

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE LA  
CONCENTRACIÓN DE NITRITOS PARA EL ANÁLISIS DE LA  
CALIDAD DEL AGUA”**

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

STEPHANY SOLANGE VALAREZO PLAZA

ERICK JOSE LUCIN LAINEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2019

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia. Gracias a mis padres y mis hermanos por ayudarme, comprenderme y guiarme ante las dificultades que se me han presentado a lo largo de mi carrera universitaria.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

A nuestros amigos que nos han brindado su amistad y a todas las personas que aportaron de alguna manera a mi formación profesional, con mención especial a Ing. Andrea Rosado, Dr. Daniel Ochoa y las personas que estuvieron hasta el final dándonos su apoyo incondicional.

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, por ser los pilares fundamentales de mi existencia, dedicando todos los esfuerzos logrados durante mi vida y aún más en culminar esta etapa.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Stephany Solange Valarezo Plaza y Erick José Lucin Lainez* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

Stephany Solange Valarezo Plaza



---

Erick José Lucin Lainez

## EVALUADORES



Ing. Damián Alberto Larco Gómez

PROFESOR DE LA MATERIA



Ing. Alexander Prieto León

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El agua es un recurso fundamental para la salud de todos los seres vivos, pero debido a factores físicos y químicos, no podemos consumirla directamente de la fuente, tales como los ríos, manantiales, arroyos, entre otros; se requiere de una serie de tratamientos para que esta sea apta para su consumo humano. Para lograrlo, es necesario tener información sobre la calidad de esta antes y después de potabilizarla. La Empresa Municipal de Agua y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG) actualmente tiene estaciones de monitoreo a lo largo del río Daule con el fin de determinar las condiciones del agua antes de que ingrese a la planta de tratamiento y así escoger los parámetros necesarios para su potabilización. Cabe mencionar que, esta red no cuenta con equipos de medición que puedan leer los parámetros químicos ineludibles para determinar la calidad del agua. Por este motivo, se propone diseñar un sistema automático secuencial por lotes para la medición *in situ* de la concentración de uno de los parámetros químicos, como son los nitritos. El diseño se lo realizó utilizando un controlador industrial, sensores como el espectrómetro y actuadores como electroválvulas, agitadores y bombas peristálticas. La técnica utilizada para medir la concentración es la de espectrofotometría, se requirió de diferentes soluciones (sulfanilamida y diclorohidrato de N-etilendiamina) y la muestra de agua del río para llevar a cabo el análisis. Como resultado utilizando la curva de calibración obtenida del prototipo tenemos un error relativo del 3% comparado con el equipo de referencia del laboratorio de agua que obtuvo un error del 2%, llegamos a la conclusión de que el prototipo funciona y cumple con los estándares permitidos. Con el diseño propuesto se pretende tener un sistema de monitoreo automático, de esta manera se podrá identificar y cuantificar los causales de la contaminación y determinar los parámetros para la potabilización del agua.

Palabras Clave: Espectrofotometría, controlador, nitritos, sensores, actuadores.

## ABSTRACT

*Water is a fundamental resource for the health of all living beings, but due to physical and chemical factors, we cannot consume it directly from the source, such as rivers, springs, streams, and others; a series of treatments are required so that it is suitable for human consumption. To achieve this, it is necessary to have information on the quality of this before and after purifying it. The “Empresa Municipal de Agua y Alcantarillado de Guayaquil” (EMAPAG) currently has monitoring stations along the Daule River in order to determine the water conditions before it enters the treatment plant and choose the necessary parameters for its purification. It is worth mentioning that, this network does not have measuring equipment to read the inescapable chemical parameters to determine water quality. For this reason, it is proposed to design a sequential automatic batch system for the measurement of the concentration of one of the chemical parameters, such as nitrites. The design was carried out using an industrial controller, sensors like the spectrometer and actuators such as solenoid valves, agitators and peristaltic pumps. The technique used to measure the concentration is spectrophotometry, different solutions were required (sulfanilamide and N-ethylenediamine dihydrochloride) and the river water sample to carry out the analysis. As a result of this work, using the calibration curve obtained from the prototype we got a relative error of 3% compared to the reference equipment of the water laboratory where we obtained a relative error of 2%, we conclude that the prototype works and complying with the allowed standards. With the proposed design it is intended to have an automatic monitoring system. In this way, the causes of contamination can be identified and quantified and the parameters for water purification can be determined.*

*Keywords: Spectrophotometry, controller, nitrites, sensors, actuators.*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	3
EVALUADORES .....	5
RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción.....	1
1.1    Descripción del problema .....	1
1.2    Justificación.....	2
1.3    Objetivos .....	3
1.3.1    Objetivo General .....	3
1.3.2    Objetivos Específicos.....	3
1.4    Marco Teórico .....	3
1.4.1    Principio de funcionamiento de las bombas peristálticas .....	3
1.4.2    Diagrama de P&ID .....	4
1.4.3    Control de procesos por lotes .....	6
1.4.4    Principios de la espectrofotometría .....	6
1.4.5    Colorímetro.....	8
1.4.6    Colorímetro vs espectrómetro.....	9
CAPÍTULO 2 .....	11
2.    Metodología.....	11

2.1	Procedimiento .....	13
2.2	Requerimientos de diseño.....	13
2.2.1	Bombas Peristálticas .....	14
2.2.2	Electroválvulas.....	14
2.2.3	Mangueras.....	15
2.2.4	Frascos de color ámbar .....	16
2.2.5	Sensores de Nivel.....	16
2.2.6	PLC Micrologix 1100.....	17
2.3	Materiales .....	18
2.4	Diagrama de tuberías e instrumentación .....	19
2.5	Arquitectura del sistema.....	23
2.6	Programación del controlador .....	24
2.6.1	Programación principal .....	24
2.6.2	Subrutina 1 .....	27
2.6.3	Subrutina 2 .....	29
2.7	Conexiones de la red .....	31
2.8	Conexiones eléctricas .....	32
2.8.1	Conexiones al PLC .....	33
CAPÍTULO 3 .....	35	
3.	Análisis de resultados.....	35
3.1	Implementación del prototipo .....	35
3.2	Curva de calibración.....	39
3.3	Análisis de datos .....	42
3.4	Sistema de monitorización .....	46
3.4.1	Aplicación para generar reporte de fallas .....	46
3.4.2	Generación de recetas.....	47

3.5	Generación de reporte .....	48
3.6	Información técnica del equipo .....	50
3.7	Costo del proyecto .....	51
	CAPÍTULO 4 .....	53
4.	Conclusiones Y RECOMENDACIONES .....	53
4.1	Conclusiones.....	53
4.2	Recomendaciones.....	54
5.	Bibliografía .....	56
6.	ANEXOS .....	59
6.1	Manual de usuario para el equipo .....	59
6.1.1	Introducción .....	59
6.1.2	Características.....	59
6.1.3	Descripción general .....	59
6.1.4	Pantalla de monitorización .....	60
6.2	Distribución t student .....	62

## ABREVIATURAS

ATM	Atmósfera
CIP	Common Industrial Protocol
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
E/S	Entrada y Salida
EMAPAG	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
GRAFCET	Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition
HWL	High Water Level
HAZOP	Hazard and operability
ISO	International Organization for Standardization
ISA	Instrument Society of America
ID	Diámetro Interno
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LWL	Low Water Level
MPCA	Multiway Principal Component Analysis
MPLS	Multiway Partial Least Square
NLPCA	Nonlinear Principal Component Analysis
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
OD	Diámetro Externo
ODVA	Open DeviceNet Vendors Association
PLC	Programmable Logic Controller
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition

## **SIMBOLOGÍA**

ml	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minutos
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
rpm	Revolución por minuto
ppm	Partes por millón
L	Litro
A	Amperios
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno
nm	nanómetro

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Funcionamiento de las bombas peristálticas [29]. .....	4
Figura 1.2 Símbolos de los aparatos e instrumentación con norma ISO [14]......	5
Figura 1.3 Imagen de un espectro fotógrafo de laboratorio [30]. .....	7
Figura 1.4 Representación gráfica del procedimiento del colorímetro [14].....	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
Figura 1.5 Esquema de la estación y el equipo .....	10
Figura 2.1 Flujograma del proceso. ....	13
Figura 2.2 Bomba Peristáltica .....	14
Figura 2.3 Electroválvula .....	15
Figura 2.4 Frasco de color ámbar (figura solo con propósito explicativo) .....	16
Figura 2.5 Sensor de nivel.....	17
Figura 2.6 Controlador lógico programable Micrologix 1100 [24]. .....	17
Figura 2.7 Diagrama de instrumentación y tuberías en donde se muestra la primera parte del proceso. .....	19
Figura 2.8 Diagrama de instrumentación y tuberías en donde se muestra la primera parte del proceso. .....	20
Figura 2.9 Diagrama de bloques de la composición del sistema. ....	23
Figura 2.10 Programación del sistema en GRAFCET .....	24
Figura 2.11 Programación en GRAFCET: Subrutina 1 .....	27
Figura 2.12 Programación en GRAFCET: Subrutina 2 .....	29
Figura 2.13 Topología de la red implementada .....	31
Figura 2.14 Diagrama eléctrico para la alimentación del equipo.....	32
Figura 2.15 Diagrama de conexión.....	33
Figura 2.16 Diagrama de las conexiones de las salidas digitales tipo relé.....	34
Figura 2.17 Diagrama de las conexiones de las salidas digitales tipo relé.....	34
Figura 3.1 a) Diagrama en 3D del equipo parte frontal, b) Diagrama en 3D del equipo parte posterior .....	35
Figura 3.2 Equipo construido a partir de las especificaciones anteriormente mencionadas.....	38
Figura 3.3 Curva de calibración obtenida de la lectura del prototipo utilizando el espectrómetro de Ocean Optics. ....	42

Figura 3.4 Grafico comparativo del error relativo entre la concentración obtenida del prototipo vs la concentración obtenida a partir del procedimiento que se hace en laboratorio.....	43
Figura 3.5 Pantalla de alarmas.....	47
Figura 3.6 Pantalla de configuración de recetas.....	47
Figura 3.7 Pantalla de análisis de datos, contiene la curva de calibración y los valores de la absorbancia y concentración en intervalos de 30 min.....	48
Figura 3.8 Archivo en excel que se guardó a partir de la programación en Indusoft....	48
Figura 3.9 Pantalla del diagrama P&ID del sistema.....	49
Figura 3.10 Pantalla que muestra el contenido de los recipientes. ....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Materiales.....	18
Tabla 2.2 Lista de los instrumentos mostrados en el diagrama P&ID .....	21
Tabla 3.1 Datos de absorbancia obtenidos del prototipo utilizando el sensor de Ocean Optics.....	39
Tabla 3.2 Datos de absorbancia obtenidos del procedimiento realizado en el laboratorio de Agua de ESPOL .....	40
Tabla 3.3 Exactitud de la concentración del prototipo.....	43
Tabla 3.4 Comparación del volumen teórico con el real .....	44
Tabla 3.5 Desviación estándar y media del dosificado de la muestra de agua .....	45
Tabla 3.6 Datos de la medición de volumen dosificado para la solución 1. ....	45
Tabla 3.7 Datos de la medición de volumen dosificado para la solución 2. ....	45
Tabla 3.8 Desviación estándar y media.....	46
Tabla 3.13 Información técnica del prototipo .....	50
Tabla 3.14 Costos generales del prototipo implementado .....	51
Tabla 3.15 Lista de costos de los materiales que se utilizaron en el prototipo.....	51
Tabla 3.16 Lista de costos de los equipos usados en el prototipo .....	52

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

En las riberas del río Daule no existe una red de monitoreo automático que permita la recolección de diferentes parámetros del agua para la determinación de su calidad, lo cual es requisito indispensable para el proceso del tratamiento y para llevar a cabo la evaluación de la efectividad de las políticas ambientales. Por este motivo, es necesario determinar la concentración de compuestos como nitrito, arsénico, fósforo, metales, pesticidas u otros contaminantes, que ayuden a establecer los parámetros adecuados para la purificación del agua, así como las posibles fuentes de contaminación y de esta manera evitar daños en la salud del ser humano e inclusive en el ecosistema. Uno de los compuestos fundamentales para la determinación de la eficacia del líquido vital es el nitrito, que se forma durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacial u otros compuestos orgánicos nitrogenados.

Además, en un estudio provisto por la Empresa Municipal de Agua y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG), en el año 2018, determinó que el transporte de las muestras a un laboratorio ralentiza la obtención de los resultados y son menos precisos en comparación con el análisis de las muestras *in situ* [1], debido a que el proceso de nitrificación depende de la temperatura y de la cantidad de oxígeno disuelto, que varía al momento de llevarlo a un laboratorio [2]. Por este motivo surge la necesidad de implementar un equipo que permite determinar la concentración de nitritos contenidos en el agua de los cauces del río Daule, sin la necesidad de transportar las muestras de agua a un laboratorio.

## 1.2 Justificación

La calidad del agua es una variable fundamental para la planificación y gestión hidrológica, por lo que se ve la necesidad de tener un sistema de monitoreo permanente en puntos estratégicos del río Daule para determinar los parámetros del agua. Se requiere de un registro periódico de las fluctuaciones de la calidad del agua para el control de vertimientos y el control de la contaminación por causas naturales, además de establecer los parámetros adecuados para la potabilización del agua y de esa manera cumplir con la norma NTE INEN 1108, según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) el cual establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para el consumo humano.

Debido a la falta de sistemas de monitoreo remotos nace la necesidad de implementar un equipo automatizado capaz de determinar la concentración de compuestos presentes en el agua del río Daule, puesto a que estos compuestos permiten identificar y cuantificar los causales de la contaminación. En este proyecto en particular se ha escogido el análisis de la concentración de nitritos ya que es un indicador de contaminación fecal en aguas naturales [3]. Para lograrlo, el equipo debe replicar una de las pruebas realizadas en laboratorio por el método de espectrofotometría<sup>1</sup> y de esta forma determinar la concentración de nitritos en el agua.

---

<sup>1</sup> Método de la sulfanilamida y diclorohidrato de N-etilendiamina [17]

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de automatización para la medición de la concentración de nitritos para el análisis de la calidad del agua, en puntos estratégicos del río Daule, sustituyendo el proceso manual de laboratorio, utilizando la instrumentación adecuada y un sistema SCADA de monitorización.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

1. Plantear un prototipo que permita la preparación y análisis de muestras de agua para la determinación de la concentración de nitritos, utilizando sensores, colorímetro y actuadores como válvulas, agitadores y bombas peristálticas.
2. Controlar los componentes del prototipo para la medición de la concentración de nitritos en el agua mediante un PLC.
3. Registrar la concentración de nitritos en el agua para la determinación de su calidad.
4. Implementar un sistema SCADA que monitorice el proceso diseñado.

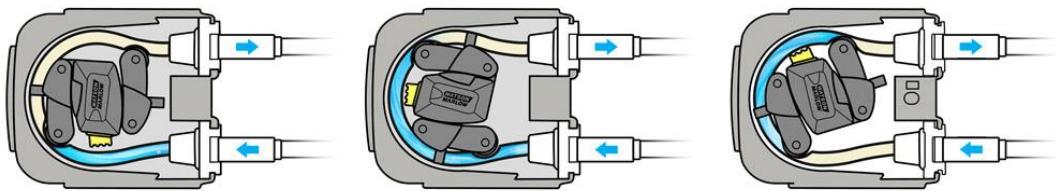
## 1.4 Marco Teórico

### 1.4.1 Principio de funcionamiento de las bombas peristálticas

Las bombas peristálticas son adecuadas para las aplicaciones de dosificación, medición y transferencia general de líquidos [4]. Se basa en la compresión y relajación alternas de la manguera o el tubo flexible que se encuentra en el interior. A medida que el rotor gira, la parte del tubo bajo presión se cierra por compresión y obliga al fluido a moverse a través del tubo. A este proceso se le denomina peristalsis y se usa en muchos sistemas biológicos como el tracto gastrointestinal, y se refiere a la contracción alternada y relajación de los músculos alrededor de un tubo [5].

Las bombas peristálticas no contienen partes mecánicas que estén en contacto con el fluido, este solo entra en contacto con el interior de la manquera o tubo, que es un componente de bajo costo y bajo mantenimiento [6]. El flujo es proporcional a la velocidad de la bomba y cierre completo de la manguera o tubo. Constantemente existe un desplazamiento positivo, evitando la caída del flujo hacia atrás y eliminando la necesidad de válvulas de control y de retención [6]. Para controlar el flujo que pasa a través del tubo se deben considerar diferentes parámetros como, la velocidad del rotor de la bomba (rpm), el diámetro interno y externo del tubo o manguera y los pulsos de entrada.

Por otro lado, el tubo debe ser elastómero para mantener la sección transversal circular después de millones de ciclos de compresión en la bomba [5].



**Figura 1.1 Funcionamiento de las bombas peristálticas [29].**

#### 1.4.2 Diagrama de P&ID

Un diagrama de tuberías e instrumentación (en inglés: Piping and Instrumentation diagram, P&ID) es un diagrama que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el instrumental. La identificación y los símbolos utilizados en estos diagramas se basan en la norma S5.1 de la Sociedad Internacional de Automatización (International Society of Automation, ISA) y la norma de la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization, ISO) 14617-6 [7].

Los equipos que están involucrados en el proceso deben tener un nombre y un número de identificación, tales como: tanque, compresores, válvulas, reactores químicos entre otros. Las letras de identificación se escogen según una tabla propuesta por ISA, por ejemplo, las siglas TIC provienen de T: temperatura, I: indicación, C: control, el cual nos muestra que ese componente es un indicador de temperatura usada para el control del proceso.

—	Tubería	—	Aislamiento térmico de tuberías	—	Doble tubería	—	Tubería con cambio térmico (se calienta o se enfria)
⌚	Recipiente agitador con camisa (autoclave)	⌚	Recipiente agitador con medio tubo para intercambio térmico	()	Recipientes a presión (horizontal)	()	Recipientes a presión (vertical)
()	Bomba hidráulica	()	Bomba de vacío o compresor	()	Saco	()	Tanque de gas
✈	Ventilador	✈	Ventilador axial	✈	Ventilador radial	□	Secadora
----	Lecho empacado	----	Columna de placas	□	Horno metalúrgico	□	Torre de refrigeración
⌚⌚	Intercambiador de calor	⌚⌚	Intercambiador de calor	⌚⌚	Enfriador	⌚⌚⌚⌚	Intercambiador de calor de placas
+	Intercambiador de calor de doble tubo	+	Intercambiador de haz de tubos y manto derecho	+	Intercambiador de calor en forma U	⌚⌚⌚⌚	Intercambiador de calor en espiral
↑↑	Purga de gas cubierta	↑	Purga de gas en curva	□	Filtro	Y	Embudo
●	Purgador de vapor	□	Minilla de vidrio	◀	Válvula reductora de presión	~~~~	Tubo flexible
▷	Válvula	▷	Válvula de control	▷	Válvula manual	▷	Válvula antirretorno
▷▷	Válvula de aguja	▷	Válvula tipo mariposa	▷	Válvula de diafragma	▷▷	Válvula de bola

**Figura 1.2 Símbolos de los aparatos e instrumentación con norma ISO [14].**

Los P&ID son fundamentales para el mantenimiento y modificación del proceso ya que es una representación gráfica del mismo, así como la base para el desarrollo de esquemas de control del sistema, como el análisis de riesgos de operabilidad (HAZOP, por sus siglas en inglés) [8].

La norma internacional europea ISO pretende proporcionar directrices para la confección de diagramas de flujo para las plantas de procesos. La normalización de estos diagramas simplificará a los especialistas su preparación y comprensión de estos. La norma ISO establece las reglas generales para diagramas de procesos ambientados a las industrias

químicas, alimentarias, del medio ambiente, entre otros [9]. Esta norma contiene los símbolos gráficos de equipos, máquinas y tuberías que se acoplan a los requisitos del presente proyecto.

#### **1.4.3 Control de procesos por lotes**

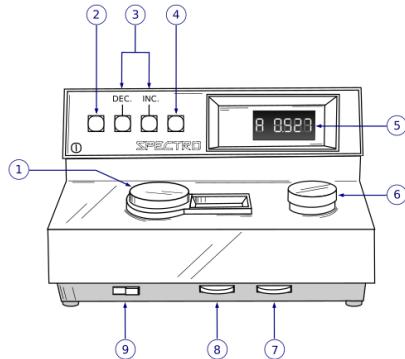
Los procesos por lotes se identifican por la automatización de las diferentes etapas que se tiene en proceso secuencial en el cual se tienen transacciones de un grupo o lote. Uno de los objetivos de controlar los procesos por lotes es lograr cualidades consistentes y reproducibles del producto en ejecución. No se requiere la interacción del usuario una vez que el procesamiento está en curso.

Usualmente para definir la calidad de nuestro producto se realiza un procedimiento en un laboratorio y fuera de línea. Si nuestro producto llegase a tener una falla, esta solo será detectada después de que se haya realizado todo un lote. Debido al retardo que se genera en identificar las fallas en un lote, se han determinado una serie de técnicas para monitorear un proceso por lote, tales como: Análisis de componentes principales de múltiples vías (en inglés, Multiway principal component analysis (MPCA)), Mínimos cuadrados de múltiples vías parciales (en inglés, Multiway partial least square (MPLS)) y Análisis de componentes principales no lineales (en inglés, Nonlinear principal component analysis (NLPCA)) [10].

#### **1.4.4 Principios de la espectrofotometría**

La espectrofotometría es la medición de la cantidad de energía radiante que absorbe un compuesto químico en función de la longitud de onda de la radiación, y a las mediciones a una determinada longitud de onda [11].

En la espectrofotometría se trabaja en el rango de ultravioleta y la zona visible del espectro. La solución química en análisis absorbe parte de la radiación incidente y promueve la transición del analito hacia un estado excitado, transmitiendo un haz de menor energía [12]. Lo que se mide es la cantidad de luz absorbida como función de la longitud de onda utilizada.



**Figura 1.3 Imagen de un espectrofotómetro de laboratorio [30].**

#### 1.4.4.1 *Transmitancia y absorción de las radiaciones*

La relación entre la absorción de luz por una solución diluida o por un gas y la concentración de la fase absorbente viene dada por la ley de Beer, mientras que la relación entre la absorción de la luz y el camino recorrido por esta (espesor de la cubeta utilizada) viene dada por la ley de Lambert. Es conveniente usar ambas leyes conjuntamente [13]. La absorbancia indica la cantidad de luz absorbida por la muestra en el cual se cumple la siguiente ecuación:

$$A = -\log T = \log \frac{I_0}{I} \quad (1.1)$$

Donde  $I_0$  es la intensidad de luz que sale de un emisor con longitud de onda conocida a la celda fotoeléctrica, mientras que  $I$  es la intensidad con la que sale al atravesar la celda con la solución. La relación entre ambas se define como transmitancia.

La transmitancia de una solución el cual absorbe la luz de una fuente conocida depende de [14]:

1. La naturaleza de la luz que absorbe la sustancia.
2. La longitud de onda de la luz.

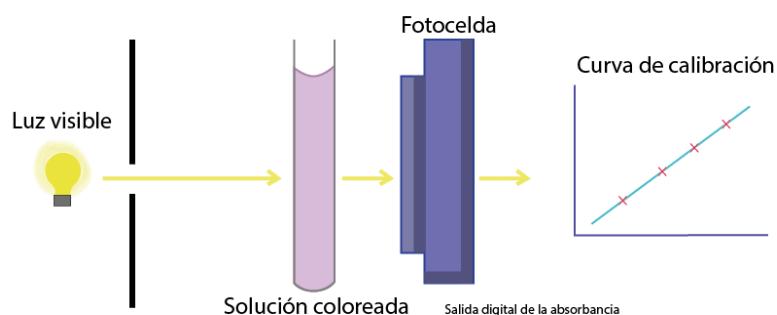
3. La cantidad de luz absorbida por la solución, que depende de la concentración de la sustancia absorbente de la luz y la profundidad de la solución a través de la cual pasa la luz.

#### 1.4.4.2 Curva de calibración

Para el cumplimiento de la ley de Lambert-Beer se debe realizar una curva en donde se encuentra la absorbancia (A) en función de la concentración (C), para esto se deben preparar soluciones de la sustancia de concentraciones conocidas y se mide la absorbancia a la longitud de onda específica. Esto varía dependiendo de la solución en observación.

#### 1.4.5 Colorímetro

El colorímetro es un instrumento que usualmente se usa en la química analítica para determinar o medir la intensidad de luz que atraviesa por una sustancia [14]. Puede encontrar la concentración de una sustancia en solución, según la intensidad del color de la solución. Usualmente a una solución incolora se le agrega un reactivo que reacciona con la sustancia para producir un color [15].



**Figura 1.4 Representación gráfica del procedimiento del colorímetro .**

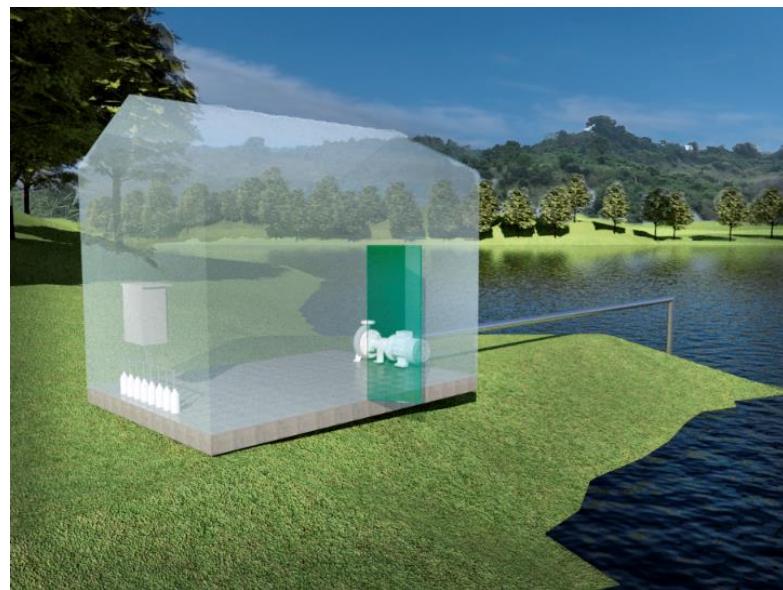
En la figura 1.4 podemos ver que al inicio comenzamos con una fuente de luz; esta luz podría tener un rango de longitud de onda específico o puede ser una fuente de luz que pasa a través de una de un filtro el cual solo deja pasar una longitud de onda requerida. Esta longitud de onda navega desde

la luz de color, pasa la solución que se encuentra en una celda ya sea rectangular o cilíndrica, para al final llegar hasta el dispositivo de medición, que puede ser una fotocelda [14]. Esto analiza el color en comparación con una estándar existente. Un microprocesador calcula la absorbancia o el porcentaje de transmitancia. Si la concentración de la solución es mayor, es porque absorbe más luz, el cual se identifica al medir la diferencia entre la cantidad de luz en el origen y la que se obtiene después de pasar la solución [16].

#### **1.4.6 Colorímetro vs espectrómetro**

Su principio de funcionamiento es el mismo, pero la diferencia está en que los espectrómetros permiten medir la transmitancia y la reflectancia en función de la longitud de onda, mientras que el colorímetro mide la absorbancia de colores específicos [16]. Un colorímetro es una versión de espectrómetro, pero limitada.

En conclusión, los cuatro elementos principales de este capítulo son las bombas peristálticas y el colorímetro. Estos elementos son importantes para cumplir la siguiente rutina, el controlador maneja la activación y desactivación de las diferentes bombas y actuadores del sistema, luego de que ya se tiene una mezcla final, el controlador activa las señales para pasar esta mezcla por el colorímetro y así obtener la medición de la concentración de nitratos presentes en la muestra de agua. El equipo es colocado en una estación que están cercanas al río Daule, en donde se toman las muestras para ser analizadas y enviar los datos por vía internet a las pantallas de los operadores de la planta de tratamiento.



**Figura 1.5 Esquema de la estación y el equipo**

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

Para la determinación de nitritos existen diferentes métodos como la reacción de Griess-Llosvay, Rider-Mellon, entre otros. A lo largo del tiempo se fueron descartando al encontrar que el método de la sulfanilamida y diclorohidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina da mejores resultados, el cual es la metodología aplicada en que se basa este proyecto. Este fue desarrollado por Shinn y luego modificado por Bendschneider y Robison; consiste en convertir ácido nitroso en una tintura forzadamente coloreada, como resultado se tiene un compuesto rosado, cuya absorbancia es proporcional a la concentración de nitrito presente en la muestra. La absorbancia de la solución es medida a 543 nm para su posterior cuantificación [17]. El sistema planteado tiene como finalidad determinar la concentración de nitritos que contiene el agua del río Daule, para lograrlo se necesitó el diseño de un equipo capaz de analizar la muestra por medio del método de espectrometría, en donde se midió la luz absorbida por una sustancia química, estableciendo la intensidad de luz que atravesó la sustancia. La química analítica estudia y utiliza instrumentos y métodos para separar, identificar y cuantificar la materia, en este caso, se hizo un análisis cuantitativo estableciendo la cantidad o concentración numérica.

Por otro lado, para conocer el proceso que se utiliza actualmente, en el laboratorio de aguas, de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, se procedió a llenar en un recipiente con 25ml de la muestra de agua filtrada (muestra de agua del río Daule), luego se agregó 0.5 ml de la solución de sulfanilamida. Se mezcló y dejó en reposo por 8 minutos. Luego se adicionaron 0.5 ml de solución naftilendiamina, así mismo se dejó en reposo 10 min más. Una vez finalizado el tiempo de espera se procedió a medir la absorbancia de la muestra a una longitud de 543 nm por el espectrómetro, dicho resultado fue comparado con los estándares de concentración conocida del analito. Para esto se necesitó de un modelo de línea recta (regresión lineal) que mejor se ajuste a los datos experimentales. Dicho proceso se replicó con el uso de un controlador lógico, sensores y actuadores, el cual se ejecutó en intervalos de tiempo de una hora a lo largo del día y noche, obteniendo la concentración de nitritos, para así, determinar la calidad del agua.

Para el diseño del equipo, se dividió el proceso en 4 etapas, reduciendo al máximo la intervención humana y conocer la concentración de nitritos de la muestra.

**Primera etapa, calibración**, en la cual se generó una curva de calibración en donde se representa gráficamente la absorbancia medida con el espectrómetro con respecto a la concentración del nitrito. Se creó un soluto con concentraciones de nitrito específicas: de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 mg/L. Cada una de estas muestras son analizadas por el espectrómetro, en donde vamos a tener valores diferentes de la absorbancia. Utilizando un modelo de regresión lineal obtuvimos nuestra gráfica. Se determinó la pendiente y el intercepto de la curva de calibración mediante la fórmula:

$$Abs = mC + b \quad (2.1)$$

En donde:

*Abs = valor de la absorbancia de la muestra*

*C = concentración de los estandares*

*b = Intercepto*

A partir de la curva de calibración se obtuvo directamente la concentración de la muestra.

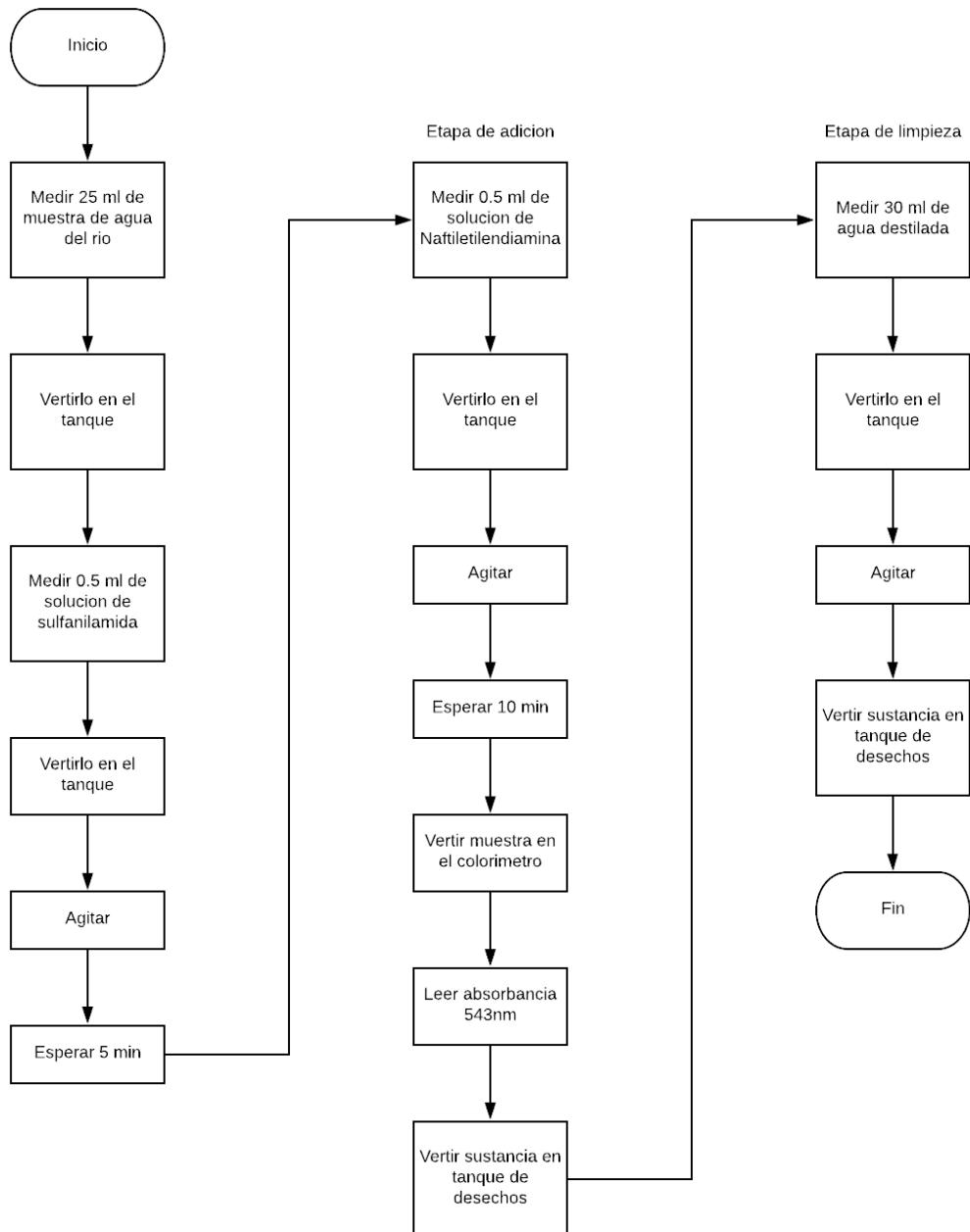
**Segunda etapa, dosificación**, en donde se midió el volumen necesario de las soluciones a mezclar, para esto haremos uso de electroválvulas y bombas peristálticas.

**Tercera etapa, medición**, en donde la muestra ya está lista para ser analizada por el espectrómetro.

**Cuarta etapa, limpieza**, en donde se vertió agua destilada en el envase utilizado para mezclar los elementos y evitar la contaminación de la futura muestra.

Al final el valor de concentración que nos da el espectrómetro fue enviado por medio de internet usando un cable ethernet. Esto se comunica por medio del protocolo CIP al software Indusoft, el cual que monitorea el estado del equipo y ayuda con la visualización de los parámetros de interés, así mismo genera un reporte con los valores de la concentración que se tomaron en un día.

## 2.1 Procedimiento



**Figura 2.1 Flujoograma del proceso.**

## 2.2 Requerimientos de diseño

Para el diseño del equipo nos basamos en los principios de la mecánica de fluidos para sistemas de flujo. En donde se presenta un desplazamiento de fluidos que implican conducciones rectas, con mangüeras cilíndricas y de

diámetros variados, enlazadas por uniones, curvaturas, codos, válvulas, etc [18]. En estos sistemas, el fluido solo fluye si su energía total disminuye en la dirección del flujo. Es por esto por lo que se ve la necesidad de agregar bombas; estas aumentan la velocidad, la altura y la presión del fluido. Debido a que no debe existir contaminación del fluido, es decir, que el fluido no debe estar en contacto con ningún otro material que no sea la manguera en la que se distribuye, se optó por utilizar bombas peristálticas.

### 2.2.1 Bombas Peristálticas

Para el diseño propuesto se requieren que las bombas peristálticas puedan desplazar pequeñas cantidades de fluidos con un caudal constante. Se escogió utilizar bombas peristálticas de la marca Gikfun modelo AE1207, la cual es alimentada con 12 VDC, y maneja un caudal de 100 mL/min a ese nivel de voltaje. La manguera que trae incluida la bomba peristáltica tiene un diámetro interno (ID) de 3 mm.



**Figura 2.2 Bomba Peristáltica**

### 2.2.2 Electroválvulas

Las electroválvulas que se escogieron son de la marca AMAG las cuales operan a 12 VDC, contiene 2 vías normalmente cerradas, físicamente tiene conectores de 6 mm de diámetro externo (OD). Estas se acoplaban a los requerimientos del proyecto.



**Figura 2.3 Electroválvula**

### 2.2.3 Mangueras

En esta parte se va a utilizar dos tipos de manguera, la primera con un ID de 3 mm y OD de 4 mm, y la segunda con ID de 2 mm y OD de 4 mm, ambos modelos se escogieron de manera que resistan la corrosión de los reactivos que van a circular por su interior.

El objetivo de haber escogido una manguera con un ID de 2 mm es controlar el volumen contenido en un tramo del sistema, para de esta manera obtener una cantidad aproximada de un reactivo. Por ejemplo, para el proyecto se desea obtener cantidades de 0.5 ml de un fluido, para lo cual se aplica las siguientes operaciones:

Cálculo de manguera:

$$1 \text{ ml} \rightarrow 1 \text{ cm}^3$$

$$A = \pi r^2$$

$$V = A \cdot L$$

Datos:

$$V = 0.5 \text{ ml} \rightarrow 0.5 \text{ cm}^3$$

$$r = 1 \text{ mm} \rightarrow 0.1 \text{ cm}$$

Resolviendo:

$$A = \pi(0.01) = 0.031416 \text{ cm}^2$$

$$\frac{V}{A} = L$$

$$\frac{0.5 \text{ } cm^3}{0.031416 \text{ } cm^2} = 15.915 \text{ } cm \rightarrow 159.15 \text{ } mm$$

Por lo tanto, para obtener 0,5 ml de un fluido se va a necesitar 159.15 mm de longitud de la manguera con ID de 2 mm.

#### 2.2.4 Frascos de color ámbar

Se escogió los frascos de color ámbar para poder proteger a los reactivos de la luz, debido a que estos son fotosensibles.



**Figura 2.4 Frasco de color ámbar (figura solo con propósito explicativo)**

#### 2.2.5 Sensores de Nivel

Los sensores son de marca IS de tipo NPN, y trabajan con 12 VDC. Este sensor fue escogido debido a su forma la cual no tiene contacto con el líquido. Este sensor nos indica si el nivel de la solución utilizada en el proceso es bajo. En nuestro sistema se mostrará una alarma en donde el usuario deberá ir y llenar los frascos con más solución.



**Figura 2.5 Sensor de nivel**

#### **2.2.6 PLC Micrologix 1100**

Para el prototipado del sistema, se utilizó al PLC Micrologix 1100 como controlador, debido a que este estaba disponible y se disponían de módulos de expansión para entradas y salidas. Este PLC cuenta con comunicación Ethernet, 10 entradas digitales y 6 salidas tipo relé embebidas. Adicionalmente se usó un módulo de expansión con 16 salidas tipo relé 1762-OW16. Se recomienda utilizar un PLC más actual, tal como un Micrologix serie 800 de la marca Allen Bradley, o PLC's de la serie s7-1200 de la marca SIEMENS.



**Figura 2.6 Controlador lógico  
programable Micrologix 1100 [24].**

## 2.3 Materiales

Luego de definir el diseño del proceso, se obtuvo la siguiente lista de materiales:

**Tabla 2.1 Materiales**

Descripción	Cantidad	ID	OD
<b>Bomba peristáltica</b>	5	3.175 mm	-
<b>Manguera 3mm</b>	5	3 mm	4mm
<b>Manguera 2mm</b>	5	2 mm	4mm
<b>Acoples de presión</b>	2	-	4.76 mm
<b>Uniones</b>	1	4mm	-
<b>Codos</b>	2	4mm	-
<b>Tee</b>	5	4mm	-
<b>Kit de acoples</b>	1	4mm	-
<b>Reguladores de paso</b>	2	4mm	-
<b>Acoples para Válvula</b>	2	4mm	6.35 mm
<b>Electroválvula</b>	15	4mm	6.35mm
<b>Sensor de nivel</b>	6	-	-
<b>Agitadores</b>	3	-	-
<b>Tablero de 60 x 40</b>	1	-	-
<b>PLC</b>	1	-	-
<b>Colorímetro</b>	1	-	-

## 2.4 Diagrama de tuberías e instrumentación

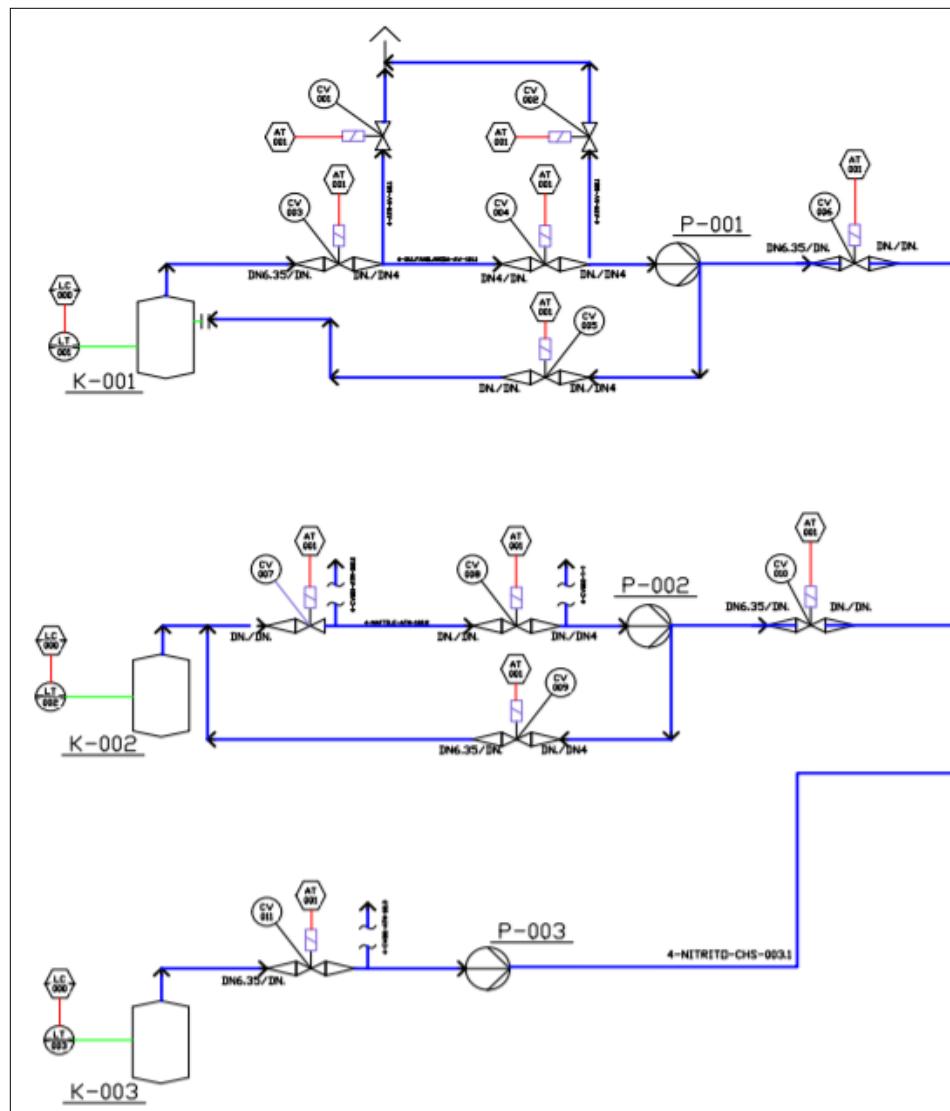
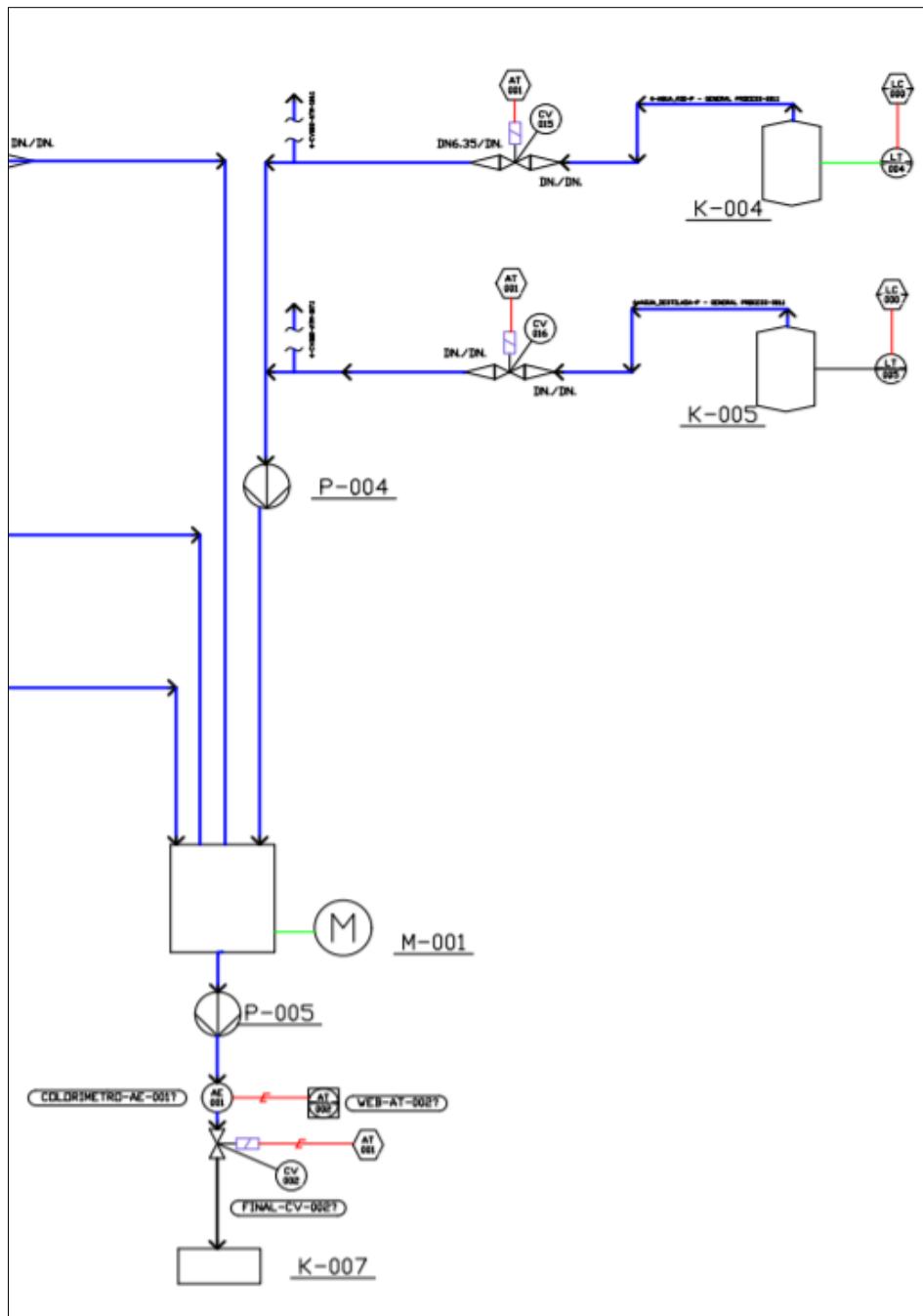


Figura 2.7 Diagrama de instrumentación y tuberías en donde se muestra la primera parte del proceso.



**Figura 2.8 Diagrama de instrumentación y tuberías en donde se muestra la primera parte del proceso.**

Tomando en cuenta los requerimientos para el diseño de nuestro sistema, se planteó el diseño del diagrama de tuberías e instrumentación. El diagrama completo se encuentra en anexos.

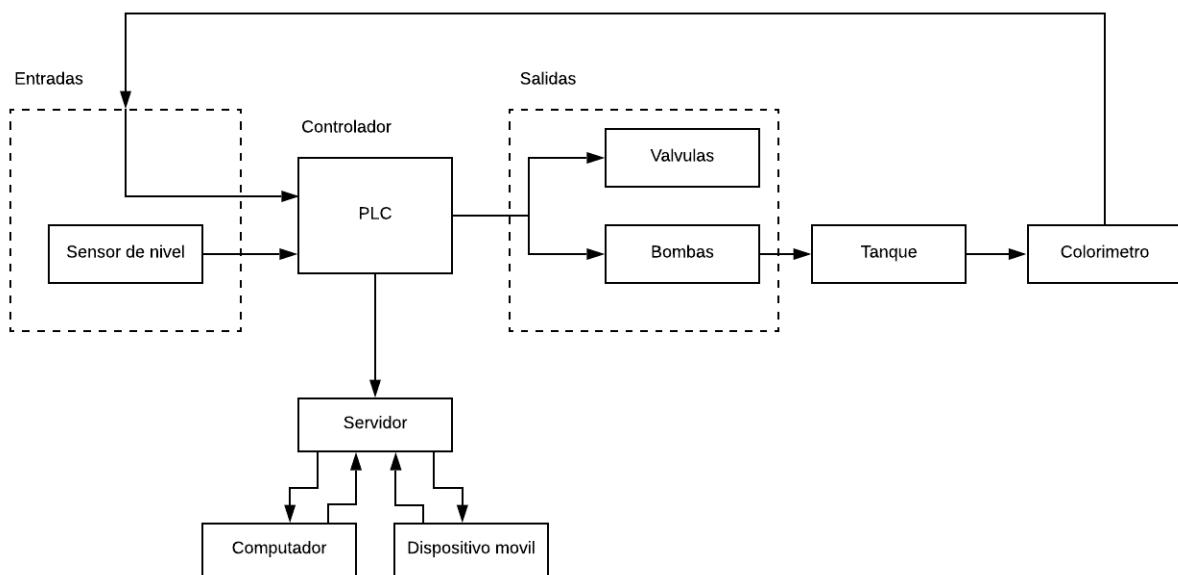
**Tabla 2.2 Lista de los instrumentos mostrados en el diagrama P&ID**

Instrumentación				
	Tag	Tipo	Nombre	Descripción
<b>1</b>	K-001	K	Recipiente cónico	Frasco de reactivo color ámbar que contiene 250 ml de solución de sulfanilamida (C6H8N2O2S)
<b>2</b>	K-002	K	Recipiente cónico	Frasco de reactivo color ámbar que contiene 500ml de solución de di clorhidrato de N-(1-Naftil) etilendiamina
<b>3</b>	K-003	K	Recipiente cónico	Frasco de reactivo color ámbar que contiene 100ml de estándar de nitrito
<b>4</b>	K-004	K	Recipiente cónico	Recipiente que contiene 500ml de la muestra del agua del río Daule
<b>5</b>	K-005	K	Recipiente cónico	Recipiente que contiene 500ml de agua destilada
<b>6</b>	K-006	K	Recipiente general	Recipiente (vaso precipitado) para hacer reaccionar las soluciones
<b>7</b>	K-007	K	Recipiente general	Recipiente que contiene residuos líquidos
<b>8</b>	P-001	P	Bomba peristáltica	Bomba peristáltica que permite el flujo de la solución de sulfanilamida hacia el recipiente K-006
<b>9</b>	P-002	P	Bomba peristáltica	Bomba peristáltica que permite el flujo de la solución de di clorhidrato de N-(1-Naftil) etilendiamina hacia el recipiente K-006
<b>10</b>	P-003	P	Bomba peristáltica	Bomba peristáltica que permite el flujo de la solución estándar de nitrito hacia el recipiente K-006
<b>11</b>	P-004	P	Bomba peristáltica	Bomba peristáltica que permite el flujo de la muestra de agua y el agua destilada hacia el recipiente K-006
<b>12</b>	P-005	P	Bomba peristáltica	Bomba peristáltica que permite el flujo de la solución que queda al final del proceso (solución residuo)
<b>13</b>	M-001	M	Motor eléctrico	Motor eléctrico que sirve de vibrador del recipiente para la mezcla de las soluciones
<b>14</b>	CV-001	CV	Válvula de control	Válvula de alivio a atmósfera 1
<b>15</b>	CV-002	CV	Válvula de control	Válvula de alivio a atmósfera 2
<b>16</b>	CV-003	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la solución del recipiente K-001
<b>17</b>	CV-004	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la solución del recipiente K-001
<b>18</b>	CV-005	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la solución del recipiente K-001 que retorna
<b>19</b>	CV-006	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la solución del recipiente K-001 hacia el recipiente general de reacción

<b>20</b>	CV-007	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la solución del recipiente K-002
<b>21</b>	CV-008	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la solución del recipiente K-002
<b>22</b>	CV-009	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la solución del recipiente K-002 que retorna
<b>23</b>	CV-010	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la solución del recipiente K-002 hacia el recipiente general de reacción
<b>24</b>	CV-011	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la solución estándar de nitrito
<b>25</b>	CV-012	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de la muestra de agua del río
<b>26</b>	CV-013	CV	Válvula de control	Válvula que permite el flujo de agua destilada
<b>27</b>	CV-014	CV	Válvula de control	Válvula que controla el flujo de la solución residuo
<b>28</b>	LT-001	LT	Transmisor de nivel	Sensor que mide el nivel bajo del recipiente K-001
<b>29</b>	LT-002	LT	Transmisor de nivel	Sensor que mide el nivel bajo del recipiente K-002
<b>30</b>	LT-003	LT	Transmisor de nivel	Sensor que mide el nivel bajo del recipiente K-003
<b>31</b>	LT-004	LT	Transmisor de nivel	Sensor que mide el nivel bajo del recipiente K-004
<b>32</b>	LT-005	LT	Transmisor de nivel	Sensor que mide el nivel bajo del recipiente K-005
<b>33</b>	COLORIMETRO -AE-001	AE	Analizador primario	Sensor colorímetro

## 2.5 Arquitectura del sistema

En el siguiente diagrama se puede observar la arquitectura del sistema, donde el PLC recoge las señales del sensor y controla los actuadores. Además, el PLC está conectado a un servidor donde le permite almacenar datos, también una computadora está conectada a este servidor en la cual se tiene una aplicación para monitorear las mediciones realizadas por el sistema.



**Figura 2.9 Diagrama de bloques de la composición del sistema.**

## 2.6 Programación del controlador

Uno de los puntos que se destaca en esta sección es la forma en que se programó el sistema autónomo. Se utilizó GRAFCET, debido a que esta estructura se la puede llevar a otros lenguajes de programación como: escalera, por bloques y estructurado; sin la necesidad de cambiar la asignación de variables ni las conexiones físicas del controlador.

### 2.6.1 Programación principal

La programación del sistema se la esquematizó en el lenguaje GRAFCET (Diagrama de control con etapas y transiciones) de la siguiente manera:

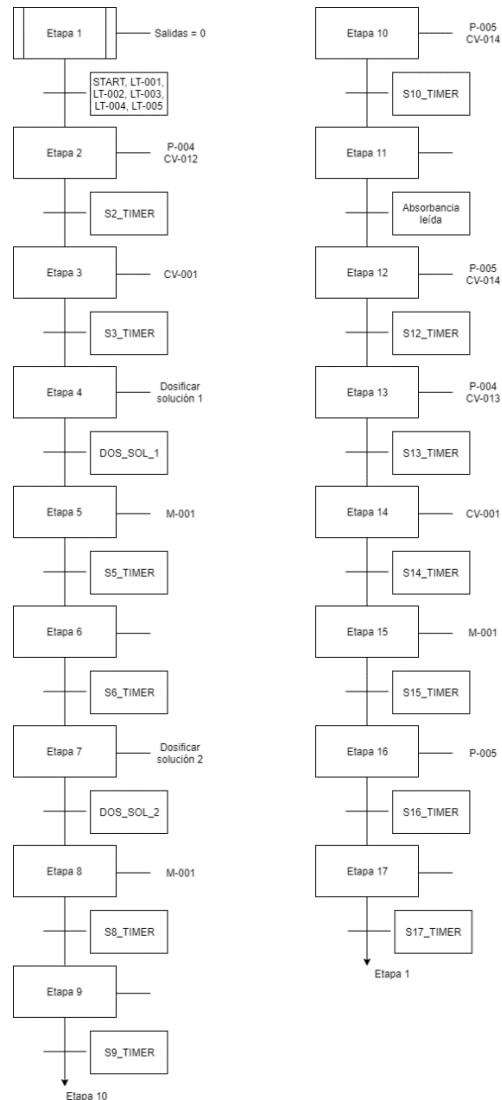


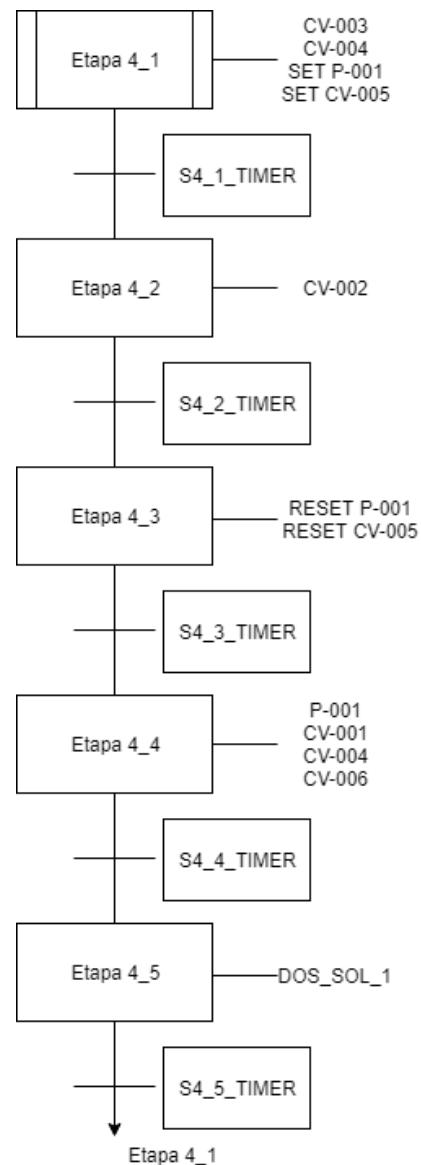
Figura 2.10 Programación del sistema en GRAFCET

- Etapa 1: en esta etapa inicial todas las salidas se llevan al estado “bajo” y se espera la señal “START” para continuar a la siguiente etapa.
- Etapa 2: esta etapa inicia la dosificación de 25 ml de la muestra al contenedor de pruebas, activando la bomba peristáltica “P-004” y la electroválvula “CV-012”, luego se espera un tiempo para pasar a la siguiente etapa.
- Etapa 3: una vez que se hayan suministrado los 25 ml, se cierra la electroválvula “CV-012”, e inmediatamente se activa la “CV-001” para que la bomba peristáltica “P-004” termine de dosificar lo que quedó en la tubería. Se espera un tiempo para pasar a la siguiente etapa.
- Etapa 4: en esta etapa se activa una marca “Dosificar solución 1” para habilitar la subrutina de dosificación de 0.5 ml del primer reactivo y se espera la confirmación de esta subrutina para pasar a la siguiente etapa.
- Etapa 5: una vez que el primer reactivo ha sido añadido a la muestra se activan los motores vibradores “M-001” para agitar la mezcla, luego de un tiempo se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 6: el objetivo de esta etapa es que se deje de agitar la muestra y luego esperar 5 minutos para pasar a la siguiente etapa.
- Etapa 7: se activa la segunda marca “Dosificar solución 2” para habilitar la subrutina de dosificación de 0.5 ml del segundo reactivo y se espera la confirmación de esta subrutina para pasar a la siguiente etapa.
- Etapa 8: una vez que el segundo reactivo ha sido añadido a la muestra se activan los motores vibradores “M-001” para agitar la mezcla, luego de un tiempo se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 9: el objetivo de esta etapa es que se deje de agitar la muestra y luego esperar 10 minutos para pasar a la siguiente etapa.
- Etapa 10: luego de que los dos reactivos han sido añadidos y agitados en la muestra de agua, se enciende la bomba peristáltica “P-005” y la electroválvula “CV-014” para llevar el compuesto al sensor colorímetro, luego de un tiempo se pasa a la siguiente etapa.

- Etapa 11: una vez que la muestra ya esté dentro del sensor colorímetro, se espera la confirmación de lectura por parte de este para pasar a la siguiente etapa.
- Etapa 12: una vez que ya se tomó la lectura del sensor se vuelve a activar la bomba peristáltica “P-005” y la electroválvula “CV-014” para pasar la muestra sobrante al recipiente de desechos, luego de un tiempo se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 13: en esta etapa se inicia la limpieza del recipiente de mezcla con agua destilada, activando la bomba peristáltica “P-004” y la electroválvula “CV-013”, luego de un tiempo se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 14: se cierra la electroválvula “CV-013” e inmediatamente se activa la electroválvula “CV-001” para terminar de pasar el agua en la tubería, luego de un tiempo se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 15: se agita el agua destilada en el recipiente de la mezcla con “M-001” y se espera un tiempo para pasar a la siguiente etapa.
- Etapa 16: se activa la electroválvula “CV-014” y se enciende la bomba peristáltica “P-005” para que el agua destilada pase al recipiente de desechos, luego de que el tanque de la mezcla este vacío se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 17: esta es la última etapa donde se espera aproximadamente 1 hora para volver a medir la concentración en otra muestra de agua, es decir, se inicie nuevamente en la etapa 1.

## 2.6.2 Subrutina 1

La subrutina 1 llamada “Dosificar solución 1”, se compone de las siguientes etapas:

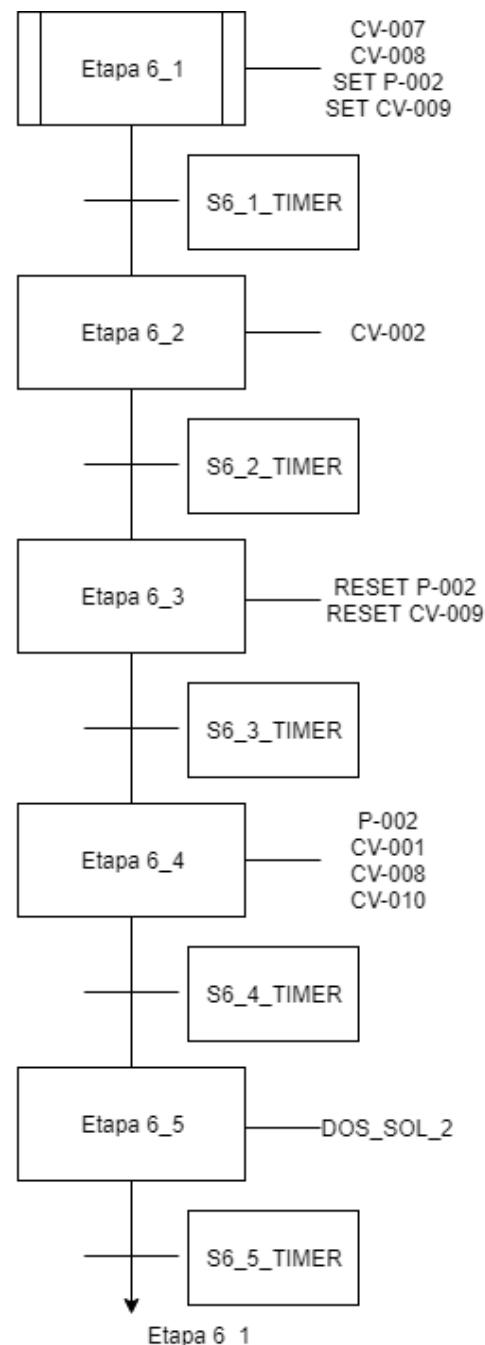


**Figura 2.11 Programación en GRAFCET: Subrutina 1**

- Etapa 4\_1: Se inicia esta etapa con la activación de la bomba peristáltica “P-001”, y las electroválvulas “CV-003”, “CV-004” y “CV-005”, para comenzar a hacer circular el reactivo 1, luego de un tiempo donde el segmento de manguera con volumen conocido queda lleno se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 4\_2: aún con la bomba encendida, se activa la electroválvula “CV-002” para terminar de desplazar el reactivo sobrante hacia el recipiente del reactivo 1, luego de pasar el líquido sobrante se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 4\_3: en esta etapa se apaga la bomba “P-001” y se desactiva la electroválvula “CV-005”, y luego de 5 segundos se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 4\_4: una vez que ya se tiene encerrada los 0.5 ml de reactivo 1, se hace circular este hacia el recipiente de mezcla, habilitando la bomba “P-001” y las electroválvulas “CV-001”, “CV-004” y “CV-006”, luego de pasar los 0.5 ml se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 4\_5: en esta última etapa se activa la bandera “DOS\_SOL\_1” la cual indica que ya se terminó la subrutina y se espera a que se vuelva a llamar a la subrutina.

### 2.6.3 Subrutina 2

La subrutina 2 llamada “Dosificar solución 2”, se compone de las siguientes etapas:



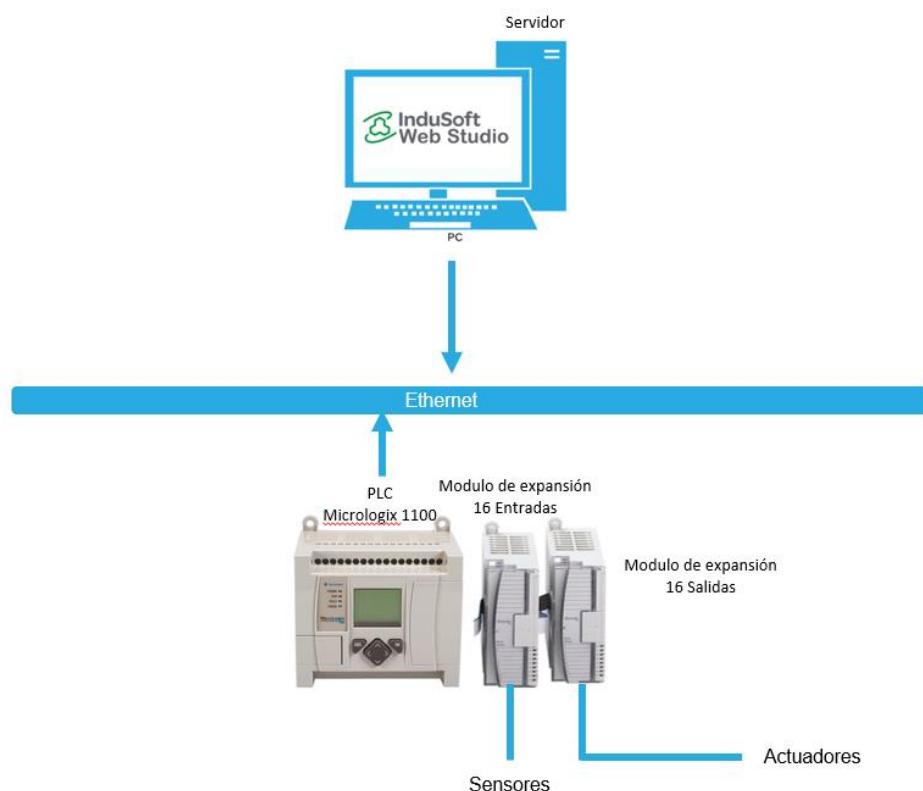
**Figura 2.12 Programación en  
GRAFCET: Subrutina 2**

- Etapa 6\_1: Se inicia esta etapa con la activación de la bomba peristáltica “P-002”, y las electroválvulas “CV-007”, “CV-008” y “CV-009”, para comenzar a hacer circular el reactivo 2, luego de un tiempo donde el segmento de manguera con volumen conocido queda lleno se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 6\_2: aún con la bomba encendida, se activa la electroválvula “CV-002” para terminar de desplazar el reactivo sobrante hacia el recipiente del reactivo 2, luego de pasar el líquido sobrante se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 6\_3: en esta etapa se apaga la bomba “P-002” y se desactiva la electroválvula “CV-009”, y luego de 5 segundos se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 6\_4: una vez que ya se tiene encerrada los 0.5 ml de reactivo 2, se hace circular este hacia el recipiente de mezcla, habilitando la bomba “P-002” y las electroválvulas “CV-001”, “CV-008” y “CV-010”, luego de pasar los 0.5 ml se pasa a la siguiente etapa.
- Etapa 6\_5: en esta última etapa se activa la bandera “DOS\_SOL\_2” la cual indica que ya se terminó la subrutina y se espera a que se vuelva a llamar a la subrutina.

## 2.7 Conexiones de la red

En la figura 2.13 podemos observar la topología de la red que implementó en nuestro sistema. Por un lado, tenemos al área de gestión, en donde se encuentra el ordenador mientras que por el otro lado está el área de control y campo (PLC, actuadores y sensores).

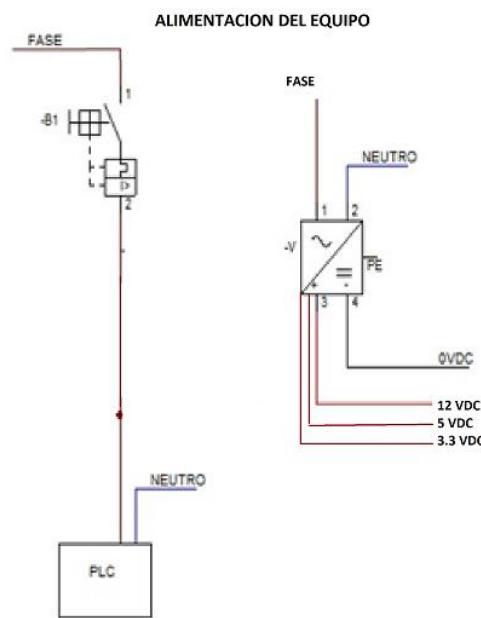
Para la comunicación se utilizó el protocolo de comunicación CIP (en inglés: Common Industrial Protocol) desarrollado por las asociaciones ODVA y ControlNet International. Al utilizar este protocolo no es necesario saber la tecnología que existe en particular en una red industrial. Es decir, que se aplicó esta capa común a distintas tecnologías de redes, así mismo como la interconexión con las capas de aplicación (pantallas que ve el usuario) [19].



**Figura 2.13 Topología de la red implementada**

## 2.8 Conexiones eléctricas

En el siguiente diagrama de las conexiones eléctricas del sistema se tiene como primera parte la alimentación de los equipos, donde se observa un breaker principal “B1”, seguido de un contactor “K1”, el cual es activado por el circuito de control con enclavamiento a la derecha, donde se tiene un paro de emergencia, un pulsador de paro y un pulsador de marcha.



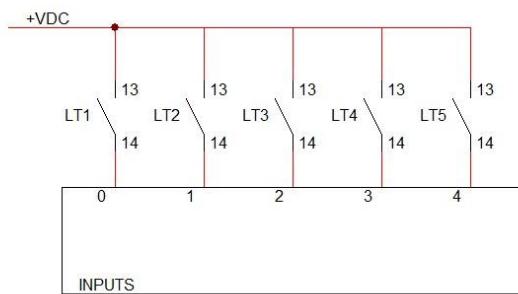
**Figura 2.14 Diagrama eléctrico para la alimentación del equipo.**

### 2.8.1 Conexiones al PLC

El PLC usado cuenta con 10 entradas digitales y 6 salidas por relé embebidas en el módulo, adicionalmente se usó un módulo de expansión:

- 1 módulo de salidas digitales 1762-OW16, el cual cuenta con 16 salidas tipo relé.

En el siguiente diagrama, el PLC recibe la señal de 5 entradas digitales, las cuales pertenecen a los sensores de nivel de los respectivos recipientes del sistema.



**Figura 2.15 Diagrama de conexión**

**a las entradas digitales del PLC.**

En los siguientes diagramas se muestran las 20 salidas tipo relé del PLC, de las cuales 5 están conectadas a las salidas embebidas en el PLC y las otras 15 están conectadas al módulo de expansión 1762-OW16.

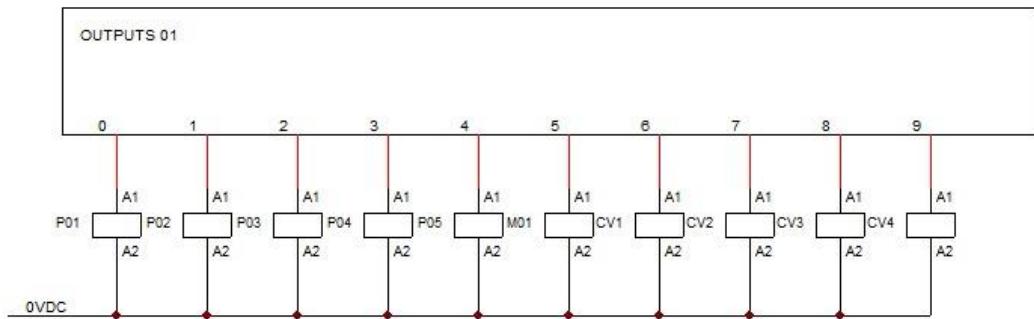


Figura 2.17 Diagrama de las conexiones de las salidas digitales tipo relé.

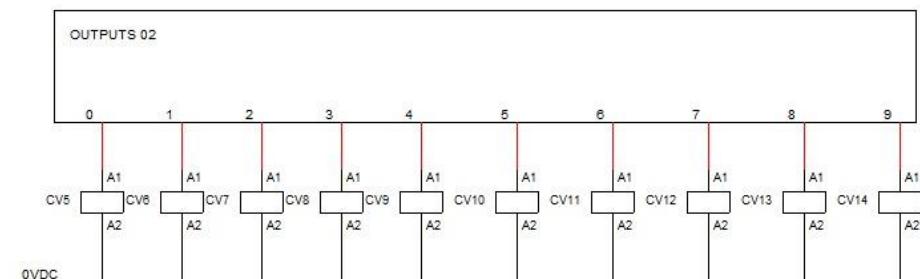
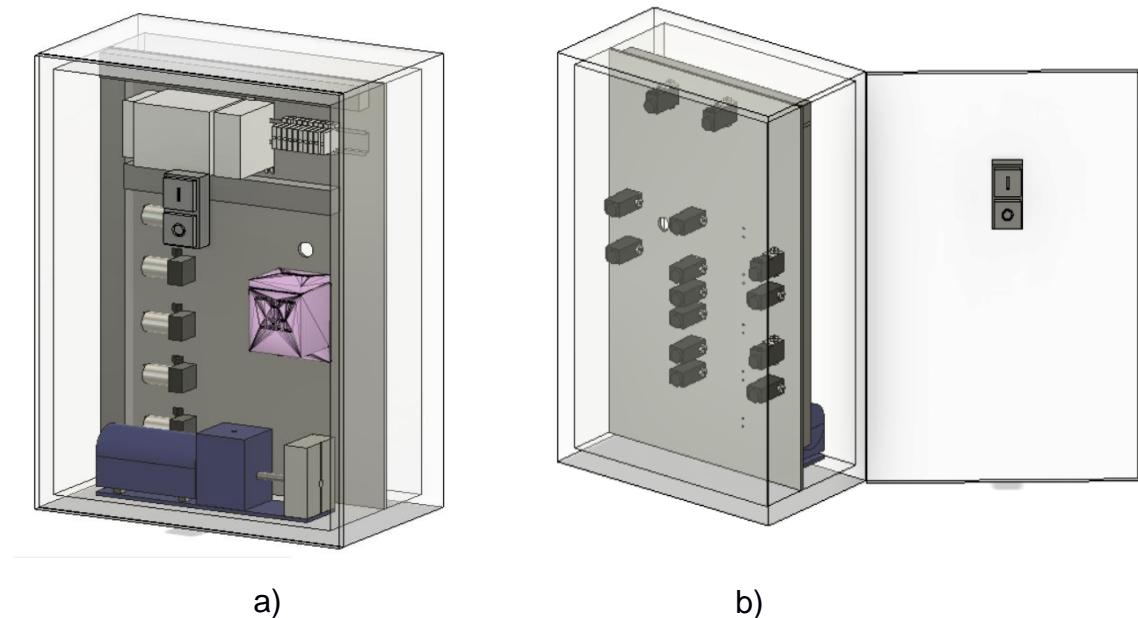


Figura 2.16 Diagrama de las conexiones de las salidas digitales tipo relé.

## CAPÍTULO 3

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Implementación del prototipo



**Figura 3.1 a) Diagrama en 3D del equipo parte frontal, b) Diagrama en 3D del equipo parte posterior**

Para la construcción del prototipo se utilizó un gabinete de metal, con doble fondo de 60x40x20 cm. Este tamaño fue suficiente para que todos los componentes ingresaran correctamente dentro de la caja. Se utilizaron 5 bombas peristálticas, las cuales fueron ubicadas estratégicamente para optimizar el uso de mangueras que conectan las electroválvulas, ubicadas en la parte posterior del doble fondo. Además, se tomó en cuenta que debemos cumplir con la ecuación de Bernoulli, en donde la altura de la bomba y la altura de los fluidos que pasan por las mangueras y electroválvulas son importantes para que exista una impulsión ascendente.

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{constante} \quad (3.1)$$

La energía total en el punto en donde se encuentra el recipiente que contiene el reactivo corresponde a la suma de la carga potencia y la carga de presión, que es la atmosférica.

Se utilizaron conectores en forma de T para las uniones a las válvulas de alivio, las cuales ayudan a desplazar el contenido del reactivo dentro de ella y reemplazar el volumen desplazado por aire. Para el procedimiento inicial a seguir, se necesitaba una precisión de 0.5 ml de volumen, los cuales se mezclaban con la muestra del río, pero debido a que la cantidad era muy pequeña se decidió aumentarla a 1 ml y duplicar la dosificación del resto de los reactivos. Para lograrlo se utilizó una sección de manguera con volumen conocido, se encerró la cantidad de líquido dentro de este volumen de manguera conocido, para luego ser liberado y mezclado con los demás reactivos. Al principio se había considerado utilizar mangueras de área transversal de 2mm, pero debido a lo falta de buenos acoplos entre las mangueras y las válvulas, se optó por usar otro tipo de manguera, con un área transversal mayor que la anterior, según la formula número 2, teniendo un radio interno de 3.8 mm y una longitud de 8.818 cm, da como resultado un volumen de 1 ml.

Al utilizar un volumen de 1ml de cada reactivo, es necesario incrementar los valores volumétricos de los demás reactivos.

Tenemos que para el procedimiento convencional se tiene:

- 0.5 ml de sulfanilamida
- 0.5 ml de diclorihadroto
- 25 ml de agua de río

Usando el sistema de conversión se obtuvo:

- 1 ml de sulfanilamida
- 1 ml de diclorihadroto
- 50 ml de agua de río

Además, se presentaron burbujas cuando el fluido circulaba por las mangueras, debido a las fugas que se encuentran en las uniones, por este motivo fue necesario la utilización de pegamento para tuberías, “kalipega”, para adherir las mangueras con los acoplos en T y silicona fría para sellar

los acoplos de las válvulas con las mangueras. Las mangueras siguen el mismo recorrido que el diagrama P&ID mostrado en la sección anterior. Las válvulas y mangueras se colocaron en la parte posterior de la base de doble fondo, y se dejaron al frente el controlador, módulos de expansión, el espectrómetro y el envase que contiene a la mezcla de reactivos.

En la parte posterior del gabinete del equipo existe una abertura para que pasen las mangueras que van desde los recipientes hasta sus respectivas válvulas. Los recipientes pueden ir ya sea en la parte de atrás o inferior, depende del lugar de instalación del equipo.

Para el proceso que se realizó en este proyecto fue necesario utilizar envases de color ámbar, debido a que los reactivos son fotosensibles y pierden sus propiedades al contacto con la luz de forma directa. Es por esto por lo que el envase en donde se mezcla los reactivos y las mangueras van tapadas.

Una vez que se espera el tiempo de reacción de la solución, una bomba y una válvula se encienden para dejar pasar el líquido a través de una pipeta que está completamente sellada, para que no ingrese la luz externa y no interfiera con la medición del sensor. Esta se encuentra en medio de una luz halógena y el espectrómetro que mide la absorbancia. Para que la solución sea uniforme y se mezclen bien todos los componentes, se puede proceder a hacer dos cosas:

1. Agitar la muestra creando burbujas en el interior de la mezcla, una manguera se encarga de desplazar aire hacia adentro de la muestra.
2. Por medio de vibradores colocados alrededor del envase de la muestra, los cuales se encuentran dentro de un recipiente sellado (para que no ingrese luz).

Se sugiere que se proceda con el procedimiento 2, debido a que se evita la oxigenación de la muestra y posibles errores al momento de obtener los resultados de absorbancia.

Una vez que la mezcla se vierte en la pipeta el líquido no debe estar en movimiento por lo que la bomba y la válvula se apagan para que detenga la circulación de este.

Una vez que el proceso termina se procede a llenar el recipiente donde estuvo la mezcla con agua destilada, o agua tipo 1, para limpiarlo.

Cabe recalcar que antes de tomar los primeros datos se debe encebar las mangueras con los reactivos correspondientes, es decir, que debe haber líquido fluyendo dentro de las mangueras. Esto se realiza solo cuando se prende por primera vez el equipo, de ahí en adelante se queda el líquido dentro de las mangueras.



**Figura 3.2 Equipo construido a partir de las especificaciones anteriormente mencionadas.**

### 3.2 Curva de calibración

Para calibrar el sensor se necesita una concentración de nitritos conocida.

Para el experimento se utilizó concentraciones de: 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5 con unidades de  $mg/L$ .

El sensor necesita de una muestra en “blanco”, es decir, la combinación de los reactivos, pero usando agua tipo 1 como muestra para luego obtener la medición de la absorbancia con las muestras de concentraciones conocidas. Luego se procede a utilizar el método de regresión lineal a los resultados de la siguiente forma:

Se debe determinar la pendiente y el intercepto de la curva de calibración con la ecuación 2.1:

$$Abs = C * m + b$$

Las mediciones y ensayos requieren de patrones de medición reproducibles, los cuales están sujetos a una incertidumbre [20]. Para tener un sistema de medición confiable se han realizado 3 ensayos, es decir, que se realizó el experimento 3 veces utilizando la misma muestra de concentración conocida [21]. Luego se promedió dichos resultados en la cual se especifican en la tabla 3.1. La información completa de los datos obtenidos se encuentra en anexos (Tabla x.x).

**Tabla 3.1 Datos de absorbancia obtenidos del prototipo utilizando el sensor de Ocean Optics.**

Resultados del prototipo (uso de sensor Ocean Optics)			
Nº de muestra	Longitud de onda	Concentración Teórica [mg/L]	Absorbancia
1	543.079	0.05	0.025
2	543.079	0.05	0.015
3	543.079	0.05	0.022
4	543.079	0.1	0.11
5	543.079	0.1	0.12
6	543.079	0.1	0.11
7	543.079	0.2	0.22
8	543.079	0.2	0.23
9	543.079	0.2	0.22
10	543.079	0.5	0.56

<b>11</b>	543.079	0.5	0.5
<b>12</b>	543.079	0.5	0.67
<b>13</b>	543.079	1	1.48
<b>14</b>	543.079	1	1.59
<b>15</b>	543.079	1	1.72
<b>16</b>	543.079	1.5	2.68
<b>17</b>	543.079	1.5	2.63
<b>18</b>	543.079	1.5	2.54

**Tabla 3.2 Datos de absorbancia obtenidos del procedimiento realizado en el laboratorio de Agua de ESPOL.**

Resultados del procedimiento en laboratorio (uso de sensor Hach DR 3900)			
Nº de muestra	Longitud de onda	Concentración Teórica [mg/L]	Absorbancia
<b>1</b>	543	0.5	0.665
<b>2</b>	543	0.5	0.666
<b>3</b>	543	0.5	0.667
<b>4</b>	543	1	1.115
<b>5</b>	543	1	1.162
<b>6</b>	543	1	1.166
<b>7</b>	543	1.5	1.607
<b>8</b>	543	1.5	1.603
<b>9</b>	543	1.5	1.6
<b>10</b>	543	2	1.989
<b>11</b>	543	2	1.996
<b>12</b>	543	2	2.003
<b>13</b>	543	2.5	2.455
<b>14</b>	543	2.5	2.488
<b>15</b>	543	2.5	2.483

A partir de los datos que se encuentran en las tablas 3.1 y 3.2 se obtuvieron las ecuaciones de la recta correspondientes a la curva de calibración que se utiliza para determinar la concentración de nitritos en el agua.

La ecuación de la curva de calibración que se obtuvo del prototipo es:

$$Abs = 1.7794C - 0.1356 \quad (3.1)$$

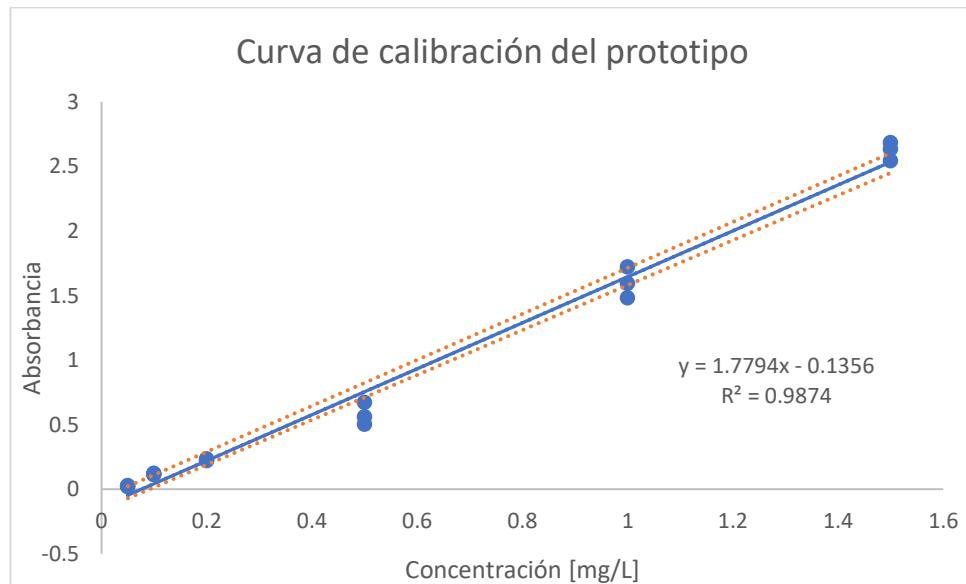
En el cual se obtuvo un coeficiente de determinación (R cuadrado) de 0.9874, este es un indicador de que tanto se ajusta nuestro modelo a la variable que se pretende explicar. Si el valor del coeficiente es cercano a 1, nuestro modelo se ajusta a la variable en estudio [22].

La ecuación de la curva de calibración que se obtuvo del procedimiento que se hace en un laboratorio es:

$$Abs = 0.8934C + 0.2376 \quad (3.2)$$

En el cual se obtuvo un coeficiente de determinación (R cuadrado) de 0.9986. Como vemos en la figura 3.2 notamos que las curvas no poseen la misma inclinación.

Para definir el intervalo de confianza se utilizó una distribución de probabilidad T (de Student) de dos colas con un porcentaje de confianza del 95%. Para hacerlo se requiere del conocimiento de la desviación estándar de los datos, la media y la diferencia entre una muestra y su media, entre otros valores (ver tabla de resultados en anexos 6.2). Se determinó que el intervalo de confianza es de  $\pm 0.069$ .



**Figura 3.3 Curva de calibración obtenida de la lectura del prototipo utilizando el espectrómetro de Ocean Optics.**

### 3.3 Análisis de datos

Para la prueba del prototipo y validararlo, se hizo una comparación entre el proceso que realiza el equipo implementado en este proyecto, el cual cuenta con un espectrómetro de Ocean Optics USB 4000 que mide dentro de las longitudes de ondas de 200-1100 nm con una resolución de 0.21 nm y el proceso que se realiza en el laboratorio de aguas, utilizando pipetas electrónicas con una resolución de 0.1 mg, capaz de contener volumen de 1ml a 50 ml; un matraz y un espectrómetro marca Hach DR 3900 que mide en el rango de longitud de onda de 320 a 1100 nm con una resolución de 1nm. Además, la precisión para medir la absorbancia con el Ocean Optics es de 0.001.

Se tomaron 3 veces los datos de una mezcla con la misma concentración. Para determinar la exactitud del prototipo se utilizó la ecuación que se obtuvo a partir de la regresión lineal que se hizo con los datos de las muestras (curva de calibración). Para esto es necesario medir el error relativo, ya que esta se expresa en porcentaje, tenemos:

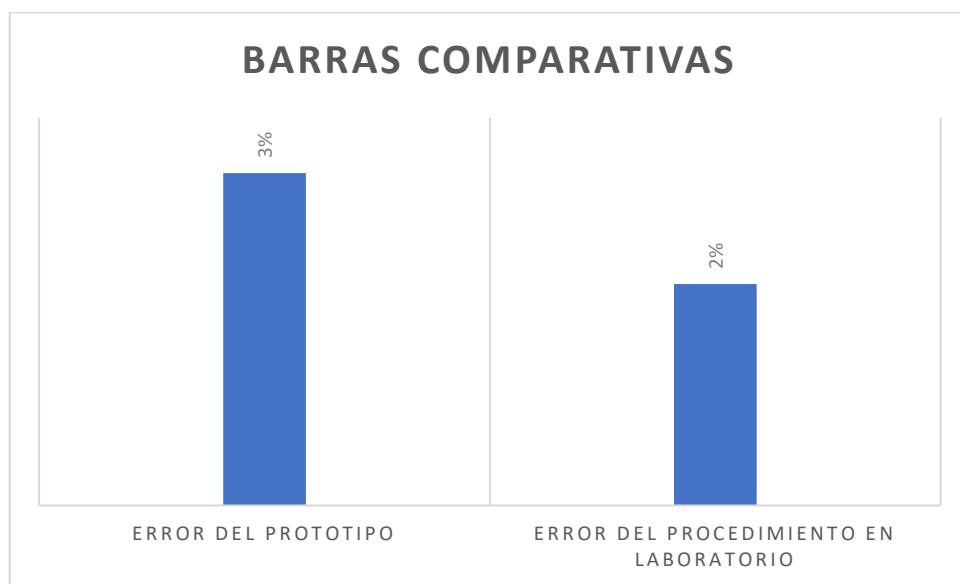
$$E_r = \frac{x_i - x_t}{x_t} \times 100\% \quad (3.2)$$

**Tabla 3.3 Exactitud de la concentración del prototipo.**

Exactitud de la curva de calibración del prototipo para un valor de concentración de 1 mg/L	
Absorbancia	1.597
Concentración	$0.97 \pm 0.069$
Error Relativo	3%

El error relativo que se obtuvo para el procedimiento que se realiza en un laboratorio fue el siguiente:

Exactitud de la curva de calibración del laboratorio para un valor de concentración de 1 mg/L	
Absorbancia	1.148
Concentración	$1.02 \pm 0.028$
Error Relativo	2%



**Figura 3.4 Grafico comparativo del error relativo entre la concentración obtenida del prototipo vs la concentración obtenida a partir del procedimiento que se hace en laboratorio.**

Se determino el límite de cuantificación del equipo el cual es el valor mínimo que se va a poder analizar los valores de concentración.

$$\text{Límite de cuantificación} = 0.0288 \text{ mg/L}$$

Se determino el límite de detección de nuestro equipo el cual fue de 0.00951, es decir que para valores de concentración que se encuentran hasta este punto podrán ser detectado pero el sensor no podrá darnos un valor verdadero.

Para medir la precisión de nuestro equipo, se midió el volumen de las soluciones a mezclarse. Sabemos que para la solución 1 y 2 debieron tener un volumen de 1ml. Mientras que el volumen de la muestra de agua debió ser de 50 ml.

No se deben tomar menos de 7 valores replicados, ya que el intervalo de confianza tiende a crecer, por lo que se tomaron 9 muestras. La solución que contiene la muestra del río se midió con una probeta graduada con resolución de  $\pm 1 \text{ ml}$ .

**Tabla 3.4 Comparación del volumen teórico con el real**

Muestra del agua (50 ml)	
Nº de muestra	Volumen real [ml]
1	50
2	50
3	50
4	50
5	51
6	50
7	50
8	50
9	50

Utilizando el método de la desviación estándar para definir la incertidumbre del dosificado de la solución tenemos que:

**Tabla 3.5 Desviación estándar y media del dosificado de la muestra de agua**

Muestra de agua	
Desviación estándar	0.333
Media	50.111

La incertidumbre de la bomba peristáltica que es la encargada de dosificar la muestra de agua es de:  $\pm 0.55$ . El promedio de esta es de 50.4.

La solución 1 y 2 se midieron con un tubo graduado de 0.1 ml de resolución.

**Tabla 3.6 Datos de la medición de volumen dosificado para la solución 1.**

Solución 1 (1 ml)	
Nº de muestra	Volumen real (ml)
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1.1
8	1
9	1.1

**Tabla 3.7 Datos de la medición de volumen dosificado para la solución 2.**

Solución 2 (1 ml)	
Nº de muestra	Volumen real (ml)
1	1.2
2	1.1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	0.95
9	0.95

Utilizando el método de la desviación estándar para definir la incertidumbre tenemos que:

**Tabla 3.8 Desviación estándar y media**

Solución 1	
Desviación estándar	0.044
Media	1.022

Solución 2	
Desviación estándar	0.079
Media	1.022

Luego de varias pruebas de dosificaciones y realizando su respectiva medición, se encontró que la incertidumbre de la bomba peristáltica la cual es la encargada de dosificar la solución 1, es de:  $\pm 0.044$ . El promedio de esta es de 1.02.

La incertidumbre de la bomba peristáltica que es el encargado de dosificar la solución 2 es de:  $\pm 0.079$ . El promedio de esta es de 1.022.

### 3.4 Sistema de monitorización

#### 3.4.1 Aplicación para generar reporte de fallas

Indusoft contiene una aplicación para generar mensajes de advertencia o de falla, o dar seguimiento a una entrada o salida en específico. Para esto se agregó una pantalla denominada “alarmas”. Para la configuración de las alarmas debe estar asociadas a tags que contenga la información que nos interesa saber el estado dentro del proyecto. En este proyecto fue necesario saber el estado de los recipientes, vacíos o llenos, para avisar al usuario cuando es necesario rellenar los recipientes con las soluciones para su funcionamiento. Como se ve en la figura 3.9, en ese momento se activó una alarma de que el reactivo que se encuentra en el envase LT01 está por acabarse.

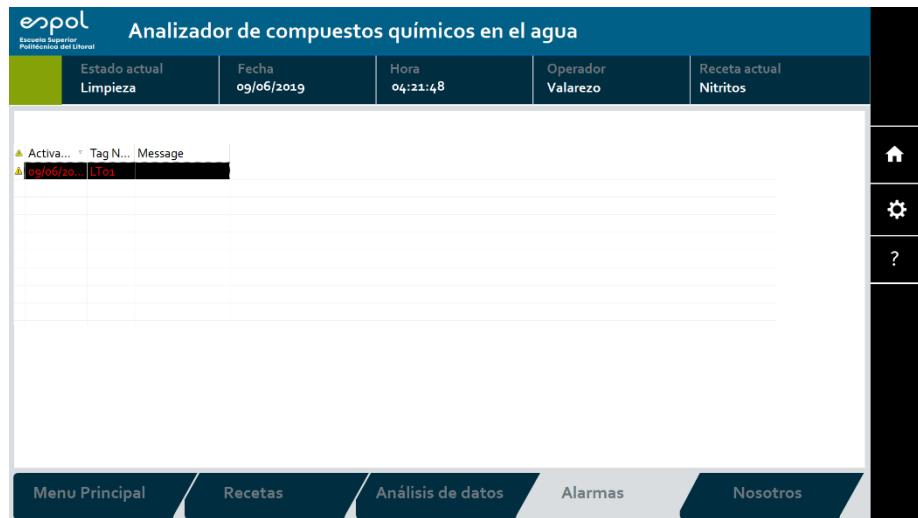


Figura 3.5 Pantalla de alarmas.

### 3.4.2 Generación de recetas

Para la generación de recetas es necesario tener funciones como Guardar, Cargar y borrar. Indusoft posee estas propiedades, en la cual se pudo registrar los contenidos de los envases en nuestro equipo. Así mismo como crear nuevas recetas donde dependerán de las soluciones que el usuario coloco en el equipo. Dependiendo de esto el equipo podrá dosificar diferentes cantidades de volumen para las diferentes soluciones con una resolución de 1ml. Solo cambiando el contenido de los reactivos podemos determinar diferentes parámetros químicos como fosforo.



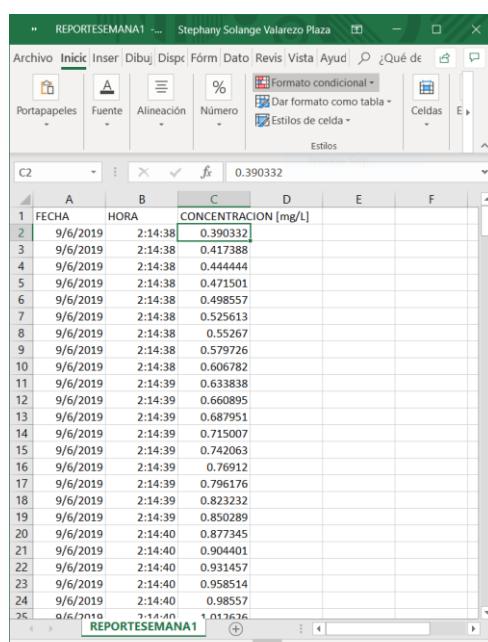
Figura 3.6 Pantalla de configuración de recetas

### 3.5 Generación de reporte

Otra de las ventajas de utilizar Indusoft, es que podemos generar archivos como TXT, HTML, CSV, entre otros, el cual podemos guardar información en nuestro ordenador. Para esto se creó una hoja de trabajo de “reporte” en Indusoft, en donde se configura el tipo de archivo que se desea guardar y el contenido, para este proyecto se está generando un archivo tipo CSV, en el cual se guarda continuamente la fecha, hora y valor de la concentración en una carpeta dentro del ordenador.



**Figura 3.7 Pantalla de análisis de datos, contiene la curva de calibración y los valores de la absorbancia y concentración en intervalos de 30 min.**



**Figura 3.8 Archivo en excel que se guardó a partir de la programación en Indusoft.**

La primera pantalla del SCADA muestra el paso a paso de como se está creando la mezcla, entre la muestra del río y los reactivos. Además, en esta pantalla también se podrá visualizar si alguno de los componentes falla o si los reactivos no circulan como deberían hacerlo.

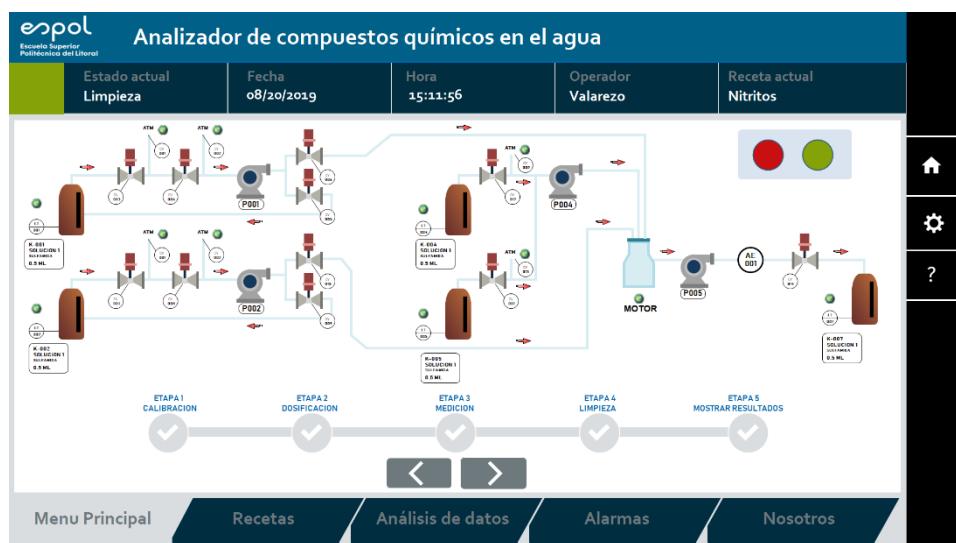


Figura 3.9 Pantalla del diagrama P&ID del sistema.



Figura 3.10 Pantalla que muestra el contenido de los recipientes.

### 3.6 Información técnica del equipo

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones técnicas del equipo.

**Tabla 3.9 Información técnica del prototipo**

Parámetro	Nitrito
<b>Método de medición</b>	Espectrofotometría a 543 nm
<b>Rango de medición</b>	0,0288 – 1.6 mg/L
<b>Intervalo de confianza</b>	±0.069
<b>Límite de detección</b>	0.00951
<b>Ciclo</b>	30 minutos
<b>Limpieza automática</b>	Si
<b>Calibración</b>	Manual
<b>Validación</b>	Manual
<b>Temperatura de operación</b>	10 - 30 °C
<b>Reactivos requeridos</b>	sulfanilamida - naftilendiamina
<b>Caudal promedio</b>	1.25 mL/seg
<b>Temperatura de la muestra</b>	10 - 30 °C
<b>Alimentación</b>	110 - 240 VAC, 2 A, 50/60 Hz
<b>Salidas analógicas</b>	No
<b>Salidas digitales</b>	Salida RS485
<b>Protección</b>	IP55
<b>Dimensiones</b>	600 x 400 x 350 mm
<b>Peso</b>	25 Kg

### 3.7 Costo del proyecto

A continuación, se muestra la tabla del costo del prototipo del proyecto:

**Tabla 3.10 Costos generales del prototipo implementado**

Egresos	Detalle	Cantidad	Valor	Total
	Recursos Humanos	2	\$3,000.00	\$6,000.00
	Equipos	1	\$4,684.78	\$4,684.78
	Materiales	1	\$550.96	\$550.96
	Diseño	2	\$1000.00	\$2,000.00
				\$13,235.74
Ingresos	Detalle	Cantidad	Valor	Total
	Venta prototipo	1	\$18,000.00	\$18,000.00
Utilidades	Detalle	Cantidad	Valor	Total
		1	\$4,764.26	\$4,764.26

En la siguiente tabla se detallan los costos de los materiales que se usaron en el prototipo del proyecto.

**Tabla 3.11 Lista de costos de los materiales que se utilizaron en el prototipo**

Materiales				
Cantidad	Descripción	Valor	Total	
5	Bombas peristálticas	\$ 12.68	\$ 63.40	
14	Electroválvulas	\$ 10.59	\$ 148.26	
2	Kits de uniones	\$ 5.87	\$ 11.74	
2	Mangueras de ID 2 mm y OD 4 mm	\$ 8.09	\$ 16.18	
10	Mangueras de ID 3 mm y OD 4 mm	\$ 1.00	\$ 10.00	
1	Motores vibradores	\$ 12.99	\$ 12.99	
5	Sensores de nivel	\$ 6.99	\$ 34.95	
1	Amarras de 15 cm	\$ 0.85	\$ 0.85	
1	Pulsador doble 22 mm	\$ 1.65	\$ 1.65	
5	Prensa estopas	\$ 0.20	\$ 1.00	
1	Breaker	\$ 2.99	\$ 2.99	
20	Borneras 2.5 mm	\$ 0.25	\$ 5.00	
2	Puente borneras	\$ 0.55	\$ 1.10	
1	Riel DIN	\$ 1.35	\$ 1.35	
1	Gabinete 60x40x20	\$ 37.90	\$ 37.90	
20	Tornillos punta de broca	\$ 0.01	\$ 0.20	
1	Canaleta ranurada 25x25 mm	\$ 3.40	\$ 3.40	
1	Cables de distinto calibre	\$ 30.00	\$ 30.00	

1	Costos de importación	\$ 78.00	\$ 78.00
1	Materiales varios	\$ 50.00	\$ 50.00
1	Fuente de Voltaje 400 W	\$ 40.00	\$ 40.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 550.96</b>

En la tabla a continuación, se muestra los costos de los equipos usados en el prototipo:

**Tabla 3.12 Lista de costos de los equipos usados en el prototipo**

Equipos			
Cantidad	Descripción	Valor	Total
1	USB4000 Miniature Fiber Optic Spectrometer	\$ 2,827.00	\$ 2,827.00
1	200 um Bifurcated Fiber	\$ 342.00	\$ 342.00
1	HL-2000-LL	\$ 903.00	\$ 903.00
1	AB MicroLogix 1100 PLC 1763-L16BWA	\$ 376.80	\$ 376.80
1	1762 – OW16	\$ 235.98	\$ 235.98
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 4,684.78</b>

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

La solución al problema planteado al inicio de este trabajo se alcanzó gracias a la aplicación de los conceptos de automatización aprendidos a lo largo de la carrera y con la colaboración de docentes expertos en el tema de tratamiento de muestras y reactivos.

- Se logró diseñar e implementar un prototipo para la medición autónoma de la concentración de nitritos presentes en el agua, lo cual servirá para conocer la calidad sobre esta.
- El prototipo puede cumplir con todos los pasos para dosificar, mezclar y tiempos de espera, que necesita la mezcla para poder determinar su nivel de concentración de nitritos, lo cual le toma aproximadamente 20 minutos entre cada ciclo de trabajo para dar un resultado.
- Los resultados obtenidos en las primeras pruebas de funcionamiento muestran un error relativo del 3 % tomando como referencia los resultados de las pruebas convencionales realizadas por un laboratorista. Este error tiene varias causas, como: la desviación al momento de dosificar la muestra y cada uno de los reactivos, parte de los fluidos que se pueden estancar en las paredes de las diferentes mangueras y fallas de acoplamiento con las uniones de mangueras.
- La programación GRAFCET fue de gran utilidad en el proceso que se implementó en el prototipo, debido a que se lo pudo separar en 3 rutinas, permitiendo que se identificara de manera rápida errores y posibles mejoras en las secuencias de funcionamiento.
- En los sistemas donde se trabaja con la dosificación de fluidos, es importante que los componentes a utilizar no invadan ni contaminen estos fluidos, debido a que podrían causar alteraciones en los resultados. Para evitar esto se usaron bombas peristálticas las cuales desplazan el fluido sin estar en contacto directo con este.

- La curva de calibración ayuda a extrapolar en una función la tendencia que sigue la concentración de nitritos en una muestra de agua, para con esto determinar un valor de concentración para distintas respuestas de absorbancia.

## 4.2 Recomendaciones

Sin lugar a duda todo equipo se debe someter a indicaciones y recomendaciones para asegurar su buen funcionamiento y fiabilidad.

- Tratar de que los recipientes se encuentren en la parte superior o a una altura mayor de las bombas, para generar una columna de presión. Adicionalmente también se necesita de envases especiales que tengan dos salidas, una tapa superior y una tapa inferior.
- Para mejorar las conexiones hidráulicas del sistema, se recomienda sellar herméticamente todas las uniones por donde pasan los fluidos en el sistema, con esto se evitarán las pérdidas de presión.
- Escoger un gabinete que contenga todo el sistema, apto para el ambiente donde va a operar, podría ser un gabinete de plástico si el ambiente es húmedo.
- Debido a que se está trabajando con fluidos, evitar la utilización de materiales metálicos, para no tener corrosión. Para este prototipo se utilizaron electroválvulas de metal, debido a su bajo costo, una mejor solución sería utilizar válvulas neumáticas.
- Utilizar un PLC más actualizado, debido a que, el que se usó para la implementación de este prototipo pronto quedará obsoleto, sin embargo, este sí cumplía las demandas del sistema.

- Tomar en cuenta que cuando se desea realizar alguna comparación con las mediciones hechas por un equipo de laboratorio, las dimensiones del recipiente utilizado para los respectivos espectrómetros deben tener las mismas características, en caso de no cumplir esto, se debe determinar una curva de calibración para cada recipiente y con esa curva calcular las respectivas concentraciones. Estas concentraciones se pueden comparar sin problemas debido a que no dependen de la forma del recipiente usado en el espectrómetro.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. a. Hansen, «Selección de parámetros de Medición de calidad de agua,» Guayaquil, 2018.
- [2] B. Pradillo, «Parámetros de control del agua potable,» [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>. [Último acceso: Junio 2019].
- [3] E. Cabrera, L. Hernández, H. Gómez y M. d. P. Cañizares, «Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar,» *Revista de la Sociedad Química de México*, pp. 88-92, 2003.
- [4] C. Parmer, «Peristaltic pumps-advantages and applications,» Manufacturing Chemist, 22 Febrero 2012. [En línea]. Available: [https://www.manufacturingchemist.com/news/article\\_page/Peristaltic\\_pumps\\_advantages\\_and\\_applications/74693](https://www.manufacturingchemist.com/news/article_page/Peristaltic_pumps_advantages_and_applications/74693). [Último acceso: Junio 2019].
- [5] M. a. A.H.Shapiro, «Peristaltic Pump,» pp. 13-15, 1971.
- [6] C. Treutel, «Peristaltic answer to caustic problems,» World pumps, 7 Mayo 2009. [En línea]. Available: <https://www.worldpumps.com/chemicals-abrasives/features/peristaltic-answer-to-caustic-problems/>. [Último acceso: Junio 2019].
- [7] Michael, «P&ID Diagrama de tuberías e Instrumentación,» 17 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://controlreal.com/es/diagramas-de-tuberias-e-instrumentacion-pid/>. [Último acceso: Junio 2019].
- [8] Lucidchart, «P&ID,» [En línea]. Available: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-son-los-diagramas-de-tuberias-e-instrumentacion>. [Último acceso: Junio 2019].
- [9] AENOR, «Diagrama de flujo de plantas de proceso,» Madrid, 2001.
- [1] K.-C. L. Junghui Chen, «On line batch process monitoring using dynamic PCA and dynamic PLS models,» 6 Junio 2001. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250901003669>. [Último acceso: Julio 2019].

- [1] A. M. Carlos Brunatti, «Introducción a la espectroscopía de absorción molecular 1] ultravioleta, visible e infrarrojo cercano».
- [1] G. Perez, «Espectrometría,» [En línea]. Available: <https://www.espectrometria.com/>.  
2] [Último acceso: Junio 2019].
- [1] J. R. Harold F. Walton, Análisis Químico e instrumental moderno, Editorial Reverté.  
3]
- [1] A. Jha, «Colorimeter,» 29 Agosto 2014. [En línea]. Available:  
4] [vhttps://es.slideshare.net/ApurvaJha1/colorimeter](https://es.slideshare.net/ApurvaJha1/colorimeter). [Último acceso: Julio 2019].
- [1] D. Dadachanji, «Use of a Colorimeter,» Sciencing, 17 Abril 2018. [En línea].  
5] Available: <https://sciencing.com/use-colorimeter-5382170.html>. [Último acceso: Julio 2019].
- [1] B. Arnold, «The Working Principle of Colorimeters,» AZO Sensors, 16 Junio 2015.  
6] [En línea]. Available: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=324>.  
[Último acceso: Julio 2019].
- [1] J. M. B. G. R. Jesus Garay Tinoco, Manual de técnicas Analíticas para la  
7] Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos, Colombia, pp. 43-46.
- [1] R. S. R. F. I.Martin, «Tema 2. Impulsión de fluidos,» de *Mecánica de fluidos*,  
8] Universidad de Alicante, 2011, pp. 3-8.
- [1] «Capítulo 3 El protocolo Indutrial Común (CIP)».  
9]
- [2] J. P. M. Yoel Portuondo Paisan, «La repetibilidad y reproducibilidad en el  
0] aseguramiento de la calidad de los procesos de medicion,» Cuba.
- [2] V. J. B. a. T. J. D. F. Stephan L R Ellison, Practical Statistics for the Analytical  
1] Scientist, 2nd ed., RSC Publishing, pp. 146-147.
- [2] C. Laguna, «Correlación y regresión lineal».  
2]
- [2] M. Castro, J. Almeida, J. Ferrer y D. Diaz, «Indicadores de la calidad del agua:  
3] evolucion y tendencias a nivel global,» *Ingenieria Solidaria*, vol. 10, pp. 111-124, Diciembre 2014.

- [2] A. Barone, «Batch Processing,» Investopedia, 3 Julio 2019. [En línea]. Available: 4] <https://www.investopedia.com/terms/b/batch-processing.asp>. [Último acceso: 5 Julio 2019].
- [2] R. Automation, «Micrologix,» Marzo 2007. [En línea]. Available: 5] [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/1763-pp001\\_-en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/1763-pp001_-en-p.pdf). [Último acceso: Junio 2019].
- [2] Indusoft, «Indusoft Web Studio,» [En línea]. Available: 6] <http://www.indusoft.com/Products-Downloads/HMI-Software/Indusoft-en-Espa%C3%B1ol>. [Último acceso: Junio 2019].
- [2] X. r. Pantone, «Colorimeter vs. Spectrophotometer,» 06 Agosto 2017. [En línea]. 7] Available: <https://www.xrite.com/es/blog/colorimeter-vs-spectrophotometer>. [Último acceso: Julio 2019].
- [2] F. d. Q. Analítica, Química Analítica, Cuarta ed., Reverte, 1997. 8]
- [2] W. Marlow, «¿Como funcionan las bombas perisalticas?,» [En línea]. Available: 9] <https://www.watson-marlow.com/ar-es/support/how-do-peristaltic-pumps-work-industrial/>. [Último acceso: Julio 2019].
- [3] Yassine, «Wikipedia,» [En línea]. Available: 0] <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Spectrophotometer-controls.svg>. [Último acceso: Junio 2019].
- [3] A. Bradley, «Micrologix 1100 PLC 10I-O AC,» [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/fuentes-de-alimentacion-para-automatas-programables/6987773/>. [Último acceso: Junio 2019].

## 6. ANEXOS

### 6.1 Manual de usuario para el equipo

#### 6.1.1 Introducción

Actualmente la automatización de ciertos procesos no es novedad en los distintos ámbitos industriales. En este manual se muestra cómo usar el equipo para medir la concentración de nitritos en el agua.

#### 6.1.2 Características

- 1 pulsador doble para la marcha y paro del equipo.
- 1 PLC Micro Logix 1100 de la marca Allen Bradley con módulo de expansión para salidas tipo relé.
- 14 electroválvulas para regular paso de fluido.
- 5 bombas peristálticas.
- 4 recipientes color ámbar para los reactivos.
- 4 sensores de nivel para conocer cuando un reactivo se termina.
- 1 pantalla de monitoreo en Indusoft

#### 6.1.3 Descripción general

Para iniciar el funcionamiento del equipo se debe presionar el botón verde, y este empezará a encender las bombas peristálticas y las electroválvulas de tal manera que llegue a realizar la mezcla que irá al espectrógrafo.

#### 6.1.4 Pantalla de monitorización

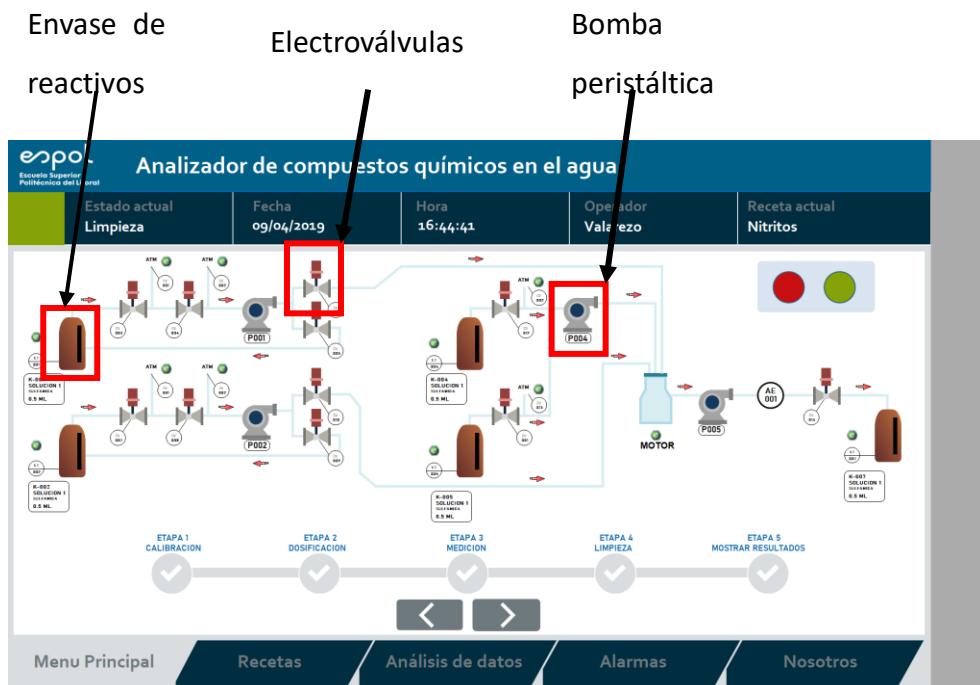


Figura 6.1 Paso a Paso del proceso



Figura 6.2 Estado de electroválvulas



Figura 6.3 Nivel de reactivo en los envases color ambar

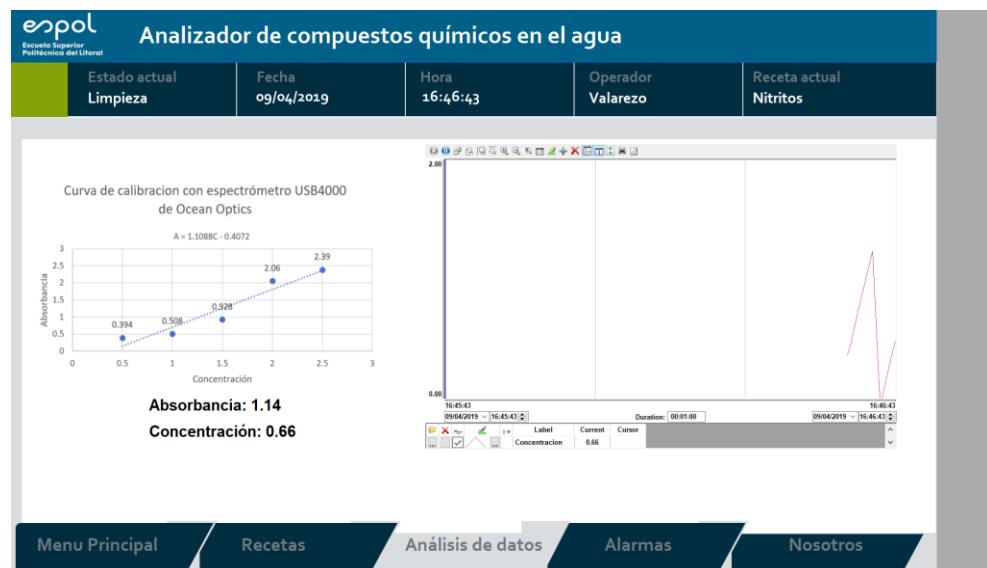


Figura 6.4 Histórico de las absorbancias leídas

## 6.2 Distribución t student

Tabla 6.1 distribución estadística t student

ANEXO D

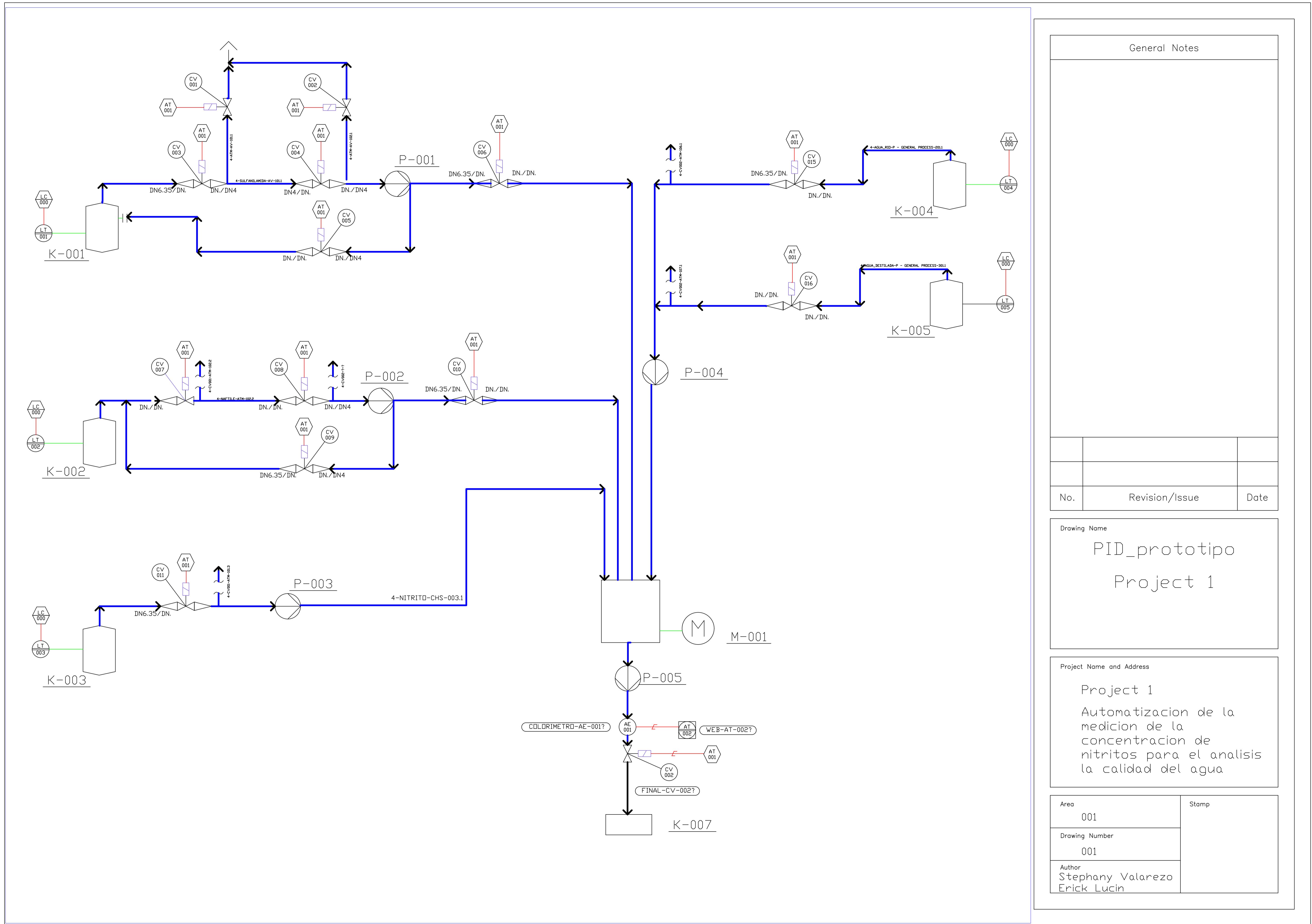


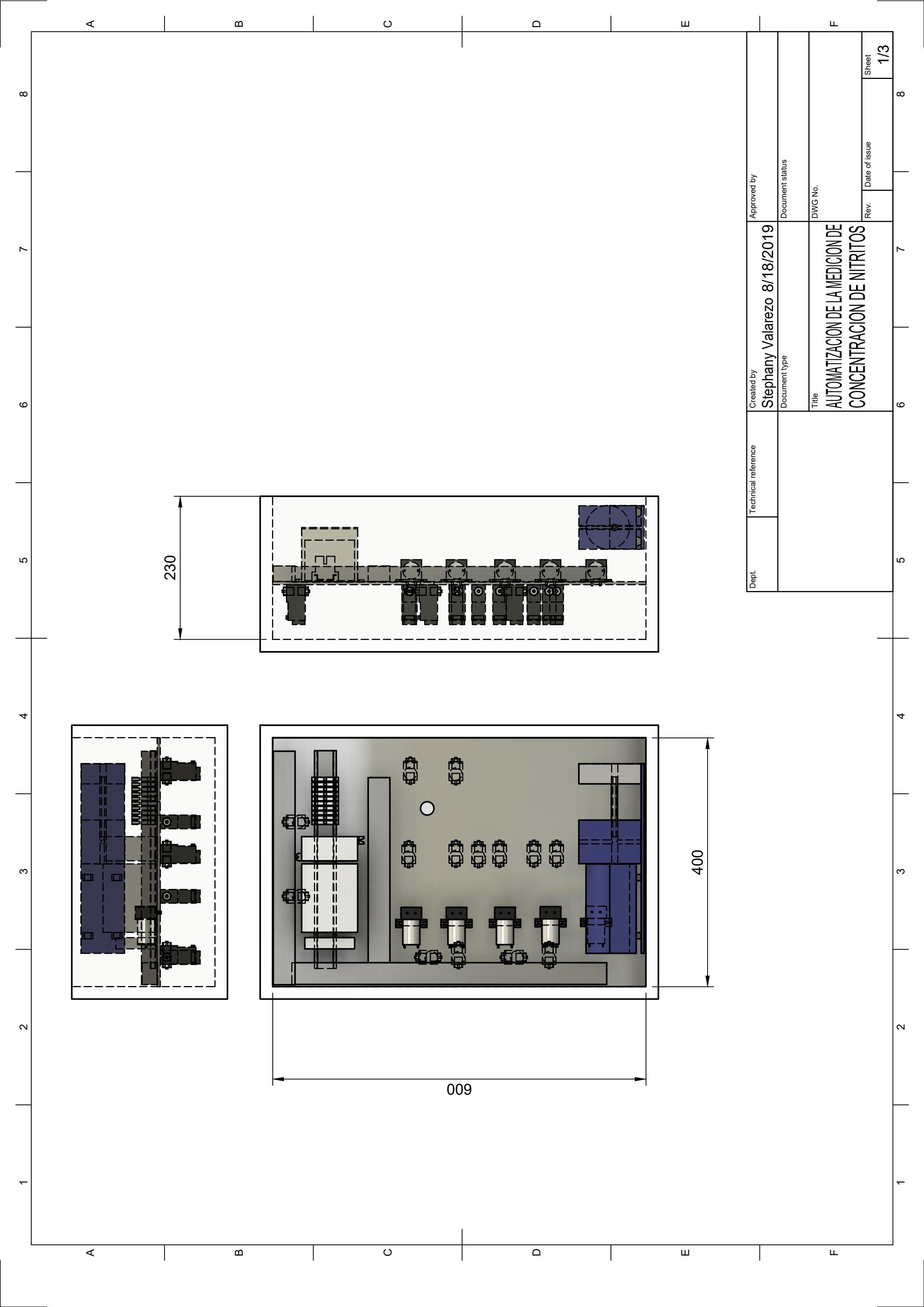
TABLA DE DISTRIBUCIÓN t – STUDENT

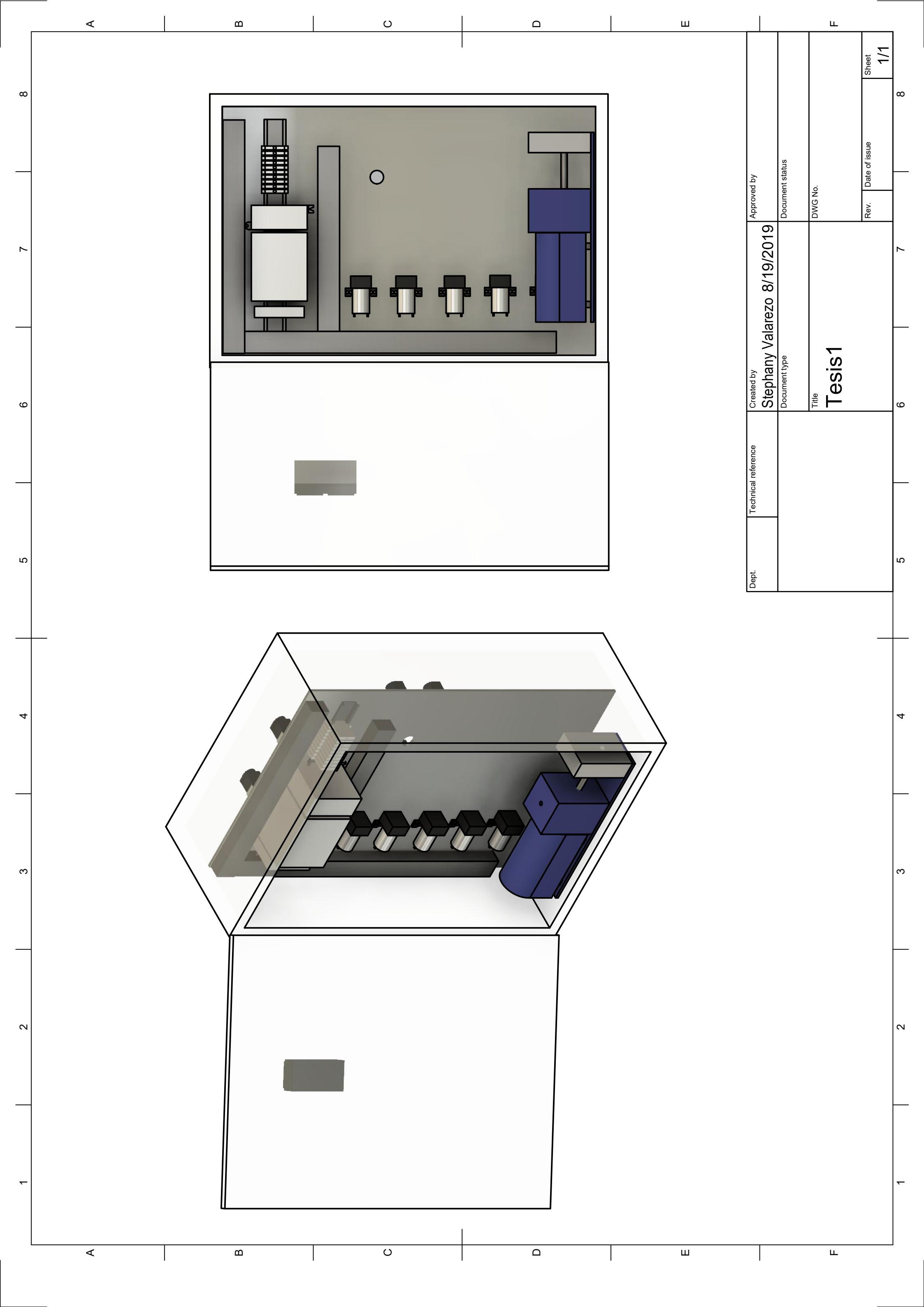
g.l.	$\alpha/2=.4$	.25	.1	.05	.025	.01	.005	.0025	.001	.0005
	$\alpha=.8$	.5	.2	.1	.05	.02	.01	.005	.002	.001
1	.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
2	.289	.816	1.886	2.920	4.303	6.935	9.925	14.089	22.327	31.598
3	.277	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.214	12.924
4	.271	.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	.267	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	.265	.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	.265	.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
8	.262	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	.261	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	.260	.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	.260	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	.259	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	.259	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	.258	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	.258	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	.258	.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	.257	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	.257	.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	.257	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	.257	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.257	.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	.256	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	.256	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.767
24	.256	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	.256	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	.256	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	4.707
27	.256	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	.256	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	.256	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	.256	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	.255	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	.254	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	.254	.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
&	.253	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

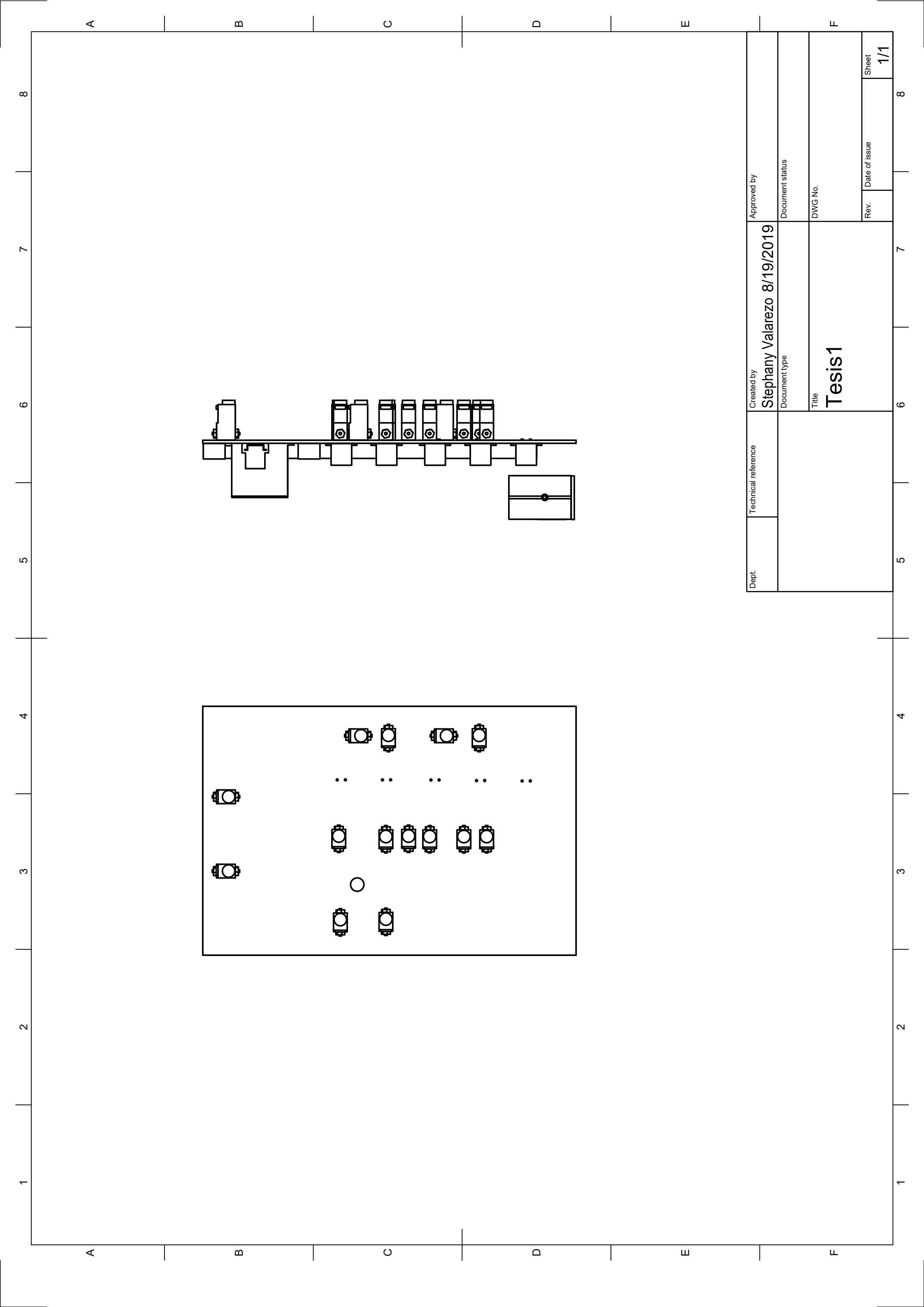
**Tabla 6.2 Datos necesarios para sacar el intervalo de confianza por medio del estadístico T Student con un porcentaje de confianza de 95%.**

<b><math>y_i^*</math></b>	<b><math>(X_i - \bar{X})</math></b>	<b><math>(X_i - \bar{X})^2</math></b>	<b><math>(Y_i - \bar{Y})</math></b>	<b><math>(Y_i - \bar{Y})^2</math></b>	<b><math>(X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y})</math></b>	<b><math>(Y_i - \bar{Y})^*</math></b>	<b><math>(Y_i - \bar{Y})^2</math></b>	<b><math>X_i^2</math></b>
<b>-0.047</b>	-0.508	0.26	-0.83	0.69	0.42	0.072	0.005	0.0025
<b>-0.047</b>	-0.508	0.26	-0.84	0.71	0.43	0.062	0.004	0.0025
<b>-0.047</b>	-0.508	0.26	-0.84	0.70	0.42	0.069	0.005	0.0025
<b>0.042</b>	-0.458	0.21	-0.75	0.56	0.34	0.068	0.005	0.01
<b>0.042</b>	-0.458	0.21	-0.74	0.54	0.34	0.078	0.006	0.01
<b>0.042</b>	-0.458	0.21	-0.75	0.56	0.34	0.068	0.005	0.01
<b>0.220</b>	-0.358	0.13	-0.64	0.41	0.23	0.000	0.000	0.04
<b>0.220</b>	-0.358	0.13	-0.63	0.39	0.22	0.010	0.000	0.04
<b>0.220</b>	-0.358	0.13	-0.64	0.41	0.23	0.000	0.000	0.04
<b>0.754</b>	-0.058	0.00	-0.30	0.09	0.02	-0.194	0.038	0.25
<b>0.754</b>	-0.058	0.00	-0.36	0.13	0.02	-0.254	0.065	0.25
<b>0.754</b>	-0.058	0.00	-0.19	0.04	0.01	-0.084	0.007	0.25
<b>1.644</b>	0.442	0.20	0.62	0.39	0.27	-0.164	0.027	1
<b>1.644</b>	0.442	0.20	0.73	0.54	0.32	-0.054	0.003	1
<b>1.644</b>	0.442	0.20	0.86	0.74	0.38	0.076	0.006	1
<b>2.534</b>	0.942	0.89	1.82	3.32	1.72	0.147	0.021	2.25
<b>2.534</b>	0.942	0.89	1.77	3.14	1.67	0.096	0.009	2.25
<b>2.534</b>	0.942	0.89	1.68	2.83	1.58	0.006	0.000	2.25
	<b>SUMA</b>	<b>4.16</b>			<b>7.40</b>		<b>0.205</b>	<b>8.41</b>









Dept.	Technical reference	Created by <b>Stephany Valarezo 8/19/2019</b>	Approved by
Document status			Document type
DWG No.			Title
			<b>Tesis1</b>
Rev.	Date of issue	Sheet	1/1

