa distancia es el equivalente al nivel, o sea la medida de la separación entre el sensor y la superficie a medir.

Dentro de las mediciones por ultrasonido, debemos tener claro si mediremos nivel, eso significa que desde una cota cero para arriba, o espacio, que es desde la superficie del sensor hasta la superficie del material a medir. <sup>[8]</sup>

### **3.3 LabView**

Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, es una plataforma y entorno de desarrollo para un lenguaje de programación visual, llamado lenguaje G, de National Instruments. Los programas desarrollados con LABVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VI, por sus siglas en inglés. Cada VI se compone de dos partes principales: el panel frontal (front panel) o interface con el usuario y el diagrama de bloques (block diagram) o código fuente y una tercera parte el icono y conector (icon and connector). En la figura se muestra en el panel frontal una serie de Switches y su representación en el diagrama de bloques.



**Figura 5.** Panel frontal y diagrama de bloques LABVIEW.  
Fuente: Autores

El panel de control es el interfaz de usuario con el VI, en él tendremos controles de entrada, visualizadores de salida, cuadros de diálogo, etc., mientras que El diagrama de bloques es el código gráfico del VI.

LABVIEW maneja una serie de complementos y herramientas llamadas Toolkits, que permiten agregar bibliotecas de funciones, VI, asistentes interactivos, ejemplos, utilidades y documentación a su instalación de NI LABVIEW, reduciendo de manera efectiva el tiempo requerido para terminar sus tareas. Éstos están disponibles a través de nuevas paletas o entradas de menú en su entorno de desarrollo. Las herramientas de LABVIEW cubren diferentes necesidades, desde herramientas específicas para la industria o aplicación hasta funciones de uso general. <sup>[9]</sup>

### **3.3.1 Módulo LABVIEW datalogging and supervisory control (DSC).**

Este módulo extiende los beneficios de la programación gráfica al desarrollo de aplicaciones SCADA o de registro de datos de gran cantidad de canales. Esta herramienta es utilizada para comunicar controladores lógicos programables (PLCs) y controladores de automatización programables (PACs) convencionales, registrar datos a bases de datos, administrar alarmas y eventos y crear interfaces humano-máquina (HMIs).<sup>[9]</sup>

### **3.3.2 Linx de LABVIEW makerhub.**

Hace más fácil conectarse con plataformas embebidas comunes como chipKIT, Arduino y NI myRIO, así como sensores comunes incluyendo acelerómetros, sensores de temperatura y sensores ultrasónicos de distancia. Una vez que la información está en LABVIEW, usted puede analizarla usando los cientos de bibliotecas integradas de LABVIEW, desarrollar algoritmos para controlar el hardware soportado y presentar sus conclusiones. LINX ofrece firmware para plataformas embebidas comunes que actúan como un motor de E/S y se conecta con VIs de LABVIEW a través de conexión serial, USB, inalámbrica o Ethernet. Esto le ayuda a mover información rápidamente desde un dispositivo embebido como un chipKIT a LABVIEW sin ajustar la comunicación, la sincronización o incluso una sola línea de código C. Al usar la convención común Open, Read/Write, Close en LABVIEW, usted puede tener acceso a las señales digitales, analógicas, PWM, I2C y SPI de varias plataformas embebidas comunes o usar VIs de más alto nivel para controlar sensores y actuadores directamente. LINX es de fuente abierta, así usted puede ahondar y ver cómo funciona LINX o incluso contribuir con el proyecto de LINX.<sup>[10]</sup>



### 3.4 Arduino

Es una plataforma de desarrollo de computación física de código abierto, basada en una placa con un sencillo microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear software (programas) para la placa.

Los proyectos con Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con un programa (software) que se ejecute en tu ordenador. Puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente. <sup>[11]</sup>

Arduino Mega 2560 es una versión ampliada de la tarjeta original de Arduino y está basada en el microcontrolador Atmega2560. Dispone de 54 entradas/salidas digitales, 14 de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM (modulación de anchura de pulso). Además dispone de 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas series), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un pulsador para el reset. Las características principales son:

- Microprocesador ATmega2560
- Tensión de alimentación (recomendado) 7-12V
- Integra regulación y estabilización de +5Vcc
- 54 líneas de Entradas/Salidas Digitales (14 de ellas se pueden utilizar como salidas PWM)
- 16 Entradas Analógicas
- Máxima corriente continua para las entradas: 40 mA
- Salida de alimentación a 3.3V con 50 mA
- Memoria de programa de 256Kb (el bootloader ocupa 8Kb)
- Memoria SRAM de 8Kb para datos y variables del programa

- Memoria EEPROM para datos y variables no volátiles
- Velocidad del reloj de trabajo de 16MHz
- Reducidas dimensiones de 100 x 50 mm<sup>[12]</sup>

### 3.5 Sistema SCADA

Damos el nombre de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo. Se trata de una utilidad, software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión a un nivel superior.

Los objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada son los siguientes:

- Funcionalidad completa de manejo y visualización en sistema operativo Windows sobre cualquier PC estándar.
- Arquitectura abierta que permita combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario, que permitan a los integradores crear soluciones de mando y supervisión optimizadas (ActiveX para ampliación de prestaciones, OPC para comunicaciones con terceros, OLE-DB para comunicación con bases de datos, lenguaje estándar integrado como VB o C, acceso a funciones y datos mediante API).
- Sencillez de instalación, sin exigencias de hardware elevadas, fáciles de utilizar, y con interfaces amigables con el usuario.
- Permitir la integración con las herramientas ofimáticas y de producción.
- Fácilmente configurable y escalable, debe ser capaz de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.

- Ser independiente del sector y la tecnología.
- Funciones de mando y supervisión integradas.
- Comunicaciones flexibles para poder comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).

La topología de un sistema SCADA (su distribución física) variará adecuándose a las características de cada aplicación. Los sistemas SCADA se conciben principalmente como una herramienta de supervisión y mando. Entre sus objetivos podemos destacar:

#### **3.5.1 Economía**

Es más fácil ver que ocurre en la instalación desde la oficina que enviar a un operario a realizar la tarea. Ciertas revisiones se convertirán en innecesarias.

#### **3.5.2 Accesibilidad**

Un parque eólico al completo (velocidad de cada rotor, producción de electricidad), lo tenemos en un clic de ratón encima de la mesa de trabajo. Será posible modificar los parámetros de funcionamiento de cada aerogenerador, poniendo fuera de servicio los que den indicios de anomalías; consultar el estado de las estaciones transformadoras del parque, detener los molinos que no sean necesarios, etc.

#### **3.5.3 Mantenimiento**

La adquisición de datos materializa la posibilidad de obtener datos de un proceso, almacenarlos y presentarlos de manera inteligible para un usuario no especializado. La misma aplicación se puede programar de manera que nos avise cuando se aproximen las fechas de revisión o cuando una máquina tenga más fallos de los considerados normales.

### **3.5.4 Ergonomía**

Es la ciencia que procura hacer que la relación entre el usuario y el proceso sea lo menos tirante posible. Los modernos ordenadores, con sus prestaciones gráficas, intentan sustituir a los grandes paneles, repletos de cables, pilotos y demás aparellaje informativo.

### **3.5.5 Gestión**

Todos los datos recopilados pueden ser valorados de múltiples maneras mediante herramientas estadísticas, gráficas, valores tabulados, etc., que permitan explotar el sistema con el mejor rendimiento posible.

### **3.5.6 Flexibilidad**

Cualquier modificación de alguna de las características del sistema de visualización (añadir el estado de un contador de piezas, realizar algún cálculo) no significa un gasto en tiempo y medios, pues no hay modificaciones físicas que requieran la instalación de un cableado o del contador.

### **3.5.7 Conectividad**

Se buscan sistemas abiertos, es decir, sin secretos ni sorpresas para el integrador. La documentación de los protocolos de comunicación actuales permite la interconexión de sistemas de diferentes proveedores y evita la existencia de lagunas informativas que puedan causar fallos en el funcionamiento o en la seguridad.

Todos los sistemas, de mayor o menor complejidad, orientados a lo anteriormente dicho, aparecen bajo uno de los nombres más habituales para definir esta relación:

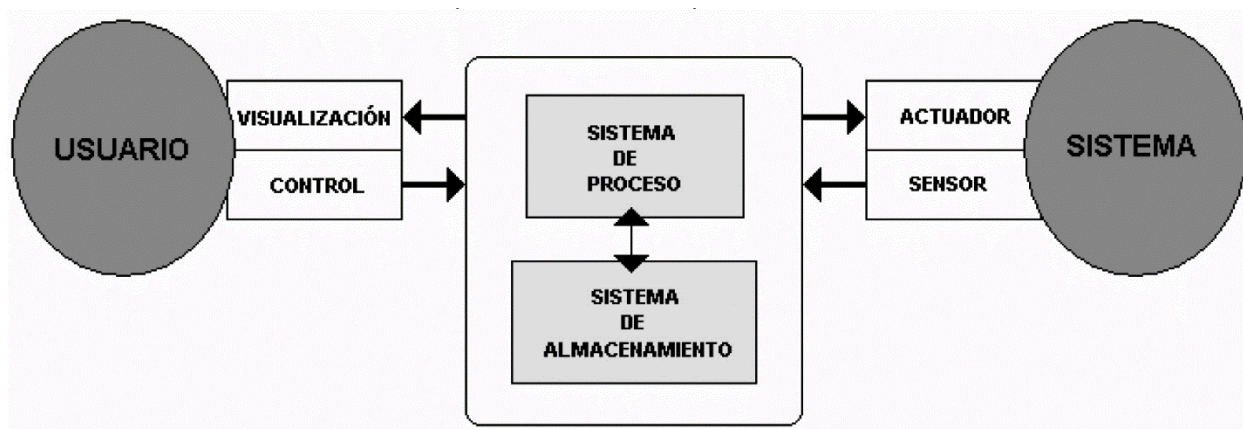
- MMI: Man Machine Interface, Interfaz Hombre-Máquina.
- HMI: Human Machine Interface, Interfaz Humano-Máquina.

El sistema a controlar aparece ante el usuario bajo un número más o menos elevado de pantallas con mayor o menor información. Podemos encontrar planos, fotografías, esquemas eléctricos, gráficos de tendencias, etc. <sup>[13]</sup>

### 3.5.8 Arquitectura general de un sistema SCADA.

Las primeras incursiones informáticas en el campo de la automatización localizaban todo el control en el PC y tendían progresivamente a la distribución del control en planta. De esta manera, el sistema queda dividido en tres bloques principales:

- Software de adquisición de datos y control (SCADA).
- Sistemas de adquisición y mando (sensores y actuadores).
- Sistema de interconexión (comunicaciones).

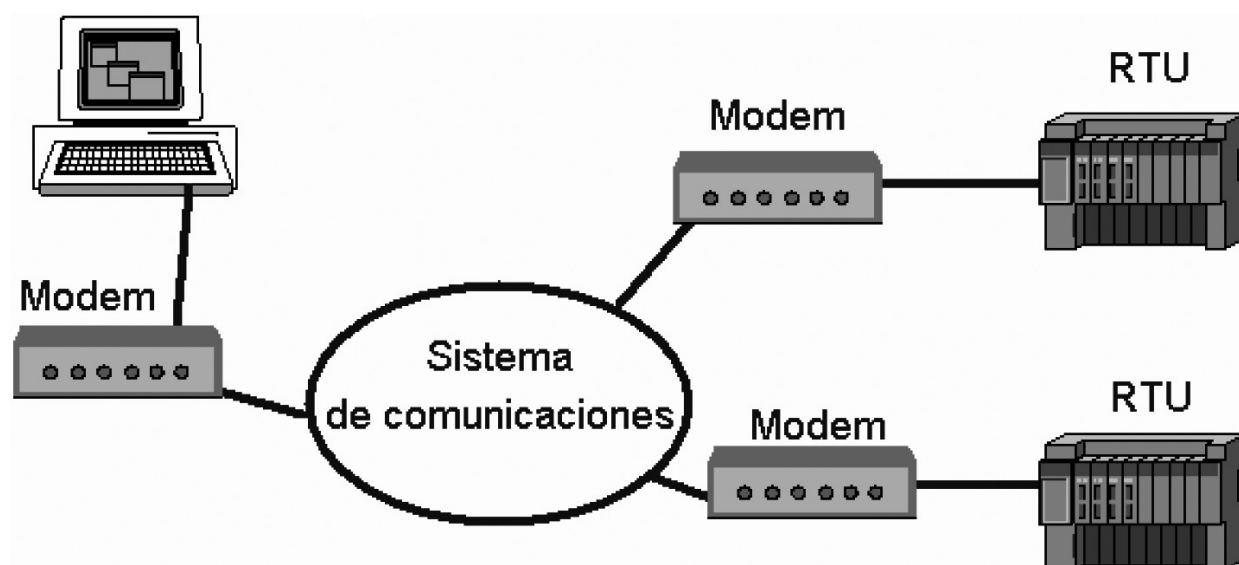


**Figura 6.** Sistema SCADA, arquitectura básica.  
Fuente: [13]

El usuario, mediante herramientas de visualización y control, tiene acceso al Sistema de Control de Proceso, generalmente un ordenador, donde reside la aplicación de control y supervisión (se trata de un sistema servidor). La comunicación entre estos dos sistemas se suele realizar a través de redes de comunicaciones corporativas (Ethernet). El Sistema de Proceso capta el estado del Sistema a través de los elementos sensores e informa al usuario a través de las

herramientas HMI. Basándose en los comandos ejecutados por el usuario, el Sistema de Proceso inicia las acciones pertinentes para mantener el control del Sistema a través de los elementos actuadores. La transmisión de los datos entre el Sistema de Proceso y los elementos de campo (sensores y actuadores) se lleva a cabo mediante los denominados Buses de Campo. La tendencia actual es englobar los sistemas de comunicación en una base común, como Ethernet Industrial. Toda la información generada durante la ejecución de las tareas de supervisión y control se almacena para disponer de los datos a posterioridad.

Un sistema SCADA es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, que proporciona comunicación entre los dispositivos de campo, llamados también RTU (Remote Terminal Units o Unidades Remotas), donde se pueden encontrar elementos tales como controladores autónomos o autómatas programables y un centro de control o Unidad Central (MTU, Master Terminal Unit), donde se controla el proceso de forma automática desde la pantalla de uno o varios ordenadores.



*Figura 7.* Idea básica de sistema SCADA.  
Fuente: [13]

La estructura funcional de un sistema de visualización y adquisición de datos, obedece generalmente a la estructura Maestro-Esclavo. La estación central (el maestro o master) se comunica con el resto de estaciones (esclavos o slaves) requiriendo de estas una serie de acciones o datos. <sup>[13]</sup>

### **3.6 Bomba**

Son generadores hidráulicos que absorben energía mecánica en el eje y proporcionan energía hidráulica a un líquido que bombean por una tubería (con accesorios). Su aplicación es muy diversa, para la impulsión de toda clase de líquidos. Se pueden considerar dos grandes grupos: Bombas Dinámicas (Centrífugas, Periféricas y Especiales) y Bombas de Desplazamiento Positivo (Reciprocantes y Rotatorias). En general actúan en dos fases:

#### **3.6.1 Aspiración**

Elevando el líquido desde su nivel hasta la bomba, por medio de la tubería de aspiración. La bomba ejerce un vacío con el fin de que el líquido pueda subir por la tubería de aspiración impulsada por la presión atmosférica.

#### **3.6.2 Impulsión.**

Conducción del líquido desde la bomba hasta su destino, por medio de la tubería de impulsión. En esta fase la bomba ejerce la presión necesaria para que el líquido se traslade a lo largo de la tubería. <sup>[14]</sup>

#### **4 Justificación**

Para la Universidad del Magdalena, para la región y demás instituciones en general es necesario que los ingenieros electrónicos egresados presenten destrezas y competencias desarrolladas en el área de la automatización y control de procesos, para lo cual deben utilizar sus conocimientos teóricos en el desarrollo y elaboración de propuestas que finalmente se implementen para el mejoramiento de un sistema determinado, interactuando con las variables necesarias para realizar el control de cualquier proceso en forma óptima, aspecto que ha motivado el desarrollo del presente proyecto.

En la actualidad las corrientes de la educación van enfocadas a que el estudiante sea elemento activo de su proceso de formación, es decir, se requiere que el joven sea investigador y muy creativo, pero la ausencia de un laboratorio de control y automatización de procesos en la universidad contribuye a que el estudiante adquiera las nociones y conocimientos elementales pero no aplique de forma interactiva y pueda desarrollar sus habilidades en esta área de manera efectiva, práctica y extensa.

El presente proyecto propone el diseño y la implementación de un módulo didáctico para el control del nivel de agua en dos tanques, con el cual se pretende afianzar los conocimientos adquiridos en algunas asignaturas brindadas por el programa, las cuales no cuentan con un laboratorio físico en el campus, como son: Electrónica industrial y Automatización y control. Además del módulo físico, también se plantea el desarrollo de un sistema de seguimiento remoto del funcionamiento de los procesos presentados en la ejecución del proyecto, denominado sistema SCADA, en el cual se monitoreen en una escala de tiempo real, la variable de proceso, es



decir, el nivel del líquido y de esta manera, obtener siempre información precisa, detallada y certera del estado del sistema en general.

Se busca además, que a través de este módulo didáctico, el estudiante inicie el desarrollo y crecimiento del espíritu investigativo y aplicativos del conocimiento teórico, mediante la interacción y utilización de herramientas reales, y con esta metodología, forjar el comienzo de un avance significativo en cuanto a la evolución, crecimiento y progreso del laboratorio de procesamiento de señales de la Universidad del Magdalena; De la misma manera, servirá como precursor para futuras implementaciones de módulos complementarios a este prototipo.

Por último, este proyecto es una solución al control de agua en los hogares samarios, pues actualmente la mayoría de hogares de la ciudad no cuentan con un sistema para visualizar los niveles de agua en la alberca subterránea o el tanque elevado, por lo cual muchas veces estos lugares de abastecimiento se secan y no es posible saberlo, llevando esto a que la motobomba trabaje forzada y finalmente deje de funcionar.

## 5 Objetivos

### 5.1 General

Diseñar e implementar un módulo didáctico para controlar el nivel de agua en dos tanques, en el laboratorio de procesamiento de señales de la Universidad del Magdalena.

### 5.2 Específicos

- Hacer un prototipo a escala del módulo de laboratorio.
- Utilizar una herramienta computacional, como LABVIEW para el diseño del sistema SCADA, donde se visualicen los niveles de agua en los dos tanques.
- Controlar manualmente el encendido y apagado de las válvulas y la electrobomba en caso de que el sistema falle.
- Hacer uso sistemático de un modelo matemático determinado para analizar, entender y verificar el comportamiento de la variable de nivel en el funcionamiento del módulo didáctico.
- Permitir al estudiante la realización de prácticas, a través de la solución de situaciones planteadas en guías académicas para el control de nivel de líquido en los depósitos.

## **6      Diseño metodológico**

El presente proyecto se implementó en el laboratorio de procesamiento de señales de la Universidad del Magdalena enfocado a los estudiantes de las asignaturas de electrónica industrial y control y automatización de procesos, pues estos pueden usar el sistema y manipular las variables de tal forma, que realicen un control de nivel automatizado y así, vincularlo a las teorías adquiridas en clases. Este módulo es un diseño de un sistema de control de nivel de agua en dos depósitos, uno principal y uno secundario, el cual se planteó como una herramienta donde los estudiantes puedan consolidar sus conocimientos a través del desarrollo de guías prácticas en las asignaturas de electrónica industrial y control y automatización de procesos. El desarrollo de este proyecto estuvo dividido en etapas que contribuyeron a su culminación satisfactoria y estas se presentan de la siguiente forma:

### **6.1    Diseño del prototipo**

Recolección de información mediante observación directa y análisis de documentos (digitales, físicos, páginas en internet específicas). Esta etapa tuvo como objetivo conocer antecedentes del proyecto para así mejorar la idea inicial que se tuvo y así implementar y dar una mejor solución al problema que se abordó. En este caso se consultaron tesis publicadas en internet e impresas de la universidad y documentos con los cuales se fortalecieron los conceptos para el desarrollo del módulo y además, sirvieron como soporte para realizar una mejor selección de los dispositivos y componentes utilizados en el sistema, los cuales se describen a continuación:

#### **6.1.1    Sensores de ultrasonido HC-SR04**

Para tomar las mediciones de nivel de agua en base a longitudes, desde el líquido hasta el lugar de ubicación del sensor.

### **6.1.2 Arduino Mega 2560**

Esta tarjeta es usada para la adquisición de datos de los sensores, además para el control de los dispositivos finales tales como electrobombas, electroválvulas y alarmas de nivel de agua.

### **6.1.3 Electrobombas 12VDC**

Este equipo se utiliza para subir el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque elevado, así mismo es usada para enviarles agua a los consumidores, debido a que las electroválvulas necesitan una presión adecuada para dejar pasar el agua.

### **6.1.4 Electroválvulas**

Cada una de estas representa un consumidor final en el sistema, son dispositivos que se activan a 12VDC.

### **6.1.5 Caudalímetro**

Este dispositivo se utiliza para medir la cantidad de líquido que necesitan los consumidores y como elemento preventivo en caso de la existencia de un fallo en las electroválvulas.

### **6.1.6 Acrílico**

Material con el que se construyeron los tanques. Se escogió por su resistencia, practicidad, presentación y economía para desarrollar el proyecto.

Una vez seleccionados todos los componentes se procedió a la construcción del módulo, es decir, se elaboraron los tanques y la estructura de madera con las medidas específicas, se instalaron los sensores, electroválvulas, electrobombas, caudalímetros, fuentes de alimentación y se realizaron las conexiones, así mismo se conectó la placa Arduino como tarjeta de adquisición de datos.

## 6.2 Software LABVIEW

En esta herramienta está diseñado el sistema SCADA, con el cual se supervisa y controla el funcionamiento del módulo; en él están programadas las condiciones de trabajo de todo el sistema.

La interfaz no tendrá valores fijos, es decir, los estudiantes podrán utilizar sus propios valores de niveles de agua, respetando el nivel máximo del tanque elevado que es de 28 cm, de tal forma que se pueda observar el comportamiento del sistema. También cuenta con indicadores visuales en caso de que el sistema no cumpla con las condiciones normales de funcionamiento.

## 6.3 Control manual del sistema

La implementación de esta etapa se realizó en caso de que los operadores requieran la manipulación de la variable de nivel de forma directa y cuando el sistema presente lecturas erróneas en los sensores ultrasónicos.

## 6.4 Modelo matemático

Basado en el sistema dinámico del tanque de distribución y el tanque elevado, se obtuvieron dos ecuaciones con las cuales se puede modelar el comportamiento de los niveles (alturas  $h_1(t)$  y  $h_2(t)$ ), con relación a los caudales respectivos de entrada más las variaciones obtenidas por parámetros de ajustes y dimensiones a las que haya lugar en el módulo, de tal manera, que en estas se puedan verificar todas las variables que intervienen en el proceso de nivel para los dos tanques. A continuación se muestran las ecuaciones:

Ecuación para el tanque de distribución:

$$q_1(t) - 2,6354 = 7,48 A_1 \cdot \frac{dh_1(t)}{dt}$$

Ecuación para el depósito principal (alberca):

$$2,6354 - q_2(t) = 7,48 A_2 \cdot \frac{dh_2(t)}{dt}$$

### **6.5 Diseño de guías prácticas**

Se elaboró guía práctica de estudio con todas las condiciones de funcionamiento del módulo, en donde el estudiante puede verificar el comportamiento de la variable nivel, en situaciones específicas y establecer condiciones de operación según sea el caso, pasando de control manual a control automático y viceversa.

### **6.6 Pruebas y resultados**

En esta etapa se realizaron las pruebas para verificar el funcionamiento de todo el sistema, es decir, sistema SCADA y modulo físico. Además se desarrolló el informe final con los resultados obtenidos, dando mayor importancia a la interpretación y análisis de estos, derivados del funcionamiento del sistema.

## 7 Alcance y limitaciones

Este proyecto está fundamentado en una investigación descriptiva, puesto que requiere seguimiento cada uno de los parámetros a utilizar, para así llegar a un análisis de resultados que posteriormente llevará al diseño y la implementación de un módulo didáctico para controlar el nivel de un líquido (Agua) en dos tanques, en el laboratorio de procesamiento de señales de la Universidad del Magdalena.

Como limitaciones se tienen:

- El modulo será diseñado a pequeña escala debido a que no se cuenta con el presupuesto para hacerlo a una escala mayor.
- No se cuenta con una versión ejecutable estándar del software LABVIEW, debe hacerse una conexión estilo firmware, para el acople de la tarjeta de adquisición de datos.
- Cuando el LABVIEW se actualice, es necesario actualizar la versión del firmware a utilizar.

Alcances del proyecto:

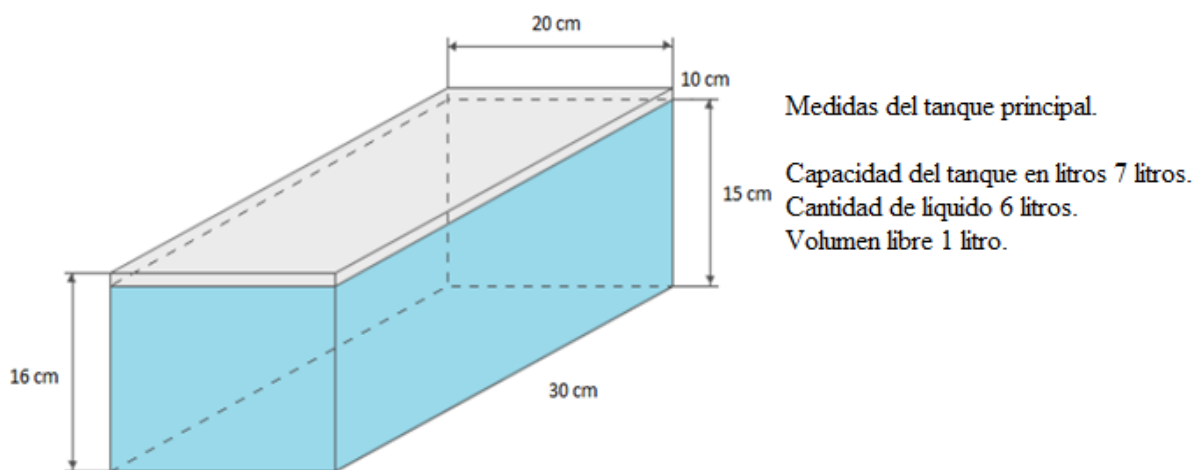
- Se le puede agregar un módulo de reporte de consumo de agua, para conocer el gasto del líquido durante cierto tiempo.
- Se podría adaptar un sistema que detecte cuando hay fuga en el tanque elevado.
- Adaptar un sistema de protección contra algunos fallos humanos, por ejemplo cuando una persona deje abierta una válvula de consumo durante mucho tiempo seguido.

## 8 Desarrollo del trabajo

El proyecto de grado consta de diferentes procedimientos, en los cuales se ejecutan las condiciones del sistema. La implementación consta de un depósito principal (alberca), el cual es llenado externamente y es el encargado de abastecer todo el sistema de agua. También cuenta con un tanque de distribución, que es el encargado de racionar el agua hacia los consumidores conectados al sistema.

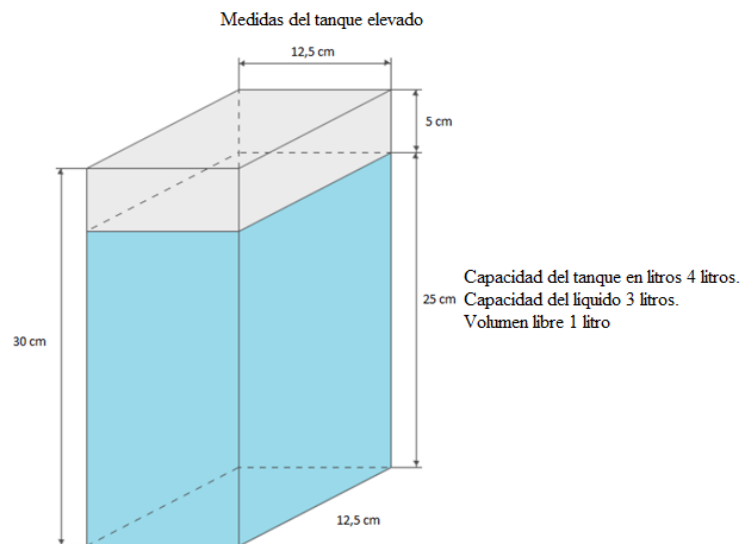
### 8.1 Hacer un prototipo a escala del módulo de laboratorio.

El módulo cuenta con un depósito y un tanque elevado, además de electrobombas, electroválvulas, sensores y otros dispositivos para su funcionamiento. En cuanto al diseño de los tanques que representan el depósito principal y tanque elevado, se tomaron como referencias medidas arbitrarias de los mismos, siempre sujetas al volumen deseado en cada uno. Para el diseño del depósito principal se fijó una capacidad de nueve litros total almacenada y para el tanque de distribución, una de tres litros, especificadas con las siguientes medidas mostradas en las figura 8 y 9, respectivamente:



**Figura 8.** Diseño del depósito o Tanque principal.  
 Fuente: Autores.





**Figura 9.** Diseño del tanque de distribución.  
 Fuente: Autores.

Este diseño fue pensado para que el depósito principal almacenara por lo menos, dos veces la cantidad del tanque de distribución, garantizando que el tanque elevado siempre pueda suministrar agua a los consumidores, sin que el sistema quede sin abastecimiento. Finalmente se diseñó e implementó una estructura en madera, para fijar los tanques y todas las conexiones del módulo, como se muestra en la figura 10:



**Figura 10.** Estructura de soporte en madera.  
 Fuente: Autores

## 8.2 Diseñar un sistema SCADA para la visualización del nivel de agua en dos tanques.

El objetivo de esta implementación, es mostrar en el software las partes esenciales del proyecto, como se observa en la figura 11:



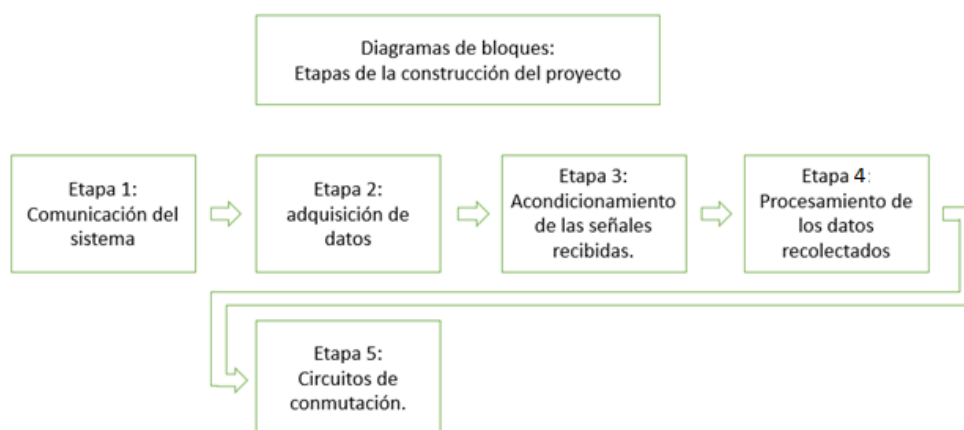
**Figura 11.** Interfaz gráfica para visualización y control de sistema.  
Fuente: Autores

### 8.2.1 Módulo LINX de LABVIEW Makerhub

Es una herramienta que sirve para conectar plataformas embebidas comunes como chipKIT, Arduino y NI myRIO, así como sensores comunes incluyendo acelerómetros, sensores de temperatura y sensores ultrasónicos de distancia. Ofrece firmware que actúan como un motor de E/S y se conecta con VIs de LABVIEW a través de conexión serial, USB, inalámbrica o Ethernet. Esto le ayuda a mover información rápidamente desde un dispositivo embebido a LABVIEW sin ajustar la comunicación, la sincronización o incluso una sola línea de código C. Al usar la convención común Open, Read/Write, Close en LABVIEW, usted puede tener acceso a las señales digitales, analógicas, PWM, I2C y SPI de varias plataformas embebidas comunes o usar VIs de más alto nivel para controlar sensores y actuadores directamente.

### 8.2.2 Código

El código utilizado en la etapa es explicado en el siguiente diagrama de bloques, presentado en la figura 12:



**Figura 12.** Diagrama de bloques del sistema.  
Fuente: Autores.

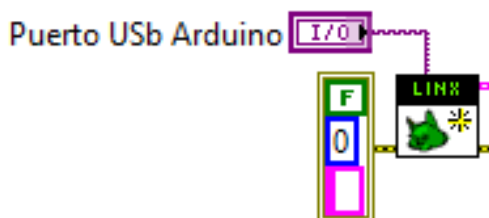
#### 8.2.2.1 Etapa 1. Comunicación del sistema.

En esta etapa se establece la comunicación serial entre el hardware y el software del proyecto.



**Figura 13.** Módulo Linx para Cargar Firmware.  
Fuente: Autores.

Se define el puerto que se utiliza, se carga el *firmware* al Arduino y se verifica la comunicación entre LABVIEW y la tarjeta de adquisición. El VI utilizado en el código para la comunicación serial es el siguiente:

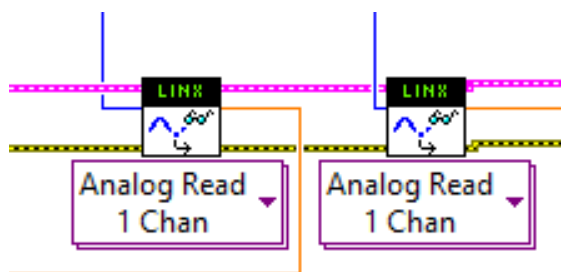


**Figura 14.** VI Comunicación serial.  
Fuente: Autores.

#### 8.2.2.2 Etapa 2. Adquisición de datos.

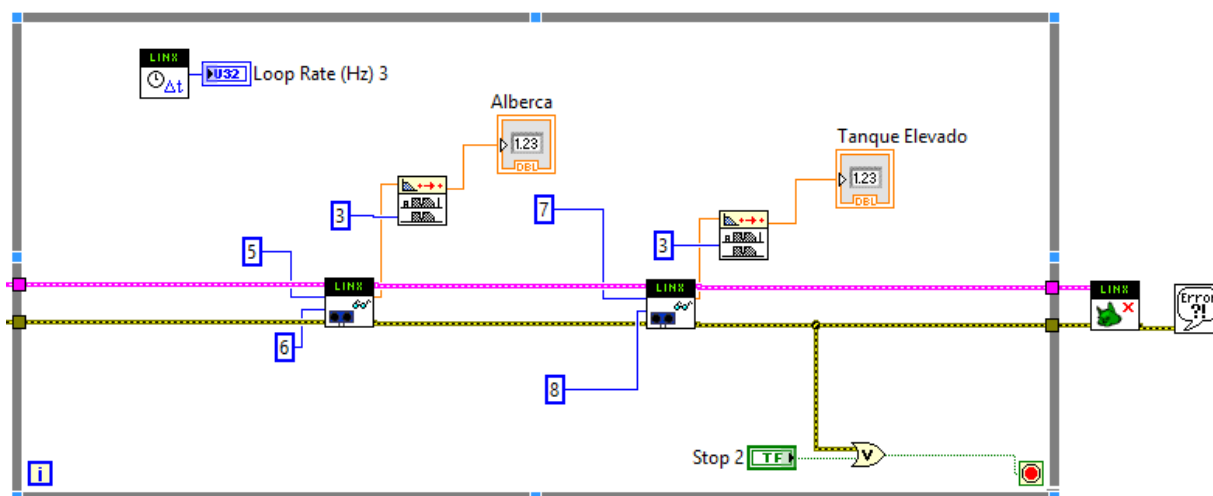
En esta etapa se ha utilizado como tarjeta de adquisición, un Arduino Mega2560 el cual se encuentra distribuido de la siguiente forma:

Dos puertos análogos asignados como entrada de datos que representan los consumidores. Estos están conectados a dos pulsadores que envían señales análogas que activan puertos digitales destinados a las electroválvulas. Esta herramienta llamada *Analog Read 1 Chan*, sirve para leer el puerto que se está utilizando.



**Figura 15.** VI Lectura puerto análogo.  
Fuente: Autores.

La medición del nivel de agua almacenada en los depósitos, se realizó a través de sensores ultrasónicos HC-SR04. Estos utilizan dos puertos del Arduino respectivamente, más una alimentación de 5 voltios.

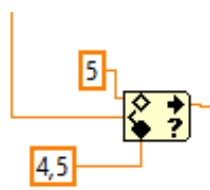


**Figura 16.** Ciclo para lectura de los sensores.  
Fuente: Autores.

Cada módulo LINX representa un sensor y en estos se definen los puertos a los que van conectados los pines de transmisión y recepción de cada uno de ellos. La salida se envía a un filtro para mejorar la lectura tomada.

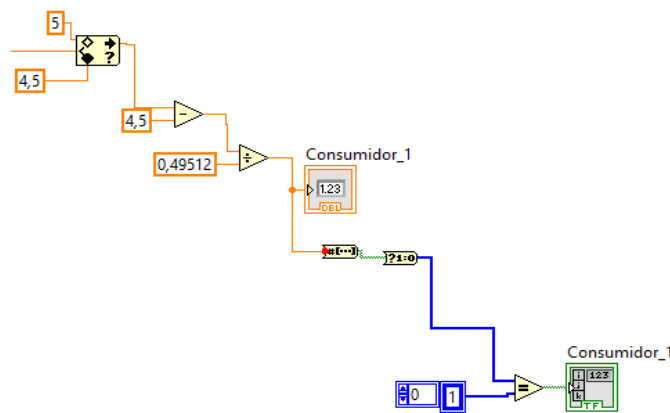
### 8.2.2.3 Etapa 3. Acondicionamiento de las señales recibidas.

Una vez recibida la señal analógica, nos encontramos con una señal que contiene mucho ruido con valores que oscilan entre 1,640 y 3,666 por lo que se hizo necesaria la utilización del VI “*In range and Coerce*” para limpiar la señal.



**Figura 17.** VI in range and coerce.  
Fuente: Autores.

Cuando la señal recibida se encuentra entre rango de valores de 4,5 a 5, el VI automáticamente asigna un valor al puerto de 5 voltios. Cuando se encuentra por debajo de este rango, asigna un valor de 0 voltios al puerto. Como de la señal nada más se necesitan dos estados lógicos, se hace un arreglo para adaptar las señales, el cual consiste en restar el valor mínimo (4,5) del rango y dividir el valor obtenido entre sí mismo. De esta manera se aseguran los dos estados lógicos necesarios para la activación de los puertos y electroválvulas.



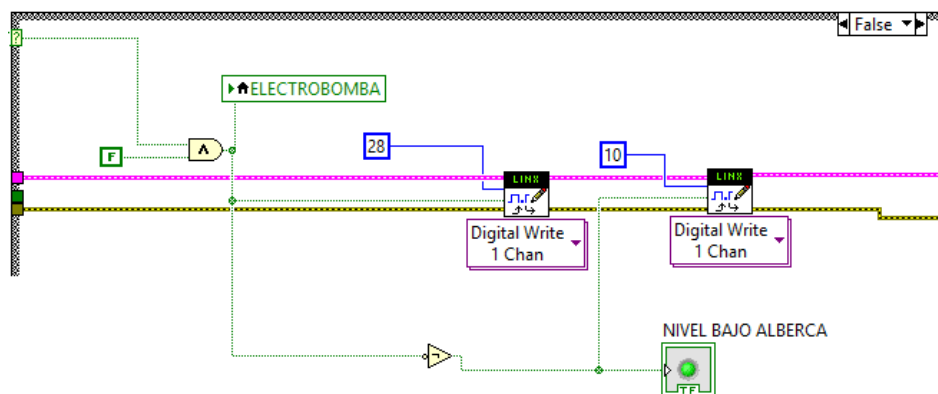
**Figura 18.** Diagrama para ajuste de estados.  
Fuente: Autores.

#### 8.2.2.4 Etapa 4. Procesamiento de los datos recolectados.

El procesamiento de datos está sujeto a las siguientes condiciones mostradas a continuación:

##### 8.2.2.4.1 Condición uno.

Cuando el depósito principal se encuentra en el nivel mínimo, se emite una alarma que informa que no se podrá ejecutar el proceso de llenado del tanque de distribución.



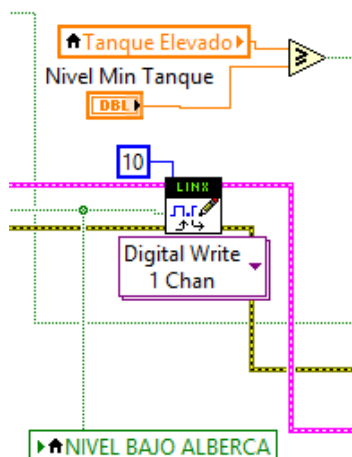
**Figura 1920.** Configuración de pines.

Fuente: Autores.

La electrobomba principal, que se encarga de enviar agua desde el depósito principal al resto de la planta, conectada al pin 28 del Arduino, se activa cuando este tiene agua suficiente para hacerlo, por tanto, se ha creado la condición que hace que esta se desactive cuando éste depósito se encuentre en su nivel mínimo de agua, comparando la señal de entrada y asignándole un dato lógico (False); simultáneamente activa la alarma, conectada al pin 10 de la placa, que da aviso de la situación.

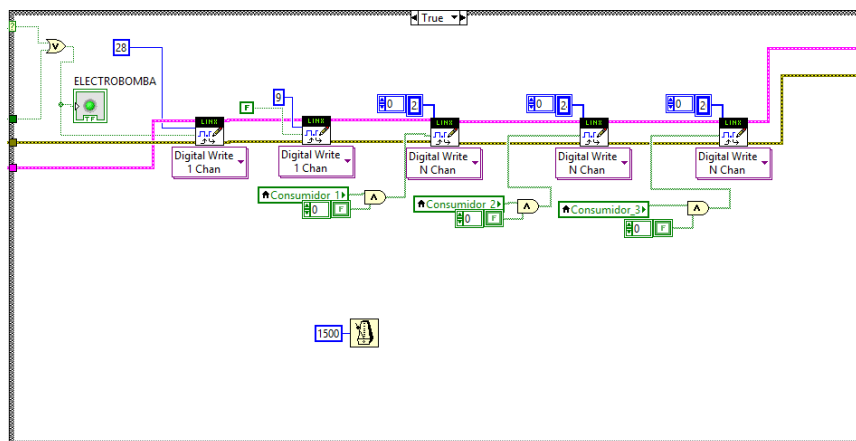
#### 8.2.2.4.2 Condición dos.

Cuando el tanque de distribución se encuentra en su estado de reserva o desocupado y el depósito principal contiene una cantidad suficiente agua, se activa automáticamente la electrobomba, que ejecuta el llenado del tanque de distribución. La alarma correspondiente a este depósito, se emite con un mensaje que informa al sistema el estado del tanque y este inmediatamente comienza el llenado este depósito para poder ejecutar el proceso de distribución agua a los consumidores. Cuando se cumple la condición, inmediatamente se apaga la alarma asignando un cero al pin 10 del Arduino.



**Figura 21.** Condiciones de estado de nivel.  
Fuente: Autores.

Luego, se activa la electrobomba principal para realizar el llenado del tanque de distribución. Se asigna un cero a los pines 9, 22, 23 y 24 del Arduino. El Pin 9 representa la electrobomba que genera la presión suficiente a las electroválvulas para que el agua pueda circular con mayor fuerza sobre ellas; los pines restantes, representan las válvulas que envían el agua a los consumidores. Esto se hace con el fin de desactivar estas válvulas y garantizar que no se pueda racionar agua hasta el tanque de distribución se encuentre en condiciones de hacerlo.

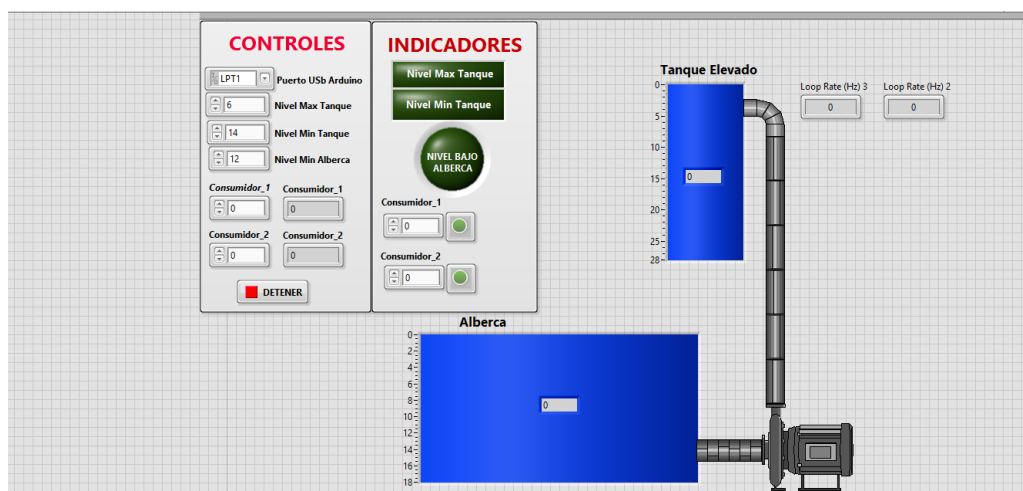


**Figura 22.** Representación esquemática de los consumidores y pines asignados.  
Fuente: Autores.



#### 8.2.2.4.3 Condición tres.

El sistema de control remoto (SCADA) se diseñó e implementó en el software LABVIEW. En la interfaz del sistema se monitorea siempre el nivel de agua almacenada tanto en el depósito principal y el tanque de distribución, con el fin de tener información acerca del estado del nivel y simultáneamente, se ejecutan las acciones pertinentes de abastecimiento y distribución en cada caso.



**Figura 232.** Diagrama del montaje en LABVIEW.  
Fuente: Autores.

- *Controles.*

Establecen las condiciones de nivel del tanque de distribución y nivel mínimo del depósito principal (alberca), además, el puerto USB en el que está conectado el Arduino y se asignan las entradas de los pulsadores para habilitar los consumidores del sistema.



**Figura 243.** Controles para ajuste de nivel de líquidos.  
Fuente: Autores.

- *Indicadores.*

Son las alarmas que informan los estados del nivel de los tanques, e indican cuando un consumidor está solicitando agua.

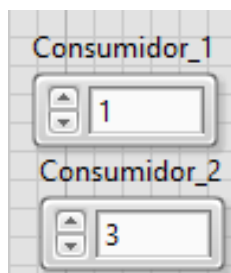


**Figura 254.** Indicadores de estado del nivel de los depósitos.  
Fuente: Autores.

- *Consumidores.*

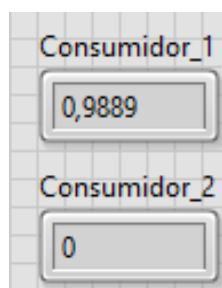
Es el número del puerto donde se encuentran conectados los pulsadores que cumplen la función de activar la electrobomba correspondiente al usuario que representa y que le raciona la cantidad de agua sujeta a la condición del estado del agua del nivel del tanque. En la figura 25, se

aprecia que el *consumidor\_1*, representado por el indicador blanco, se encuentra conectado al *puerto 1*, y el *consumidor\_2*, se encuentra conectado al *puerto 3* del Arduino, respectivamente.



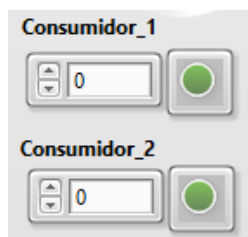
**Figura 265.** Diagrama de los puertos asignados a los consumidores.  
Fuente: Autores.

El siguiente indicador del *consumidor\_1*, representado por el indicador gris, muestra el voltaje enviado en el pulso.



**Figura 276.** Diagrama del voltaje del pulso.  
Fuente: Autores.

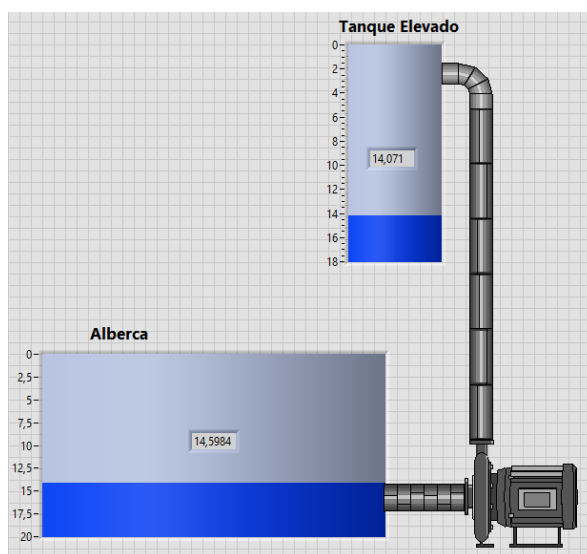
Finalmente, el *consumidor\_1*, representado con el led, indica cuándo el consumidor se encuentra solicitando agua, condicionado por el estado del nivel del agua almacenada en los depósitos.



**Figura 287.** Representación de la actividad de los consumidores.  
Fuente: Autores.

- *Depósitos de albergue de agua*

Son la representación de tanques dispuestos para almacenar el agua y los que condicionan el sistema. En la figura 28 se aprecia la conexión entre los depósitos.



**Figura 298.** Diagrama de los depósitos.  
Fuente: Autores.

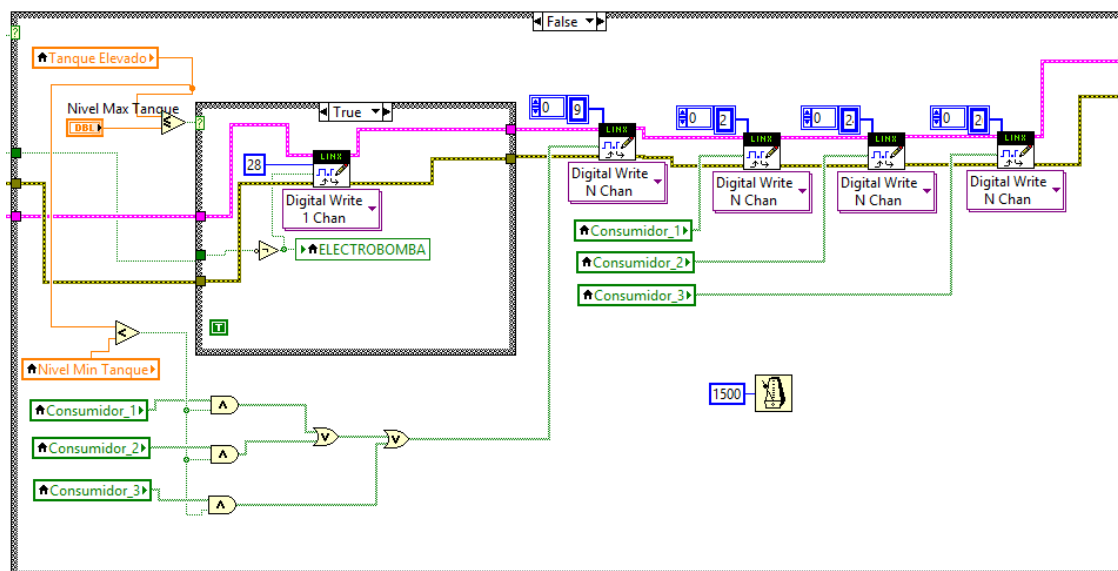
El depósito principal se encuentra representado por el tanque llamado *alberca* en la figura 28 y el tanque de distribución representado por el tanque llamado *tanque elevado*.

#### 8.2.2.4.4 Condición cuadro.

Cuando algún consumidor solicita agua, automáticamente la válvula correspondiente se abre para conducir el agua:

- a) Si el consumidor 1 necesita agua, se abre la válvula número 1.
- b) Si el consumidor 2 necesita agua, se abre la válvula número 2.

Cuando el tanque de distribución sale del nivel mínimo, los condicionamientos anteriores se cumplen a cabalidad y además, la electrobomba secundaria (la que brinda la presión a las electroválvulas) se habilita para que cualquiera de los consumidores pueda abastecerse de agua.



**Figura 309.** Diagrama de condiciones de funcionamiento.  
Fuente: Autores.

#### 8.2.2.4.5 Condición cinco.

El punto anterior lleva a cabo si y solo si el tanque de distribución cuenta con la cantidad de agua.

#### 8.2.2.4.6 Condición seis.

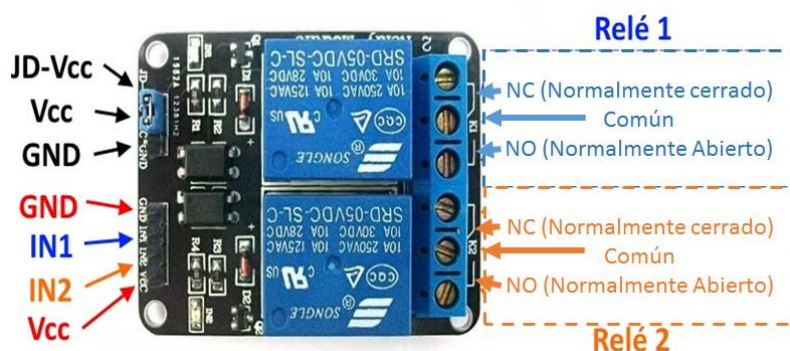
Los consumidores pueden pedir agua simultáneamente.

#### 8.2.2.4.7 Condición siete.

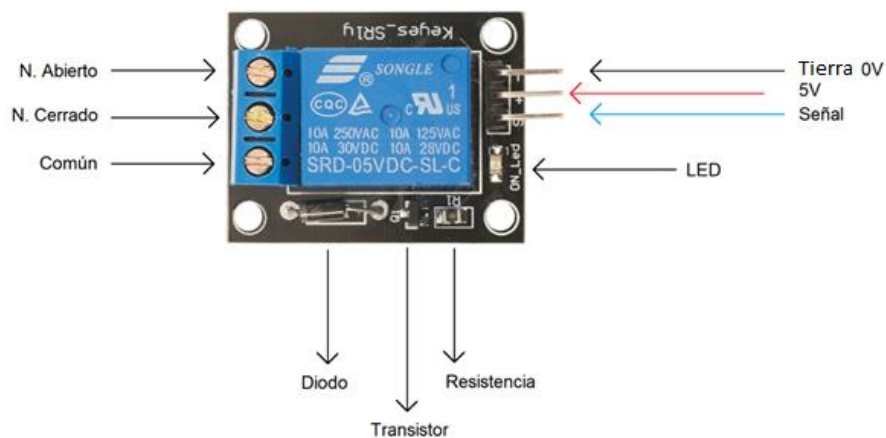
En caso tal de que el sistema en su estado automático falle, se procederá a la manipulación de toda la planta en modo manual, en donde el operario controlará el proceso de manera directa por medio de un circuito externo.

#### 8.2.2.5 Etapa 5. Circuitos de conmutación.

El desarrollo de esta etapa se ha realizado con módulos relés para Arduino, para activar las cargas.



**Figura 310.** Relé doble: Conmuta los estados de las electrobombas.  
Fuente: Autores.

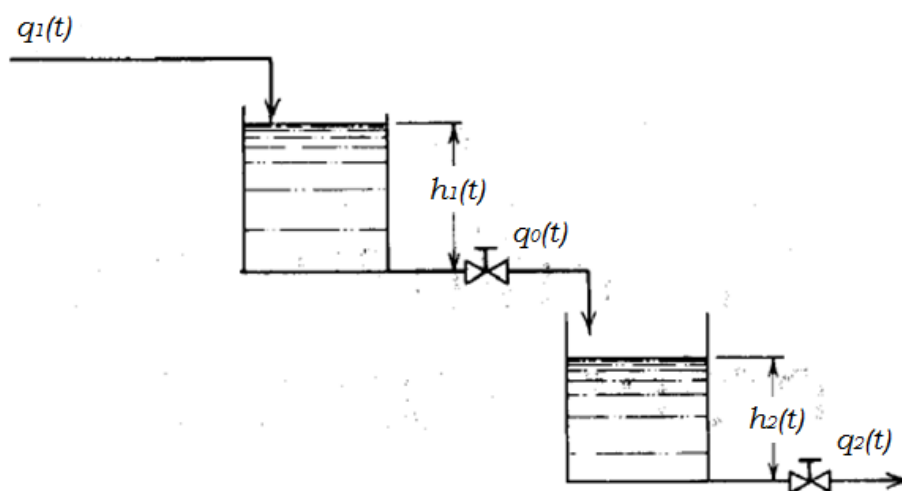


**Figura 321.** Relé simple: Conmuta los estados de los usuarios.  
Fuente: Autores.

### 8.2.2.6 Etapa 6. Sistema de seguridad en caso de fallos en el sistema automático.

Controlar manualmente el encendido y apagado de las válvulas, y la electrobomba en caso de que el sistema falle.

### 8.3 Modelo matemático para medir el nivel del líquido de cada tanque en el sistema.



**Figura 33.** Idea básica de sistema SCADA.

Fuente: Autores.

Con fines de estudiar y entender el comportamiento de las variables y magnitudes físicas que intervienen en los cambios de nivel de líquidos para el sistema conformado por el tanque elevado y depósito principal (alberca), se hace uso del estudio del sistema dinámico que brinda una ecuación en la que se puede modelar la distribución del líquido y dichos cambios en el nivel. Para dar solución a esta situación, se realizó el análisis del sistema dividiéndolo en dos tramos que se muestran de la siguiente manera:

### 8.3.1 Depósito principal (alberca)

Para este tramo, las variables de estado presentes son  $h_1(t)$ , que representa el nivel (altura) del líquido en función del tiempo,  $q_1(t)$ , que representa el caudal de entrada o caudal de llenado del depósito,  $q_0(t)$ , que representa el caudal de salida de la motobomba.

Mediante cálculos manuales y considerando que  $q_0(t)$  es el caudal proporcionado por una motobomba en el prototipo diseñado, se muestra el presente cuadro con sus respectivos valores promedio:

| Muestra                       | Volumen de la muestra | Tiempo de evacuación |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1                             | 3 litros              | 38segundos           |
| 2                             | 3 litros              | 38segundos           |
| 3                             | 3 litros              | 42segundos           |
| 4                             | 3 litros              | 42segundos           |
| 5                             | 3 litros              | 41segundos           |
| Promedio                      | 3 litros              | 40,2 segundo         |
| $q_0(t) = 74.62 \text{ ml/s}$ |                       |                      |

Observando la figura 32, en el depósito principal el cambio másico por unidad de tiempo, puede expresarse mediante las siguientes ecuaciones matemáticas:

$$\frac{dm(t)}{dt} = \frac{\rho q_1(t)}{7,48} - \frac{\rho q_0(t)}{7,48} \quad \text{ó} \quad A\rho \frac{dh(t)}{dt} = \frac{\rho q_1(t)}{7,48} - \frac{\rho q_0(t)}{7,48}$$

$$A = \text{área transversal del tanque en pies}^2$$

$$\rho = \text{Densidad del fluido}$$



Para este caso particular, el cambio por unidad de tiempo es la altura, por lo cual se hace énfasis en la siguiente ecuación:

$$A\rho \frac{dh(t)}{dt} = \frac{\rho q_1(t)}{7,48} - \frac{\rho q_0(t)}{7,48} \quad (1)$$

Multiplicamos (1) por el factor 7,48 para realizar la conversión de galones a pies cúbicos.

Conociendo que las densidades son las mismas, se obtiene la ecuación:

$$q_1(t) - q_0(t) = 7,48 A_1 \cdot \frac{dh_1(t)}{dt} \quad (2)$$

Para dimensionar la ecuación convertimos:

$$q_0(t) = 74,62 \frac{ml}{s} * \frac{0.0353147 pie^3}{1l} = 2,6354 pie^3/s$$

Luego podemos escribir la ecuación (2) como:

$$q_1(t) - 2,6354 = 7,48 A_1 \cdot \frac{dh_1(t)}{dt} \quad (3)$$

De esta manera, quedan plasmado de forma matemática, los cambios en el nivel del líquido almacenado en el depósito principal y estas bases, pueden ser utilizadas por los estudiantes para realizar modelos hipotéticos del comportamiento que pueda presentar el sistema en diferentes condiciones planteadas por él mismo.

### 8.3.2 Tanque de distribución (elevado)

De forma análoga, para el tanque de distribución, obtenemos la siguiente ecuación:

$$q_0(t) - q_2(t) = 7,48 A_2 \cdot \frac{dh_2(t)}{dt} \quad (4)$$

Dónde  $q_2(t)$  es el caudal de salida de las electroválvulas,  $h_2(t)$  es el cambio de nivel (altura) del líquido y  $A_2$  es el área de sección transversal del tanque de distribución. Luego reemplazando el valor de  $q_0(t)$  obtenido anteriormente, llegamos a la siguiente ecuación:

$$2,6354 - q_2(t) = 7,48 A_2 \cdot \frac{dh_2(t)}{dt} \quad (5)$$

De esta forma, también quedan sentadas las bases, para el estudio, planteamientos y conclusiones a las que el estudiante pueda llegar.

## 9 Resultados y discusión.

Durante el desarrollo del proyecto, se modificaron algunos parámetros que permitieron la consecución satisfactoria del mismo, uno de estos, fue la forma de adquisición de la información proveniente de las variables implícitas en el proceso de control. Debido a la imposibilidad de conectar LABVIEW con tarjetas de adquisición de datos propias de Nacional Instruments, por su elevado costo se descartó su compra, lo que condujo a la opción del uso de software abierto, con una tarjeta que lo soportara; dicha tarjeta fue ARDUINO. La decisión sobre su uso atendiendo a esta eventualidad fue tomada por referencia de la investigación realizada recientemente por MakerHub, un toolkit experimental que permite conectar tarjetas de bajo costo con LABVIEW y desarrollar aplicativos, cumpliendo con los requisitos básicos para hacer programación y sistemas SCADA. A partir de esto también se pudo inferir que el diseño de un controlador para este proyecto, no era lo más adecuado, ya que se podía satisfacer las condiciones de este, con un equipamiento menos robusto a nivel de programación.

La problemática se abordó desde la teoría clásica de control ON-OFF, considerando ésta, como la forma más idónea, práctica y segura para brindar una solución al control de nivel en este modelo. Con la placa ARDUINO, se adquirieron las señales de los sensores ultrasónicos para establecer el nivel de los depósitos y los caudalímetros, para conocer el gasto del líquido en los usuarios. Con estos últimos hubo inconvenientes al momento de su calibración, dado que estos son dispositivos que generan un pulso digital, el muestreo de la señal es indispensable para saber la cantidad de líquido que pasa por él y éste, se realiza mediante una rutina en el software en LABVIEW, en la cual se cuentan los pulsos de esta señal, si el equipo de cómputo no tiene los

recursos adecuados, el software no es capaz de captar todo ese muestreo de pulsos, lo que implica que se presenten medidas inexactas de la cantidad de líquido que fluye a través de él.

Si bien debe argumentarse que en estos dispositivos no son exactas sus lecturas, son confiables a la hora de hacer una aproximación real para la cantidad de agua con la que trabaja el módulo en una relación de gastos para los usuarios.



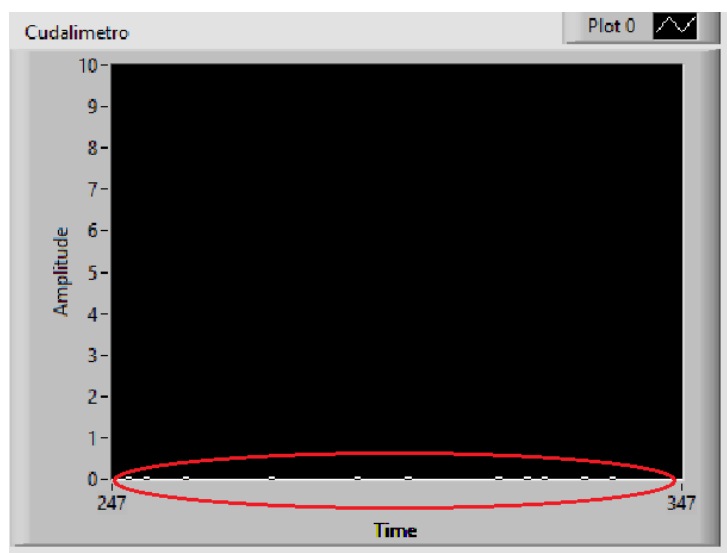
**Figura 34.** Señal tomada de los caudalímetros en actividad.  
Fuente: Los Autores.

En la figura 33, se muestran la señal recibida en un osciloscopio, en donde se observa una amplitud de ~5 voltios, la cual nos brinda una idea del comportamiento que tiene la señal enviada por el caudalímetro en pleno funcionamiento y con la que se ratifica el conteo de ésta en el software de visualización del sistema SCADA.



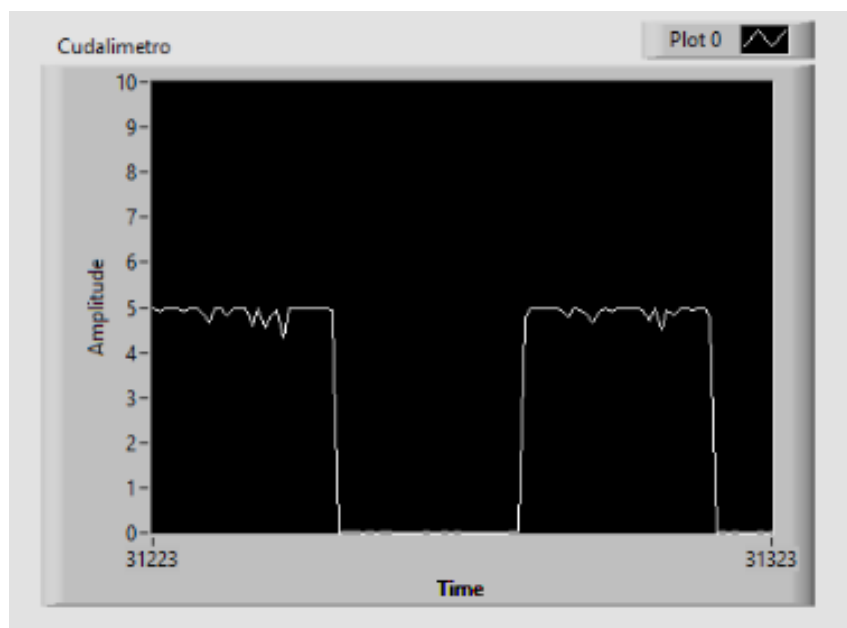
**Figura 35.** Señal tomada de los caudalímetros inactivos.  
Fuente: Los Autores.

La figura 34, muestra el estado de la señal generada por el caudalímetro en el momento en que no fluye agua por él, entendiendo este hecho, como el momento de inactividad con un pico de 0 voltios, sin embargo, existe un ruido latente (perturbación en la señal), observándose una amplitud de 712mV, lo que conduce a concluir, que por el puerto de comunicación donde se realiza la medición de los datos del medio físico, se encuentra una señal activa de valor despreciable.



**Figura 36.** Señal tomada de los caudalímetros inactivos desde LABVIEW.  
Fuente: Los Autores.

La figura 35, se muestra la señal de caudalímetro en inactividad, pero leída en el software LABVIEW, de forma análoga con la lectura hecha en el osciloscopio, se observan pequeñas oscilaciones (resaltadas por el círculo rojo) que indican la presencia de ruido pero además, se tiene una amplitud máxima de 0 voltios, esto nos enseña que en términos generales el equipo de cómputo tiene una resolución de muestreo y procesamiento de la información es aceptable para el uso de este dispositivo.



**Figura 37.** Señal tomada de los caudalímetros en actividad desde LABVIEW.  
Fuente: Los Autores.

De igual forma la figura 36, muestra el pulso rectangular de salida, es importante que esta señal sea tomada con un tiempo de muestreo exacto (40 milisegundos para este caso), con el fin de garantizar que no se pierdan muestras y que se reciba en su totalidad; dado que el contador del programa, cada vez que esta pasa por 5 voltios se incrementa en 1 pulso. De esta forma se puede saber con certeza, la cantidad de líquido que pasa por el caudalímetro y ya que para un

litro son aproximadamente 300 pulsos, a partir de allí, se pueden conocer los resultados para el gasto de los usuarios.

Por otra parte cabe mencionar que haciendo uso del sistema dinámico para el modelado matemático de cada depósito en este módulo, se tomó como variable de control las alturas del nivel del líquido en función de los caudales de entrada y salida, considerando mediante cálculos manuales, se encontró que el caudal de salida de la electrobomba es de 0,074 litros por segundos, eso origino dos ecuaciones que de forma general que ayudan a entender las variables que intervienen dinámicamente en todo este proceso, estas son:

Para el tanque de distribución (taque elevado):

$$q_1(t) - 2,6354 = 7,48 A_1 \cdot \frac{dh_1(t)}{dt} (1)$$

Para el depósito principal (alberca):

$$2,6354 - q_2(t) = 7,48 A_2 \cdot \frac{dh_2(t)}{dt} (2)$$

El fin de estas ecuaciones es relacionar todas la variables presentes en el proceso de control de nivel para que éste tenga un respaldo matemático que los sustente y además sirva como modelo para entender de qué forma intervienen todas las variables en él en el módulo. Finalmente se obtiene el correcto funcionamiento del prototipo, logrando visualizar en tiempo real el nivel de cada uno de los tanques y controlando el nivel máximo o mínimo de agua en cada uno de ellos, además, las alarmas respectivas para dichos niveles al igual que se generan reportes de datos para los gastos de agua que tiene el modulo.

## 10 Conclusiones.

Para el correcto funcionamiento del módulo se lograron determinar los dispositivos apropiados, con las características específicas, adicionalmente se permitió la modificación de los diferentes niveles de agua en los tanques, para así ajustar el sistema a las necesidades del usuario. En el desarrollo de este proyecto a pequeña escala se tuvo en cuenta el correcto funcionamiento de las electrobombas, válvulas y sensores ultrasonidos, para así obtener un sistema de control de agua que ayude a la distribución eficiente y segura de ésta en el hogar.

Las lecturas e investigaciones realizadas permitieron comprender el funcionamiento de cada una de las partes del proyecto, desde la adquisición de datos con el sensor de ultrasonido hc-sr04 y la tarjeta Arduino Mega 2560, hasta la administración en el SCADA, el tipo de control utilizado fue el on-off, y se utilizaron entradas analógicas del Arduino para la apertura de las válvulas que representan los consumidores.

El desarrollo del sistema SCADA en LABVIEW se logró gracias a sus toolkits o complementos, tales como el **DSC Module** (Datalogging and Supervisory Control Module) que amplía los beneficios de la programación gráfica, administrar eventos y alarmas, y crear interfaces Humano-Maquina (HMIs) y el **NI Real Time Engine** con el que se pueden desarrollar aplicaciones que involucren hardware basado en l ejecución en tiempo real.

Gracias al Módulo LINX LABVIEW MakerHub se pudo conectar la tarjeta arduino al LABVIEW para hacer la lectura de los valores que ofrecen los sensores de ultrasonido. Una vez que estas lecturas están en el software se pueden analizar y administrar con las diferentes herramientas que se ofrecen. Este módulo ofrece un firmware para plataformas embebidas a



través de conexión serial, USB, Inalámbrica o Ethernet, en este caso se usó la conexión serial para la transmisión de datos.

El desarrollo del proceso de prueba muestra el funcionamiento óptimo del módulo didáctico para el control de agua, llevando a cabo el llenado de tanques y la lectura de los sensores implementados. Gracias a las pruebas y el desarrollo oportuno de las fases del proyecto se logra la construcción total del proyecto establecido en este documento cumpliendo con los objetivos propuestos.

## **11 Recomendaciones.**

### **11.1 Recomendación uno**

Para utilizar el modulo es indispensable verificar que las conexiones de las electrobombas y electroválvulas sean correctas y que estas se encuentren en buen estado, para así evitar daño en los equipos.

### **11.2 Recomendación dos**

Cargar el firmware al Arduino, verificando el puerto al que está conectada la tarjeta.

### **11.3 Recomendación tres**

Garantizar que el agua dentro de los tanques no contenga residuos sólidos que distorsionen o hagan menos precisa las mediciones de los sensores.

### **11.4 Recomendación cuatro**

Evitar el movimiento excesivo de la estructura y estabilizar el líquido almacenado.

### **11.5 Recomendación cinco**

No encender las electrobombas mientras los depósitos no contengan agua, esto con el fin de evitar que estos equipos se sobrecalienten y finalmente se dañen.

### **11.6 Recomendación seis**

Cuando se inicie la simulación del sistema, se debe esperar a que los sensores se calibren, y empiecen a tomar las mediciones respectivas.

## 12 Presupuesto

### 12.1 Presupuesto humano

Se dan a conocer las personas implicadas en el desarrollo del proyecto, describiendo su formación académica y su función dentro del proyecto.

| <b>Personal</b>                  | <b>Formación Académica</b>             | <b>Función dentro<br/>del Proyecto</b> | <b>Costo</b> |
|----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------|
| <i>Juan Gabriel Gonzales</i>     | Esp. Electrónica                       | Director                               | \$ 0         |
| <i>Lerma</i>                     | Industrial                             |                                        |              |
| <i>John Alexander Taborda</i>    | Ph.D. en                               | Codirector                             | \$ 0         |
| <i>Giraldo</i>                   |                                        |                                        |              |
| <i>Ronald Martínez Abuabara</i>  | Esp. Sistemas de<br>Telecomunicaciones | Asesor                                 | \$ 0         |
| <i>Luis Miguel Cabarcas</i>      | Estudiante de Ing.                     | Diseñador del                          | \$ 0         |
| <i>López</i>                     | Electrónica                            | sistema                                |              |
| <i>Alberto Avendaño Cabarcas</i> | Estudiante de Ing.<br>Electrónica      | Diseño del<br>sistema                  | \$ 0         |
| Costo Total de Talento Humano    |                                        |                                        | \$ 0         |

## 12.2 Presupuesto institucional

Recursos y herramientas que brinda la universidad para lograr el desarrollo del proyecto se tienen los siguientes:

| Recursos                                        | Cantidad | Valor del<br>Recurso | Valor total         |
|-------------------------------------------------|----------|----------------------|---------------------|
| Computadores                                    | 1        | \$ 2.000.000         | \$ 2.000.000        |
| LABVIEW                                         | 1        | \$0                  | \$0                 |
| <b>Costo Total de Presupuesto Institucional</b> |          |                      | <b>\$ 2.000.000</b> |

## 12.3 Presupuesto adicional

Los recursos que abarcan en los materiales que se van a comprar y utilizar en el contexto de hardware, papelería, transporte, uso de internet, entre otros.

### 12.3.1 Presupuesto en hardware

| Materiales                         | Cantidad | Valor por unidad | Total      |
|------------------------------------|----------|------------------|------------|
| Sensor de Ultrasonido              | 2        | \$ 58.000        | \$ 116.000 |
| Electrobombas                      | 2        | \$ 30.000        | \$ 60.000  |
| ElectroVálvulas                    | 2        | \$ 25.000        | \$ 50.000  |
| Arduino Mega                       | 1        | \$ 55.000        | \$ 55.000  |
| Pulsadores, Cables y<br>Terminales | 1        | \$ 20000         | \$ 20.000  |
| Módulos Relay.                     | 4        | \$ 7.000         | \$ 28.000  |

|                                               |   |           |                   |
|-----------------------------------------------|---|-----------|-------------------|
| Tanques en Acrílico                           | 2 | \$ 40.000 | \$ 80.000         |
| Estructura en madera                          | 1 | \$ 50.000 | \$ 50.000         |
| Fuente de Poder                               | 1 | \$ 35.000 | \$ 35.000         |
| <b>Costo Total de Presupuesto en Hardware</b> |   |           | <b>\$ 494.000</b> |

### 12.3.2 Presupuesto para materiales complementarios

| <b>Materiales</b>                                | <b>Total</b>      |
|--------------------------------------------------|-------------------|
| <i>Papelería</i>                                 | \$ 100.000        |
| <i>Internet</i>                                  | \$ 120.000        |
| <i>Transporte</i>                                | \$ 100.000        |
| <i>Otros</i>                                     | \$ 200.000        |
| <b>Costo Total en Materiales Complementarios</b> | <b>\$ 520.000</b> |

## 12.4 Presupuesto total

El presupuesto total estimado para el desarrollo del proyecto está determinado por el costo total del presupuesto humano, institucional y adicional.

|                                                |                     |
|------------------------------------------------|---------------------|
| Costo Total de Presupuesto Humano              | \$ 0                |
| Costo Total de Presupuesto Institucional       | \$ 2.000.000        |
| Costo Total de Presupuesto Adicional           | \$ 1.014.000        |
| <b>Costo Total de Presupuesto del proyecto</b> | <b>\$ 3.014.000</b> |

### 13 Bibliografía

- [1]Peter Saúl Gutarra Castillo, P. S. (2016). *Modelación y control de un Sistema de cuatro tanques Acoplados*. San Miguel de Piura, Perú.
- [2]Borja Aldaz, R. P., & Paredes Coque, B. R. (2007). *Diseño y construcción de un módulo didáctico para control de nivel de líquidos*. Quito, Ecuador.
- [3] Alzate Rodriguez, D. A. (2010). *Control y medida de nivel de un líquido con señales de ultrasonido*. Pereira, Colombia.
- [4]Arias Lozada, J. A., & Marulanda Grajales, A. (2010). *Control y medida de nivel de líquido por medio de un sensor de presión diferencial*. Pereira, Colombia.
- [5]Ocampo Zapata, F. (2015). *Sistema electronico de monitoreo y control para movimiento de volúmenes de agua en un laboratorio de aguas de bajo costo usando una interfaz web y un servidor embebido usando el Shield Ethernet basado en el CI WI5100 de WIZNET*. Caldas, Colombia.
- [6]Ogata., Katsuhiko. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Prentice Hall es un sello editorial de PEARSON: Madrid (España).
- [7]National Instruments Corporation. (8 de Enero de 2016). *¿Qué es Adquisición de Datos?* Obtenido de National Instruments: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- [8]Curso Medición de Nivel Práctico. (s.f. de s.f. de s.f.). *Medición de nivel por ultrasonido práctico*. Recuperado el 8 de Febrero de 2015, de Instrumentacionycontrol.net: <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-medicion-nivel-practico/itemlist/tag/curso%20medicion%20nivel%20practico.html>

[9]National Instruments Corporation. (8 de Enero de 2016). *Juegos de Herramientas NI LABVIEW*. Obtenido de National Instruments.:

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/10447>

[10]National Instruments Corporation. (s.f.). *Juegos de Herramientas NI LABVIEW*.

[11] Universidad de Cadiz. (s.f. de s.f. de s.f.). Practica 1: Comenzando con arduino. Obtenido de [www.uca.es](http://www.uca.es):

[http://www.uca.es/recursos/doc/Unidades/Unidad\\_Innovacion/Innovacion\\_Docente/ANEXOS\\_2011\\_2012/22232441\\_310201212102.pdf](http://www.uca.es/recursos/doc/Unidades/Unidad_Innovacion/Innovacion_Docente/ANEXOS_2011_2012/22232441_310201212102.pdf)

[12] Microsystems Engineering. (s.f. de s.f. de s.f.). Arduino MEGA 2560 Rev3. Obtenido de [www.msebilbao.com](http://www.msebilbao.com):

[www.msebilbao.com/tienda/product\\_info.php?cPath=130&products\\_id=692](http://www.msebilbao.com/tienda/product_info.php?cPath=130&products_id=692)

[13]Penin, A. R. (2012). *Sistemas SCADA*. Barcelona: Marcombo ediciones técnicas.

[14]Severiano F. Pérez Remesal, C. R. (1 de Octubre de 2012). *OCW (Open Course Ware)*. Obtenido de Mecánica de fluídos y máquinas hidráulicas, tema 04:  
<http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas/materiales/T04.pdf>

[15] Vaca Cevallos, R. G., & Castro Muñoz, F. M. (2010). *Diseño e Implementación de un Módulo de Monitoreo y Control de Nivel de Agua Basado en un Computador, a través del PLC Utilizando LABVIEW para el Laboratorio de Control*. Riobamba, Ecuador.