



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO  
PARA LA OPERACIÓN EN LÍNEA DE MÓDULOS DIDÁCTICOS  
PARA EL APRENDIZAJE DE SISTEMAS INDUSTRIALES DE  
MEDICIÓN.**

Daniel Felipe Clavijo Ríos

Joel Santiago Vargas Lindarte

Facultad de Ingeniería Electrónica  
Universidad Santo Tomás  
Bogotá D.C., Colombia  
2018



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO  
PARA LA OPERACIÓN EN LÍNEA DE MÓDULOS DIDÁCTICOS  
PARA EL APRENDIZAJE DE SISTEMAS INDUSTRIALES DE  
MEDICIÓN.**

Daniel Felipe Clavijo Ríos

Joel Santiago Vargas Lindarte

Tesis o trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electrónico**

Director:

(Ing. Electrónico) Edwin Francisco Forero García

Co - Director:

(Ing. Electrónico) Jaime Vitola Oyaga

Grupo de investigación:

MEM

Facultad de Ingeniería Electrónica

Universidad Santo Tomás

Bogotá D.C., Colombia

2018



**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD**

**RECTOR GENERAL**

R.P. FRAY JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O.P.

**VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL**

R.P. FRAY LUIS FRANCISCO SASTOQUE POVEDA, O.P.

**VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL**

R.P. FRAY MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P.

**SECRETARIO GENERAL**

Dr. HÉCTOR FABIO JARAMILLO SANTAMARIA

**DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS**

FRAI LUIS ANTONIO ALFONSO VARGAS, O.P.

**SECRETARIA DE DIVISIÓN**

E.C. LUZ PATRICIA ROCHA CAICEDO

**DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

ING. CARLOS ENRIQUE MONTENEGRO NARVÁEZ

## NOTA DE ACEPTACIÓN

-----  
-----  
-----  
-----

-----  
Firma del tutor

-----  
Firma del co-tutor

-----  
Firma del jurado

-----  
Firma del jurado

BOGOTÁ D.C. ENERO DE 2019

## **ADVERTENCIA**

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

***Capítulo III – Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.***

## **AGRADECIMIENTOS**

Por la culminación de la tesis a mi familia, por brindarme la mejor educación y lecciones de vida, en especial a mi madre por cada día hacerme mirar la vida de forma diferente y en especial a mi padre por enseñarme que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue. No podría sentirme más aminorado con la confianza puesta sobre mi persona. Este nuevo logro es gracias a ustedes; he logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio podría parecer una tarea interminable. Quisiera dedicar esta tesis a ustedes, personas de bien, seres que ofrecen amor, bienestar y los fines deleites de la vida. Muchas gracias a aquellos seres que siempre aguardo en mi alma.

***Daniel Felipe Clavijo Ríos***

A mis padres, Rosa y Henry, por su amor, compañía y apoyo incondicional en el transcurso de mi vida y en este proyecto, a mi hermano Freddy y a mi abuela Berta, por ser mis pilares y no permitir que desista de mis objetivos y sueños, a mi hermana Sophia, por ser parte de mi inspiración para lograr mis metas, a mis tutores, los ingenieros Edwin Forero y Jaime Vitola por su colaboración y gran ayuda en cada momento de consulta y soporte en este trabajo de investigación, a todos mis amigos que me han acompañado en las distintas etapas de mi vida, que me han brindado su amistad sincera, consejos y motivación constante, por último, a todos los docentes que estuvieron presentes en mi formación académica y me ayudaron a crecer como persona. En memoria a Carlos Lindarte.

***Joel Santiago Vargas Lindarte***



## CONTEDIO

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>viii</b>
<b>1. TÍTULO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>3. ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
<b>4. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>5.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>11</b>
<b>5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>11</b>
<b>6. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>7. DISEÑO Y EJECUCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>7.1. VALIDACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO .....</b>	<b>19</b>
<b>7.1.1. TANQUESUPERIOR.....</b>	<b>19</b>
<b>7.1.2. TANQUE INFERIOR .....</b>	<b>22</b>
<b>7.2. VALIDACIÓN CÁMARA IP.....</b>	<b>24</b>
<b>7.3. VALIDACIÓN BEAGLEBONE BLACK .....</b>	<b>25</b>
<b>7.4. APLICATIVO WEB .....</b>	<b>26</b>
<b>7.4.1. BACK – END .....</b>	<b>27</b>
<b>7.4.2. CAPA DE PRESENTACIÓN O FRONT-EDN .....</b>	<b>32</b>
<b>7.5. PRUEBAS Y DETENCIÓN DE FALLOS.....</b>	<b>33</b>
<b>7.6. DISEÑO DE ENCUESTA DE EXPERIENCIA.....</b>	<b>33</b>
<b>7.7. DISEÑO DE GUIAS DE LABORATORIO.....</b>	<b>34</b>
<b>8. RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>9. IMPACTO SOCIAL .....</b>	<b>39</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>11. TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>42</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>43</b>

<b>IMÁGENES Y TABLAS.....</b>	<b>48</b>
<b>A. IMÁGENES.....</b>	<b>48</b>
<b>B. TABLAS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>50</b>
<b>A. IMÁGENES.....</b>	<b>50</b>
<b>B. TABLAS .....</b>	<b>51</b>
<b>C. MATERIAL MEDICIÓN IMPACTO .....</b>	<b>55</b>
<b>D. GUIAS DE LABORATORIO .....</b>	<b>57</b>

## **1. TÍTULO**

Diseño e implementación de un sistema prototipo para la operación en línea de módulos didácticos para el aprendizaje de sistemas industriales de medición.

## 2. INTRODUCCIÓN

Las prácticas de laboratorio son herramientas que tienen como finalidad la estimulación y adquisición de habilidades propias por parte del estudiante de métodos de investigación científica, permitiendo reforzar, consolidar y comprobar los fundamentos teóricos de diversas áreas del conocimiento que requieran de estos [1].

Actualmente los espacios destinados a las prácticas de laboratorio se ocupan la mayor parte del tiempo de manera presencial, obligando al estudiante a asistir a las instalaciones en determinados turnos con horarios fijos o permanecer allí hasta que haya finalizado la actividad en curso [2]. Esto ha ocasionado que los estudiantes se vean restringidos en tiempo a la hora de realizar las prácticas anteriormente mencionadas para cada uno de los laboratorios de las diferentes espacios académicos y, por otro lado, el incremento de estudiantes en las diversas áreas académicas ha generado que las instalaciones de las instituciones educativas en este caso la Universidad Santo Tomás no sean suficientes, por ende, conlleva a que los alumnos estén condicionados al espacio destinado para poder realizar las prácticas de laboratorio [3].

Con el avance de las herramientas tecnológicas, se han podido crear estrategias que permiten potenciar la enseñanza, brindando posibles soluciones para mejorar los procesos educativos, entre las que se encuentran las TIC, una forma de aprovechar este tipo de tecnologías es el internet, con el cual se ha podido realizar laboratorios de forma remota, con el fin de ofrecerle al usuario a través de un computador conectado a la red de internet, interactuar con equipos de laboratorio reales que se encuentren en las instituciones y que de esta forma no esté limitado por los dos problemas que fueron descritos anteriormente, la restricción de tiempo y la limitación de espacios en los laboratorios de las instituciones [2,4].

Conforme lo anterior, con el desarrollo de este proyecto se busca realizar un sistema prototipo, el cual será un aplicativo web, para la operación remota de módulos didácticos basado en tanques acoplados en la Universidad Santo Tomás sede Bogotá, donde será utilizado para las prácticas de laboratorio relacionadas con el aprendizaje de sistemas industriales de medición del programa de Ingeniería Electrónica y de la especialización en Instrumentación Electrónica, con la intención que el estudiante no se vea restringido a la hora de realizar sus prácticas de laboratorio por falta de tiempo o limitación de espacio en los laboratorios ETM.

La estructura de este documento se organiza de la siguiente manera, en primer lugar, se presenta los antecedentes con el fin de mostrar los diferentes trabajos

relacionados con el proyecto, en segundo lugar, corresponde a la justificación, donde se explica por qué y para qué se decidió realizar este proyecto, seguidamente se presentan los objetivos a alcanzar durante el desarrollo del trabajo, luego corresponde al marco teórico en el cual se conceptualiza al lector para un mejor entendimiento del documento, en quinto lugar, se expone el diseño y ejecución que se llevó a cabo para cumplir los objetivos establecidos, en sexto lugar, están los resultados obtenidos, en séptimo lugar, se describe el aporte social que tiene el proyecto, en octavo lugar se encuentran las respectivas conclusiones que fueron surgiendo a raíz de los resultados y para finalizar, se presenta el trabajo a futuro que se podría seguir realizando teniendo como base este proyecto.

### 3. ANTECEDENTES

Hoy en día con el avance de la tecnología se han desarrollado diferentes sistemas que tienen como función supervisar, controlar y adquirir datos remotamente, y los cuales se están utilizando tanto en la educación remota como en procesos industriales a distancia. Diferentes proyectores de desarrollo y empresas se enfocan en el diseño de estos sistemas con el fin de que estos sean más precisos y simples a la hora de supervisar diferentes sistemas industriales. A continuación, se mencionan algunas compañías que contiene dichos sistemas y también algunos proyectos estudiantiles enfocados al control y supervisión remota:

#### **Empresas enfocadas a sistemas remotos:**

Sielco Sistemi, es una empresa que desde principios de los años 90 ha desarrollado el paquete de software para la automatización, tiene como misión promover el software SCADA WinLog Pro en todo el mundo por medio de continuas actualizaciones y enriquecimiento del producto [5]. El WinLog Pro es un paquete de software flexible y cómodo para el desarrollo de aplicaciones SCADA HMI con soporte de servidor web. Incluye una extensa biblioteca de drivers (OPC, Siemens, Omron, Allen Bradley, Modbus, etc.) y una biblioteca gráfica con alrededor de 5000 objetos de fabricación e industriales [6].

Yokogawa, es un productor líder de soluciones de automatización industrial combinando una tecnología superior con servicios de ingeniería, administración de proyectos y mantenimiento, esta ofrece eficiencia operativa probada en el campo, seguridad, calidad y confiabilidad [7]. El software de gestión SCADA que ofrece esta compañía está diseñado para ayudar a administrar los controles y las funciones de adquisición de datos con una buena configuración supervisada. Esto se hace fiable para trabajar con diferentes entornos de sitios de proceso y poder gestionar muchos sistemas de terceros con una amplia área de comunicación y una configuración de conexión robusta [8].

HST Systemtechnik, es una empresa alemana que fabrica equipos TI (tecnología de la información) y de automatización los cuales son utilizados en plantas de agua, plantas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de alcantarillados, estas máquinas son controladas remotamente por medio de su software SCADA v10 [9], el cual cuenta con controles fáciles de usar que pueden procesar documentos tanto centralizados como descentralizados. Toda la unidad está llena de pantallas visuales a través de la última pantalla multi-touch capaz. Con esto permite maximizar su análisis de proceso gráfico con un sistema de alarma completo para la eficiencia [10].

ER-Soft, es una empresa que nació en 1987 desarrollando dPCs, un software versátil de control de procesos y comunicación de datos industriales, el dPCs es un concepto de software orientado a objetos, gracias a este software lograron tener éxito y así crear su sistema SCADA el cual se le conoce como netbiter argos web SCADA [11]. Este sistema cuenta con una interfaz gráfica fácil de usar permite a los usuarios crear fácilmente un diseño de instalación en poco tiempo, esta interfaz gráfica cuenta con herramientas para poder cargar imágenes en el diseño, componentes analógicos y gráficas, lo que hace posible describir un sistema remoto con un diseño visual fácil de entender. Las funciones principales con las que cuenta este sistema SCADA son: Visualización de un sistema de una manera clara y sencilla, escalar distintas instalaciones y supervisión y control de equipos remotamente [12].

PcVue Solutions, esta empresa tiene como objetivo adoptar tecnología nueva y eficiente para construirla en su software remoto con el fin de reducir costos de producción de sus clientes y hacer que sus plantas sean más eficientes [13]. PcVue versatile, es un sistema que aprovecha las últimas tecnologías y proporciona un control optimizado sobre sus procesos. Además, cuenta con funciones eficaces para configurar un sistema confiable con costes de desarrollo limitados, manteniendo al mismo tiempo la facilidad de uso de las mejores aplicaciones de escritorio [14].

### **Proyectos estudiantiles enfocados a sistemas remotos:**

El tema de los sistemas de control, supervisión y adquisición de datos remotos como herramienta para la educación ha sido muy importante, ya que ha permitido que los estudiantes interactúen a distancia con plantas físicas o procesos industriales reales, esto ha generado que en los últimos años se hayan desarrollado varios proyectos para aplicar esta modalidad de acceder a los laboratorios remotamente, como se puede apreciar con el proyecto “Sistema de monitoreo y control remoto con acceso inalámbrico bidireccional a procesos industriales” de los ingenieros Tatiana Mateus, Ernesto Pardo y Manuel Rodríguez de la Universidad Santo Tomás, donde desarrollaron un sistema SCADA por medio del software Labview, el cual cuentan con una etapa de adquisición de datos y realiza un procesamiento digital que permite implementar una comunicación bidireccional inalámbrica, que comunica el proceso con una estación remota y en la cual se adhiere un dispositivo servidor serial que convierte los datos al protocolo Ethernet, permitiendo que el proceso pueda ser acoplado sobre cualquier red de datos,

monitorear y ejercer acciones básicas de control por medio de una interfaz gráfica [15].

En el año 2013, se publicó un trabajo titulado “Laboratorio remoto virtual para la enseñanza de administración de redes” en el cual, mediante un laboratorio remoto se reemplazó un laboratorio virtual, dado que este solo lograba simular limitados datos y componentes, entonces a través de computadoras de escritorio de bajo costo se accede de forma remota a los laboratorios reales, permitiendo manejar servidores que soporten la carga de procesamiento requerida y los sistemas operativos de interconexión de redes, logrando acceder a todos los comandos y parámetros posibles [16].

En el año 2016 se publicaron dos artículos que hablan de los laboratorios remotos como herramienta para la educación, el primero realizado en la ciudad de Pereira, se titula “Desarrollo de un módulo experimental de difracción de la luz para un laboratorio de física controlado de forma remota.” y trata sobre el diseño y la implementación de un módulo experimental de difracción de luz, el cual se puede acceder de forma remota a través del software LabView para la adquisición y procesamiento de los datos, el proyecto se probó en los grados décimo y undécimo de la educación media [17], el otro artículo publicado este año en la ciudad Piura en Perú, se titula “Control remoto de planta piloto Compact Workstation FESTO, una propuesta de laboratorios remotos”, en este trabajo se realizó un sistema remoto para manipular el nivel de líquido en la planta Compact Workstation FESTO, usando PLCs para la adquisición de datos y utilizan de igual forma el software LabView para el procesamiento de estos [18].

En el siguiente año (2017) se publicaron dos trabajos, el primero de ellos se titula “Adquisición de datos de magnitudes en un sistema oleo hidráulico para su control y monitoreo en un laboratorio remoto de instrumentación virtual de código abierto” y en este desarrollan un sistema oleo hidráulico y el cual se pueda controlar y mantener en óptimas condiciones los parámetros de funcionamiento, para posteriormente comparar esos datos, con los resultantes de modelos matemáticos que permitan calcular el caudal suministrado [19]. El otro trabajo se publicó en España, se titula “Sistemas de laboratorios remotos sobre instrumentación de tiempo real: aplicación a laboratorios de medida de tensión interfacial” y en este muestran el uso de las nuevas tecnologías con el fin de acceder y monitorizar los tensiómetros o goniómetros de manera remota, con el fin de facilitar la tarea a los investigadores, profesores y estudiantes en el momento de acceder a los instrumentos para experimentar con ellos, también se propone un tensiómetro ligero y compacto cuyo software sirve en los celulares Android [20].

Las empresas y artículos anteriores dan muestra de cómo la supervisión, el control y la adquisición de datos remotamente, han tenido un gran impacto tanto en la educación como en la industrialización, donde ya se puede acceder a equipos de laboratorio de un costo muy elevado con tan solo estar conectado a una red de internet y no estar limitado por tiempo o espacios en las instituciones educativas o lograr controlar procesos a cierta distancia y en ciertas condiciones, permitiendo mayores ventajas en las empresas.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Los procesos industriales giran en torno a variables físicas o químicas que requieren ser analizadas, controladas o muestreadas, respondiendo a los intereses específicos de los usuarios o la empresa. Por lo que es de vital importancia la presentación, supervisión y manipulación de estas variables en dichos procesos, estos últimos, en variadas ocasiones requieren de un monitoreo mucho más riguroso, consecuentemente se han venido desarrollando sistemas que permitan la supervisión y control a distancia de plantas industriales, las cuales tienen la capacidad de comunicarse con otros elementos para formar una red, y de esta manera tener un alto nivel de confiabilidad y robustez [21,22].

Las instituciones educativas tienen como propósito realizar un proceso de formación permanente y de constante cambio para garantizar estar siempre a la par de los avances y exigencias del medio industrial [23,24], por lo que es necesario que los espacios destinados a las prácticas de laboratorio fortalezcan y consoliden los fundamentos teóricos de las diferentes áreas del conocimiento, por esta razón es importante contar con un sistema que permita supervisar y controlar a distancia una instalación, planta o módulo con el fin de reforzar y consolidar las habilidades en este campo [25].

Al contar con un sistema que permita a los estudiantes trabajar de manera remota en horarios no habituales y poderlo realizar desde un lugar diferente a la universidad, como podría ser en sus hogares, garantizaría que el estudiante se familiarice con las nuevas técnicas de recolección de datos y manipulación de variables que se presentan en la industria. Es importante poder completar los procesos de aprendizaje de manera práctica, para de esta forma afianzar las bases teóricas [26].

Teniendo en cuenta el anterior contexto, con la elaboración de este proyecto se propone diseñar e implementar un aplicativo web en la Universidad Santo Tomás, para la operación remota de módulos didácticos enfocado en el aprendizaje de sistemas industriales de medición, que permitan al estudiante trabajar en las prácticas de laboratorio relacionadas con el aprendizaje de sistemas industriales de medición de del programa de Ingeniería Electrónica con nuevas y múltiples herramientas pedagógicas sin que estos se vean afectados por la disponibilidad de tiempo en los laboratorios y por la capacidad que estos últimos tienen.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema que permita controlar y visualizar de forma remota los parámetros del módulo didáctico basado en el modelo de tanques acoplados, para el aprendizaje de sistemas industriales de medición.

### **5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Validar la operación del módulo didáctico para identificar el rango de cada variable que son temperatura, presión, caudal y nivel.

Desarrollar el software para establecer la comunicación y control del sistema didáctico para facilitar su operación.

Implementar la interfaz gráfica para que el usuario pueda observar en tiempo real el proceso de manera remota e interactuar con las variables del módulo didáctico que son temperatura, presión, caudal y nivel.

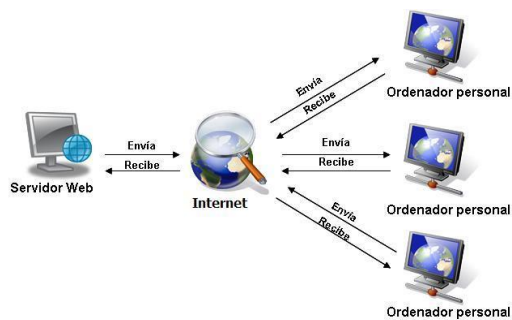
Realizar las respectivas guías para las prácticas de laboratorio que se pueden realizar de forma remota en el módulo didáctico.

## 6. MARCO TEÓRICO

Dado que el proyecto está encaminado a que el estudiante pueda desarrollar sus respectivas guías de laboratorio de manera remota a través de un sistema prototipo, donde se familiarice con un sistema industrial de medición basado en tanques acoplados, es necesario conceptualizar varios términos que permitan entender mejor el desarrollo.

En primera instancia es importante definir el sistema prototipo que se desarrolló para la operación en línea de los módulos didácticos basados en tanques acoplados para el aprendizaje de sistemas industriales de medición, el cual fue un **laboratorio remoto**, el cual se define como la evolución de los laboratorios virtuales, donde al sistema computacional se le agrega la instrumentación, el control y acceso a equipos de laboratorio reales, donde las prácticas ya no se llevan a cabo en un simulador, sino que se realizarán las actividades prácticas de forma local o remota a través del internet, permitiendo la transferencia de información entre un proceso real y los estudiantes [4].

Para poder acceder remotamente a los módulos educativos fue necesario desarrollar un aplicativo que se pueda acceder desde la web, por lo tanto, es importante definir en primer lugar que es la **Web**, esta es una forma abreviada de "World Wide Web" y la cual se define como un método de comunicación de la internet a través de un sistema de información basado en Hipertexto (texto que contiene enlaces a otras secciones del documento o a otros documentos), fue desarrollada por Tim Berners-Lee en el CERN (Centre Européen de la Recherche Nucléaire, Suiza) en 1992 [27,28]. Por lo tanto, ahora se puede definir que es un **aplicativo web**, este es un sitio web que contiene páginas con contenido sin determinar, parcialmente o en su totalidad, ya que su contenido se determinará dependiendo de las peticiones realizadas por el usuario, teniendo como una ventaja hacia las aplicaciones de escritorio que no necesita de instalación, únicamente acceso a una red de internet [29, 30]. Para eso, se debe tener de un **servidor web**, el cual es un programa que permanentemente atiende y responde a las diversas solicitudes de conexión por parte de los navegadores o clientes web, proporcionándoles los recursos que solicitan mediante el protocolo HTTP o el protocolo HTTPS (la versión segura, cifrada y autenticada de HTTP). [31, 32].

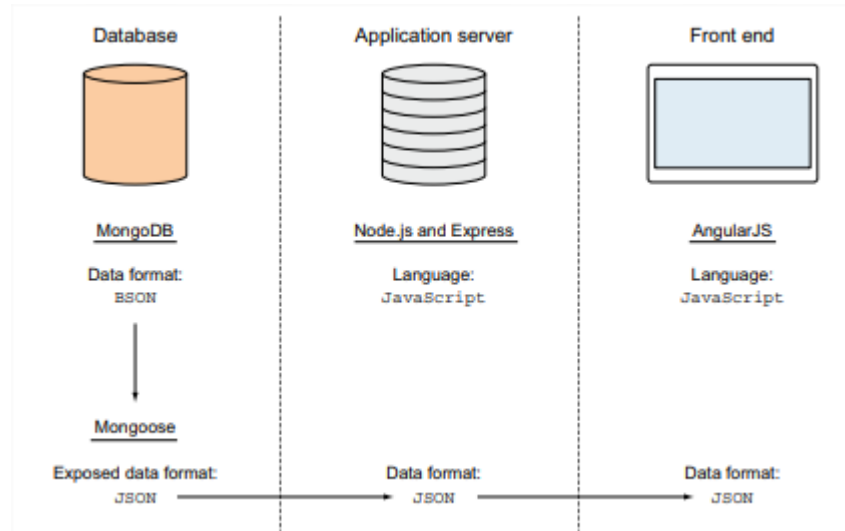


**Figura 1.** Representación de la dinámica de los servidores Web. Imagen tomada: <http://culturacion.com/como-convertir-un-pc-en-servidor-web/>

Como se necesitó guardar datos de los usuarios que se registran o acceder a estos datos, se debe tener un **sistema de gestión de base de datos (SGBD)**, Abraham Silberschatz lo define como “una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a dichos datos. La colección de datos, normalmente denominada base de datos, contiene información relevante para una empresa. El objetivo principal de un SGBD es proporcionar una forma de almacenar y recuperar la información de una base de datos de manera que sea tanto práctica como eficiente.” [33], otra definición dada es la Dennis McLeod y Jhon Miles, la cual dan como “un SGBD es una herramienta de propósito general útil para estructurar, almacenar y controlar los datos ofreciendo interfaces de acceso a la base de datos. Tareas fundamentales que desempeñan estos sistemas hacen referencia a la seguridad de acceso a los datos, al mantenimiento de la integridad de los datos, a mecanismos de recuperación debidos a fallos físicos y lógicos, al control de concurrencia en el momento de acceder a los datos y a la eficiencia del sistema evaluada, generalmente, en términos del tiempo de respuesta a las consultas de los usuarios.” [34].

Ahora bien, la mayor parte del conjunto de herramientas que se utilizó para el desarrollo del aplicativo web, es el **MEAN Stack**, el cual es el acrónimo de los paquetes de software conformado por **M**ongoDB, **E**xpress, **A**ngular y **N**ode, los cuales son la principal alternativa en los últimos años al sistema de desarrollo web LAMP (acrónimo de Linux, Apache, MySQL y PHP). Entonces para el desarrollo del aplicativo cada herramienta se encarga de una parte específica, para el sistema de gestión de la base de datos se utiliza MongoDB, Express es el framework de parte del servidor que permite controlar y organizar el aplicativo para unir todas las partes sin ningún inconveniente, Angular es un framework creado por Google para el desarrollo del front-end del aplicativo y finalmente Node es la herramienta que ejecuta el servidor [35]. Este paquete de softwares se escogió principalmente porque permite al desarrollador trabajar todas las herramientas con un único

lenguaje de programación que es Javascript y un formato de datos como lo es JSON, esto se puede apreciar en la figura 2, caso contrario al LAMP, que para cada aplicación se debe conocer un lenguaje de programación diferente [36].

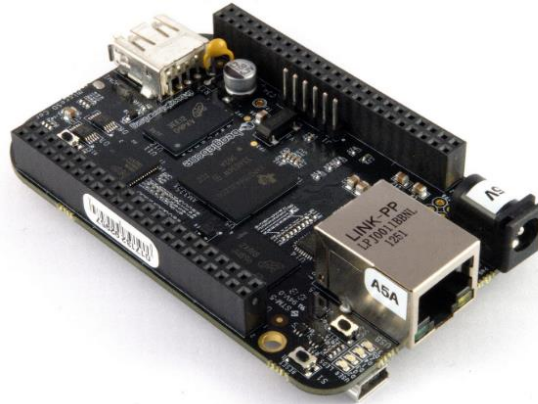


**Figura 2.** Representación de la arquitectura de un aplicativo Web con MEAN Stack. Imagen tomada: Getting MEAN with Mongo, Express, Angular and Node [36].

Asimismo, es conveniente especificar que es la **instrumentación**, la cual la define Miguel Ángel Pérez como “La rama científico-técnica cuyo objetivo es mejorar la capacidad de percepción de la realidad mediante el uso de cualquier tipo de técnicas y sistemas. La percepción de la realidad hace referencia a la extracción de información del entorno, de un sistema o de un proceso mediante la identificación y cuantificación de sus variables características.” [37].

Un **sistema de adquisición de datos**, es un método por el cual se pueden muestrear señales físicas y convertirlas en valores que puedan ser interpretados y manipulados a través de una computadora. Para esto primero se debe transformar las variables físicas en señales eléctricas a través de un transductor, para que de este modo se puedan digitalizar a través de un dispositivo que posea un convertidor analógico digital (ADC) y enviar estos datos hacia el PC [38]. Para la lectura de las señales eléctricas en el proyecto se utilizó el sistema embebido **BeagleBone Black**, debido a que es una plataforma de desarrollo de bajo costo que posee un procesador de Texas Instrument con una arquitectura ARM Cortex A8 y una memoria RAM de 512 MB DDR3, esta tarjeta es de código abierto y se puede obtener el acceso gratuito a Cloud9, el cual es un IDE en la nube desarrollado por la empresa Amazon y se puede acceder desde la red de internet y ya viene con las librerías necesarias para el desarrollo del proyecto por lo que no es necesario descargar o instalar cosas adicionales, otra ventaja que tiene es su compatibilidad

con los sistemas operativos Ubuntu, Android y Debian y además en su arquitectura posee noventa pines, en los cuales se pueden encontrar siete conversores análogos-digitales, pines de salida para PWM, pines de alimentación, entre otros, de igual forma tiene conexión a internet por puerto Ethernet, capacidad de ampliar su memoria interna de 2GB, entre otras funcionalidades que lo hacen capaz de participar en múltiples aplicaciones de robótica, electrónica de potencia, adquisición de datos, comunicaciones, etc. [39].



**Figura 3.** Imagen del sistema embebido BeagleBone Black. Imagen tomada: [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Beagle/e14%20BBB\\_SRM\\_rev%200.9.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Beagle/e14%20BBB_SRM_rev%200.9.pdf)

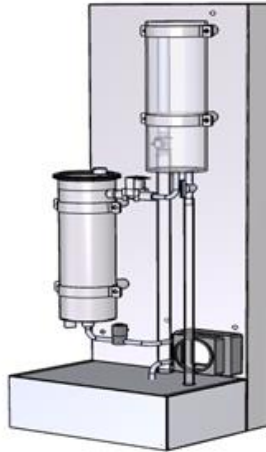
Al necesitar adquirir información de los sensores que se encuentran en el sistema de tanques acoplados, controlar los actuadores y gestionar la visualización de los datos, a esto se le puede denominar un **sistema SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition), lo que se define como, “herramienta informática que constituye un programa de computador que tiene como misión facilitar la adquisición de los datos generados por un conjunto de sensores y controladores de un proceso industrial, enviar órdenes a los actuadores de dicho proceso a través de los correspondientes controladores y gestionar la comunicación con el usuario a través de uno o más equipos” [25]. Otra definición válida acerca de SCADA, “Se da el nombre de SCADA a cualquier software que permite el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo. No se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de monitorización o supervisión” [40].

Teniendo en cuenta que el proyecto transmitió información de un punto a otro punto a través de manera remota, debe haber un protocolo que permita la comunicación, por lo tanto, es adecuado definir el término de **protocolo de comunicación**, según Aquilino Rodríguez “El protocolo de comunicación engloba todas las reglas y convenciones que deben seguir dos equipos cualesquiera para poder intercambiar

información. El objetivo es poder conectar y mantener el dialogo entre los equipos, permitiendo que la información pueda fluir entre ambos con seguridad.” [40], pero también se puede definir como “Un protocolo de comunicación es el conjunto normas y reglas determinadas a cumplir por dos o más dispositivos que desean comunicarse entre sí, en otras palabras “es el idioma que los dispositivos hablan entre sí”, por lo tanto, estos deben aprender la gramática, la sintaxis y todas las reglas para poder entablar la comunicación en forma satisfactoria. Para ello se debe tener una sintaxis, la cual se refiere al formato, codificación y niveles de señal de datos, también se encuentra la semántica, la cual es la información de control y gestión de errores y por último se encuentra la temporización que se refiere a la coordinación entre la velocidad y orden secuencial de las señales” [41].

Entonces, debido a que ya se señaló anteriormente que es un protocolo de comunicaciones, ahora es adecuado definir el protocolo que se usó para el proyecto, el cual fue el **modelo TCP/IP**, para esto, se remite a la definición brindada por Cisco: “TCP/IP es un protocolo transporte orientado por conexión que envía datos como un flujo de bytes sin estructura. Usando los números de secuencia y los mensajes de reconocimiento, el TCP puede proporcionar un nodo de envío con la información de entrega sobre los paquetes transmitidos a un nodo de destino. Donde los datos se han perdido adentro transitan de la fuente al destino, el TCP puede retransmitir los datos hasta que o se alcance una condición del descanso o hasta que se haya alcanzado la entrega exitosa. TCP también puede reconocer mensajes duplicados y los descartará adecuadamente. Si el ordenador de envío está transmitiendo demasiado rápido para la computadora de recepción, el TCP puede emplear los mecanismos de control de flujo para reducir la Transferencia de datos.” [42].

Por otra parte, el **módulo didáctico basado en tanques acoplados**, es aquel aparato con el que se pueden hacer diferentes prácticas que fortalecen diferentes temáticas asociadas a labores ingenieriles o de áreas técnicas como lo son la electrónica, eléctrica, mecánica, entre otras. El módulo o planta es ideal para afianzar la teoría, consta de instrumentación similar a la que puede encontrar en la industria. Presenta dos tanques acoplados, cuyas capacidades son de 3 litros cada uno, además de un tanque o contenedor de alimentación con una capacidad de 8 litros, este también contiene dos electroválvulas solenoides, una electrobomba, un agitador, una resistencia calefactora y cinco sensores: uno nivel, uno de caudal, uno de temperatura y dos de presión. La figura 4, expone de manera clara el diseño de la estructura física de la planta o módulo [43].



**Figura 4.** Visualización del módulo experimental basado en tanques acoplados.  
Tomado de: Plan de negocios para la creación de una empresa enfocada a la prestación de servicios de módulos didácticos para el aprendizaje de sistemas industriales de medición [44].

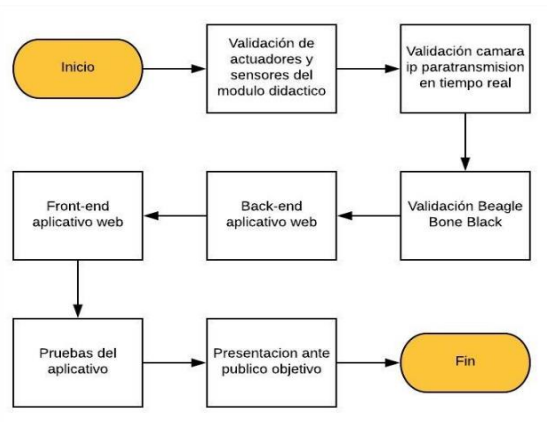
Puesto que el proyecto está encaminado a fortalecer los conocimientos acerca de los sistemas industriales de medición y permitir ventajas a los estudiantes al realizar las prácticas desde un lugar remoto a los laboratorios que se encuentran dentro de la institución, entonces es pertinente definir que es **educación**, según la constitución colombiana, se define como: “La educación es un derecho de la persona y un servicio público que tiene una función social; con ella se busca el acceso al conocimiento, a la ciencia, a la técnica, y a los demás bienes y valores de la cultura. La educación formará al colombiano en el respeto a los derechos humanos, a la paz y a la democracia; y en la práctica del trabajo y la recreación, para el mejoramiento cultural, científico, tecnológico y para la protección del ambiente” [44].

## 7. DISEÑO Y EJECUCIÓN

El diseño y ejecución del proyecto se compuso de cuatro etapas fundamentales. La primera constó de la validación de las herramientas físicas necesarias para el desarrollo de la aplicación web, las cuales son: el módulo didáctico basado en tanques acoplados, sistema embebido BeagleBone Black, cámara IP y computador que es usado como servidor de la aplicación, estas validaciones permitieron caracterizar los elementos que interactuaron en el desarrollo de una práctica de laboratorio a control remoto, dimensionando de esta forma las diferentes partes del aplicativo.

La siguiente etapa consistió en el desarrollo del back-end del aplicativo web, para la administración de la base de datos, el manejo de la sesión del usuario y establecer las diferentes comunicaciones como lo son entre el servidor-BeagleBone Black, servidor-Cliente y cliente-cámara IP, con el fin de circular los datos necesarios para el manejo y visualización de las variables físicas en la capa de presentación.

En la tercera se desarrolló el front-end o capa de presentación del aplicativo para la presentación ante el usuario, las respectivas prácticas de laboratorio para el aprendizaje de sistemas industriales de medición y un manual del aplicativo para el usuario. Por último, se realizó las respectivas pruebas de la aplicación y se presenta ante público objetivo en este caso a cierta cantidad de estudiantes y profesores de la facultad de Ingeniería Electrónica donde diligenciaron una encuesta y de esta forma medir el grado de aceptación de la plataforma y observar que otras funcionalidades se le pueden agregar a la plataforma. El diagrama de flujo que se encuentra en la figura 5, muestra de mejor manera la estructura para el desarrollo del proyecto.



**Figura 5.** Estructura de las etapas del proyecto. Imagen elaborada por autores.

## 7.1. VALIDACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO

El módulo didáctico basado en tanques acoplados, cuenta con dos tanques, superior e inferior, como se aprecia en la figura 4, para cada uno de ellos fue necesario reconocer inicialmente qué actuadores operan y cómo se manipulan, lo siguiente fue observar el comportamiento de los sensores que miden las variables pertinentes a cada tanque ante las variaciones, para de esta forma poder limitarles el rango para el aplicativo. El fluido que maneja el módulo es únicamente agua.

### 7.1.1. TANQUE SUPERIOR

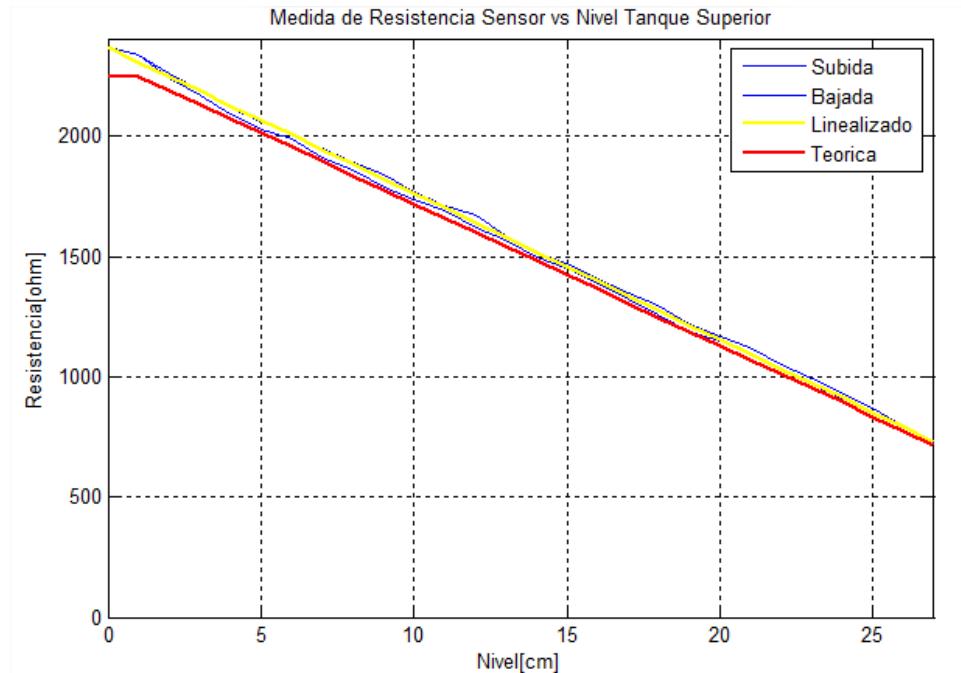
El tanque superior está fabricado en acrílico, y tiene una forma de cilindro con altura de 30 cm y cuenta con una capacidad de 3 litros. Está acoplado a dos actuadores: el primero es una electrobomba, que se maneja por modulación por ancho de pulsos (PWM), la cual necesita de una frecuencia mayor a 30 kHz y un rango del 45 al 100% del ciclo útil de la señal para funcionar de una forma adecuada, con el fin de suministrar agua desde el contenedor de alimentación, este último se encuentra ubicado en la parte inferior del módulo a una distancia vertical de 50 cm hasta el tanque superior, por lo tanto con un ciclo útil inferior al 45% la electrobomba no tiene la suficiente fuerza para lograr desplazar el líquido de un punto al otro. El segundo actuador, es una electroválvula solenoide de dos posiciones conectada a la salida del tanque superior, con el fin de poder vaciar el tanque y suministrar líquido al tanque inferior.

En este tanque a través de 3 sensores se pueden medir las variables de nivel, presión y caudal. Entonces, se realizaron pruebas con el fin de analizar la salida de cada sensor, para lograr que el sistema embebido pueda interpretar estas señales de voltaje.

A continuación, se presenta la validación realizada por cada variable:

- Nivel

Para la respectiva medición de nivel de líquido en el tanque superior, se tiene el sensor de referencia PN-12110215TC-12, el cual tiene una longitud de 30.48 cm, este es una resistencia variable que conforme varía el nivel de líquido este varía su resistividad, su mayor resistencia es de 2200  $\Omega$  a 0 cm y su menor resistencia es de 400  $\Omega$  a 30.48 cm con un 10% de tolerancia [45]. En primer lugar, se realizaron pruebas de subida-bajada desde los 0 hasta los 27 cm del tanque con intervalos de 1 cm, el siguiente paso fue la respectiva linealización, y, por último, se obtuvieron los datos que se encuentran en la hoja técnica del fabricante para poder hallar el porcentaje del error en cada medida, estos datos se pueden observar en la figura 6 y en la tabla 1 (*Anexos*).



**Figura 6.** Medida de resistencia salida sensor vs nivel tanque superior. Imagen elaborada por autores

A través de la tabla 1 y la figura 6, se puede observar que los datos medidos tienen un margen de error pequeño a partir del primer centímetro contra los datos proporcionados por el fabricante, los límites de nivel para este tanque se establecen de 0 a 27 cm.

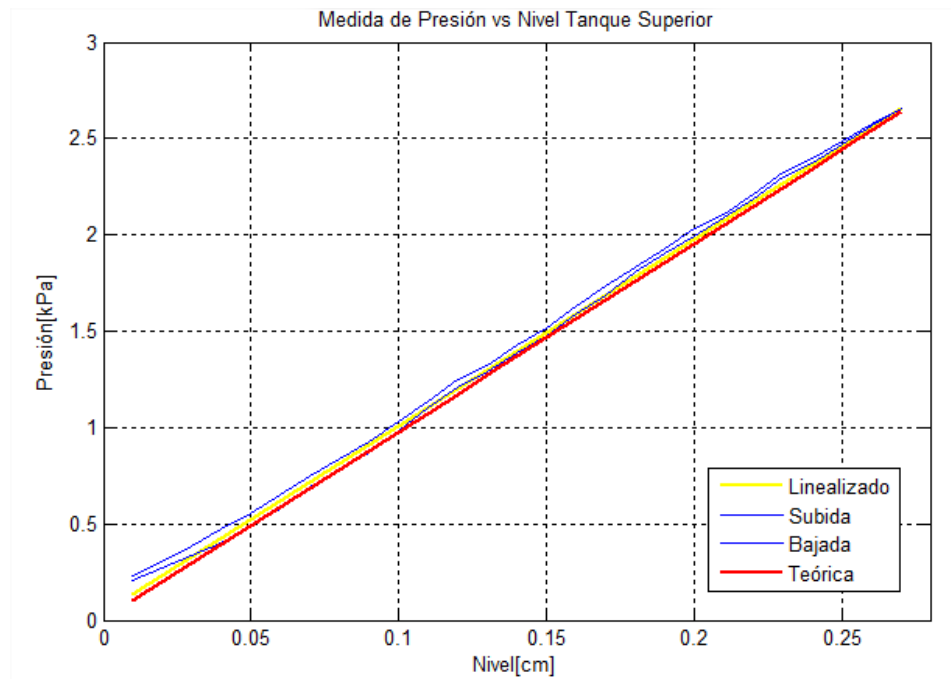
- Presión

En cuanto a la medición de presión en el tanque superior, se realizó con el sensor mpx 5010dp, el cual tiene un rango de 0 a 10 kPa con salidas de voltaje de 0.2 a 4.7 V [46], a través de la prueba de subida-bajada de los voltajes de salida del sensor, se puede obtener la presión que ejerce el líquido a través de la ecuación 1 que brinda la ficha técnica del fabricante:

$$P[kPa] = \left( \frac{V_{out}}{V_S * 0,09} \right) - 0,04 \quad (1)$$

En la tabla 2 (Anexos), se encuentran los datos de presión de la prueba de subida-bajada por cada centímetro, su respectiva linealización y los datos teóricos, con su porcentaje de errores, en esta tabla también se puede apreciar los respectivos datos

en la salida de voltaje del sensor. En la figura 7, se observan la gráfica de estos datos.



**Figura 7.** Medida de presión vs nivel del tanque superior. Imagen elaborada por autores

Al comparar los datos prácticos con los teóricos, tabla 2 (Anexos), los datos de presión en los primeros 5 cm del tanque son muy inestables y tienen un margen de error considerable, por lo que se recurre a la linealización a partir del sexto dato. Esta ecuación de la recta se utilizó en el sistema embebido para reducir el error y no obtener el dato directo de presión a través de la ecuación 1.

- Caudal

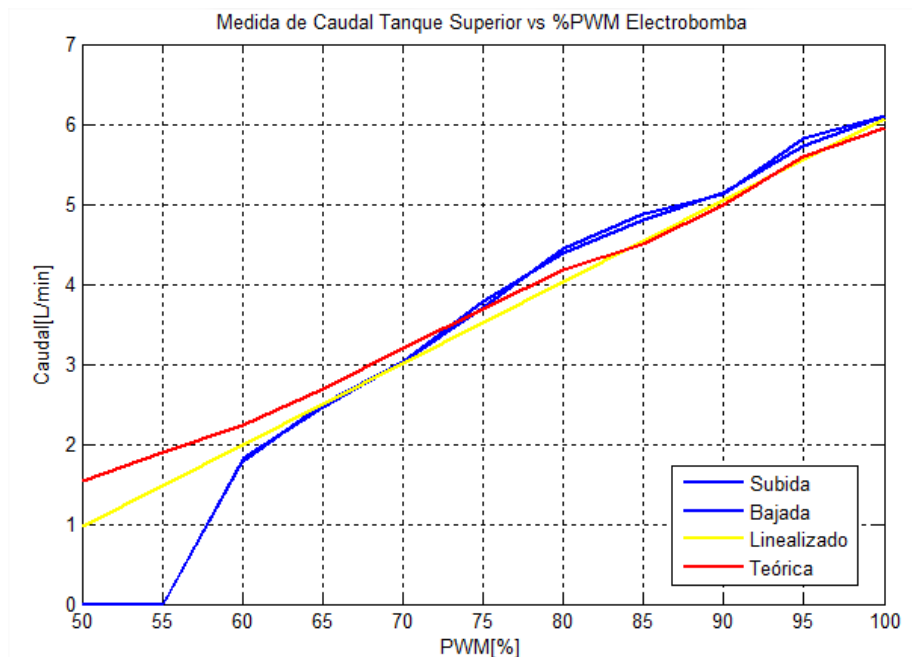
El caudal en el tanque superior se puede ir variando mediante el cambio del PWM de la electrobomba, ya que a través de este cambio se puede desplazar el líquido a diferentes velocidades, permitiendo obtener diferentes datos de caudal, entonces para medir esta variable se usó el sensor YF-S201C, el cual a su salida se generan pulsos a cierta frecuencia dependiendo del flujo de agua que circule a través del sensor [47].

Entonces para las respectivas medidas de subida-bajada se cambió el PWM en el rango del 50 al 100% de su ciclo útil con variaciones del 5%, luego se obtuvo el dato teórico mediante la ecuación 2, donde se toma el tiempo en minutos que se

demora en llenar el tanque, y con estos datos fue posible hallar el error, estos datos se pueden observar en la tabla 3 (Anexos) y la gráfica de ellos en la figura 8.

$$Q \left[ \frac{l}{min} \right] = \frac{V [l]}{t [min]} \quad (2)$$

Sin embargo, a partir del 60% del ciclo útil el sensor empieza a medir, se puede observar la medida de los pulsos con un PWM menor al 60% en la figura 16 (Anexos), donde estos no tienen un periodo constante por lo que la medida se afecta, caso contrario a la medida de los pulsos con un PWM mayor al 60%, que se observa en la figura 17(Anexos), por lo tanto para las medidas de caudal se determina usar ciclos útiles entre el 60 al 100% en la aplicación.



**Figura 8.** Medida de caudal tanque superior vs PWM de la electrobomba. Imagen elaborada por autores

### 7.1.2. TANQUE INFERIOR

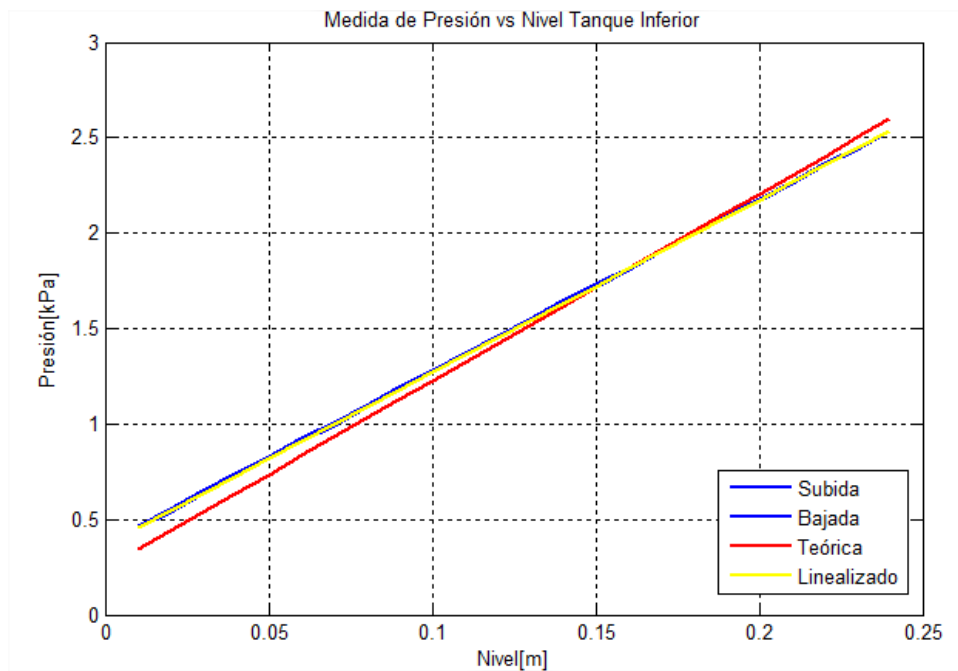
El tanque inferior tiene las mismas dimensiones que el tanque superior, pero este está hecho de acero inoxidable. Se emplean cuatro actuadores en este, que son: primero es una electroválvula solenoide que está a la salida del tanque superior y permite el suministro de líquido, el segundo actuador es otra electroválvula solenoide de dos posiciones conectada a la salida del tanque para dejar fluir el líquido de vuelta al contenedor de alimentación, el tercer actuador es una resistencia calefactora de 800W o termoresistencia, que varía su temperatura desde la temperatura ambiente 25°C hasta los 100°C, esta se lograr controlar

mediante el ángulo de disparo de un triac, y por último es un agitador que tiene dos estados, apagado y encendido, este permite distribuir el calor generado por la resistencia calefactora a través de todo el líquido que esté presente en el tanque.

En este tanque se pueden medir las variables de nivel, presión y temperatura a través de dos sensores como se puede observar a continuación:

- Presión y nivel

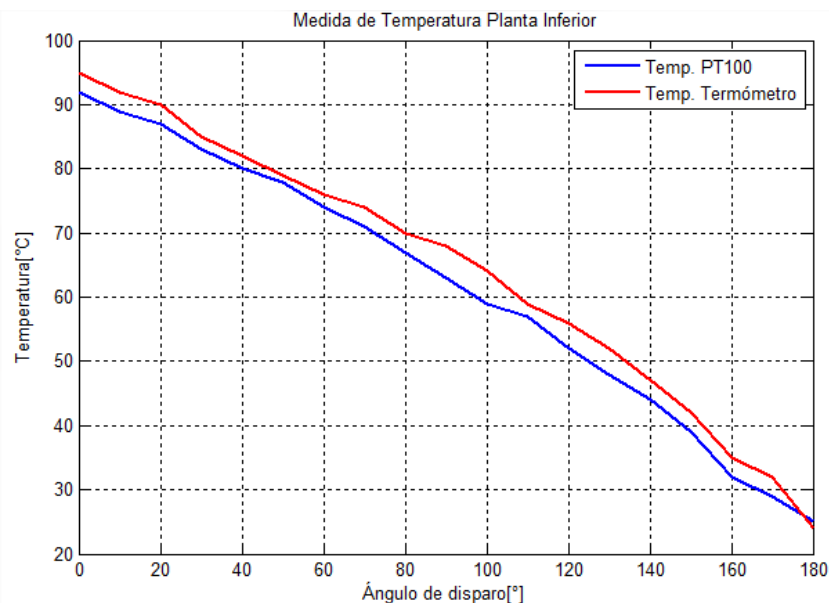
Para el caso de las mediciones de nivel y presión en el tanque inferior, como este maneja temperaturas hasta  $100^{\circ}\text{C}$ , se utilizó el sensor de presión mpx 5010dp para las dos variables, ya que garantiza su funcionamiento hasta  $125^{\circ}\text{C}$  [46]. Por lo tanto como se hicieron pruebas tanto de subida como de bajada, y se midió el voltaje de salida del sensor en cada centímetro del tanque para poder obtener la presión que ejerce el líquido con la ecuación 1, este mismo voltaje se puede asociar a la medida de nivel, en la tabla 4 (*Anexos*) se pueden observar los datos, los límites de nivel para este tanque se establecen de 1 a 25 cm, ya que este tanque tiene una mirilla de esa longitud, de igual forma para la presión, el sensor es muy inestable a bajos niveles de líquido, por lo que también se usó la ecuación de la recta para linealizar los datos que se presentan ante el cliente del aplicativo.



**Figura 9.** Medida de presión vs nivel del tanque inferior. Imagen elaborada por autores.

- Temperatura.

Para la respectiva medición de temperatura del líquido en el tanque inferior, se tiene el sensor de referencia PT100 de 3 hilos, el cual es una resistencia variable conforme cambia la temperatura, y logra medir cambios de temperatura hasta los 840°C [48], para este caso lo que se realizó fue cambiar el ángulo de disparo de un triac desde 0° hasta las 180°, para poder medir la salida del sensor, y conforme una tabla que brinda el fabricante en su ficha técnica, se pudo asociar la resistencia a la temperatura, de igual forma este sensor está conectado a un transmisor 4-20mA, y permite que para cada dato de temperatura se obtenga una corriente entre los 4 y 20 mA, en la tabla 5 (Anexos) y la figura 10, se pueden observar estos datos. Se utilizó un termómetro para comparar contra los datos de la PT100, para esta variable no se realizaron pruebas de subida y bajada ya que es un proceso lento.



**Figura 10.** Medida de temperatura vs ángulo de disparo del Triac. Imagen elaborada por autores

## 7.2. VALIDACIÓN CÁMARA IP

En el transcurso del proyecto se utilizó la cámara IP AXIS M1013 de la empresa AXIS Communications, con el fin de no consumir recursos al sistema embebido en el tratamiento de imágenes y aprovechar las herramientas que brinda las TIC como es el poder acceder a una cámara que se encuentra en una red de internet. Para el uso de la cámara únicamente se debe instalar el software IP Utility y conectar está dentro de la red a través de un cable ethernet para asignarle una dirección IP disponible, al acceder a la dirección se puede observar en tiempo real el video que está obteniendo la cámara, como se observa en la figura 11.



**Figura 11.** Visualización de la interfaz de la cámara IP. Imagen tomada por autores.

### 7.3. VALIDACIÓN BEAGLEBONE BLACK

Teniendo en cuenta la validación del módulo educativo y al revisar las posibles entradas y salidas que son necesarias usar en el sistema embebido, la BeagleBone Black es un dispositivo adecuado para este proyecto, como se puede observar en la figura 12, esta tarjeta tiene múltiples entradas análogas de 0 a 1.8 v, tiene diferentes pines para configuración de salida o entrada digital de 0 a 3.3 v o para diferentes usos como PWM, comunicación serial, uso de pantallas led LCD, entre otros.

## Cape Expansion Headers

P9				P8			
DGND	1	2	DGND	DGND	1	2	DGND
VDD_3V3	3	4	VDD_3V3	MMC1_DAT6	3	4	MMC1_DAT7
VDD_5V	5	6	VDD_5V	MMC1_DAT2	5	6	MMC1_DAT3
SYS_5V	7	8	SYS_5V	GPIO_66	7	8	GPIO_67
PWR_BTN	9	10	SYS_RESETN	GPIO_69	9	10	GPIO_68
UART4_RXD	11	12	GPIO_60	GPIO_45	11	12	GPIO_44
UART4_TXD	13	14	ENHPWM1A	ENHPWM2A	13	14	GPIO_26
GPIO_48	15	16	ENHPWM1B	GPIO_47	15	16	GPIO_46
SPI0_CS0	17	18	SPI0_D1	GPIO_27	17	18	GPIO_65
I2C2_SCL	19	20	I2C2_SDA	ENHPWN2A	19	20	MMC1_CMD
SPI0_D0	21	22	SPI0_SCLK	MMC1_CLK	21	22	MMC1_DAT5
GPIO_49	23	24	UART1_TXD	MMC1_DAT4	23	24	MMC1_DAT1
GPIO_117	25	26	UART1_RXD	MMC1_DAT0	25	26	GPIO_61
GPIO_115	27	28	SPI1_CS0	LCD_VSYNC	27	28	LCD_PCLK
SPI1_D0	29	30	GPIO_112	LCD_HSYNC	29	30	LCD_AC_BIAS
SPI1_SCLK	31	32	VDD_ADC	LCD_DATA14	31	32	LCD_DATA15
AIN4	33	34	GNDA_ADC	LCD_DATA13	33	34	LCD_DATA11
AIN6	35	36	AIN5	LCD_DATA12	35	36	LCD_DATA10
AIN3	37	38	AIN2	LCD_DATA8	37	38	LCD_DATA9
AIN0	39	40	AIN1	LCD_DATA6	39	40	LCD_DATA7
GPIO_20	41	42	ECAPPWM0	LCD_DATA4	41	42	LCD_DATA5
DGND	43	44	DGND	LCD_DATA2	43	44	LCD_DATA3
DGND	45	46	DGND	LCD_DATA0	45	46	LCD_DATA1

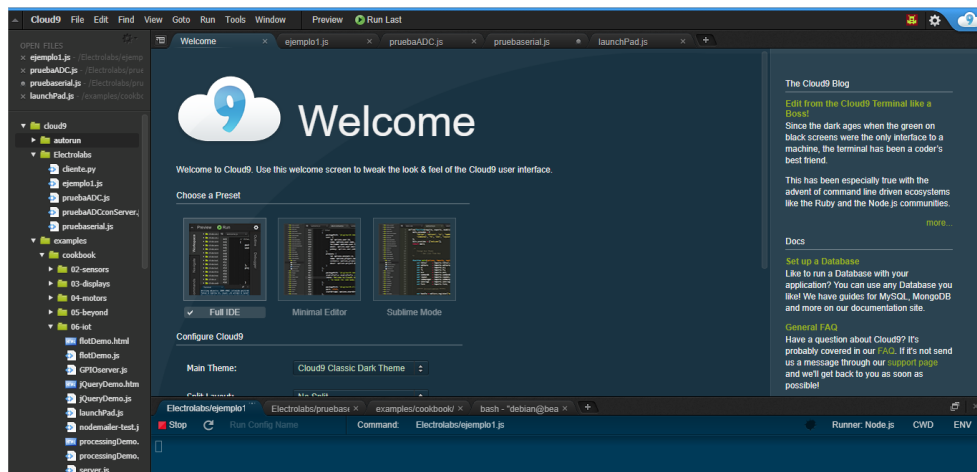
**LEGEND**

- POWER/GROUND/RESET
- AVAILABLE DIGITAL
- AVAILABLE PWM
- SHARED I2C BUS
- RECONFIGURABLE DIGITAL
- ANALOG INPUTS (1.8V)

**Figura 12.** Listado de puertos de la BeagleBone Black. Tomada de: <http://beagleboard.org/Support/bone101>

Otra característica que tiene a favor la BeagleBone Black es el acceso gratuito a Cloud9, el cual es un IDE en la nube desarrollado por la empresa Amazon, a este se puede acceder a través de la dirección IP que tiene el sistema embebido, en la figura 13 se puede observar la interfaz del IDE, este entorno de desarrollo utiliza múltiples lenguajes de programación entre ellos Javascript, que es el lenguaje que se usó para la implementación del aplicativo web. Cloud9 tiene integrado frameworks y librerías necesarias para el desarrollo del aplicativo en el sistema embebido y ejemplos de uso, también se puede manejar la consola del sistema operativo por este medio, todo esto permite el no tener que acceder directamente o por conexión remota al sistema operativo de la BeagleBone Black.

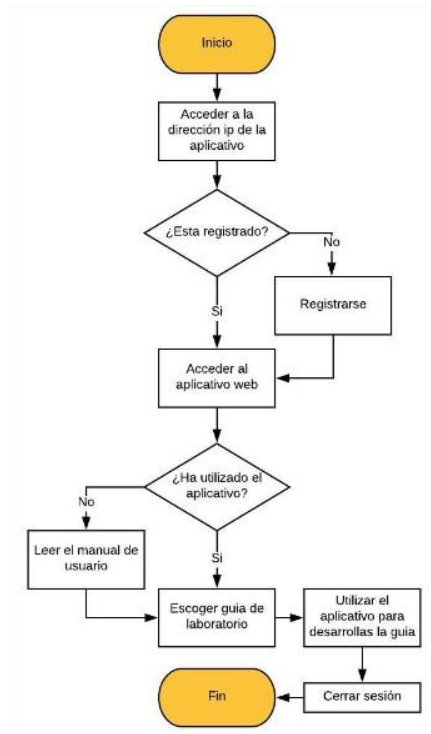
Adicionalmente, a través de la página oficial de la BeagleBone Black se puede probar las diferentes funciones que se usan en el IDE, la conexión del dispositivo y los diferentes pines.



**Figura 13.** Cloud IDE para la BeagleBone Black. Imagen tomada por autores.

## 7.4. APLICATIVO WEB

En esta etapa para el desarrollo del aplicativo web, donde el usuario puede interactuar de manera didáctica con el módulo educativo, se planteó una interacción del usuario con todo el sistema, como se observa en la figura 14, esto se logró teniendo en cuenta las validaciones de los dispositivos que se usan, y para ello se dividió en dos partes, el back-end y el front-end, esto con el fin de separar la capa de manejo, administración y procesamiento de datos con la capa de presentación al usuario.



**Figura 14.** Estructura de la interacción del usuario con el aplicativo web. Imagen elaborada por autores.

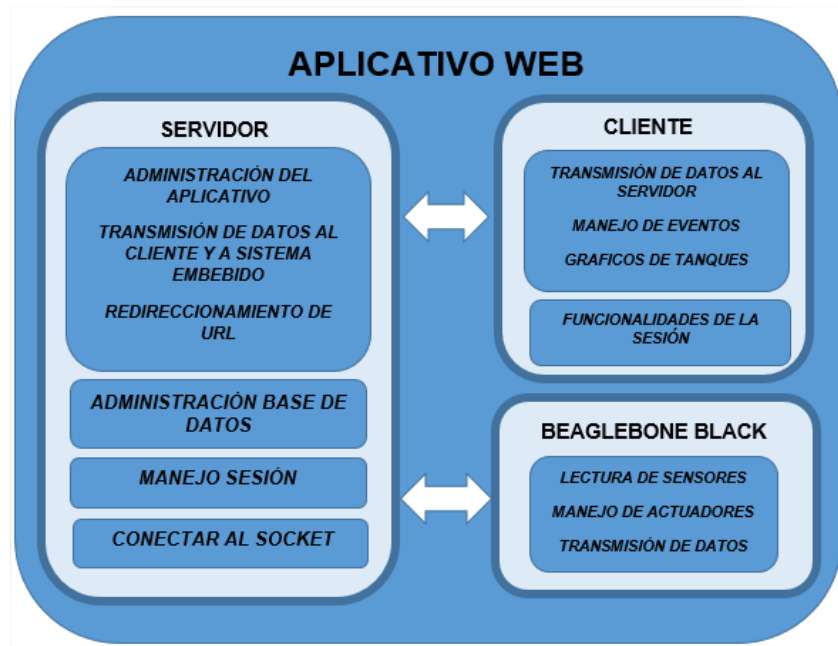
A continuación, se expone cada una de estas partes:

#### 7.4.1. BACK – END

El back-end se dividió en tres partes, la primera es la que se encuentra en el servidor, la cual es la encargada de la administración del aplicativo y de la base de datos, el manejo de la sesión del usuario, el re direccionamientos de los diferentes enlaces URL y establecer las diferentes comunicaciones con la BeagleBone Black y el cliente. La segunda parte se encuentra en el sistema embebido, esta es la que recibe los datos de los sensores y maneja los actuadores del módulo educativo, por último, está la parte en el lado del cliente la cual maneja los eventos ocurridos en el aplicativo, realiza las gráficas de los tanques, realiza varias funciones de la sesión activa y realiza la comunicación con el servidor, esto se puede observar en la figura 15.

Para establecer el servidor web que procesa el aplicativo, se usó un computador portátil Samsung NP300E4C con procesador Intel Core i5 y una memoria RAM de 8 GB. Para lograr ejecutar el programa, se utilizó el entorno en tiempo de ejecución multiplataforma Node.js, este se escogió, ya que la mayor parte del aplicativo web

maneja herramientas del MEAN Stack y el lenguaje de programación que utiliza es JavaScript.

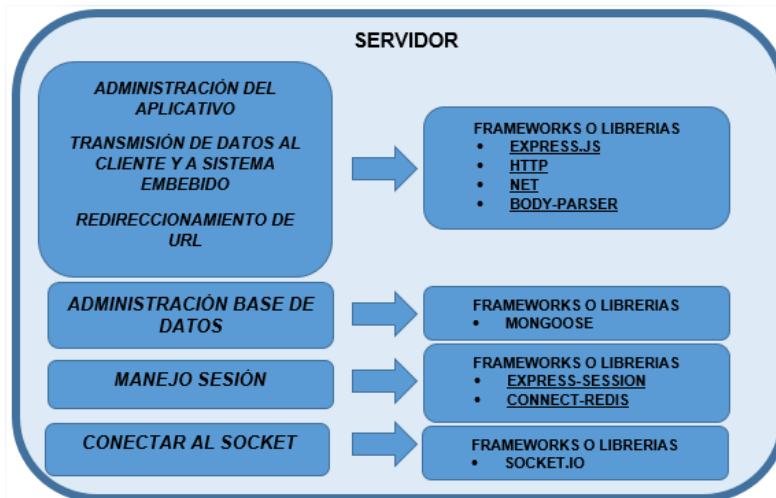


**Figura 15.** Estructura del back-end del aplicativo web. Imagen elaborada por autores.

En el lado del servidor, la estructura se dividió en 4 partes, la primera, es la encargada de la administración, la organización y el despliegue del aplicativo, la transmisión de datos al cliente y al sistema embebido y el re direccionamiento a las diferentes URL que el cliente solicita, todo esto se logró mediante los frameworks o librerías Express, HTTP, Net y Body-Parser, a través de clases y funciones propias de estos que se adaptaron a las necesidades del programa. En la segunda parte se encuentra el sistema de gestión para la base de datos, en la cual se utilizó el framework Mongoose, este permite la conexión a MongoDB, el cual es un sistema de base de datos no relacional y que tiene la ventaja de que se puede administrar a través de un formato JSON, por otro lado, a esta se puede acceder de manera más fácil con el lenguaje de programación Javascript y el framework Express.

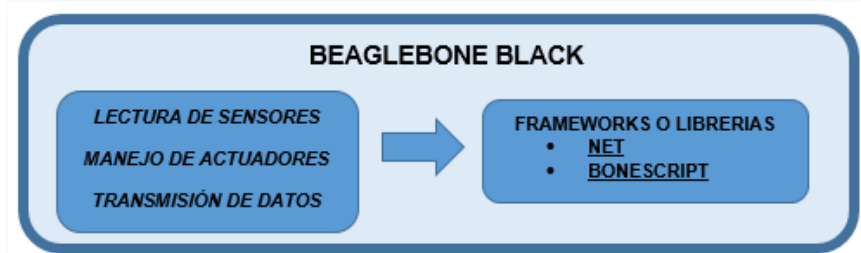
En la tercera parte, se procedió a manejar las sesiones, para ello se tuvo que utilizar los frameworks connect-redis y express-session, los cuales permitieron realizar conexiones a la base de datos de una manera rápida, tener persistencia en disco para que los datos no se pierden fácilmente y también mostrar y usar la sesión que está en uso. Y por último se encuentra el modulo del socket para la conexión ante el cliente, para el cual se necesitó del framework de socket.io.

Todos estos frameworks o librerías que se utilizaron, se debieron instalar mediante un manejador de paquetes propio de Node.js, llamado NPM, al realizar estas instalaciones dentro del aplicativo y no del sistema operativo, el proceso es muy corto y no requiere largos tiempos de espera para alguna actualización o instalación. Estas partes del aplicativo web en el lado del servidor se pueden observar en la figura 16.



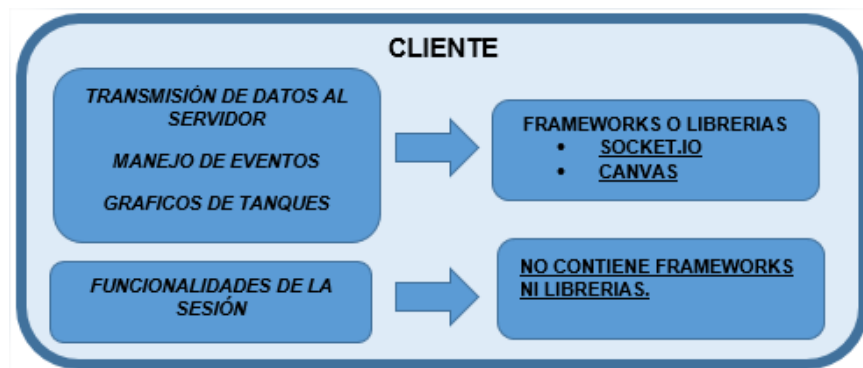
**Figura 16.** Estructura del servidor con sus respectivos framework o librerías para cada módulo. Imagen elaborada por autores.

Por otro lado, tenemos la parte del aplicativo web desarrollada en la BeagleBone Black como se observa en la figura 17, como se mencionó anteriormente se utilizó el IDE Cloud9, donde ya viene por defecto múltiples frameworks o librerías instaladas, por lo que no se requiere de ningún manejador de paquetes. En primer lugar, se utilizó el framework Bonescript, el cual permite el uso del hardware del sistema embebido, mediante este se logró obtener la lectura de los sensores y el manejo de los actuadores con funciones como el configurar pines de entrada o salida, el PWM, la lectura análoga, entre otros. La librería net permite la transmisión de datos hacia el servidor.



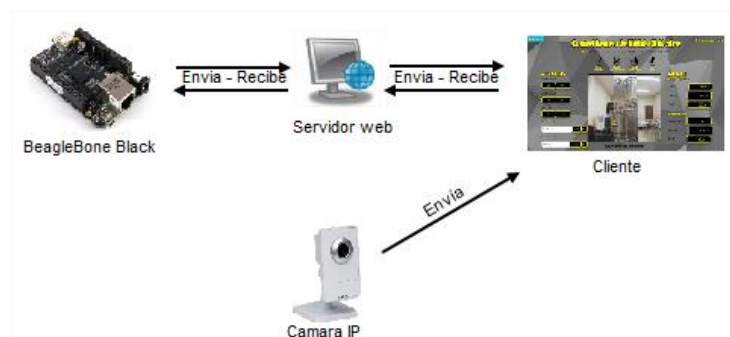
**Figura 17.** Estructura de la BeagleBone Black con sus respectivos framework o librerías para cada módulo. Imagen elaborada por autores.

Por último, se tiene la parte del lado del cliente, la cual se dividió en dos partes, la primera para la transmisión de datos hacia el servidor, manejar los eventos que ocurren en el aplicativo web y la gráfica de los tanques de manera digital, para ello, se utilizaron los frameworks socket.io y canvas, que proveen distintas funciones o clases que permiten facilidad a la hora del desarrollo del aplicativo web. En segundo lugar, se encuentra un módulo que maneja funcionalidades de la sesión, como lo es el tiempo de conexión o el evento del botón al cerrar la sesión. En la figura 18 se puede observar los módulos de la parte del cliente del aplicativo web.



**Figura 18.** Estructura del lado del cliente con sus respectivos framework o librerías para cada módulo. Imagen elaborada por autores.

Para establecer las diferentes comunicaciones para el funcionamiento del aplicativo, como se observa en la figura 19, se realizaron las comunicaciones bidireccionales entre el servidor-BeagleBone Black y el servidor-Cliente, donde el servidor es el que aloja toda la información y es el que permite la circulación de los datos entre el usuario y el módulo educativo el cual está conectado a el sistema embebido, y la comunicación unidireccional entre cliente-cámara IP para la transmisión del video en tiempo real del módulo educativo.



**Figura 19.** Comunicaciones establecidas para el funcionamiento del aplicativo web. Imagen elaborada por autores.

A continuación, se presenta el desarrollo para cada comunicación que se realizó:

- Servidor-BeagleBone Black

Esta comunicación bidireccional se estableció a través del modelo TCP/IP creando un web socket entre el servidor y el sistema embebido, para ello se usa la librería net en ambas partes, entonces la BeagleBone Black al ejecutar el respectivo código se queda esperando alguna comunicación, la cual se crea en el momento que el servidor detecta que un usuario accede a la aplicación web y se termina al cerrar la sesión o que el tiempo de uso de la aplicación termine, esta librería también permite realizar acciones si se llega a detectar algún error en la comunicación, esto permite que el sistema embebido logre detener el módulo en algún caso de error en la comunicación.

Esta parte del proyecto permite obtener en el servidor los datos adquiridos de los diferentes sensores de presión, nivel y temperatura, y enviar hacia el sistema embebido las respectivas acciones para cada actuador del módulo educativo, excepto para la resistencia calefactora.

Como se mencionó anteriormente, en esta parte del proyecto se tuvo que adicionar un sistema embebido Arduino Uno, generando una comunicación unidireccional BeagleBone Black-Arduino Uno, ya que al generar una interrupción en la BeagleBone Black para que detectara el cruce por 0 para el manejo de la potencia disipada en la resistencia calefactora, este no era muy preciso y no lograba sincronizar los tiempos, por lo que se decide utilizar un Arduino que se encargue de este proceso de detectar el cruce por 0 y hacer el respectivo disparo al triac.

- Servidor-Cliente

La comunicación entre el servidor y el cliente se estableció a través de la librería socket.io, en esta parte también se realiza a través de un web socket el cual se crea apenas el usuario accede a la aplicación web, permite que el servidor pueda obtener las peticiones del cliente y obtener los datos ingresados tanto en la parte del acceso a la plataforma, el registro y lo que se desea realizar con los actuadores del módulo educativo.

- Cliente-cámara IP

La comunicación entre el cliente y la cámara IP es unidireccional, ya que únicamente la cámara es la que envía datos, el cual es la transmisión en tiempo real del módulo educativo basado en tanques acoplados, esto se logra al establecer la dirección IP de la cámara dentro del HTML del cliente.

#### 7.4.2. CAPA DE PRESENTACIÓN O FRONT-END

El front-end o capa de presentación de un aplicativo web es el que permite el diseño para que la interacción del cliente sea más fácil y atractiva, para el proyecto se usa los lenguajes de programación HTML y CSS y el framework Bootstrap, el cual contiene múltiples plantillas de diseño y está basado en los lenguajes que se mencionaron anteriormente, se desarrollaron 5 pantallas diferentes: la del registro del usuario, el acceso del usuario, la interacción del usuario con el módulo educativo y dos pantallas de no acceso a la plataforma, la primera cuando la BeagleBone Black se encuentra desconectada y la segunda cuando ya hay un usuario trabajando en la plataforma. En la figura 15 se puede observar el diseño de la pantalla para el acceso a la plataforma virtual.



**Figura 16.** Pantalla para el acceso a la aplicación web. Imagen tomada por autores.

Para el caso de la pantalla de la plataforma la cual permite la interacción del usuario con el módulo educativo, figura 16, se divide en cuatro partes, la primera que se encuentra en la parte izquierda es el manejo de los actuadores por parte del cliente, los cuales se observaron en el capítulo 7.1, la siguiente parte es la que se encuentra en la parte derecha, donde se pueden visualizar las variables físicas medidas por los sensores, la siguiente es el acceso a 4 archivos pdf, donde uno de ellos es el manual de la plataforma para el usuario y los otros 3 las respectivas guías planteadas para el proyecto, por último se tiene ubicado en el centro la transmisión en tiempo real de la cámara IP.



**Figura 17.** Interfaz de la aplicación web para el manejo del módulo educativo. Imagen tomada por autores.

## 7.5. PRUEBAS Y DETECCIÓN DE FALLOS

En esta sección, las pruebas se realizaron en los diferentes laboratorios ETM de la Universidad Santo Tomás, donde en cada uno de ellos se obtiene la conexión al aplicativo web de manera local, se desarrollaron las diferentes guías planteadas y se permitió el uso a estudiantes y profesores de la facultad de Ingeniería Electrónica, a los cuales se les realizó una encuesta de satisfacción al final, para cada tanque también se le realizaron pruebas para la detección de fallos en el momento de llenarse los tanques de agua o la temperatura obtenga valores muy altos y la última prueba que se desarrolló fue el acceso en el mismo momento de varios usuarios a la plataforma, para asegurar que solo uno de ellos puedan interactuar con el módulo.

## 7.6. DISEÑO DE ENCUESTA DE EXPERIENCIA

Para complementar el uso del aplicativo web, se diseñaron dos tipos de encuestas, una dirigida a los estudiantes y otra a docentes de la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, con el objetivo de recolectar información sobre la experiencia que se tiene al usar la plataforma web para el manejo del módulo educativo basado en tanques acoplados a distancia.

Conforme a lo anterior, las dos encuestas que se encuentran en anexos (figura 20 y figura 21) cuentan con tres partes, en la primera se buscó obtener la satisfacción de los usuarios en cuanto al uso y diseño del aplicativo web, seguido a esto se diseñan varias preguntas sobre los laboratorios remotos y por último, se planteó un campo de observaciones y sugerencias para la plataforma, donde se busca obtener varias opiniones para agregar o quitar elementos, y que el usuario pueda obtener

de esta forma una mejor experiencia al desarrollar un laboratorio remoto para el aprendizaje de sistemas industriales de medición .

### **7.7. DISEÑO DE GUIAS DE LABORATORIO**

En esta parte del proyecto, con el fin de que los estudiantes puedan afianzar y consolidar los conocimientos adquiridos sobre los sistemas industriales de medición, se diseñaron tres guías de laboratorio con el fin de operar en línea un módulo didáctico que maneja las variables físicas de temperatura, nivel, caudal y presión, también se realizó un manual de usuario con el fin de que el usuario se guíe para el manejo del aplicativo y pueda desarrollar las guías de manera más óptima, esta se encuentra en los anexos. Estas guías de laboratorio se desarrollan de la siguiente manera:

- **Guía de laboratorio nivel vs presión**

Las variables de nivel y presión son comunes en los sistemas industriales, por lo que se plantea que el estudiante pueda relacionar que sucede con estas variables a medida que van cambiando y se pueda familiarizar con los sensores de nivel y presión, para ello se solicita realizar la curva de caracterización y compararla contra un dato teórico, en esta práctica se interactúa con los dos tanques que posee el módulo. La guía de laboratorio se encuentra en los anexos.

- **Guía de laboratorio nivel vs caudal**

En el caso de esta guía de laboratorio, se diseñó una práctica en la cual el estudiante pueda relacionar las variables de nivel con caudal, de igual forma se realice la curva de caracterización y obtenga el caudal de manera práctica para compararlo contra el dato obtenido a través del sensor, también se familiariza al estudiante con un sensor que mide a través de cierta cantidad de pulsos, para ello se le solicita leer la ficha técnica que realiza el fabricante del sensor. La guía de laboratorio de nivel vs caudal se encuentra en los anexos.

- **Guía de laboratorio caracterización PT100**

La PT100 es un sensor de temperatura muy usado en la industria para la medición de temperaturas ya que es capaz de medir hasta 800°C, por lo que esta guía de laboratorio se encarga de familiarizar al estudiante con este sensor para que observe su funcionamiento, en esta práctica únicamente se trabaja con el tanque inferior y se puede observar que sucede al manejar un agitador para distribuir el calor dentro de un fluido. La guía de laboratorio se encuentra en los anexos.

## 8. RESULTADOS

El resultado del proyecto se basó en el análisis de las encuestas de medición de impacto realizadas, las cuales, se aplicaron a un público objetivo de docentes y estudiantes de la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás.

La muestra fue de 39 personas, de las cuales 31 son estudiantes y 8 son docentes, estas se realizaron en los laboratorios ETM de la Universidad Santo Tomás en la sede de Bogotá, el aplicativo web se prueba en estos laboratorios en la red local, donde se les solicita a los estudiantes y docentes ingresar a la plataforma, registrarse, utilizarla y al terminar diligenciar la respectiva encuesta.

Como las dos encuestas se dividen en dos partes, la primera en preguntas tipo I, las cuales son dos preguntas para ambas encuestas que tiene una escala de satisfacción de 1 a 5, y las segunda en preguntas tipo II, que son cinco preguntas para estudiantes y cuatro para docentes, que tiene únicamente dos opciones que son SI o NO, entonces se analizó cada tipo de pregunta tanto para estudiantes como para docentes, estos datos a pesar de que tiene preguntas iguales no se unen ya que el criterio de un docente es diferente al de los estudiantes.

La pregunta 1, la cual se refiere a la dificultad en el momento de manejar el aplicativo web, donde 1 es lo más fácil y 5 lo más difícil, en la tabla 6 se puede observar que para el 58% de los estudiantes es muy fácil usar el aplicativo y para el 22% es fácil, en cuanto a los profesores como se observa en la tabla 7 se ve una tendencia muy similar ya que para el 62.5% es muy fácil usar el aplicativo y para el 12.5% es fácil, entonces a través de estos datos se indica que tanto para estudiantes como para profesores es una plataforma de fácil adaptación a la hora de manejar los actuadores y observar los datos de los sensores del módulo educativo de forma remota y de esta manera ser una herramienta útil para poder realizar las prácticas de laboratorio para los sistemas industriales de medición.

En cuanto a la pregunta 2 donde se mira la satisfacción de la interfaz gráfica del aplicativo web para el usuario, donde 1 es deficiente y 5 excelente, la tabla 6 indica que el 74% de los estudiantes califican de manera excelente el diseño web y tan solo el 3%, no se sintió cómodo con la visualización de la aplicación. Por otro lado, en la tabla 7, donde se observa la calificación de los docentes, un 87.5% están catalogan el diseño entre excelente y bueno, aunque en los comentarios detallan que hace falta elementos por agregar para poder obtener una experiencia más agradable con el aplicativo web.

<b>Encuesta estudiantes</b>					
Pregunta tipo I					
	1	2	3	4	5
<b>Pregunta 1</b> Cantidad Estudiantes	18	7	3	2	1
<b>Pregunta 2</b> Cantidad Estudiantes	1	0	1	6	23

**Tabla 6.** Resultados de la encuesta a estudiantes a las preguntas tipo I.

<b>Encuesta Profesores</b>					
Pregunta tipo I					
	1	2	3	4	5
<b>Pregunta 1</b> Cantidad Docentes	5	1	1	1	0
<b>Pregunta 2</b> Cantidad Docentes	0	0	1	3	4

**Tabla 7.** Resultados de la encuesta a docentes a las preguntas tipo I.

Para las preguntas de tipo II, se tiene en cuenta la percepción de los laboratorios remotos dentro de la universidad como una nueva herramienta para el desarrollo de las prácticas. En la tabla 8 se pueden observar los datos obtenidos para las cinco preguntas de la número 3 a la 7 en la encuesta que se encuentra en anexos (figura 21) por parte de los estudiantes. Entonces en la pregunta 3, la cual se refiere a que, si los estudiantes se sienten limitados por tiempo o disponibilidad de espacio para realizar las prácticas, el 93.5% si se sienten afectados por estas condiciones.

En la pregunta número 4, en la cual se pregunta si la universidad cuenta con laboratorios remotos, todos los estudiantes marcaron la opción No, ya que ninguno de ellos ha tenido contacto alguno en ninguna materia, y en la pregunta 5, todos los estudiantes están de acuerdo que el uso de herramientas como laboratorios remotos son útiles a la hora de reforzar y practicar los conocimientos adquiridos de manera teórica.

Para la pregunta número 6, como se muestra en la tabla 7, el 90% de los estudiantes consideran que los laboratorios remotos permiten culminar las prácticas de manera más rápida, y por último en la pregunta número 7, el 97% de los estudiantes encuestados están de acuerdo que los laboratorios remotos también inciden en el aprendizaje profesional.

<b>Encuesta Estudiantes</b>		
Pregunta tipo II		
	si	no
<b>Pregunta 3</b> Cantidad Estudiantes	29	2
<b>Pregunta 4</b> Cantidad Estudiantes	0	31
<b>Pregunta 5</b> Cantidad Estudiantes	31	0
<b>Pregunta 6</b> Cantidad Estudiantes	28	3
<b>Pregunta 7</b> Cantidad Estudiantes	30	1

**Tabla 8.** Resultados de la encuesta a estudiantes a las preguntas tipo II.

Ahora, para las preguntas de tipo II para los docentes, también se les pregunto acerca de los laboratorios remotos. En la pregunta número 3, como se observa en la tabla 9, todos los docentes a los cuales se les realizo la encuesta, están de acuerdo que la Universidad no posee laboratorios remotos, y en las preguntas número 4 y 5, todos los profesores están de acuerdo que se deben adquirir herramientas como los laboratorios remotos para realizar prácticas y que estas permiten obtener una ayuda para los estudiantes.

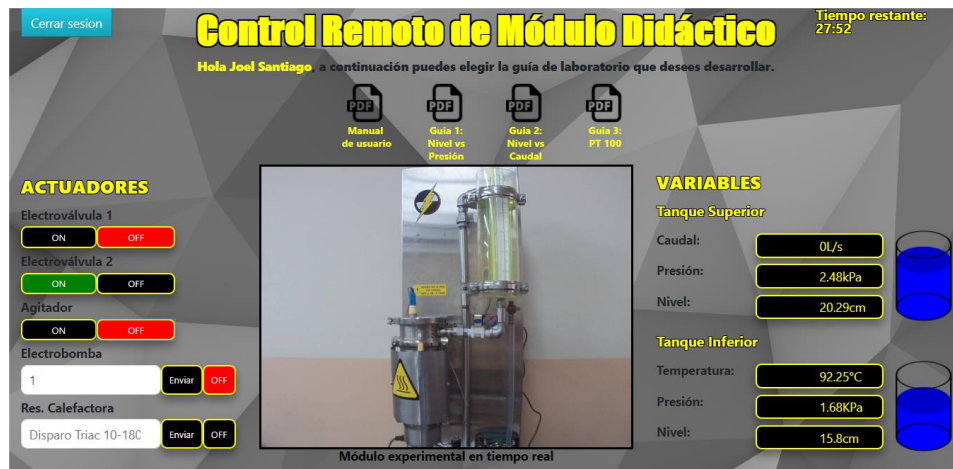
Ahora en la pregunta 6, el 75% de los docentes permiten el uso de los laboratorios remotos a sus asignaturas, al indagar al otro 25%, ellos exponen que las materias las cuales están dictando tienen ejercicios muy prácticos, los cuales el profesor debe tener una presencia física ante los estudiantes, pero que no están en contra de tener esta herramienta en otras materias.

<b>Encuesta Profesores</b>		
Pregunta tipo II		
	si	no
<b>Pregunta 3</b> Cantidad Docentes	0	8
<b>Pregunta 4</b> Cantidad Docentes	8	0
<b>Pregunta 5</b> Cantidad Docentes	8	0
<b>Pregunta 6</b> Cantidad Docentes	6	2

**Tabla 9.** Resultados de la encuesta a docentes a las preguntas tipo II.

Por último, en la parte de los comentarios en las encuestas que realizaron los estudiantes y docentes acerca de la aplicación, se logró observar que se tenía que modificar varios elementos para una mejor experiencia al usar el aplicativo web, por lo que se realizaron cuatro cambios en el aplicativo, el primer cambio es la

adaptación de este a cualquier resolución de pantalla de los dispositivos en que logren acceder, para ello fue necesario modificar la capa de presentación con el framework Bootstrap y HTML, como segundo arreglo fue el manejo de la sesión, debido a que esta no se cerraba en el momento adecuado y la persona podía volver a ingresar al aplicativo sin necesidad de iniciar sesión luego de haber cerrado esta, como tercera medida se crearon dos tanques de manera gráfica a través del framework Canvas, con el fin que la persona pueda observar el nivel de líquido dentro de los tanques de manera digital y por último, se modificaron los botones de los actuadores con el motivo que el usuario pueda observar en qué estado se encuentra el actuador, estos dos últimos cambios se pueden observar en la figura 18.



**Figura 18.** Interfaz de la aplicación web con cambios para el manejo del módulo educativo. Imagen tomada por autores

## **9. IMPACTO SOCIAL**

El presente proyecto permite que a través de un aplicativo web donde se pueden realizar prácticas de laboratorio de forma remota los estudiantes puedan estimular y adquirir habilidades propias en los métodos de investigación científica, logrando de esta forma reforzar, consolidar y comprobar los fundamentos teóricos de los sistemas industriales de medición basados en tanques acoplados, accediendo que de esta manera no se vean interrumpidos o estén limitados a los horarios y la capacidad de los laboratorios ETM ubicados en la Universidad Santo Tomás sede Bogotá, al momento de realizar dichas prácticas de forma presencial.

Por otra parte, este proyecto fomenta el uso de las herramientas de la tecnología de la información y las comunicaciones TIC, con el fin de ayudar a los procesos educativos actuales en la elaboración de prácticas de laboratorio de forma presencial, permitiendo a los profesores tener una herramienta de apoyo interactiva de forma remota, para que los estudiantes puedan interactuar con el módulo educativo físico y no con plataformas de simulación, donde no puedan ver los cambios de las variables en tiempo real.

Como proyección a futuro se espera poder beneficiar a personas que tengan dificultades a la hora de acceder a herramientas educativas de forma presencial, permitiendo reforzar la educación a distancia y virtual de múltiples instituciones educativas.

## 10. CONCLUSIONES

La implementación de un sistema, donde para este proyecto fue un aplicativo web, que permita controlar y visualizar de forma remota los parámetros de un módulo didáctico basado en el módulo de tanques acoplados para el aprendizaje de sistemas industriales de medición de las variables de temperatura, nivel, caudal y presión, como se logra observar en las encuestas de experiencia realizadas a los estudiantes y los docentes, tiene un grado de aceptación alto, y están conformes con el uso y el diseño de esta herramienta, donde la mayoría de ellos están de acuerdo que se deben implementar instrumentos para prácticas de laboratorio remoto en diferentes materias en la facultad de Ingeniería Electrónica.

Esta aplicación permite que los estudiantes tengan una herramienta adicional para realizar sus prácticas de laboratorio relacionadas con el aprendizaje de sistemas industriales de medición del programa de Ingeniería Electrónica, cuando los laboratorios ETM de la universidad Santo Tomás, estén limitados por el horario o la disponibilidad de estos, además de que tienen tres guías de laboratorio ya propuestas de prácticas comunes que se realizan para lograr familiarizarse con diferentes sensores, actuadores y variables que se manejan en la industria.

El manejo de herramientas de las TIC, permite una mejor experiencia al usar el aplicativo, ya que se puede conectar la cámara IP y el sistema embebido para este caso la tarjeta de desarrollo BeagleBone Black, a través de la red local en la que se encuentra el servidor, y de esta forma distribuir diferentes procesos como lo es la transmisión en tiempo real del video del módulo educativo, la lectura de los sensores y el manejo de los actuadores, el manejo de los datos entre el cliente y el módulo educativo, entre otros, en varios aparatos. La transmisión de video de la cámara IP fue optima, ya que no tiene que pasar por ningún tratamiento de imágenes, aunque se incrementan los costos para los proyectos. Además, que la BeagleBone Black, tiene la opción de poder programarse en la nube a través de Cloud9.

Por otro lado, durante el desarrollo del proyecto se vio que el lenguaje de programación Javascript tiene una gran ventaja, la cual es que permite desarrollar las diferentes partes de un aplicativo web como lo son la administración de la base de datos, el uso de las sesiones, la programación del sistema embebido, varias funciones que se realizan en la parte del cliente, entre otros, con el mismo lenguaje de programación con lo cual no se debe aprender uno distinto para lograr adecuar cada una de las partes de un aplicativo web, además que las herramientas del

MEAN Stack están en crecimiento y este proyecto permite aprender sobre ellas, obteniendo un instrumento más para la vida profesional.

## 11. TRABAJO FUTURO

Como trabajo futuro para este proyecto, se sugieren distintas etapas para el desarrollo de un aplicativo robusto, eficaz y con gran adaptación a distintas ramas de la educación. En primer lugar, se proponen hacer ajustes generales tanto en hardware como en software, mediante la implementación de un sistema de mayor seguridad y administración de la información en el aplicativo web, en el cual, sea posible tener diferentes perfiles, cada uno con diferentes niveles de permisos, y poder tener la comunicación de la cámara IP hacia el servidor y no hacia el cliente, ya que este canal no tiene seguridad por parte del aplicativo web, aunque ahorita los framework para el uso de estas cámaras están en desarrollo y son complejos de usar y muy inestables, se recomienda seguir usando estas cámaras ya que la transmisión de video es rápida y con gran calidad.

Así mismo, se buscan implementar mejoras en el hardware del proyecto, principalmente en los componentes como el servidor, cámara y el sistema embebido, adquiriendo una mejor calidad y rendimiento. Entonces, el servidor debe tener mayores recursos de procesamiento y mayor capacidad de almacenamiento, además de implementar una cámara IP en cada uno de los tanques del módulo educativo, ya que no se logra visualizar el nivel del tanque inferior, ya que está totalmente cubierto y la mirilla es apenas perceptible para el usuario a través de la cámara; ahora bien, para la tarjeta BeagleBone Black, se requiere implementar un sistema embebido que soporte tecnología Wi-Fi, con el fin de controlar y monitorear sistemas que no necesariamente deben estar en la misma red local del servidor o por disponibilidad de puntos de red.

Por otro lado, se desea llevar este aplicativo a diferentes campos de la educación, empezando por emplear distintos sistemas y herramientas que se requieran para realizar prácticas de laboratorio de diferentes asignaturas relacionadas al programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás. Luego, escalar el aplicativo a los diversos programas que ofrece la universidad y que se requiera para sus prácticas de laboratorio.

Finalmente, el gran objetivo es consolidar este aplicativo web como un instrumento que logre abarcar distintas instituciones educativas, como una herramienta de aprendizaje, permitiendo que personas que tienen difícil acceso de manera presencial, logren realizar sus estudios de forma remota, o que los estudiantes que se vean interrumpidos por falta de tiempo o disponibilidad de las instalaciones se puedan apoyar en estas herramientas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. CAÑEDO I., Carlos M. CÁCERES M., Maritza. Fundamentos teóricos para la implementación de la didáctica en el proceso enseñanza-aprendizaje. [ONLINE] Disponible en:  
<http://www.eumed.net/librosgratis/2008b/395/CARACTERIZACION%20DE%20LA%20PRACTICA%20DE%20LABORATORIO.htm>
- [2]. CANDELAS, Francisco. TORRES, Fernando. GIL, Pablo. ORTIZ, Francisco. PUENTE, Santiago. POMARES, Jorge. Laboratorio virtual remoto para robótica y evaluación de su impacto en la docencia. España, 2004. Universidad de Alicante.
- [3]. TENJO G., Jaime. Demanda por educación superior: proyecciones hasta 2025. [ONLINE] Disponible en:  
<http://www.javeriana.edu.co/documents/15838/273636/SPEDES30112012.pdf/731df021-acd0-4d39-9ed4-fc3704eaa6f0>
- [4]. LORANDI M., Alberto P. HERMIDA S., Guillermo. HERNANDEZ S., José. LADRON, Enrique. Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza de la ingeniería. México, 2011. Revista internacional de educación en ingeniería.
- [5]. Sielco Sistemi. Company. [ONLINE] Disponible en:  
<https://www.sielcosistemi.com/en/company/company.html>
- [6]. Sielco Sistemi. Products Winlog Pro. [ONLINE] Disponible en:  
<https://www.sielcosistemi.com/en/homepage/index.php>
- [7]. Yokogawa. About Yokogawa. [ONLINE] Disponible en:  
<https://www.yokogawa.com/about/>
- [8]. Direct Industry. Yokogawa Software de gestión / de adquisición de datos / de SCADA / de proceso. [ONLINE] Disponible en:  
<http://www.directindustry.es/prod/yokogawa-europe/product-19033-457391.html>
- [9]. Stellenangebote. HST systemtechnik. [ONLINE] Disponible en:  
<https://www.hst.de/hst/karriere.html>
- [10]. Direct Industry. HST systemtechnik. Software de SCADA V10. [ONLINE] Disponible en:  
<http://www.directindustry.es/prod/hst-systemtechnik-gmbh-co-kg/product-90473-1136127.html>

[11]. ER-Soft Industrial Control & communication systems. Sobre ER-Soft. [ONLINE] Disponible en:

<http://www.er-soft.com/sobre-nosotros>

[12]. ER-Soft Industrial Control & communication systems. Equipos IIoT para Supervisión, Administración y Control Remoto de Dispositivos y/o Sistemas Industriales. [ONLINE] Disponible en:

<http://www.er-soft.com/noticias/equipos-iiot-para-supervision-administracion-y-control-remoto-de-dispositivos-y-o-sistemas-industriales>

[13]. PcVue Solutions. About Us. [ONLINE] Disponible en:

<https://www.pcvuesolutions.com/index.php/company/about-us-2>

[14]. Direct Industry. PCVue Solutions Software HMI / de SCADA. [ONLINE] Disponible en:

<http://www.directindustry.es/prod/arc-informatique/product-7973-1825962.html>

[15]. MATEUS G., Tatiana. PARDO B., Camilo E. RODRÍGUEZ P., Manuel F. Sistema de monitoreo y control remoto con acceso inalámbrico bidireccional a procesos industriales. Colombia, 2010. Universidad Santo Tomás sede Tunja.

[16]. BRITOS, Daniel. VARGAS, Laura. ARIAS, Silvia. GIRAUDO, Nicolás. VENERANDA, Guillermo. Laboratorio remoto virtual para la enseñanza de administración de redes. Argentina, 2013. Universidad Nacional de Córdoba.

[17]. MOLINA, Cristian D. CALVO, Andrés F. PAMPLONA, Leidy E. Desarrollo de un módulo experimental de difracción de la luz para un laboratorio de física controlado de forma remota. Colombia, 2016, Universidad Tecnológica de Pereira.

[18]. VALDIVIEZO E., Juan. Control remoto de planta piloto Compact Workstation FESTO, una propuesta de laboratorios remotos. Perú, 2016, Universidad de Piura.

[19]. MORENO R., Telmo J. ORNA C., Javier E. MORENO A., Hugo O. AAGUINAGA B., Álvaro G. JARA C., Nelson G. Adquisición de datos de magnitudes en un sistema oleo hidráulico para su control y monitoreo en un laboratorio remoto de instrumentación virtual de código abierto. Ecuador, 2017, European Scientific Journal.

[20]. COBOS M., Jesús L. Sistemas de laboratorios remotos sobre instrumentación de tiempo real: aplicación a laboratorios de medida de tensión interfacial. España, 2017. Universidad de Granada

[21]. BERMÚDEZ G., Raúl F. MOSQUERA A., César A. PÉREZ V., José D. Implementación de un sistema de supervisión y control remoto para un sistema de refrigeración industrial. Colombia, 2013. Universidad Tecnológica de Pereira.

- [22]. GONZÁLEZ S., Diego P. NORIEGA P., Daniel R. Diseño e implementación de un módulo didáctico para control de nivel, temperatura y caudal mediante la red de comunicación de campo DeviceNet. Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército.
- [23]. Ministerio de Educación - MINEDUCACIÓN, Sistema educativo colombiano. [ONLINE] Disponible en:  
<http://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-233839.html>
- [24]. MELLA G., Elia. La educación en la sociedad del conocimiento y del riesgo. Chile, 2003. Universidad de Magallanes.
- [25]. MOLAS, Lluís. FERRATER, Coia. GOMIS, Oriol. SUDRIA, Antoni. BOIX, Oriol, BENITEZ, Israel. SICCHAR, Rubén. GOMES, Marivan. ROLDÁN, Félix. ARIAS, Kesenia. VILLAFRUELA, Luisa. Integración internacional de plataformas de enseñanza a distancia de automatización con PLCs. 2006.
- [26]. GARCÍA M., Emilio. Automatización de procesos industriales. Robótica y automática. Valencia, España. Editorial Universitat Politècnica de Valencia, 1999.
- [27]. Sección Informática – EUATM. Introducción al Web. [ONLINE] Disponible en:  
<http://www.edificacion.upm.es/informatica/documentos/www.pdf>
- [28]. MND web docs. World Wide Web. [ONLINE] Disponible en:  
[https://developer.mozilla.org/es/docs/Glossary/World\\_Wide\\_Web](https://developer.mozilla.org/es/docs/Glossary/World_Wide_Web)
- [29]. Adobe. Aspectos básicos de las aplicaciones Web. [ONLINE] Disponible en:  
<https://helpx.adobe.com/mx/dreamweaver/using/web-applications.html>
- [30]. Web Programación. Aplicaciones Web vs Aplicaciones de escritorio. [ONLINE] Disponible en:  
<https://webprogramacion.com/356/blog-informatica-tecnologia/aplicaciones-web-vs-aplicaciones-de-escritorio.aspx>
- [31]. MATEU, Carles. Desarrollo de aplicaciones web. Primera edición. Barcelona, España. Eureka Media. 2004.
- [32]. MORA, Sergio L. Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web. Editorial Club Universitario, 2002.

- [33]. SILBERSCHATZ, Abraham. Fundamentos de bases de datos. Cuarta edición. Madrid, España. MC Graw Hill, 2002.
- [34]. DENNIS, McLeod. MILES SMITH, John. Abstractions in Databases. University of Southern California. 1980.
- [35]. BRETZ, Adam. IHRIG, Colin. Full stack Javascript development with MEAN. SitePoint Pty. Ltd. 2014.
- [36]. HOLMES, Simon. Getting MEAN with Mongo, Express, Angular and Node. Manning Publications Co., 2015.
- [37]. PERÉZ G., Miguel Á. Instrumentación electrónica. Ediciones Paraninfo, S.A. 2014.
- [38]. National Instruments. ¿Qué es adquisición de datos? [ONLINE] Disponible en: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- [39]. BeagleBoard.org. BeagleBone Black. [ONLINE] Disponible en: <https://beagleboard.org/black>
- [40]. RODRÍGUEZ P., Aquilino. Sistemas SCADA. Segunda edición. Barcelona, España. Marcombo S.A., 2007. Pág. 19-20, 263-264.
- [41]. OROZCO V., Elio A.. Los protocolos de comunicaciones en el entorno industrial, sus fundamentos y su importancia en el sistema de automatización de una planta de generación de energía geotérmica. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006.
- [42]. Cisco. Información general TCP/IP. [ONLINE] Disponible en: [https://www.cisco.com/c/es\\_mx/support/docs/ip/routing-information-protocol-rip/13769-5.pdf](https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/ip/routing-information-protocol-rip/13769-5.pdf)
- [43]. SANTANA S., Willian A. URREA A., Sergio A. Plan de negocios para la creación de una empresa enfocada a la prestación de servicios de módulos didácticos para el aprendizaje de sistemas industriales de medición. Colombia, 2018. Universidad Santo Tomás.

[44]. Constitución política de Colombia. Artículo 67. [ONLINE] Disponible en: <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-2/articulo-67>

[45]. Continuous fluid level sensor PN 12110215TC-12. E-Tape. [ONLINE] Disponible en: [https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/eTape+Datasheet+12110215TC-12\\_040213.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/eTape+Datasheet+12110215TC-12_040213.pdf)

[46]. Integrated silicon pressure sensor on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. Data Sheet: Technical data. NXP. [ONLINE] Disponible en: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX5010.pdf>

[47]. Item: YF-S201C. [ONLINE] Disponible en: [https://www.danomsk.ru/upload/iblock/43d/193917\\_3b664efb7b37f7ae8ea1eea40978a265.pdf](https://www.danomsk.ru/upload/iblock/43d/193917_3b664efb7b37f7ae8ea1eea40978a265.pdf)

[48]. Pt100, su operación, instalación y tablas. ARIAN: Control & Instrumentación. [ONLINE] Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

## IMÁGENES Y TABLAS

### A. IMÁGENES

**Figura 1.** Representación de la dinámica de los servidores Web. [ONLINE] Disponible en: <http://culturacion.com/como-convertir-un-pc-en-servidor-web/>

**Figura 2.** Representación de la arquitectura de un aplicativo Web con MEAN Stack. Disponible en: HOLMES, Simon. Getting MEAN with Mongo, Express, Angular and Node. Manning Publications Co., 2015. Pág. 23.

**Figura 3.** Imagen del Sistema embebido BeagleBone Black. [ONLINE] Disponible en: [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Beagle/e14%20BBB\\_SRM\\_rev%200.9.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Beagle/e14%20BBB_SRM_rev%200.9.pdf)

**Figura 4.** Visualización del módulo experimental basado en tanques acoplados. Disponible en: SANTANA S., William A. URREA A., Sergio A. Plan de negocios para la creación de una empresa enfocada a la prestación de servicios de módulos didácticos para el aprendizaje de sistemas industriales de medición. Colombia, 2018. Universidad Santo Tomás. Pág. 24.

**Figura 5.** Estructura de las etapas del proyecto.

**Figura 6.** Medida de resistencia salida sensor vs nivel tanque superior.

**Figura 7.** Medida de nivel vs presión de tanque superior.

**Figura 8.** Medida de caudal tanque superior vs PWM de la electrobomba.

**Figura 9.** Medida de nivel vs presión de tanque inferior.

**Figura 10.** Medida de temperatura vs ángulo de disparo del Triac.

**Figura 11.** Visualización de la interfaz de la cámara IP.

**Figura 12.** Listado de puertos de la BeagleBone Black. [ONLINE] Disponible en: <http://beagleboard.org/Support/bone101>

**Figura 13.** Cloud IDE para la BeagleBone Black.

**Figura 14.** Estructura de la interacción del usuario con el aplicativo web.

**Figura 15.** Estructura del back-end del aplicativo web.

**Figura 16.** Estructura del servidor con sus respectivos framework o librerías para cada módulo.

**Figura 17.** Estructura de la BeagleBone Black con sus respectivos framework o librerías para cada módulo.

**Figura 18.** Estructura del lado del cliente con sus respectivos framework o librerías para cada módulo.

**Figura 19.** Comunicaciones establecidas para el funcionamiento del aplicativo web.

**Figura 20.** Pantalla para el acceso a la aplicación web.

**Figura 21.** Interfaz de la aplicación web para el manejo del módulo educativo.

**Figura 22.** Interfaz de la aplicación web con cambios para el manejo del módulo educativo.

**Figura 23.** Visualización de los pulsos con un PWM por debajo del 60%.

**Figura 24.** Visualización de los pulsos con un PWM por encima del 60%.

**Figura 25.** Encuesta de medición de impacto para los docentes.

**Figura 26.** Encuesta de medición de impacto para estudiantes.

## **B. TABLAS**

**Tabla 1.** Datos de medida de nivel del tanque superior (Anexos).

**Tabla 2.** Datos de medida de presión del tanque superior (Anexos).

**Tabla 3.** Datos de medida de caudal del tanque superior (Anexos).

**Tabla 4.** Datos de medida de presión y nivel del tanque inferior (Anexos).

**Tabla 5.** Datos de temperatura del tanque inferior (Anexos).

**Tabla 6.** Resultados de la encuesta a estudiantes a las preguntas tipo I.

**Tabla 7.** Resultados de la encuesta a docentes a las preguntas tipo I.

**Tabla 8.** Resultados de la encuesta a estudiantes a las preguntas tipo II.

**Tabla 9.** Resultados de la encuesta a docentes a las preguntas tipo II.

## ANEXOS

### A. IMÁGENES

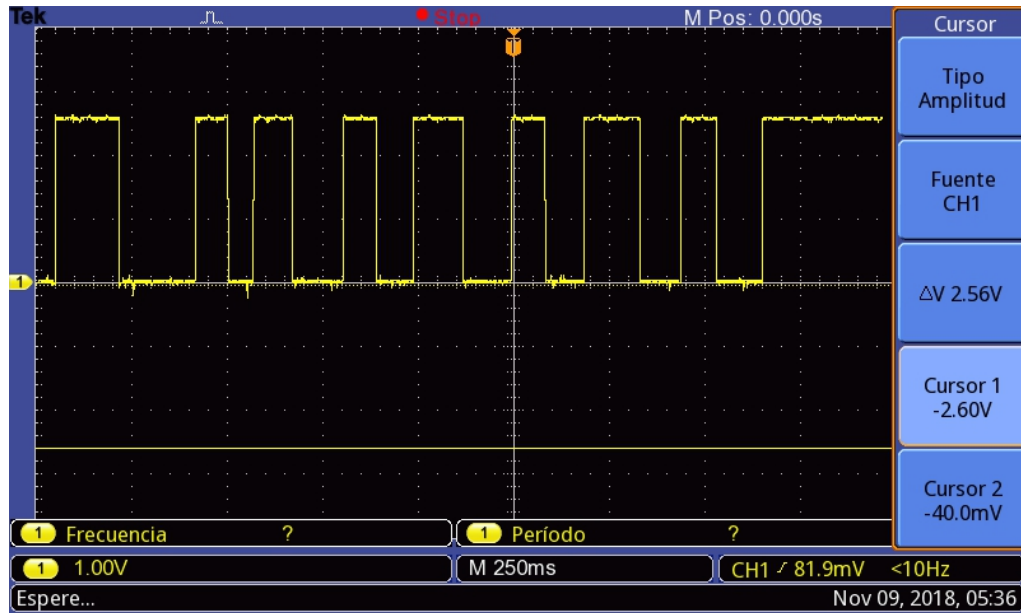


Figura 19. Visualización de los pulsos con un PWM por debajo del 60%.

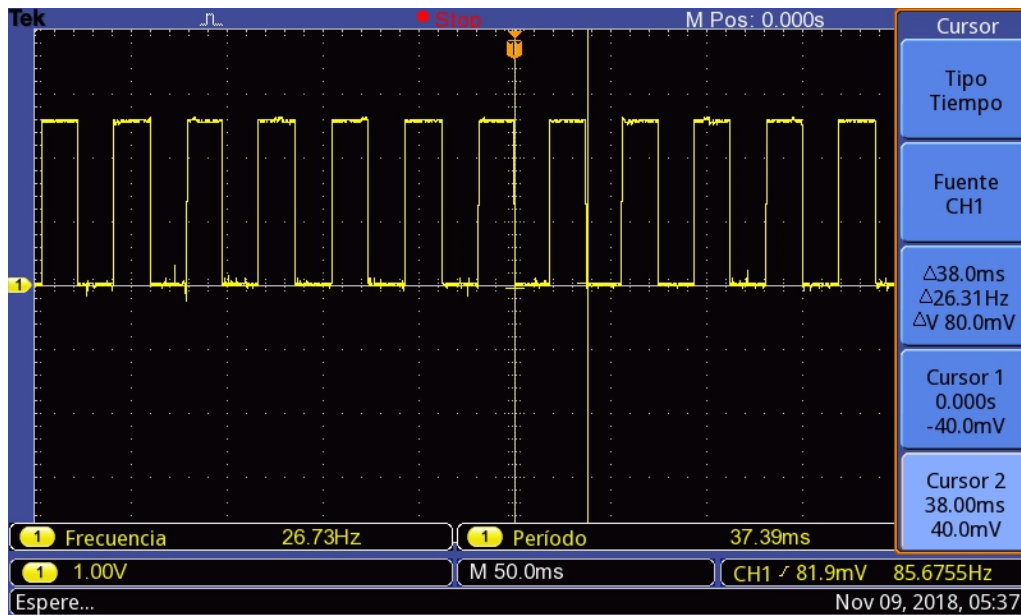


Figura 20. Visualización de los pulsos con un PWM por encima del 60%.

## B. TABLAS

<b>MEDIDA DE NIVEL TANQUE SUPERIOR</b>						
<b>Tanque</b>	<b>Sensor nivel PN-12110215TC-12</b>				<b>Datasheet</b>	<b>Error</b>
<b>Nivel [cm]</b>	<b>Subida [Ω]</b>	<b>Bajada [Ω]</b>	<b>Promedio [Ω]</b>	<b>Linealizado [Ω]</b>	<b>Teórico [Ω]</b>	
0	2370	2370	2370	2370	2250	5,33%
1	2340	2340	2340	2309	2250	2,63%
2	2260	2240	2250	2249	2191	2,63%
3	2190	2170	2180	2188	2132	2,62%
4	2120	2090	2105	2127	2073	2,61%
5	2060	2030	2045	2066	2014	2,60%
6	2010	1990	2000	2006	1955	2,59%
7	1950	1910	1930	1945	1896	2,57%
8	1890	1860	1875	1884	1837	2,56%
9	1840	1790	1815	1823	1778	2,55%
10	1770	1740	1755	1763	1719	2,54%
11	1710	1690	1700	1702	1660	2,52%
12	1670	1620	1645	1641	1601	2,51%
13	1590	1570	1580	1580	1542	2,49%
14	1520	1500	1510	1520	1483	2,47%
15	1470	1450	1460	1459	1424	2,45%
16	1410	1390	1400	1398	1365	2,43%
17	1350	1320	1335	1337	1306	2,40%
18	1300	1260	1280	1277	1247	2,38%
19	1220	1190	1205	1216	1188	2,35%
20	1170	1150	1160	1155	1129	2,32%
21	1120	1100	1110	1094	1070	2,28%
22	1050	1030	1040	1034	1011	2,25%
23	990	970	980	973	952	2,20%
24	930	910	920	912	893	2,15%
25	870	850	860	851	834	2,10%
26	790	790	790	791	775	2,03%
27	730	730	730	730	716	1,96%

**Tabla 1.** Datos de medida de nivel del tanque superior.

<b>MEDIDA DE PRESION TANQUE SUPERIOR</b>							
<b>Tanque</b>	<b>Sensor de presión mpx 5010dp</b>			<b>Presión Teórica [kPa]</b>	<b>Error</b>	<b>Voltaje salida sensor</b>	
	<b>Nivel [m]</b>	<b>Subida [kPa]</b>	<b>Bajada [kPa]</b>			<b>Linealizado [kPa]</b>	<b>Subida [v]</b>
0,010	0,204	0,233	0,136	0,098	39,19%	0,110	0,123
0,020	0,271	0,302	0,233	0,195	19,24%	0,140	0,154
0,030	0,338	0,382	0,330	0,293	12,58%	0,170	0,190
0,040	0,404	0,471	0,427	0,391	9,26%	0,200	0,230
0,050	0,493	0,556	0,524	0,489	7,26%	0,240	0,268
0,060	0,582	0,647	0,621	0,586	5,93%	0,280	0,309
0,070	0,693	0,747	0,718	0,684	4,98%	0,330	0,354
0,080	0,782	0,833	0,815	0,782	4,27%	0,370	0,393
0,090	0,871	0,924	0,912	0,879	3,71%	0,410	0,434
0,100	0,982	1,031	1,009	0,977	3,27%	0,460	0,482
0,110	1,102	1,138	1,106	1,075	2,91%	0,514	0,530
0,120	1,209	1,247	1,203	1,172	2,60%	0,562	0,579
0,130	1,289	1,322	1,300	1,270	2,35%	0,598	0,613
0,140	1,384	1,427	1,397	1,368	2,13%	0,641	0,660
0,150	1,476	1,520	1,494	1,466	1,94%	0,682	0,702
0,160	1,591	1,633	1,591	1,563	1,77%	0,734	0,753
0,170	1,682	1,736	1,688	1,661	1,63%	0,775	0,799
0,180	1,807	1,829	1,785	1,759	1,49%	0,831	0,841
0,190	1,907	1,929	1,882	1,856	1,38%	0,876	0,886
0,200	1,991	2,031	1,979	1,954	1,27%	0,914	0,932
0,210	2,089	2,107	2,076	2,052	1,18%	0,958	0,966
0,220	2,187	2,211	2,173	2,150	1,09%	1,002	1,013
0,230	2,302	2,324	2,270	2,247	1,01%	1,054	1,064
0,240	2,376	2,398	2,367	2,345	0,94%	1,087	1,097
0,250	2,473	2,489	2,464	2,443	0,87%	1,131	1,138
0,260	2,569	2,573	2,561	2,540	0,81%	1,174	1,176
0,270	2,658	2,658	2,658	2,638	0,76%	1,214	1,214

**Tabla 2.** Datos de medida de presión del tanque superior.

<b>MEDIDA DE CAUDAL</b>											
Electrobomba	Sensor de caudal YFS201C							Teorica			Error
	Subida			bajada			Promedio	tiempo [s]	Q[m <sup>3</sup> /s]	Q[L/min]	
	Ciclo util %	f[Hz]	t[s]	Q[L/min]	f[Hz]	t[s]					
50%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	83,180	0,0000255	1,532	100,00%
55%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	67,120	0,0000316	1,898	100,00%
60%	8,929	0,112	1,786	9,259	0,108	1,852	1,819	57,180	0,0000371	2,228	18,38%
65%	12,484	0,080	2,497	12,195	0,082	2,439	2,468	47,400	0,0000448	2,688	8,19%
70%	15,152	0,066	3,030	15,152	0,066	3,030	3,030	39,890	0,0000532	3,194	5,14%
75%	18,519	0,054	3,704	19,231	0,052	3,846	3,775	34,590	0,0000614	3,684	2,47%
80%	22,222	0,045	4,444	21,739	0,046	4,348	4,396	30,540	0,0000695	4,172	5,36%
85%	24,390	0,041	4,878	23,585	0,042	4,717	4,798	28,310	0,0000750	4,501	6,59%
90%	25,641	0,039	5,128	25,773	0,039	5,155	5,141	25,540	0,0000832	4,989	3,05%
95%	29,070	0,034	5,814	28,249	0,035	5,650	5,732	22,740	0,0000934	5,603	2,29%
100%	30,488	0,033	6,098	30,488	0,033	6,098	6,098	21,400	0,0000992	5,954	2,41%

**Tabla 3.** Datos de medida de Caudal del tanque superior.

<b>MEDIDA DE PRESION</b>								
Tanque	Sensor de presión mpx 5010dp			Presión Teórica [kPa]	Error	Voltaje salida sensor		
Nivel [m]	Subida [kPa]	Bajada [kPa]	Linealizado [kPa]			Subida [v]	Bajada [v]	Promedio [v]
0,010	0,467	0,460	0,457	0,343	33,10%	0,228	0,225	0,227
0,020	0,556	0,540	0,547	0,441	24,02%	0,268	0,261	0,265
0,030	0,647	0,638	0,637	0,539	18,25%	0,309	0,305	0,307
0,040	0,740	0,729	0,728	0,637	14,25%	0,351	0,346	0,349
0,050	0,829	0,820	0,818	0,735	11,32%	0,391	0,387	0,389
0,060	0,927	0,911	0,909	0,833	9,07%	0,435	0,428	0,432
0,070	1,007	0,991	0,999	0,931	7,30%	0,471	0,464	0,468
0,080	1,098	1,089	1,089	1,029	5,87%	0,512	0,508	0,510
0,090	1,193	1,180	1,180	1,127	4,69%	0,555	0,549	0,552
0,100	1,280	1,273	1,270	1,225	3,69%	0,594	0,591	0,593
0,110	1,371	1,362	1,361	1,323	2,85%	0,635	0,631	0,633
0,120	1,460	1,451	1,451	1,421	2,12%	0,675	0,671	0,673
0,130	1,551	1,542	1,541	1,519	1,48%	0,716	0,712	0,714
0,140	1,647	1,633	1,632	1,617	0,92%	0,759	0,753	0,756
0,150	1,733	1,720	1,722	1,715	0,43%	0,798	0,792	0,795
0,160	1,818	1,807	1,813	1,813	0,02%	0,836	0,831	0,834
0,170	1,913	1,907	1,903	1,911	0,41%	0,879	0,876	0,878
0,180	2,000	1,993	1,994	2,009	0,77%	0,918	0,915	0,917
0,190	2,096	2,087	2,084	2,107	1,09%	0,961	0,957	0,959
0,200	2,178	2,173	2,174	2,205	1,39%	0,998	0,996	0,997
0,210	2,269	2,264	2,265	2,303	1,66%	1,039	1,037	1,038
0,220	2,362	2,358	2,355	2,401	1,91%	1,081	1,079	1,080
0,230	2,449	2,442	2,446	2,499	2,14%	1,120	1,117	1,119
0,240	2,536	2,536	2,536	2,597	2,35%	1,159	1,159	1,159

**Tabla 4.** Datos de medida de presión y nivel del tanque inferior.

<b>MEDIDA DE TEMPERATURA</b>					
<b>Resistencia Calefactora</b>	<b>Sensor de temperatura pt100</b>		<b>Temperatura teorica (°C)</b>	<b>Error</b>	<b>Transmisor 4-20 mA</b>
<b>Angulo de disparo</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Resistencia[Ω]</b>			
0	92	135,5	95	3,16%	0,01
10	89	134,3	92	3,26%	0,0099
20	87	133,5	90	3,33%	0,0098
30	83	132,1	85	2,35%	0,0096
40	80	130,9	82	2,44%	0,0094
50	78	130,1	79	1,27%	0,0092
60	74	128,4	76	2,63%	0,0089
70	71	127,5	74	4,05%	0,0086
80	67	125,7	70	4,29%	0,0084
90	63	124,5	68	7,35%	0,0082
100	59	122,9	64	7,81%	0,0078
110	57	121,6	59	3,39%	0,0075
120	52	120,1	56	7,14%	0,0073
130	48	118,7	52	7,69%	0,0069
140	44	116,8	47	6,38%	0,0066
150	39	115	42	7,14%	0,0063
160	32	113,1	35	8,57%	0,0059
170	29	111,2	32	9,38%	0,0055
180	25	109,8	24	4,17%	0,0052

**Tabla 5.** Datos de medida de temperatura del tanque inferior.

### C. MATERIAL MEDICIÓN IMPACTO

Encuesta Docentes						
Universidad		Pregunta tipo I: Única respuesta, marque con una x.  Pregunta tipo II: Única respuestas SI/NO, marque con una x				
Facultad						
Nombre						
Apellido						
Docente de						
Pregunta	Pregunta tipo I	Marque con una x				
1	Califique de 1 a 5 la dificultad que representa manejar el aplicativo web, siendo 1 lo más fácil y 5 lo más difícil.	1	2	3	4	5
2	Califique de 1 a 5 el diseño del aplicativo web, siendo 5 un diseño excelente y 1 un diseño deficiente.	1	2	3	4	5
	Pregunta tipo II	SI		NO		
3	Su universidad cuenta con aplicativos web para realizar laboratorios remotos.					
4	Cree pertinente la adquisición por parte de la universidad de laboratorios remotos.					
5	Considera que los laboratorios remotos ayudarían en el aprendizaje de los estudiantes.					
6	Aplicaría laboratorios remotos en la materia que usted imparte.					
Observaciones y sugerencias						

**Figura 21.** Encuesta de medición de impacto para los docentes.

Encuesta Estudiantes						
Universidad		Pregunta tipo I: Única respuesta, marque con una x.  Pregunta tipo II: Única respuestas SI/NO, marque con una x				
Facultad						
Nombre						
Apellido						
Semestre						
Pregunta	Pregunta tipo I	Marque con una x				
1	Califique de 1 a 5 la dificultad que representa manejar el aplicativo web, siendo 1 lo más fácil y 5 lo más difícil.	1	2	3	4	5
2	Califique de 1 a 5 el diseño del aplicativo web, siendo 5 un diseño excelente y 1 un diseño deficiente.	1	2	3	4	5
	Pregunta tipo II	SI		NO		
3	Cree usted que sus prácticas están limitadas por diferentes factores como lo son el tiempo o que no haya disponibilidad de laboratorios etm.					
4	Su universidad cuenta con laboratorios remotos.					
5	Considera usted útil los laboratorios remotos.					
6	Cree usted que con los laboratorios remotos podría culminar sus prácticas más rápido.					
7	Considera usted que los laboratorios remotos ayudarían en su aprendizaje profesional.					
Observaciones y sugerencias						

**Figura 22.** Encuesta de medición de impacto para estudiantes.

## D. GUIAS DE LABORATORIO



### Guía de laboratorio 1 Nivel vs Presión

#### Introducción:

El propósito de esta práctica es afianzar los conocimientos adquiridos por los estudiantes en las sesiones teóricas y caracterizar el sensor de presión de la planta de tanques acoplados de Electrolabs S.A.S por medio del aplicativo web.

El sensor de presión mpx 5010dp es ideal para sistemas basados en microprocesador o microcontrolador. Este transductor combina técnicas avanzadas de micro mecanizado, metalización de película delgada y procesamiento bipolar que ofrece una señal de salida analógica que es proporcional a la presión aplicada.

Al caracterizar el sensor de presión el estudiante se dará cuenta que este puede llegar a hacer un sensor multifuncional si se aplica algo de teoría, por otro lado, el estudiante obtendrá pro y contras en cuanto a la calibración que se le puede dar a un sensor y en cuanto a la precisión que se obtiene de este.

#### Objetivos:

- Realizar curva de caracterización para el sensor de presión en ambos tanques.
- Obtención de presión teórica y error por linealidad y exactitud.
- Obtención de voltaje para cada nivel.

#### Procedimiento:

Se conformarán grupos de trabajo de máximo 3 personas.

1. Inicialmente deberá activar la electrobomba de la planta de tanques acoplados Electrolabs S.A.S para iniciar su práctica.
2. Realizar las respectivas mediciones para así poder graficar la curva de caracterización de los dos sensores de presión.
3. Realizar los cálculos teóricos por medio de la siguiente ecuación.

$$P[kPa] = h * d * g$$

**Formula No 1**

4. A través de la siguiente formular hallar el voltaje para cada nivel.

$$P[kPa] = \left( \frac{V_{out}}{V_s * 0.09} \right) - 0.04$$

**Formula No 2**

**Informe:**

- Objetivos
- Marco teórico acerca de la operación del sensor de presión y sus principales aplicaciones
- Curvas de caracterización para ambos sensores de presión.
- Análisis datos teóricos y error de linealidad y exactitud.
- Voltajes para cada nivel.
- Conclusiones
- Bibliografía

***Guía de laboratorio 1. Guía de laboratorio Nivel vs Presión.***



## Guía de laboratorio 2

### Nivel vs Caudal

#### Introducción:

El propósito de esta práctica es afianzar los conocimientos adquiridos por los estudiantes en las sesiones teóricas y caracterizar el sensor de caudal de la planta de tanques acoplados de Electrolabs S.A.S por medio del aplicativo web.

El sensor de caudal YF-S201C, permite la medición del flujo de un líquido donde su salida son ciertos pulsos a una frecuencia que brinda el fabricante en su ficha técnica, este sensor consta de un cuerpo de válvula de plástico, un rotor y un sensor de efecto hall, dependiendo del paso de agua el rotor girará a diferente velocidad y el sensor de efecto hall emitirá los pulsos correspondientes.

Al caracterizar dicho sensor el estudiante comprenderá la robustez que tiene este por medio de la diferencia de caudal que pasa a través de él, al obtener las conclusiones a los objetivos propuestos el estudiante sabrá por qué este sensor se encuentra limitado para sus futuros proyectos o prácticas.

#### Objetivos:

- Medir el caudal con diferentes PWM y encontrar la frecuencia para cada caudal.
- Analizar por qué el caudal no marca datos por debajo de un PWM menor a 50% del ciclo útil.
- Realizar mediciones de tiempo de llenado del tanque superior.

#### Procedimiento:

Se conformarán grupos de trabajo de máximo 3 personas.

1. Inicialmente deberá encender la electrobomba de la planta de tanques acoplados Electrolabs S.A.S para iniciar su práctica.
2. Realizar mediciones del caudal con diferentes PWM y hallar la frecuencia para cada caudal, apoyarse en el datasheet del sensor para realizar este cálculo y exponer conclusiones en el informe.
3. Realizar una investigación acerca de porque el sensor de caudal no registra mediciones con un PWM menor al 50% del ciclo útil
4. Realizar la medición del tiempo de llenado del tanque superior hasta los 24 cm con diferentes PWM.

$$Q = V/t$$

**Fórmula No1.**

**Informe:**

- Objetivos
- Marco teórico acerca de la operación del sensor de caudal y sus principales aplicaciones
- Frecuencias obtenidas con diferentes caudales.
- Investigación acerca del no funcionamiento del sensor con un PWM menor al 50% del ciclo útil
- Análisis de los tiempos hallados.
- Conclusiones
- Bibliografía

***Guía de laboratorio 2. Guía de laboratorio Nivel vs Caudal.***



## Guía de laboratorio 3

### Pt100

#### **Introducción:**

El propósito de esta práctica es afianzar los conocimientos adquiridos por los estudiantes en las sesiones teóricas y caracterizar el sensor pt100 de la planta de tanques acoplados de Electrolabs S.A.S por medio del aplicativo web.

El sensor pt100 es un detector de temperatura muy usado en la industria el cual está fabricado en platino y cambia su resistencia dependiendo de la temperatura a la que se encuentre, estos datos se pueden encontrar a través de la ficha técnica del sensor que brinda el fabricante.

Entonces, al caracterizar el sensor pt100 el estudiante comprenderá los problemas que puede llegar a tener dicho sensor en el medio práctico, así mismo obtendrá conclusiones a partir de los pro y contras que le surgieron al momento de realizar la práctica y por último obtendrá el conocimiento necesario acerca de este sensor con el fin de que en futuras prácticas en donde los necesite utilice el sensor que más le convenga ya que este contiene múltiples referencias y precisiones.

#### **Objetivos:**

- Encontrar la resistencia de la pt100 para cada temperatura obtenida.
- Medir la temperatura con y sin agitador con el fin de comparar la diferencia.

#### **Procedimiento:**

Se conformarán grupos de trabajo de máximo 3 personas.

1. Inicialmente deberá encender la resistencia calefactora de la planta de tanques acoplados Elecrolabs S.A.S para iniciar su práctica.
2. Identificar la resistencia del sensor pt100 para cada intervalo de temperatura que se le puede generar a la resistencia calefactora, dicho intervalo está descrito en el manual de usuario y por último para realizar este cálculo consultar el datasheet del sensor.
3. Tomar la mitad de las variaciones que se le pueden dar a la resistencia calefactora por medio del aplicativo, hacerlo con el agitador encendido y apagado, comparar y sacar conclusiones.

**Informe:**

- Objetivos
- Marco teórico acerca de la operación del sensor pt100 y sus principales aplicaciones
- Cálculos obtenidos al encontrar la resistencia del sensor pt100 a diferentes temperaturas
- Realizar análisis de las temperaturas medidas con el agitador encendido y apagado.
- Conclusiones
- Bibliografía

***Guía de laboratorio 3. Guía de laboratorio caracterización PT100.***

# Manual de usuario

Aplicativo web para el control remoto del módulo de tanques acoplados.

Este manual tiene como finalidad dar a conocer a los estudiantes las características de funcionamiento del aplicativo web.

## Requerimientos técnicos para el uso del aplicativo web

- Computador con conexión a internet
- BeagleBone Black
- Cámara IP
- Módulo de tanques acoplados

## Accesos al sistema

El ingreso al aplicativo web se hará por medio de una dirección local y el puerto 8080, una vez que usted se autentifique podrá ingresar al sistema, como requerimiento inicial deberá leer el manual de usuario.

A continuación, se muestra la página de inicio del aplicativo web:



Inicialmente procederá a la opción de registrarse para poder crear su cuenta e ingresar al aplicativo.

A continuación, se muestra la página de registro:



Al momento de dar al botón registrarse será redirigido a la página principal, seguido a esto procederá a poner sus datos para así poder iniciar sesión, tenga en cuenta que para poder iniciar sesión la beagle bone black deberá estar conectada, en caso de que no esté conectada se mostrara la siguiente página.



Iniciada su sesión estará en el aplicativo web donde podrá realizar el manejo remoto del módulo de tanques acoplados.

A continuación, se muestra la página del aplicativo web:



En dado caso de que otro usuario se intente conectar al aplicativo le aparecerá la siguiente ventana.



Una vez dentro del aplicativo podrá notar que en la esquina superior derecha se encuentra el tiempo que cuenta para utilizar el aplicativo web y realizar la guía de laboratorio, por otro lado en la esquina superior izquierda encontrara el botón cerrar sesión.



Para comenzar a realizar su laboratorio encontrará las guías debajo del título del aplicativo y del mensaje de bienvenida, tendrá a su disposición el manual de usuario por si no lo consulto al principio del aplicativo y tres guías de laboratorio las cuales son nivel vs presión, nivel vs caudal y la de la PT100.



En el centro del aplicativo encontrará la cámara por la cual podrá ver el comportamiento de la planta.

Cerrar sesión

## Control Remoto de Módulo Didáctico

Tiempo restante: 29:11

Hola, a continuación puedes elegir la guía de laboratorio que desees desarrollar.

Manual de usuario

Guía 1: Nivel vs Presión

Guía 2: Nivel vs Caudal

Guía 3: PT 100

### ACTUADORES

Electroválvula 1

Electroválvula 2

Agitador

Electrobomba  
PWM

Res. Calefactora  
Grados



Módulo experimental en tiempo real

### VARIABLES

**Tanque Superior**

Caudal:

Presión:

Nivel:

**Tanque Inferior**

Temperatura:

Presión:

Nivel:

En dado caso de que la cámara no esté conectada aparecerá la siguiente imagen.

Cerrar sesión

## Control Remoto de Módulo Didáctico

Tiempo restante: 29:49

Hola, a continuación puedes elegir la guía de laboratorio que desees desarrollar.

Manual de usuario

Guía 1: Nivel vs Presión

Guía 2: Nivel vs Caudal

Guía 3: PT 100

### ACTUADORES

Electroválvula 1

Electroválvula 2

Agitador

Electrobomba  
PWM

Res. Calefactora  
Grados



Módulo experimental en tiempo real

### VARIABLES

**Tanque Superior**

Caudal:

Presión:

Nivel:

**Tanque Inferior**

Temperatura:

Presión:

Nivel:

Para poder manipular el módulo de tanques acoplado se encuentran los actuadores, los cuales están al lado izquierdo de la cámara, para las electroválvulas encargadas de vaciar los tanques y para el agitador el cual se encarga de que el agua se caliente uniformemente se tiene un sistema de encendido y apagado, en el caso de la electrobomba que es la encargada de llevar el agua al tanque superior se digitara un numero entre 0,5 y 1 con el fin de manejar la velocidad de llenado y por último se tiene la resistencia calefactora encargada de calentar el agua, esta será activada mediante grados los cuales irán desde 180 grados hasta 10 grados, siendo 180 la temperatura mínima y 10 la temperatura máxima.

Cerrar sesión **Control Remoto de Módulo Didáctico** Tiempo restante: 29:49

**Nota:** a continuación puedes elegir la guía de laboratorio que desees desarrollar.

[Manual de usuario](#)
[Guía 1: Nivel vs Presión](#)
[Guía 2: Nivel vs Caudal](#)
[Guía 3: PT 100](#)

**ACTUADORES**

Electroválvula 1

Electroválvula 2

Agitador

Electrobomba  
 PWM

Res. Calefactora  
 Grados



Módulo experimental en tiempo real

**VARIABLES**

**Tanque Superior**

Caudal:

Presión:

Nivel:

**Tanque Inferior**

Temperatura:

Presión:

Nivel:

Por último se tiene la información proporcionada por el módulo de tanques acoplados a la derecha de la cámara, para el tanque superior se tienen las variables de caudal en metros cúbicos sobre segundo, el nivel en centímetros y la presión en pascales y para el tanque inferior se tienen las variables de temperatura en grados centígrados, el nivel en centímetros y la presión en pascales.

Cerrar sesión **Control Remoto de Módulo Didáctico** Tiempo restante: 29:49

**Nota:** a continuación puedes elegir la guía de laboratorio que desees desarrollar.

[Manual de usuario](#)
[Guía 1: Nivel vs Presión](#)
[Guía 2: Nivel vs Caudal](#)
[Guía 3: PT 100](#)

**ACTUADORES**

Electroválvula 1

Electroválvula 2

Agitador

Electrobomba  
 PWM

Res. Calefactora  
 Grados



Módulo experimental en tiempo real

**VARIABLES**

**Tanque Superior**

Caudal:

Presión:

Nivel:

**Tanque Inferior**

Temperatura:

Presión:

Nivel: