



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Sede Guayaquil

FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUA UTILIZANDO
UN TURBIDÍMETRO CON CONTROL PID Y MONITOREADO
CON EL SOFTWARE MYOPENLAB

AUTOR:

DARÍO ORLANDO ARCE GARCÍA

DIRECTOR:

Msc. LUIS NEIRA CLEMENTE

GUAYAQUIL – ECUADOR

2018

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Darío Orlando Arce García estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro y certifico que los análisis, criterios, estudios y conclusiones efectuadas en el presente trabajo de titulación son de exclusiva responsabilidad del autor.

Guayaquil, agosto del 2018

Darío Orlando Arce García
C.I: 0923602353

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Mediante el presente certificado, yo, Darío Orlando Arce García con documento de identificación N° 0923602353, que voluntariamente cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad de los derechos de posesión intelectual que corresponden a este documento, en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado: **“SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUA UTILIZANDO UN TURBIDÍMETRO CON CONTROL PID Y MONITOREADO CON EL SOFTWARE MYOPENLAB”**, el cual ha sido desarrollado e implementado para optar por el título de: INGENIERO ELECTRÓNICO mención Industriales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad en la libre facultad de ejercer completamente los derechos adjudicados anteriormente.

Aplicando lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi posición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. De la misma forma suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final de forma impresa y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Guayaquil, agosto del 2018

Darío Orlando Arce García
C.I: 0923602353

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación, se lo dedico primeramente a Dios que supo protegerme, darme fuerzas y guiarme a diario durante este largo camino lleno de adversidades sin desfallecer en el intento.

A mi familia por ellos soy lo que soy.

Para mis padres Juan Arce S. y Gloria García H., por brindarme su amor, consejos, apoyo en las circunstancias difíciles, adversidades, y por apoyarme con los recursos necesarios para el transcurso de la carrera.

A mi sobrina Emilia Sofía Gualpa Arce y el frijolito quienes han sido y son mi motivación, inspiración y felicidad.

Todos mis logros se los debo a ellos, he aquí el resultado de todo nuestro esfuerzo.

Darío Orlando Arce García

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios y a mis padres por brindarme el amor, constante contribución y bendiciones para que este proyecto sea culminado con éxito.

De igual manera muy agradecido también con mi tutor, Msc. Luis Neira, por su colaboración, paciencia y motivación que ha aportado en el lapso del desarrollo y elaboración del proyecto de titulación.

Gracias a cada una de las personas que intervinieron directa o indirectamente en la implementación de este proyecto.

Darío Orlando Arce García

RESUMEN

AÑO	ALUMNO	TUTOR DEL PROYECTO	TEMA DEL PROYECTO
2018	Arce García Darío Orlando	Ing. Luis Antonio Neira Clemente	Sistema de neutralización de agua utilizando un turbidímetro con control PID y monitoreado con el software MYOPENLAB

Este trabajo de titulación con su tema: "SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUA UTILIZANDO UN TURBIDÍMETRO CON CONTROL PID Y MONITOREADO CON EL SOFTWARE MYOPENLAB", realizado a beneficio de la Empresa Sotecma de la ciudad de Guayaquil, tiene como propósito principal desempeñarse como prototipo para demostrar el servicio que brindará la empresa.

En las diferentes fábricas, industrias o plantas, se fabrican productos indispensables de agua libre de turbidez, sin ningún agente externo que le provoque la contaminación o coloración del fluido.

El sistema que se desarrolló consiste en la neutralización de agua utilizando un turbidímetro con control PID, dicho sistema será monitoreado constantemente con el software Myopenlab, para de esta manera garantizar la transparencia del fluido y pueda ser enviado a la siguiente fase de algún proceso.

Palabras claves: Neutralización, Turbidímetro, Control PID, Myopenlab.

ABSTRACT

YEAR	STUDENT	PROJECT TUTOR	TOPIC
2018	Arce García Darío Orlando	Ing. Luis Antonio Neira Clemente	Water neutralization system using a turbidimeter with PID control and monitored with software MYOPENLAB

The project carried out to benefit the Sotecma Company of the city of Guayaquil, its main purpose is to serve as a prototype to demonstrate the service that the company will provide.

In the different factories, industries or plants, indispensable water products are made 100% transparent, without any external agent that causes the contamination or coloration of the fluid.

The system that was developed consists of the neutralization of water using a PID control turbidimeter, this system will be constantly monitored with the software Myopenlab, in order to guarantee the transparency of the fluid and can be sent to the next stage of some process.

Keywords: Neutralization, Turbidimeter, PID Control, Myopenlab.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ANEXOS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2 IMPORTANCIA Y ALCANCE	2
1.3 DELIMITACIÓN.....	3
1.3.1. Espacial	3
1.3.2. Temporal	3
1.3.3. Académica.....	3
1.3.4 Espacial	3
1.4 EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.5 OBJETIVOS	4
1.5.1 Objetivo General	4
1.5.1 Objetivos Específicos.....	4
1.6 VARIABLES E INDICADORES	4
1.6.1 Constante Independiente	4
1.6.2 Constante Dependiente.....	4
1.6.3 Indicadores	4
1.7 METODOLOGÍA	5
1.7.1 Método Inductivo	5
1.7.2 Método Deductivo.....	5
1.7.3 Método de Análisis.....	5
1.7.4 Método de Síntesis	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1 Turbidez	6
2.2 Límites para el consumo humano.....	6
2.3 Neutralización	7
2.4 Repetitividad	7

2.5 Error	8
2.6 Exactitud	8
2.7 Zona Muerta	8
2.8 Sensibilidad	8
2.9 Control PID	9
2.10 Adquisición de Datos	13
2.11 Elementos que conforman la Tarjeta de Potencia	15
• Optocoplador 4n35	15
• Mosfet Canal P IRF 9540	15
• Circuito Integrado Regulador L7805CV	16
• Disipador de calor	17
• Resistencias	18
• Diodo Led.....	18
2.12 Modulación por Anchos de Pulsos.....	19
2.13 Sustancias utilizadas para la Neutralización	22
2.14 Sistema de Control	22
• La Máquina	23
• El Controlador	23
2.15 Sistema de control en Lazo Cerrado.....	24
2.16 Componentes del Sistema de Control	24
• Arduino Uno.....	24
• Turbidímetro	25
• Bomba	28
• HMI	29
• Sensor de Nivel Ultrasónico.....	29
• LCD Keypad Shield	31
2.17 Software Myopenlab	32
Descripción Básica del Entorno.	32
Área de Componentes	35
Área de Propiedades de Componentes:	35
Área de Proyectos.....	36
Selección de un componente	36
2.18 Proyectos de Investigación Vinculados.....	37
3. Implementación del sistema	39
3.1 Diseño de la estructura	39
3.2 Diseño de los tanques.....	40
3.3 Diseño del Sistema de Control: Placa Electrónica	44

3.4 Conexión de los Elementos	46
3.5 Acondicionamiento del tanque P2 con el sensor de Turbidez y Ultrasónico HC-SR04.	47
4. Resultados	51
4.1 Sistema de Control	52
4.2 Desarrollo y Explicación del proceso.....	53
4.3 Modulación por Anchos de Pulsos.....	55
4.4 Pruebas con el sensor de Turbidez	56
4.5 Obtención de control PID (K_p , K_i , K_d)	59
4.6 Desarrollo de la Aplicación.....	61
4.7 Prueba y verificación del correcto funcionamiento de la Planta:	64
4.8 Valores mostrados en el HMI.....	67
4.9 Gráficas del Sistema.....	69
• Varias aplicaciones de Turbidez	70
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
Bibliografía	74

ANEXOS

Anexo 1: Empresa Beneficiada.....	76
Anexo 2: Líneas de Programación en Arduino	79
Anexo 3: Cronograma de duración del proyecto	82
Anexo 4: Presupuesto del Proyecto de Titulación	83
Anexo 5: Propuesta de solución en Diagrama de Bloques.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de la Empresa Sotecma.	3
Figura 2: Diagrama del Turbídmetro	7
Figura 3: Implementación de controlador proporcional.	9
Figura 4: Implementación de controlador integral.....	10
Figura 5: Implementación de controlador derivativo.....	10
Figura 6: Reacción de una función unitaria en escalón sobre una planta.	11
Figura 7: Gráfica sobre la reacción, curva con aspecto de S.	11
Figura 8: Sistema con oscilaciones sostenidas con un periodo crítico Pcr.	13
Figura 9: Esquema general de adquisición de datos..	13
Figura 10: Diagrama de conexiones.	14
Figura 11: Numero de Pines y Diagrama de conexión.	15
Figura 12: Diagrama de conexión.....	15
Figura 13: Regulador de Voltaje L7805CV.....	16
Figura 14: Diagrama de conexión.....	16
Figura 15: Disipador de calor.	17
Figura 16: Resistencia.....	18
Figura 17: Diodo Led.....	18
Figura 18: Señales PWM con diferentes Duty cycles.....	19
Figura 19: Sistema de control general.....	23
Figura 20: Sistema de control lazo cerrado.....	24
Figura 21: Placa Arduino Uno	25
Figura 22: Sensor de turbidez Analógico para Arduino.	26
Figura 23: Diagrama de conexión, Sensor de turbidez Analógico para Arduino.	27
Figura 24: Gráfica de la relación entre la turbidez y el voltaje.....	27
Figura 25: Bomba Eléctrica Limpiaparabrisas.....	28
Figura 26: Sensor ultrasónico HC-SR04.....	29
Figura 27: Esquema del funcionamiento del Sensor ultrasónico HC-SR04.	30
Figura 28: LCD Keypad Shield para Arduino.	31
Figura 29: Panel Circuito, (Myopenlab, 2017).	33
Figura 30: Myopenlab, 2017.....	33
Figura 31: Myopenlab, 2017.....	34
Figura 32: Panel Frontal, (Myopenlab, 2017).....	34
Figura 33: Área de Componentes, (Myopenlab, 2017).....	35
Figura 34: Propiedades de Componentes, (Myopenlab, 2017).....	35
Figura 35: Área de Proyectos, (Myopenlab, 2017).....	36
Figura 36: Leyenda de Colores, (Myopenlab, 2017).	36
Figura 37: Diseño e implementación de banco de pruebas, (2015).	37
Figura 38: Diseño e implementación de un módulo automatizado, (2010).	38
Figura 39: Elaboración de la estructura metálica y montaje del tablero.	39
Figura 40: Elaboración de los tanques.	40
Figura 41: Tanque 1 (TQ1), agua libre de turbidez.	41
Figura 42: Tanque 2 (TQ2), Neutralización.....	42
Figura 43: Tanque 3 (TQ3), Cloro.	42
Figura 44: Tanques de alimentación y desfogue del sistema.	43
Figura 45: Llaves de paso, alimentación y desfogue de Tanques.	43
Figura 46: Diseño del circuito eléctrico de la placa de control (PCB) en el software Proteus. .	44
Figura 47: Capture esquemática de la tarjeta de control, en el software Proteus.....	44
Figura 48: Diseño en 3D de la placa de control.....	45
Figura 49: Conexiones de los elementos a placa de control.	46

Figura 50: Ubicación del Turbidímetro.	47
Figura 51: Base del Tanque P2.	48
Figura 52: Cobertura del Tanque P2.	48
Figura 53: Pared de luces led.	49
Figura 54: Acrílico bloqueador de luz.	49
Figura 55: Alimentación del Sistema.	50
Figura 56: Diagrama Esquemático del Control de Turbidez.	51
Figura 57: Esquema del Sistema Control.	52
Figura 58: Sistema de Neutralización de Agua Turbia.	53
Figura 59: Sistema de control.	54
Figura 60: Línea Roja: Gráfica del PWM de la bomba P2.	55
Figura 61: Línea Roja: Gráfica del PWM de la bomba P2.	56
Figura 62: Turbidímetro junto a recipientes a evaluar,	56
Figura 63: Turbidímetro debe permanecer siempre bajo líquido.	57
Figura 64: Gráfica de la relación entre la turbidez y el voltaje.	57
Figura 65: Gráfica de la relación entre la turbidez y el voltaje,	58
Figura 66: Código para hallar los valores del PID.	59
Figura 67: Función de Transferencia.	60
Figura 68: Polos en Lazo Abierto.	60
Figura 69: Gráfica de Estabilización del Sistema.	61
Figura 70: HMI o VI del sistema.	62
Figura 71: Arduino Interface V1.11.	62
Figura 72: Panel Circuito.	63
Figura 73: Configuración de Pines Arduino, mediante Myopenlab.	63
Figura 74: Configuración de Pines Arduino, mediante Myopenlab.	64
Figura 75: Configuración de Pines Arduino, mediante Myopenlab.	64
Figura 76: Datos de pantalla LCD.	65
Figura 77: Aplicación de turbidez.	65
Figura 78: Turbidez aplicada al tanque TQ2.	66
Figura 79: Visualización de los valores al momento de existir turbidez.	66
Figura 80: Visualización del tanque 2 neutralizado, sin turbidez.	67
Figura 81: Modalidades de Encendido.	67
Figura 82: Valor Analógico en Bits - Instrumento de Aguja.	68
Figura 83: Voltaje - Instrumento Analógico circular de aguja.	68
Figura 84: Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) - Barra gráfica.	69
Figura 85: Gráfica NTU con respecto al tiempo (Primera aplicación).	70
Figura 86: Gráfica NTU con respecto al tiempo (Segunda aplicación).	71
Figura 87: Gráfica NTU con respecto al tiempo.	71
Figura 88: Sotecma, Equipo de trabajo.	76
Figura 89: Cronograma de trabajo.	82
Figura 90: Propuesta de solución en Diagrama de Bloques.	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Regla de sintonía de Ziegler - Nichols.....	12
Tabla 2: Reglas de sincronización para el segundo método de Ziegler-Nichols.....	13
Tabla 3: Ciclos de trabajo con diferentes valores	21
Tabla 4: Especificaciones técnicas Arduino Uno.....	25
Tabla 5: Sensor de turbidez Analógico para Arduino	26
Tabla 6: Especificaciones técnicas de la bomba	28
Tabla 7: Asignación de pines LCD Keypad Shield.....	31
Tabla 8: Valores Voltaje - Turbidez (NTU).....	58
Tabla 9: Presupuesto de Trabajo	83

INTRODUCCIÓN

En este proyecto se muestra la solución a un problema que comúnmente persiste en muchas fábricas a nivel mundial, la solución que se propone a este problema a la vez favorece al medio ambiente al reutilizarse el agua que requieren al 100% de transparencia, sin ningún tipo de turbidez provocada por alguna partícula externa, para así formar parte de algún proceso en particular.

Con este antecedente se proyectó una idea para diseñar y desarrollar un sistema que permita neutralización del agua y capturar información mediante Sensores y circuitos con el microcontrolador (Arduino) y la vez la visualización y monitoreo constate de datos por medio del software (Myopenlab).

Normalmente el control de partículas en suspensión en un líquido se lo realiza de forma manual, es decir, un operador observa a través de una mirilla que el fluido circule libre de turbidez, pero esto provoca que por ausencia del mismo o por un inadecuado control visual no se detecte algún porcentaje de turbidez producido por una rotura de filtro, una contaminación con otro fluido, etc.

El sistema que se propone será implementado en la Empresa Sotecma ubicada en el Edificio Cityoffice, en el año 2018.

Dentro del documento se aclara de forma detallada las razones por las que se plantea este sistema, el lugar donde se aplicará la solución, fotografías del proceso y resultado final del sistema, su implementación y el análisis de los resultados, ubicados de la siguiente manera:

En la parte 1 se examina el problema y sus delimitaciones, tanto espacial, temporal y académica.

En la parte 2 se muestra las justificaciones teóricas conforme al proyecto.

En la parte 3 se desglosa detalladamente la solución, también los equipos que permiten la adquisición y envío de datos, en contexto se muestra la realización del algoritmo para la programación dentro de la plataforma Arduino y la interacción con el software Myopenlab.

El proyecto a continuación presentado tiene como finalidad dar solución a un problema frecuente dentro de las fábricas, en este caso el sistema será implementado en la Empresa Sotecma.

1. EL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

En las diferentes industrias o plantas del mercado alrededor del mundo, se requiere la reutilización del agua que formó parte de algún proceso específico, en el cual al haberse sometido a una serie de procedimientos, obtuvo alguna coloración durante el trabajo, por lo que esta agua debe pasar a formar parte de un proceso secundario para así conservarla y contribuir con el ecosistema.

Las empresas que utilizan sistemas que requieren agua para su funcionamiento, son los adecuados para la reutilización de esta agua, ya sea para formar parte de un circuito directo o indirecto de agua.

Cabe recalcar que esta agua también puede ser usada para cualquier tipo de limpieza o una infinidad de aplicaciones.

Existen fábricas de productos que utilizan como recurso principal el agua totalmente transparente para así mantener el color habitual de su producto, generalmente se utilizan varios tipos de filtros a la vez para evitar el paso del agua turbia, ya que las industrias deben seguir un amplio registro de normas para mantener su prestigio.

El sistema convencional de medición o control de partículas en suspensión en un líquido se lo realiza generalmente de forma manual, lo cual puede generar inexactitudes.

Este sistema de medición consiste en que un operador debe mantenerse observando a través de una mirilla que el fluido circule limpio, pero esto provoca que por ausencia del mismo o por un inadecuado control visual, no se detecte algún porcentaje de turbidez producido por una rotura de filtro o la contaminación de alguna partícula externa totalmente ajena al proceso.

1.2 IMPORTANCIA Y ALCANCE

El propósito y objetivo del desarrollo de este proyecto es implementar un sistema control de turbidez de líquidos, el cual es necesario para garantizar la transparencia del mismo, y que pueda ser enviado a la siguiente fase del proceso, ya que el control convencional de la turbidez puede provocar errores, puesto que depende de la adecuada observación de un operador, el cual podría estar ausente algunas veces.

La importancia de este proyecto es la aplicación que se pondrá en práctica, los conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera universitaria de manera más práctica, utilizando la tecnología de comunicación y de la mano de los microcontroladores.

1.3 DELIMITACIÓN

1.3.1. Espacial

El siguiente proyecto tiene como objetivo ser implementado en la Empresa Sotecma, ubicada en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. (Véase Figura 1).

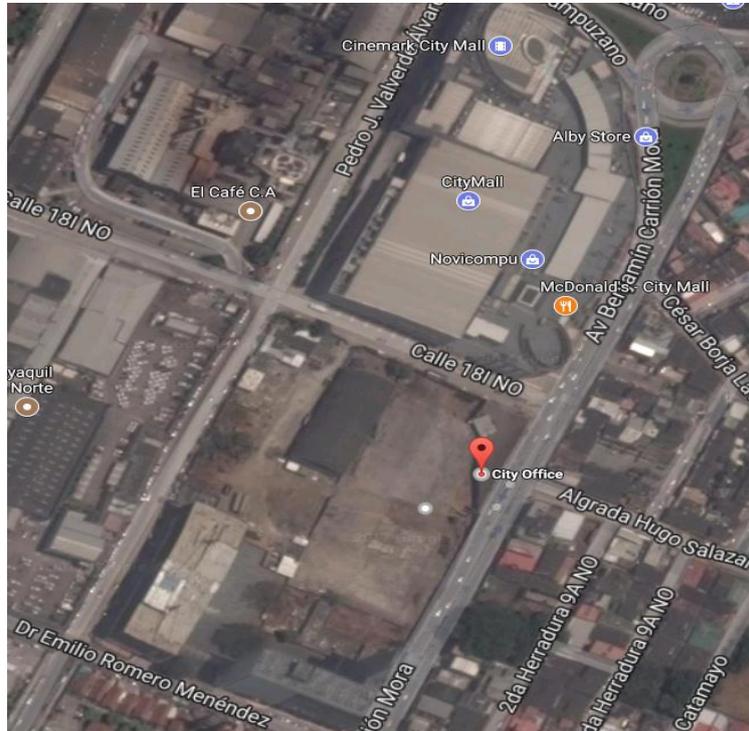


Figura 1: Ubicación geográfica de la Empresa Sotecma.
Recuperado de: <https://www.google.com.ec/maps>

1.3.2. Temporal

El presente proyecto técnico es efectuado en el año 2017 - 2018 y tuvo un transcurso de 11 meses a partir de la fecha de aprobación del plan incluyendo la evolución.

1.3.3. Académica

El alcance del proyecto técnico, en el ámbito académico contiene los estudios y conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera Ingeniería Electrónica, asignaturas tales como: programación, sistemas micro-procesados, teoría de control, electrónica analógica y digital, química.

1.3.4 Espacial

El proyecto se lo implementa en la empresa Sotecma ubicado en la ciudad de Guayaquil, edificio City Office, el cual servirá como prototipo para la demostración del servicio que brinda la empresa, pero al no ser una planta de grandes dimensiones ni de peso considerable puede ser implementado en cualquier oficina de dicha empresa.

1.4 EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA

Comúnmente las fábricas requieren agua 100% transparente, sin ningún tipo de impureza provocada por alguna partícula externa, para así formar parte de algún proceso en particular. Normalmente el control de partículas en suspensión en un líquido se lo realiza en forma manual, es decir, un operador observa a través de una mirilla que el fluido circule limpio, pero esto provoca que por ausencia del mismo o por un inadecuado control visual no se detecte algún porcentaje de turbidez producido por una rotura de filtro, una contaminación con otro fluido, etc.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de neutralización de agua utilizando un turbidímetro con control PID y monitoreado con el software Myopenlab para la empresa Sotecma.

1.5.1 Objetivos Específicos

- Diseñar el esquema de neutralización de turbidez para agua con salida analógica.
- Diseñar un lazo de control para regulación de flujo de cloro.
- Elaborar un control de turbidez utilizando la tarjeta Arduino.
- Implementar un indicador de nivel ultrasónico.
- Implementar un HMI utilizando el software Myopenlab.
- Desarrollar un controlador PID que permita el control del sistema.

1.6 VARIABLES E INDICADORES

1.6.1 Variable Independiente

Una vez obtenida el modelo de la planta, identificar y realizar los controles a lazo cerrado.

1.6.2 Variable Dependiente

Complementar la solución mediante demostración expuesta a los diferentes clientes para que de esta forma adquieran una sólida comprensión del proyecto.

1.6.3 Indicadores

Incremento de la comprensión del cliente por medio de justificación práctica implementada.

En la cual se desea provocar una compra más segura de la implementación del sistema a mayor escala.

1.7 METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos fijados se escogió herramientas eficaces que permitan desarrollar el presente proyecto y faculte la terminación del cronograma. Para este trabajo técnico se realizó previamente una entrevista con el gerente de la Empresa Sotecma, conociendo la necesidad que tienen en el momento de demostrar al cliente el servicio que se brinda.

Para continuar con este trabajo se utilizaron los siguientes métodos:

1.7.1 Método Inductivo

Lo que se logra con este proyecto es facilitar la demostración del servicio que brinda la empresa, el cual consiste en la neutralización del agua contaminada por algún elemento externo, mediante un proceso instrumentado.

1.7.2 Método Deductivo

A su vez este proyecto técnico tiene como finalidad la aplicación de la tecnología, realizando tareas sin necesidad de ser manipuladas por una persona.

1.7.3 Método de Análisis

Para la elaboración de este sistema de neutralización de agua se incorporan varios elementos de tecnología electrónica, dentro del sistema de control sus principales dispositivos son: la placa Arduino Uno, el software Myopenlab, entre otros elementos como el turbidímetro y el sensor de nivel ultrasónico.

1.7.4 Método de Síntesis

Se realizó este proyecto en base a la necesidad de la empresa, de demostrar eficazmente a menor escala el servicio que brinda de neutralización de fluidos, para de esta manera garantizar que el cliente contrate los servicios de la empresa.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En esta sección se puede encontrar el análisis y exposición de la teoría que sirve como fundamento para el desarrollo del presente trabajo, basado en fuentes documentales y/o trabajos anteriores.

2.1 Turbidez

La medición de turbidez permite determinar la cantidad de luz a transmitir en el agua debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se exhiben principalmente en aguas superficiales. Se torna bastante complicado decantar y filtrar, y al existir una acumulación pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos que forman parte del proceso, etc. También obstaculiza la mayor parte de procesos donde se desea destinar el agua.

Para poder medir la turbidez, se lo realiza en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), la cual es la unidad de medida de la turbidez a nivel mundial.

Para realizar el estudio de la turbidez en un líquido, el instrumento de medición usado es el nefelómetro o turbidímetro, que permite medir la intensidad o grado de luz que se dispersa a 90 grados, un rayo de luz infrarrojo se transmite a través de la muestra de agua.

(Ricardo Rivas, 2010)

2.2 Límites para el consumo humano

Conforme a la organización mundial para la salud (OMS), para el consumo humano, el agua no debe superar bajo ninguna circunstancia los 5 NTU de turbidez y lo ideal se debe encontrar por debajo de los 1 NTU.

Las plantas de tratamientos de aguas utilizan sistemas filtrantes los cuales deben asegurarse que la turbidez no se exceda los 1 NTU, al menos un 95% de las muestras que se toman a diario de cualquier mes.

Valores típicos

Estándares usuales de turbidez de diversos líquidos, en NTU:

- Agua potable: 0.02 a 0.5
- Agua des ionizada: 0.02
- Agua residual(no tratada): 70 a 2000
- Agua blanca (industria de papel): 60 a 800
- Agua manantial: 0.05 a 10

(Ricardo Rivas, 2010)

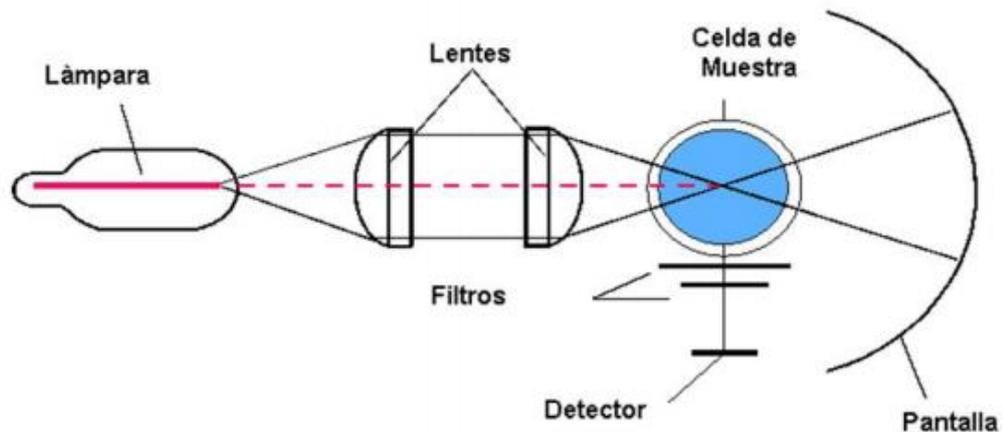


Figura 2: Diagrama del Turbidímetro

Fuente: Diseño e implementación de un módulo automatizado para el control de turbidez. (Ricardo Rivas 2010)

2.3 Neutralización

Es una operación que tiene como objeto combinar los ácidos con las bases salificables, en proporciones tales que ni unos ni otros se hagan sensibles en los reactivos que se emplean para conocer los ácidos y lo álcalis.

Se le llama neutralización a la reacción que se da entre un ácido y una base, existen varios tipos de neutralización química según la composición del ácido y de la base, se los puede distinguir de 4 formas:

- Mezcla de un ácido fuerte y una base fuerte
- Mezcla de una ácido débil y una base fuerte
- Combinación de una ácido fuerte y una base débil
- Combinación entre un ácido débil y una base débil

2.4 Repetitividad

Al dar referencia a la repetitividad se refiere a la capacidad de cierto instrumento de dar la misma lectura de indicación o respuesta de un instrumento cuando se realizan varias medidas en cortos intervalos de tiempo y bajo condiciones razonablemente constantes. Una buena repetitividad se traduce en una buena precisión por parte del instrumento.

Como ejemplo tenemos la determinación de repetitividad de un manómetro realizando 6 lecturas de 30.1 psi, 30.1 psi, 30.1 psi, 30.0 psi, 30.1 psi, 30.0 psi, que indican una variación máxima de 0.1 psi equivalente al 0.33%.

Al existir una considerable repetitividad, es decir, una menor variación del valor numérico, los datos enviados o señales de salida, se encontraran en un estado de mayor concentración, esto quiere decir que existirá menor pérdida de datos y una mayor precisión.

2.5 Error

El error es la diferencia que existe entre un valor medido y un valor de referencia.

Basados en este concepto se dice, que para determinar el error que existe en el estado actual de un sistema con respecto a un valor de consigna o un estado deseado, se calcula la desigualdad entre el estado actual del sistema y el valor de estado deseado o de referencia.

2.6 Exactitud

La exactitud de un instrumento es la cualidad de cercanía o aproximación con el valor verdadero o con el valor de referencia aceptable.

Se refiere al grado de conformidad entre un valor establecido y un valor estándar admisible o valor ideal, como si fuera el valor verdadero.

Este grado de conformidad independiente hace referencia a la desviación máxima entre la curva establecida de calibración de un instrumento y una curva característica especificada, colocada de una forma que se reduzca al mínimo la desviación máxima.

2.7 Zona Muerta

La zona muerta es el intervalo en el cual el instrumento, en este caso el turbidímetro, presenta variación de valores en su respuesta fuera de algún líquido, estos valores no tienen validez alguna ya que no se encuentra sensando fluido alguno.

2.8 Sensibilidad

Es la cualidad de percepción del instrumento que debe tener todo receptor para captar o seleccionar no solamente señales de alto nivel, sino también aquellos mensajes que recepta con una debilidad muy sensibilidad.

No se debe confundir la sensibilidad con la frase antes mencionada zona de muerte; Tienen dos conceptos o definiciones distintas las cuales eran fáciles de confundir, cuando el concepto principal de sensibilidad era "valor mínimo que permite modificar la variable para lograr apreciar los cambios en los registros de lecturas de los instrumentos".

2.9 Control PID

El control PID es la unión o combinación de tres acciones de control, dentro de las cuales existe el controlador de operación proporcional, integral, derivativa donde estas acciones pueden derivar en los controles P, PI, PD, PID.

Un controlador PID es un sistema de control con retroalimentación que permite evaluar o calcular el error entre el valor que se midió y el valor que se desea alcanzar, de esta forma se aplica una acción automática que permita acoplar el proceso. El controlador PID maneja un algoritmo de cálculo, el cual contiene tres parámetros esenciales distintos: Proporcional, Integral y Derivativo.

(Ortiz y otros, 2014)

A continuación una breve explicación de cada uno de estos parámetros:

Aporte Proporcional: Muestra que el aporte proporcional se basa en el producto entre la señal de error de sistema y la constante proporcional para de esta forma obtener que el error en estado permanente se aproxime a cero. En el aporte proporcional se presenta la forma matemática y la implementación del controlador proporcional de la siguiente manera:

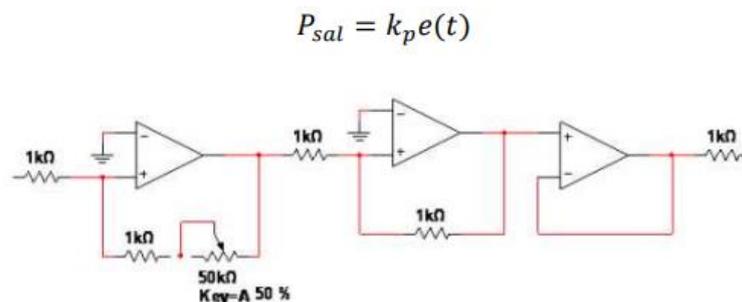


Figura 3: Implementación de controlador proporcional. Se visualiza la simulación del aporte proporcional por medio de amplificadores operacionales.

Fuente: Ortiz y otros, 2014

Aporte Integral: Muestra que el aporte integral es el parámetro encargado de eliminar el error de estado estable, este se ejecuta cuando existe alguna desviación entre el valor que envía el sensor y el punto de trabajo que se desea alcanzar, de esta forma integra la derivación en el tiempo y la suma a la acción proporcional. Este error es integrado, esta función tiene como objetivo promediarlo o sumarlo por un periodo determinado para posteriormente el valor que da como resultado ser multiplicado por la constante K_i .

A continuación se visualiza la forma matemática y la implementación del controlador integral:

$$I_{sal} = k_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

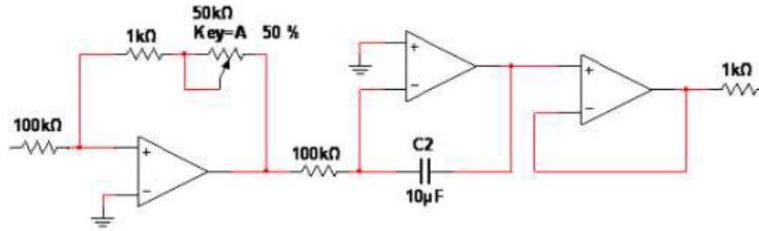


Figura 4: Implementación de controlador integral. Se visualiza la simulación del aporte integral por medio de amplificadores operacionales.

Fuente: Ortiz y otros, 2014

Aporte Derivador: Determina que la función que realiza el aporte derivador es modificar y reparar el error de la forma más rápida ejecutable para de esta forma evitar que el error existente se amplifique. Por esta razón si la ganancia del término derivación es alta se obtiene un proceso bastante variable y si la ganancia del término derivación es muy pequeña la evolución es oscilante.

Por consiguiente se muestra la forma matemática del aporte derivativo y la implementación del controlador derivativo:

$$D_{sal} = k_d \frac{de}{dt}$$

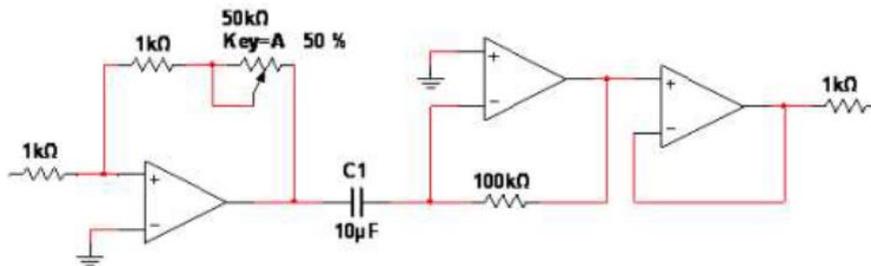


Figura 5: Implementación de controlador derivativo. Se muestra la representación del aporte derivativo, por medio de amplificadores operacionales.

Fuente: Ortiz y otros, 2014

Uno de los métodos más comunes para obtener estos valores, es mediante las reglas de Ziegler Nichols para obtener el controlador PID.

Cabe recalcar que en este proyecto se utilizó el software Matlab, el cual facilita la adquisición de estos valores, siendo más exactos al momento de aplicarlos en la programación. El método de Ziegler y Nichols se lo puede ejecutar en la planta mediante varias pruebas, mientras que con el software Matlab se lo obtiene de una manera más eficaz

El método de Ziegler y Nichols expone métodos que permiten decretar diferentes parámetros dentro de los cuales se dividen en: resultante del proporcional (K_p), resultante de la integración del tiempo T_i y T_d integración del tiempo derivativo,

fundamentándose bajo las propiedades de la reacción o respuesta breve que va entregando la planta. Esta especificación de los parámetros de los controladores PID se la puede ejecutar por ingenieros, por medio de pruebas en la planta.

Existen dos tácticas o procedimientos llamados métodos de obtención de Ziegler y Nichols: Prosiguiendo con este tema se realiza una rápida introducción de los procedimientos:

Primer Método: Este procedimiento hace referencia a la forma de comportarse de un sistema al recibir como entrada el escalón unitario, la cual es adquirido de forma de tanteo o ensayo . La planta al no contener integradores ni polos dominantes complejos conjugados, se obtendría como respuesta una curva con forma de, como se muestra en las siguientes figuras:

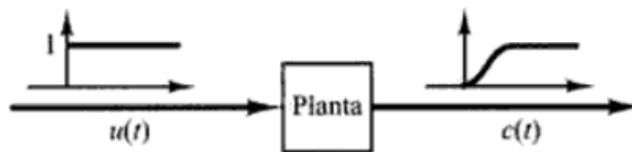


Figura 6: Reacción de un escalón unitario sobre una planta.

Fuente: Katsuhiko Ogata, 2003

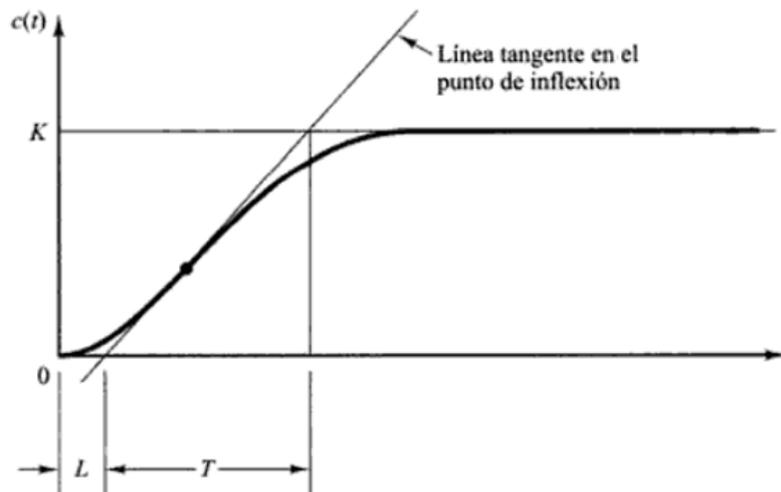


Figura 7: Gráfica de la respuesta, curva en forma de S.

Fuente: Katsuhiko Ogata, 2003

Clase de controlador	KP	Ti	Td
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0.5L

Tabla 1: Ziegler - Nichols, fundamentada en la forma de comportarse del sistema a la gráfica escalón.

Fuente: Katsuhiko Ogata, 2003

Esta táctica se puede utilizar si la reacción del sistema expone una gráfica en forma de S. Las curvas de respuesta escalón permiten obtener por técnicas de experimentación o también realizando una simulación de la planta.

Cuando la reacción del sistema es una curva en forma de S, esta tiene dos parámetros: el tiempo que tiene de retardo, representado por la letra L y la constante de tiempo representado por la letra T.

El tiempo que se tiene de retraso y la variable del tiempo se obtienen graficando una línea recta tangente en el punto justo donde se encuentra la desviación de la curva que tiene estilo de S y obteniendo las intersecciones de esa recta trazada con respecto al eje en el que se encuentra el tiempo y con la recta K como se puede visualizar en la gráfica 7.

Segundo Método: Para este método se utilizan los siguientes pasos.

1. Se parte de los valores $T_i = \infty$ y $T_d = 0$.
2. Utilizando el aporte proporcional, incrementar K_p , partiendo de 0 hasta un valor crítico, K_{pcr} , para el cual la salida presente oscilaciones sostenidas. De esta forma se encuentra la ganancia crítica K_{pcr} y el periodo crítico P_{cr} .
3. Determinar las constantes del proporcional K_p , T_i y T_d según las expresiones que se muestran en la tabla 2. De esta forma, el regulador PID obtenido según este segundo método es:

$$G_s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_{is}} + T_{ds} \right)$$

Al no encontrarse oscilaciones sostenidas para todo valor de K_p , esto significa que el método no puede ser aplicado.

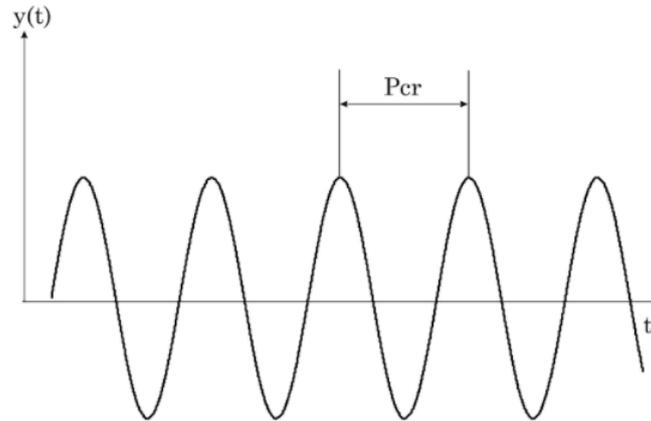


Figura 8: Sistema con oscilaciones sostenidas con un periodo crítico P_{cr} .
Fuente: Ramón Pedro Ñeco García, 2003

Clase de controlador	KP	Ti	Td
P	$0.5 K_{p_{cr}}$	∞	0
PI	$0.45 K_{p_{cr}}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.65 K_{p_{cr}}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Tabla 2: Reglas de sincronización para el segundo método de Ziegler-Nichols.
Fuente: Ramón Pedro Ñeco García, 2003

2.10 Adquisición de Datos

Adquisición de datos (DAQ) se conoce al procedimiento de determinar un fenómeno físico o eléctrico, ya sea voltaje, corriente, turbidez, temperatura, frecuencia a través de una Pc.



Figura 9: Esquema general de adquisición de datos. Ejemplos de equipos/ dispositivos que se usan para el desarrollo del sistema que permite adquirir datos.
Fuente: National Instruments, 2015.

Funcionamiento:

Al referirse a un sistema de adquisición de datos básicamente está conformado por uno o varios sensores, hardware para obtener medidas DAQ y una computadora que permite la comunicación con el software programable. Este sistema utiliza la potencia del procesamiento, la producción, nos permite visualizar y por último las capacidades de permitir un enlace con las PCs que en su mayoría son usadas en la industria, ofreciendo de esta forma una solución de medidas más potente, flexible y rentable, en comparación con los sistemas de medidas tradicionales. A continuación podemos visualizar en la siguiente figura el diagrama de conexión:



Figura 10: Diagrama de conexiones. Se observa en la figura las conexiones básicas de los componentes de un sistema de adquisición de datos.

Fuente: National Instruments, 2015.

Sensores: Un sensor también conocido como transductor es el encargado de convertir cierto fenómeno físico a señal eléctrica la cual se puede medir, la salida eléctrica del sensor usualmente son dadas en voltaje, corriente o resistencia dependiendo del tipo de sensor que se seleccione.

Dispositivos y tarjetas DAQ: El sistema o Hardware DAQ tiene la función de actuar como interfaz entre una computadora y las señales que son transmitidas por un sensor. La función primordial es digitalizar señales ya sean digitales o analógicas que envía el sensor para que de esta forma puedan ser interpretadas por una PC, si la DAQ es usada para medir una señal tiene esta contiene tres elementos principales que son: Un circuito que permita la adaptación para recibir las señales, un transformador analógico-digital y un bus de PC.

PC y Software: La ocupación de un computador en un sistema DAQ es controlar el proceso que lleva acabo el dispositivo DAQ y se usa para procesar, observar y acumular datos que nos ofrece un sensor. Para el uso de una PC es importante saber que según la aplicación que utiliza el usuario es el tipo de PC.

2.11 Elementos que conforman la Tarjeta de Potencia:

- **Optocoplador 4n35**

Un optocoplador actúa como un circuito cerrado cuando llega luz desde el led a la base del transistor, y abierto cuando el led está apagado.

Su principal función es controlar y a la vez aislar dos partes de un circuito que normalmente trabajan a tensiones diferentes.

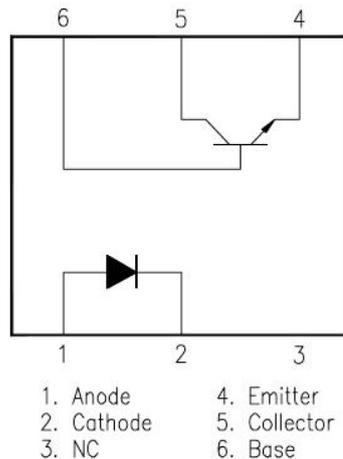


Figura 11: Numero de Pines y Diagrama de conexión.

Fuente: (Optocoplador 4N35, Electrónicos Caldas)

- **Mosfet Canal P IRF 9540**

Transistor MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistores), muy indicado para aplicaciones PWM o para circuitos que requieran una alta velocidad de conmutación.

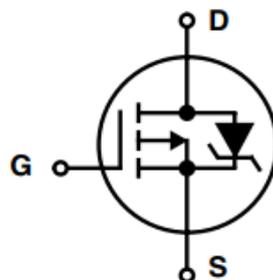


Figura 12: Diagrama de conexión.

Fuente: (Baú da Eletrônica, 2018)

- **Circuito Integrado Regulador L7805CV**

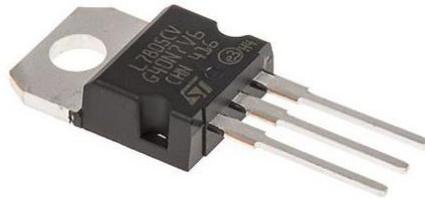


Figura 13: Regulador de Voltaje L7805CV.
Fuente: (Createc Shop 3D, 2018)

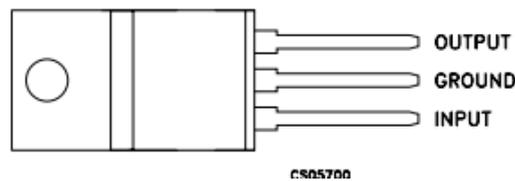


Figura 14: Diagrama de conexión.
Fuente: (Createc Shop 3D, 2018)

El regulador de tensión L7805CV funciona como un dispositivo electrónico que, a pesar de alimentarse de una cantidad de tensión determinada, es capaz de acondicionarla y entregar menos al equipo determinado que elijamos.

Es capaz de regular voltaje positivo de 5v a 1A en la mayoría de los desarrollados con Arduino.

La familia de los reguladores 78xx se caracteriza por ser reguladores lineales muy estables.

Características Técnicas:

- ✓ Circuito integrado de regulador de voltaje
- ✓ Modelo: L7805CV
- ✓ IC, REGULADOR + 5.0V
- ✓ Tensión de entrada primaria: 10V
- ✓ Voltaje de desconexión: 2V
- ✓ Número de salidas: 1
- ✓ Corriente de salida: 1.5A
- ✓ Regulador de voltaje IC Estilo de caja: TO-220
- ✓ Rango de temperatura de funcionamiento: 0 ° C a + 150 ° C
- ✓ Temperatura de funcionamiento máxima: 150 ° C
- ✓ Temperatura mínima de funcionamiento: 0 ° C
- ✓ Número de base: 7805
- ✓ IC Número genérico: 7805
- ✓ Tensión de entrada máxima: 35V
- ✓ Corriente de salida máxima: 1.5A
- ✓ Voltaje máximo de la salida: 5V

- ✓ Tensión de alimentación máxima: 20V
- ✓ Voltaje mínimo de entrada: 7V
- ✓ Tensión de alimentación mínima: 8V
- ✓ Tolerancia de voltaje de funcionamiento +: 4%
- ✓ Tipo del regulador de voltaje: Positivo Fijo
- ✓ Voltaje de salida: 5V
- ✓ Voltaje: 5V

- **Disipador de calor**

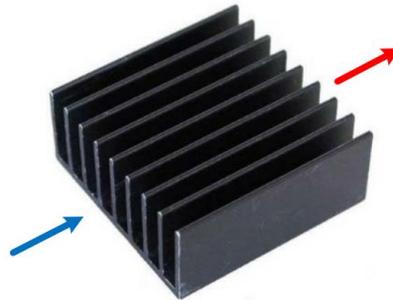


Figura 15: Disipador de calor.

Fuente: (Disipadores Térmicos para dispositivos electrónicos, Méndez, 2016)

Existen varios dispositivos que son semiconductores por ejemplo el Triac, los transistores, Mosfet, reguladores de tensión, etc., estos por lo general manipulan potencias de una determinada magnitud y su tamaño por lo general es pequeño.

Según el efecto Joule, un cuerpo que conduce corriente eléctrica pierde parte de su energía en forma de calor. Los semiconductores cuando son sometidos a este calor se les generan en la unión PN y si la temperatura supera un límite, se provoca la fusión térmica de la unión.

Usualmente los disipadores de calor son de aluminio extruido, al ser extruido pasa por un proceso tecnológico que consiste en darle forma a una masa de aluminio siendo calentada a 500°C, de esta forma sale por una abertura especial para conseguir perfiles de diseño complejo.

La parte posterior del disipador al ser metálica suele estar conectada a uno de los terminales, colocando un separador dieléctrico para que el disipador no se encuentre en contacto directo con ese potencial. Este separador puede ser de mica y se coloca pasta térmica en ambos lados para de esta forma facilitar la conducción térmica.

- **Resistencias**



Figura 16: Resistencia.
Fuente: (Nextia Fenix, 2017)

Las resistencias son los componentes mayormente utilizados en la electrónica y estos se utilizan en una amplia variedad de proyectos, puede ser usada para restringir la cantidad de corriente que envía a un LED, opera como divisor de voltaje, para lograr disipar la potencia como es el caso de las reparaciones de resistencias de los motores eléctricos, o pueden ser usados para generar calor como por ejemplo las resistencias que usan los calentadores de agua, cafeteras, etc.

Para este proyecto se utilizó una resistencia de **10 KΩ a 1/4 de watt** y una de **47 Ω** las cuales tienen una tolerancia del 5%, resisten un voltaje máximo de 300v, por su particular forma puede ser fácilmente colocadas en un protoboard o simplemente en un baquelita.

- **Diodo Led**



Figura 17: Diodo Led.
Fuente: (Steren, 2017)

El diodo emisor de luz, produce una luz ultra brillante gracias a su composición de Nitruro de Galio, el cual es ideal para ser implementado en proyectos electrónicos, anuncios luminosos, cuando se desea reparar instrumentos, etc.

2.12 Modulación por Anchos de Pulsos

La señal PWM, lo cual hace referencia a la modulación por ancho de pulsos significa:

- Al mencionar PW se hace referencia a la representación del ancho del pulso en tiempo.
- Length periodo o también llamado intervalo o lapso, hace referencia al tiempo total de duración de una señal.

A una frecuencia se la cataloga como el número de pulsos ya sea en estado on u off, por cada segundo y expresado matemáticamente es la inversa del intervalo, tal como se detalla en la ecuación que se muestra a continuación.

$$\text{Frecuencia} = \frac{1}{\text{Periodo}}$$

El periodo es medido en segundos, de esta forma la unidad de medida en la que se está midiendo la frecuencia "hertz" es la unidad inversa a la unidad en la que se mide el tiempo. Se encuentra también otro parámetro relacionado que también determina la señal PWM, se lo llama ciclo de trabajo, este es el encargado de determinar el porcentaje o la proporción de tiempo en la que el pulso, señal o voltaje que se aplica, se encuentra en estado activo, en lapso de tiempo del ciclo.

Ejemplo: Al tener una señal un periodo de 10ms y sus anchos de pulso 2ms, esta señal tiene un ciclo de trabajo del 20% en estado on y 80% en estado off. A continuación en la gráfica se muestran 3 señales PWM con distintos ciclos.

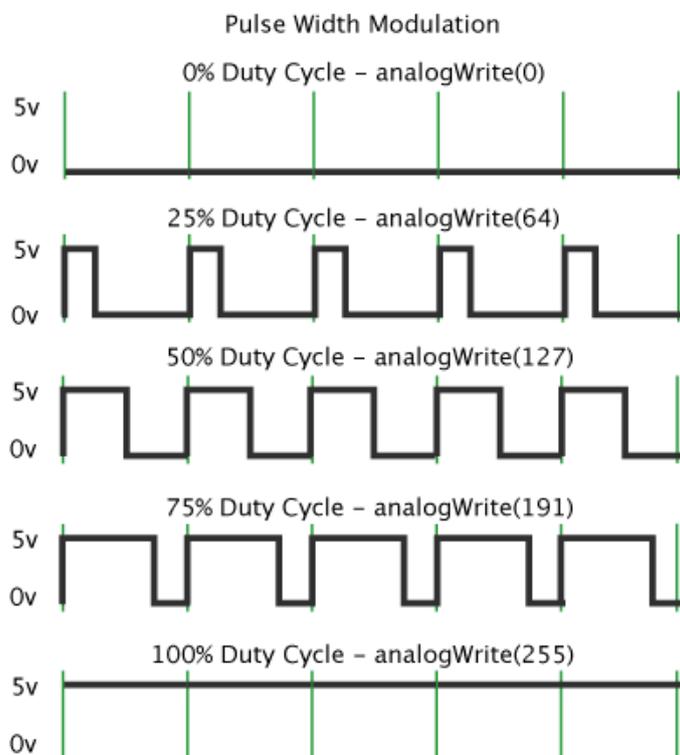


Figura 18: Señales PWM con diferentes Duty cycles.

Fuente: (Playground Arduino CC, 2017)

Una señal PWM es utilizada para tener un control de los circuitos analógicos. Este periodo y ciclo de trabajo del tren de pulsos pueden calcular la tensión entregada al circuito. Como ejemplo, al determinar un voltaje de 5v y al ser modulado con un ciclo del 10%, se obtiene 0.5v como la señal analógica que nos entrega en la salida.

Las señales de modulación de ancho de pulso, se utilizan usualmente para controlar la velocidad de motores DC, al disminuir el ciclo de trabajo sobre la señal de control del circuito de potencia que recibe el motor, este se mueve lentamente, también se puede realizar pruebas con la intensidad del brillo de un LED.

Arduino, con ATmega168 o ATmega328, la señal de salida PWM los cuales se encuentran en los pines 3,5,6,9,10 y 11 se las cataloga como señales de frecuencia 490Hz aproximadamente y esta nos faculta variar el duty cycle o el tiempo en el que el pulso cambia de estado ya sea estado activo o inactivo, usando la función analogWrite().

Otra forma de producir estas señales PWM, mediante el manejo de la capacidad del microprocesador. Esta señal que se obtiene del microprocesador lleva por nombre señal digital, en la que 0 voltios representa esta inactivo (LOW) y 5 voltios estado activo (HIGH).

El código que se muestra a continuación realizando modificaciones de los diferentes rangos de tiempo que en el pin escogido tenga un valor alto HIGH o bajo LOW, por medio de la función digitalWrite(), se logra generar la señal de modulación de ancho de pulso.

```
* PWM *  
int digPin = 14; // pin digital colocado en el puerto14  
void setup()  
pinMode(digPin, OUTPUT); // este es el pin designado para la salida  
}  
void loop() {  
digitalWrite(digPin, HIGH); //se debe colocar el valor HIGH de activación pin  
delay(1000); // tiempo de espera de un segundo  
digitalWrite(digPin, LOW); // colocación del valor LOW para el pin  
delay(1000); // tiempo de espera de un segundo  
}
```

En estas líneas de programación coloca el puerto # 14 en alto, por segundo un intervalo durante medio segundo el ciclo de trabajo sería al 50%, la frecuencia que provoca en este pin tiene 1 pulso por segundo o 1 Hz de frecuencia que equivale a un intervalo de 1 segundo. Al cambiar los diferentes tiempos establecidos en el programa se puede manipular el ciclo de trabajo de la señal. Ejemplo, si se cambia las dos líneas del delay(1000) y delay (1000), se estaría modificando el ciclo de trabajo a un 25%, ahora el programa tiene una variación se pone el pin 14 a HIGH con un ciclo de una vez por segundo en un lapso de tiempo de un segundo durante 1/4 de segundo y la frecuencia se mantiene en 1 Hz.

Al utilizar la función `analogWrite(pin,value)` se puede captar la señal a una frecuencia de 490 Hz aproximadamente. Si se desea poner una señal PWM con un ciclo de trabajo del 50% se debe poner en el parámetro `value` un valor de 127, quedando de la siguiente forma `analogWrite(pin,127)`.

```
/* señal PWM en el pin 10 de ciclo de trabajo 50%*/  
intdigitalPin = 14; // designamos el pin digital 14  
  
void setup()  
{  
    // no se declara el modo del pin  
    //como salida analógica  
}  
void loop() {  
    analogWrite(digPin,127); // Señal PWM a 50% en el PIN 10  
}
```

De esta forma al cambiar el valor del parámetro `value` en función de `analogWrite(pin,value)`, se puede realizar distintos ciclos de trabajo:

PWM	CICLO DE TRABAJO
0	0%
63	25%
127	50%
190	75%
255	100%

Tabla 3: Ciclos de trabajo con diferentes valores.

Fuente: (Playground Arduino CC, 2017).

2.13 Sustancias utilizadas para la Neutralización

- **Cloro:**

El cloro es un elemento químico cuyo símbolo es Cl, el cloro es usado para diversos usos de los cuales los más usuales es la desinfección del agua.

Este se encuentra conformado por 2 moléculas de cloro, tiene un particular color amarillento y verdoso, se lo considera un ácido tóxico de fuerte y desagradable olor.

Para este proyecto de titulación se utilizó el cloro que se comercializa comúnmente, el cual tiene como estado líquido, tiene un color particular amarillo, la solubilidad en agua es infinita, su pH es de 5 y su ingrediente activo y principal el cual permite realizar la neutralización o aclaración es el hipoclorito de Sodio a un 1%.

- **Yodo:**

El yodo es un elemento químico cuyo símbolo es I, el cual se lo encuentra en el agua del mar y en ciertas algas, comúnmente es utilizado en el ámbito medicinal y también se lo utiliza para desinfectar zonas, este es considerado como una base química.

Tiene un color particular café oscuro y un olor irritante, tiene como característica importante el ser ligeramente soluble en el agua, pero con facilidad se disuelve en sustancias que son orgánicas, como el cloro, etanol, etc.

Se debe ser cuidadoso al manipular el yodo, ya que al estar en contacto directo con la piel podría causar lesiones, el vapor que emana el yodo es sumamente irritante para los ojos.

Cuando se combina el yodo y cloro se forma una oxidación obteniendo una purificación del yodo mediante la reducción y re oxidación con el cloro.

2.14 Sistema de Control

Se le llama sistema de control al conjunto de elementos o dispositivos conectados entre sí, los cuales se encargan de gestionar la información que reciben de un sistema previamente programado para luego transmitirla por conexiones físicas para la comunicación entre los diferentes elementos (Tobajas, 2011).

El sistema de control generalmente se puede dividir en dos partes como se aprecia en la siguiente figura, la primera denominada **máquina** y la otra que corresponde al **controlador**. La máquina a su vez se puede distribuir en dos partes fundamentales, la planta y el dispositivo de realimentación o sensor, la planta corresponde a los actuadores que cumplen una acción como por ejemplo un motor, un cilindro neumático, un regulador de voltaje, etc.

La planta recibe dos señales la primera de control y la segunda son perturbaciones. El controlador es el encargado de llevar a la planta a estados deseados.

El objetivo del sistema de control es conducir la planta en respuesta a la orden mientras se superan las perturbaciones, se puede decir que el objetivo del sistema de control de proceso es hacer que las salidas del proceso se comporten de una manera deseada ajustando las entradas del sistema (manipulando variables).

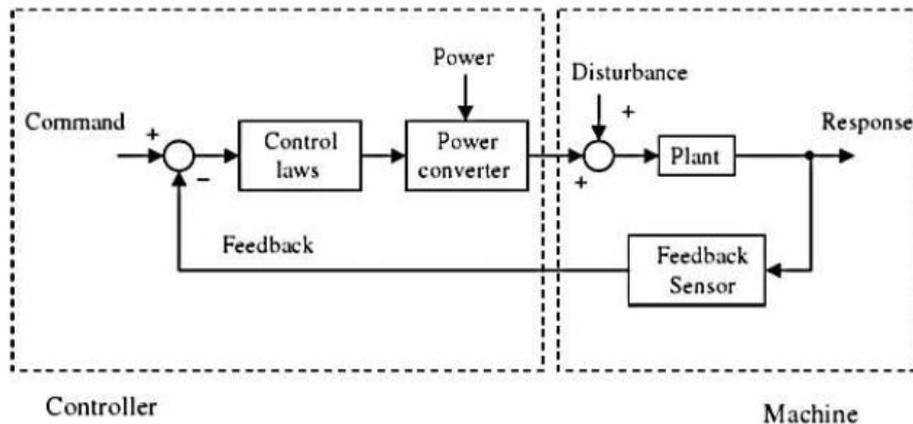


Figura 19: Sistema de control general.

Fuente: Jorge Orellana, Alex Cascante (2017)

- **La Máquina**

La máquina está conformada por dos partes: la planta y la retroalimentación. La planta es el elemento o conjunto de elementos que producen la respuesta del sistema. Las plantas son generalmente pasivas, y usualmente disipan el poder. Los sistemas de control necesitan retroalimentación porque la planta rara vez es lo suficientemente predecible como para ser controlada en bucle abierto, es decir, sin retroalimentación.

- **El Controlador**

El controlador incorpora tanto las leyes de control como la conversión de energía. El proceso de ajuste de las ganancias de ajuste para alcanzar el rendimiento deseado equivale a ajustar los parámetros de las leyes de control. La mayoría de los controladores permiten a los diseñadores ajustar las ganancias; los controles más flexibles permiten al diseñador modificar las propias leyes de control. Cuando se sincroniza, la mayoría de los ingenieros de control se enfocan en lograr una repuesta de comando rápida y estable. Sin embargo, en algunas aplicaciones, rechazar las perturbaciones es más importante que responder a los comandos.

Todos los sistemas de control deben demostrar un rendimiento robusto porque incluso las máquinas y procesos casi idénticos varían de una forma u otra y cambian con el tiempo.

2.15 Control Lazo Cerrado

Este sistema de retroalimentación que vemos en la imagen 20, es llamado también sistemas de control de lazo cerrado. Al momento de realizar la práctica las expresiones control realimentado y lazo de control cerrado son alimentados al controlador por la señal de error que actúa, tiene como propósito minorar la falla o error y estabilizar el resultado final del sistema en un punto que se desea obtener.

Al referirnos a la expresión control de lazo cerrado se está incluyendo la utilización de un control de retroalimentación ya que de esta forma se disminuye el error presente en el sistema.

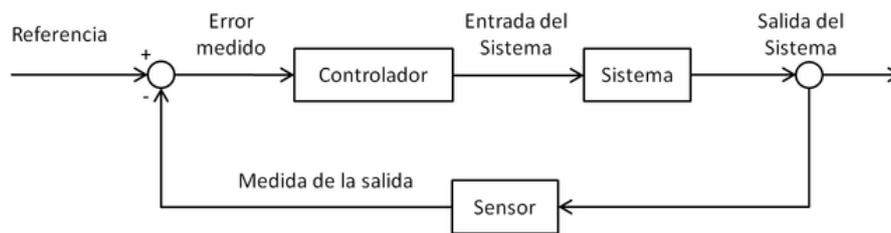


Figura 20: Sistema de control lazo cerrado.

Fuente: Jorge Orellana, Alex Cascante (2017)

2.16 Componentes del Sistema de Control

Los componentes físicos, como plataformas, utilizados en la unidad de control se encuentran conectados dentro del mismo medio por el cual se transfiere información entre los distintos dispositivos que a la vez son elementos de entrada y según como estos hayan sido programados efectuarán los actuadores las acciones que se les han determinado.

Los materiales que conforman el sistema de control en este proyecto son:

- Arduino Uno
- Turbidímetro

- **Arduino Uno**

Para realizar la implementación de este proyecto se ha utilizado la plataforma Arduino la cual tiene como base un hardware libre constituido por un micro controlador. Esta tarjeta es la encargada de recibir la señal enviada de los dispositivos de entrada para luego de ello ratificarla y finalmente producir una señal que genere al accionamiento. (Pérez A., 2013)



Figura 21: Placa Arduino Uno
Fuente: (Arduino AG, 2017)

Micro controlador	ATmega328P
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
E/S pines digitales	14
PWM pines digitales I/O	6
Pines entrada analógica	6
Corriente continua para PIN I/O	20mA
Memoria flash	32KB(ATmega328P)
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Velocidad del reloj	16 MHz

Tabla 4: Especificaciones técnicas Arduino Uno
Fuente: (Arduino AG, 2017)

En esta placa se incluye un micro controlador ATmega328P el cual es el elemento principal, ya que es aquí donde se establece el código de programación. Está compuesta por 14 pines digitales entre entradas y salidas, seis de ellos se pueden utilizar como salidas PWM, seis como entradas analógicas, también contiene un cristal de cuarzo de 16MHz, una conexión USB, un conector para la alimentación, un encabezado ICSP y un pulsador de reinicio.

- **Turbidímetro**

Este módulo es acoplable a la placa Arduino su principal función es detectar la calidad del agua al medir los niveles de turbidez. Utiliza la luz para detectar partículas suspendidas en el agua al medir la transmitancia de luz y la tasa de dispersión, que varía con la dosis de sólidos suspendidos totales (TSS) en el agua.

Cuando aumenta el TSS, aumenta la tasa de turbidez del líquido.

Los sensores de turbidez se utilizan para medir la calidad del agua en ríos y arroyos, las mediciones de aguas residuales y efluentes, la instrumentación de control para el asentamiento de estanques, la investigación del transporte de sedimentos y las mediciones de laboratorio. El sensor de líquido proporciona modos de salida de señal analógica y digital. El umbral es ajustable cuando está en modo de señal digital.

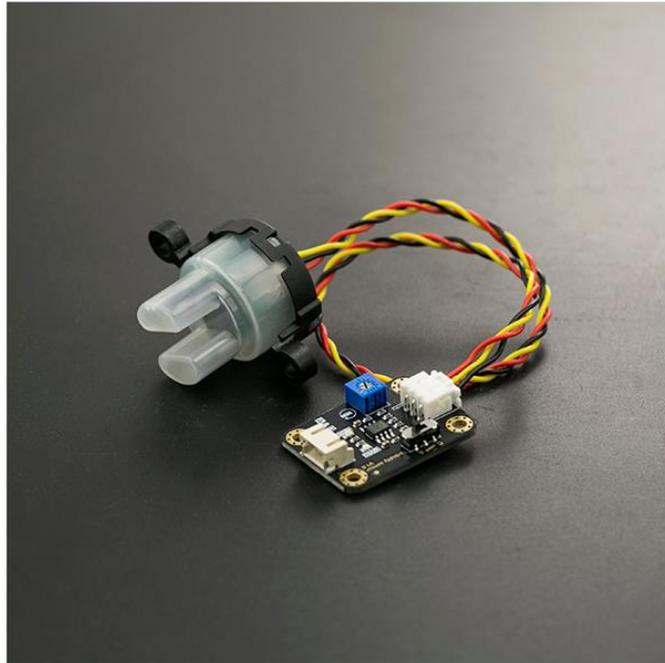


Figura 22: Sensor de turbidez Analógico para Arduino.
Fuente: (Turbidímetro, Arduino and Robot-DFRobot)

Voltaje de Funcionamiento	5V DC
Corriente de Funcionamiento	40mA(MAX)
Tiempo de Respuesta	<500ms
Resistencia de Aislamiento	100M (Min)
Salida Analógica	0 - 4.5V
Salida Digital	Señal de nivel alto / bajo (puede ajustar el valor umbral ajustando el potenciómetro)
Temperatura de Funcionamiento	5 °C ~ 90 °C
Temperatura de Almacenamiento	-10 °C ~ 90 °C
Peso	30g
Dimensiones del adaptador:	38 mm * 28 mm * 10 mm / 1.5 pulgadas * 1.1 pulgadas * 0.4 pulgadas

Tabla 5: Sensor de turbidez Analógico para Arduino.
Fuente: (Turbidímetro, Arduino and Robot-DFRobot).

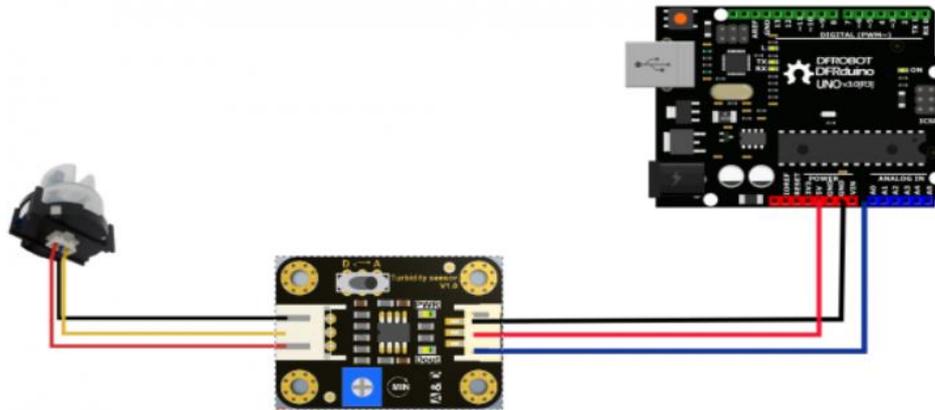


Figura 23: Diagrama de conexión, Sensor de turbidez Analógico para Arduino.
Fuente: (Turbidímetro, Arduino and Robot-DFRobot)

El principio de medición de este sensor es detectar la calidad del agua por medio de la medición de nivel de turbidez. Este sensor tiene como característica principal ser capaz de localizar las partículas en suspensión que se encuentren en el agua, por medio de la medición de la cantidad de luz q se transmite y la frecuencia que varía con la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua. Cuando aumenta la cantidad de SST, el nivel de turbidez del líquido incrementa.

El sensor tiene dos modalidades de salida: Digital y Analógicas.

Los sensores que miden la turbidez nos permiten medir la calidad del agua en ríos, arroyos, aguas residuales, investigaciones de transporte de sedimentos y para mediciones en laboratorios.

Gracias a este sensor es posible realizar mediciones de turbidez de concentraciones bajas y altas con alta precisión.

Campos de Aplicación:

- Tratamiento de aguas residuales.
- Agua potable.

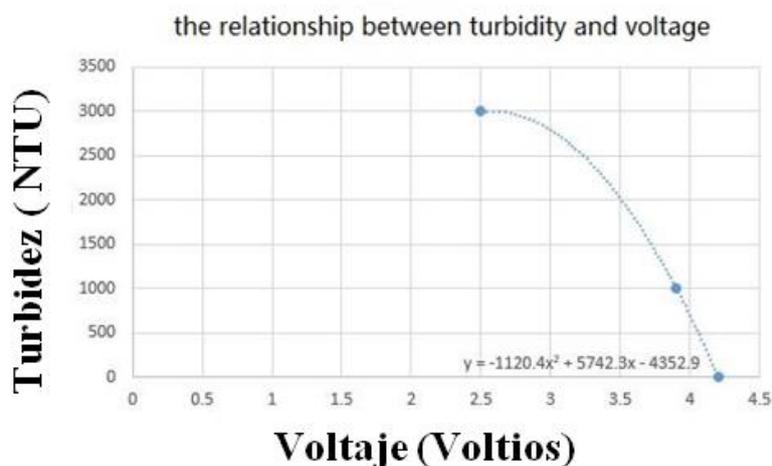


Figura 24: Gráfica de la relación entre la turbidez y el voltaje.
Fuente: (Turbidímetro, Arduino and Robot-DFRobot)

Descripción de la interfaz:

Selector de señal de salida "D / A"

"A": Salida de señal analógica, el valor de salida disminuirá cuando se encuentre en líquidos con una alta turbidez.

"D": Salida de señal digital, niveles alto y bajo, que se puede ajustar mediante el potenciómetro de umbral

Potenciómetro de umbral: puede cambiar la condición de disparo ajustando el potenciómetro de umbral en el modo de señal digital.

- **Bomba**



Figura 25: Bomba Eléctrica Limpiaparabrisas.

Fuente: (Bomba Eléctrica, GM partes 2018)

Este proyecto se realizó con dos bombas eléctricas limpia parabrisas marca Beru, las cuales funcionan a 12VDC, envía un flujo de 220mililitros / 10 segundos y se constató que el consumo de corriente es de 2.6 Amperios, estos dispositivos hacen circular el líquido desde un punto a otro, transformando la energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo así la circulación por tuberías de un tanque a otro en este proyecto. A continuación las especificaciones técnicas de la bomba:

Resistencia	0.54 Ohms
Velocidad	0.651 V/(rad/seg)
Inductancia	0.01 Henrios

Tabla 6: Especificaciones técnicas de la bomba

Fuente: Autor

- **HMI**

Es una interfaz controlada por el usuario, asistida por un computador, hoy en día una interfaz bastante usada no solo a nivel académico sino también industrial, también llamada interfaz hombre-máquina (HMI).

Esta interfaz entre hombre-máquina (HMI) es la que faculta la comunicación entre el hombre y una máquina. Un caso simple es el de un interruptor: No se hace referencia al humano ni a la máquina que este caso es la lámpara, se enfoca en la interfaz entre los dos. Para que se cumpla el proceso de la interfaz entre el hombre y la maquina el operador debe estar adaptado a varios requisitos y capacitaciones.

Los sistemas HMI facultan la gestión y el control de cualquier sistema ya sea local o remoto, gracias a la interfaz gráfica que permite la transmisión al usuario con el sistema.

- **Sensor de Nivel Ultrasónico**



Figura 26: Sensor ultrasónico HC-SR04.
Fuente: (Sensor ultrasónico, Julio Cana 2016)

El Sensor ultrasónico HC-SR04 es un circuito que detecta o mide la distancia y es compatible con Arduino. Básicamente, el sensor puede detectar objetos, distancia o nivel en un rango mínimo de 2 cm a un máximo de 400 cm. Se puede utilizar, por ejemplo, para diferente tipos de proyectos como lo son alarmas de proximidad, medir niveles de agua de un tinaco o cualquier otro objeto que almacene algún tipo de líquido. Cabe recalcar que para que este sensor funcione de manera correcta, se requiere de una superficie lisa y perpendicular a la dirección de propagación del sensor.

En primer lugar, el sensor ultrasónico HC-SR04 se alimenta con 5 voltios a una corriente de 1.5 mA DC lo cual, de hecho, lo hace ideal para trabajar con Arduino, en realidad, con cualquier procesador lógico que funcione a 5V.

Este sensor contiene 4 pines, los cuales se conectan de la siguiente forma:

VCC se conecta a la salida de 5v que tiene la placa Arduino, Trig se conecta al pin digital de la placa, este es el encargado de enviar la señal de pulso ultrasónico, Echo se conecta al pin de entrada digital, el cual es el encargado de recibir las ondas ultrasónicas y GND se conecta a tierra. A continuación se visualiza un esquema del funcionamiento del sensor de ultrasonidos.

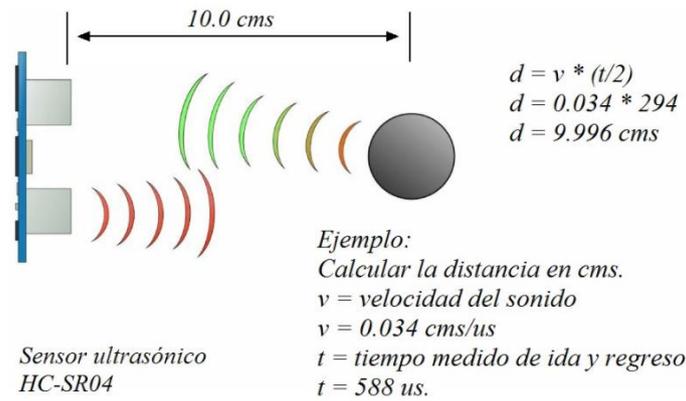


Figura 27: Esquema del funcionamiento del Sensor ultrasónico HC-SR04.
Fuente: (Sensor ultrasónico, Punto Flotante S.A. 2018)

Podemos observar el funcionamiento del sensor ultrasónico, el cual consta de dos parlantes Trigger y Echo, los cuales envían y reciben pulsos ultrasónicos respectivamente, calculando así el tiempo que viaja el pulso.

Las características de este sensor son:

- Alimentación de 5 volts.
- Interfaz de cuatro hilos (vcc, trigger, echo, GND).
- Rango de medición: 2 cm a 400cm.
- Corriente de alimentación: 1.5mA.
- Frecuencia de pulso: 40Khz.
- Apertura del pulso ultrasónico: 15°.
- Señal de disparo: 10us.
- Dimensiones del módulo: 45x20x15mm

- LCD Keypad Shield



Figura 28: LCD Keypad Shield para Arduino.
Fuente: (LCD Keypad Shield, Arduino and Robot-DFRobot)

PIN	FUNCIÓN
ANALOG 0	BUTTON(select, up, right, down and left)
DIGITAL 4	DB4
DIGITAL 5	DB5
DIGITAL 6	DB6
DIGITAL 7	DB7
DIGITAL 8	RS(Data or Signal Display Selection)
DIGITAL 9	Enable
DIGITAL 10	Backlit Control

Tabla 7: Asignación de pines LCD Keypad Shield.
Fuente: (Asignación de pines, Arduino and Robot-DFRobot)

El LCD Keypad Shield para Arduino está desarrollado para placas compatibles con Arduino, el cual entrega una interfaz de fácil uso que permite al usuario realizar selecciones entre menú y otros. Consiste en una pantalla LCD de fondo azul con blanco de 1602 caracteres.

Contiene un teclado, en el cual consta de 5 teclas: arriba, abajo, derecha, izquierda y seleccionar. Para poder almacenar los pines IO digitales, la interfaz del teclado utiliza un canal ADC. El valor clave de la pantalla se lo puede leer por medio de un divisor de voltaje de 5 etapas.

2.17 Software Myopenlab

El software Myopenlab está desarrollado en elementos gráficos, en el cual todos cumplen una función específica y contiene propiedades que pueden ser configuradas por el usuario, estos componentes se pueden unir entre sí, para poder ser implementados de una forma más sencilla la parte gráfica y por lógica de alguna aplicación.

Este software es compatible con elementos de comunicación, los cuales son los más comerciales tales como Arduino, Raspberry PI, Android y dispositivos con Comunicación serial.

A medida que el usuario por medio de canales de comunicación como Facebook, Youtube, etc., realiza sugerencias, el creador de este software incrementa interfaces para un mejor funcionamiento y expandir el número de tareas que tiene.

El software es un proyecto que fue arrancado por Carmelo Daniel Salafia Desarrollador Alemán quien fue el que diseño y desarrollo el proyecto por varios años, siendo el desarrollador titular hasta mediados del año 2017, luego tomó la decisión de transferir el desarrollo del software al Ing. Javier Velásquez, quien actualmente es el desarrollador principal.

Myopenlab se realizó en Java y Neatbeans, gracias a esto es ejecutable en varias plataformas si no contiene dependencias o límites de hardware, el software se encuentra disponible en idiomas alemán, inglés y español.

(Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez, Myopenlab, 2017).

Descripción Básica del Entorno.

Myopenlab es un software el que contiene un ambiente orientado a la simulación de circuitos y sistemas con un amplio campo de aplicaciones.

Dentro de sus características principales se encuentran:

- Fácil uso del sistema.
- Contiene una amplia variedad de funciones ya sea para manejo de señales analógicas o digitales.
- Permite la combinación con diferentes tipos de datos y también operaciones con ellos.
- Permite el uso de bloques de función para realizar aplicaciones.
- Cuando se trata de crear pantallas de visualización para monitoreo de plantas tiene la facilidad de que el sistema recoge datos de variables y eventos de simulación.
- Es posible la ejecución de sub modelos que permitan encapsular a su vez otros modelos.

Dentro de las herramientas se encuentra la de Instrumentación Virtual (VI Virtual Instruments) esta herramienta es un ejemplo de sencillez y potencia a la vez.

Las aplicaciones que se realizan con Myopenlab reciben el nombre de VM (Visual Modeling).

Toda aplicación contiene dos partes diferentes:

- El Panel del Circuito.
- Panel Frontal de Visualización.

El panel del circuito es el grupo de aplicaciones, funciones y operadores que al momento de ser enlazados realizan una función relacionada con un circuito electrónico o sistema, como por ejemplo una planta. El grupo de funciones permite ser editado en el panel de edición de circuito, esta aparece en la pestaña con el nombre de "**Panel Circuito**".

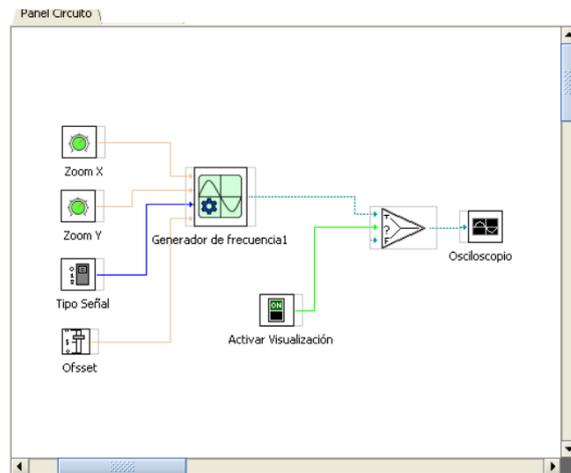


Figura 29: Panel Circuito, (Myopenlab, 2017).

Fuente: Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez

Los componentes una vez situados sobre esta área están disponibles para ser unidos entre sí utilizando el ratón. Basta acercar el puntero del ratón a uno de los terminales de entrada o salida de un componente para que aparezca la etiqueta que identifica el nombre del terminal, y entre paréntesis el tipo de datos que admite si es una entrada o una salida.

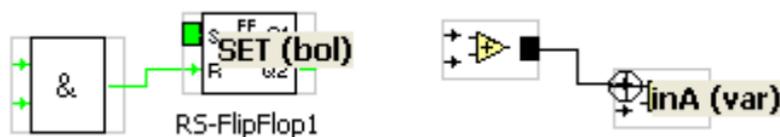


Figura 30: Myopenlab, 2017

Fuente: Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez

Además podemos habilitar la llamada ventana de componente desde el menú desplegable “Ventana”

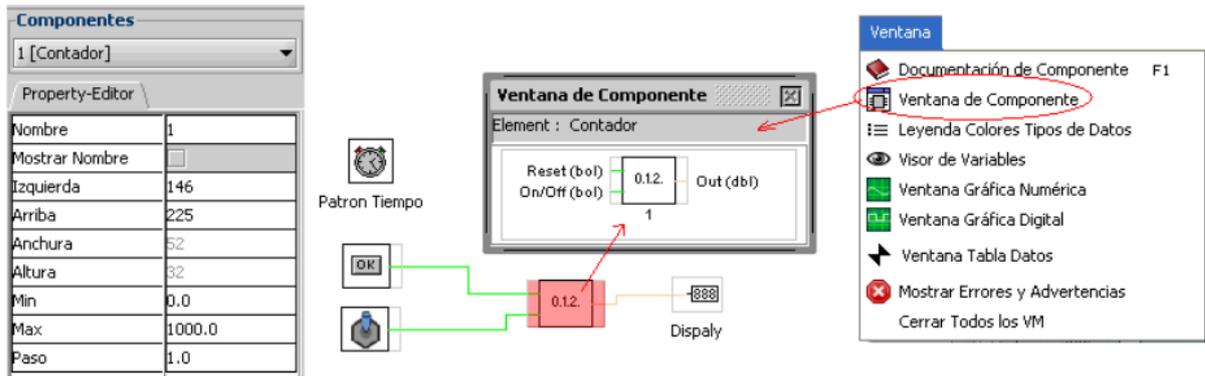


Figura 31: Myopenlab, 2017
Fuente: Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez

El panel frontal de visualización se lo diseña sabiendo que de tal forma aparecerá en la pestaña que esta etiquetada como "Panel Frontal", donde se encontraran los objetivos de visualización gráfica, los cuales asociados a las variables del circuito permiten la visualización gráfica que están asociados a las variables del circuito, esta permite la visualización a medida que evoluciona la simulación.

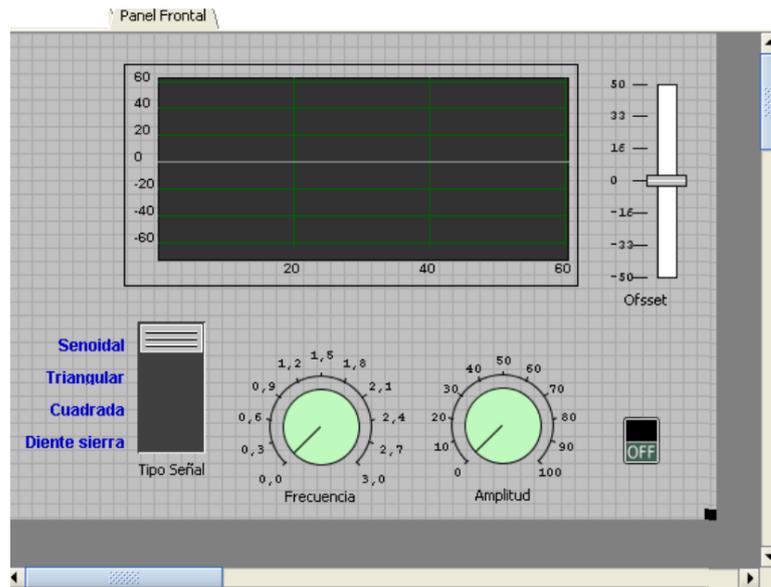


Figura 32: Panel Frontal, (Myopenlab, 2017).
Fuente: Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez

Área de Componentes: En esta área se encuentran las librerías del panel de circuito o panel frontal. Se puede navegar por las librerías colocando el cursor sobre los iconos que representan las aplicaciones de los distintos elementos.

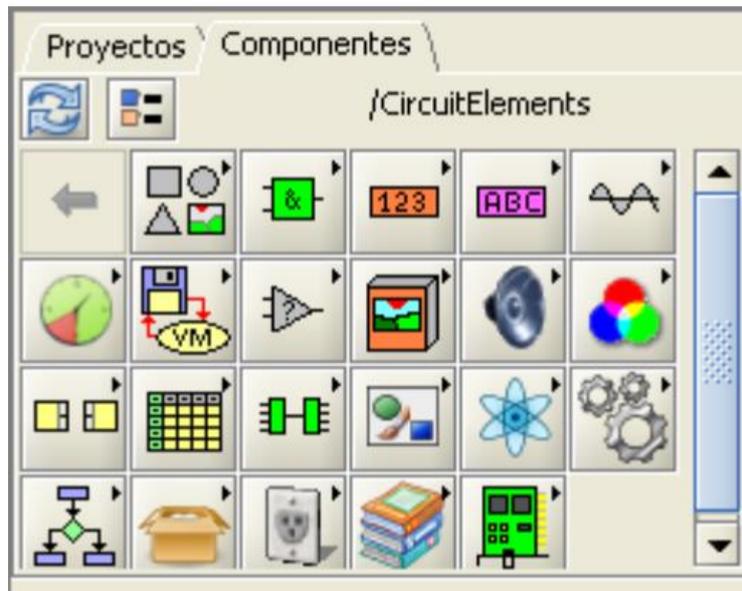


Figura 33: Área de Componentes, (Myopenlab, 2017).
Fuente: Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez

Área de Propiedades de Componentes: En esta sección aparece una ventana con las propiedades del objeto o función que señalemos.

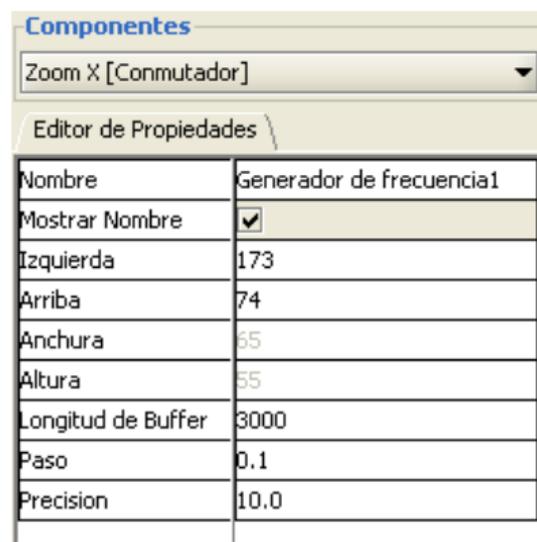


Figura 34: Propiedades de Componentes, (Myopenlab, 2017).
Fuente: Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez

Área de Proyectos: En donde figura el árbol de carpetas y ficheros de aplicaciones VM.

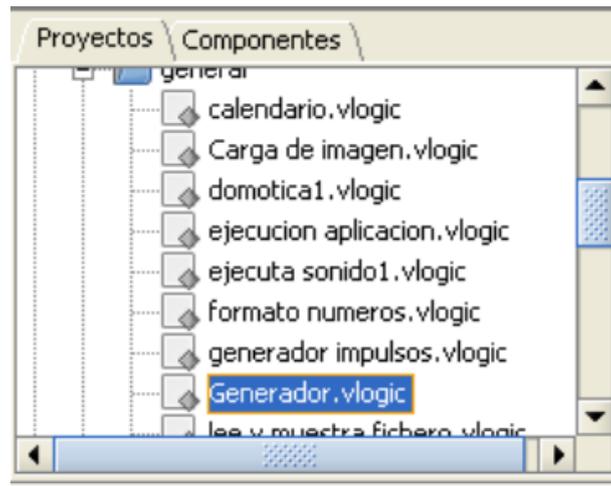


Figura 35: Área de Proyectos, (Myopenlab, 2017).
Fuente: Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez

Selección de un componente

Los elementos se seleccionan del área de librerías las cuales se encuentran en la parte superior izquierda de la pantalla. A las librerías se accede pulsando sobre las carpetas y una vez localizado el elemento que necesitamos pulsamos con el botón izquierdo y lo seleccionamos, después vamos al área de trabajo del panel y pulsamos otra vez con el botón izquierdo quedando colocado el elemento. Podremos desplazarlo si lo deseamos simplemente manteniendo el botón izquierdo pulsado sobre él y desplazando el ratón.

En la figura 36 vemos la leyenda de colores según el tipo de datos. Es muy importante que nos fijemos en los colores de las líneas que unen los componentes ya sea de entrada o salida, ya que en función de su color y tipo (continuo o punteado) se puede averiguar su naturaleza (ver figura 34).

Se debe observar minuciosamente ya que los componentes solo admiten la entrada para el tipo de datos prediseñada.



Figura 36: Leyenda de Colores, (Myopenlab, 2017).
Fuente: Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez

2.18 Proyectos de Investigación Vinculados.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE BANCO DE PRUEBAS PARA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES HUMEDAD, TURBIDEZ, VELOCIDAD Y ALTURA PARA LAS PRÁCTICAS DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL.

Este proyecto presenta el diseño e implementación de un banco de pruebas para la medición de las variables de humedad, turbidez, velocidad y altura, el mismo que consta de dispositivos de instrumentación y automatización que permite realizar las pruebas que constantemente se visualizan en el campo laboral. Entre las aplicaciones de las prácticas se detalla un control PID en donde se visualiza el funcionamiento del sistema implementado. El proyecto se fortalece en la comunicación entre el controlador y el software, en donde los instrumentos que detectan las magnitudes físicas se conectan al controlador, quien las procesa y permite visualizarlas en una pantalla que se ubica junto al panel.

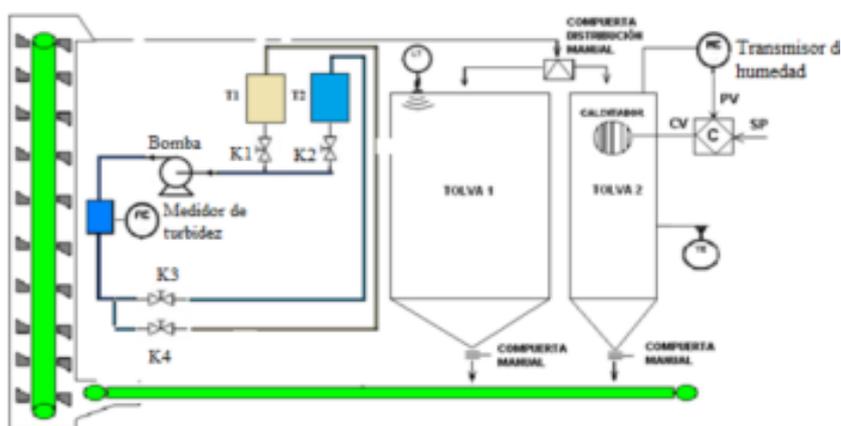


Figura 37: Diseño e implementación de banco de pruebas, (2015).

Fuente: Lligüicota Arreaga, V. C., & Simisterra Nupia, J. J.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE TURBIDEZ DE FLUIDOS INDUSTRIALES.

El proyecto se desarrolla en varios capítulos, el primero hace una descripción de los elementos y funcionamiento de un turbidímetro industrial, en donde se escribe sobre la distribución general de los mismos como: los micro controladores-en particular del PIC 16F871-, donde se mencionan sus características técnica, arquitectura básica y configuración de los puertos de entradas y salidas digitales y analógicas.

También se menciona sobre el uso y aplicación del SCADA Lab View, el uso y funcionamiento de los módulos RFXBee-pro y por último se menciona el uso y aplicación de la celda de carga BSA-100. Elemento que es utilizado para dar lectura de la cantidad de líquido presente dentro del envase.

En el segundo capítulo se investiga sobre los principios fundamentales de los sistemas de comunicación, se hace un recuento de cómo se inició la comunicación inalámbrica y cómo ha evolucionado la misma.

El tercer capítulo indica la elaboración, desarrollo y montaje del proyecto, donde se identifica la Adquisición de Señales, Amplificación de voltajes, convertido Analógico/Digital. Transmisión- Recepción de datos, Control y visualización en el SCAD Lab View; en base a lo mencionado se determina de esta forma la magnitud del proyecto realizado.



Figura 38: Diseño e implementación de un módulo automatizado, (2010).
Fuente: Rivas Panchana, R.

3. Implementación del sistema

El proceso de implementación de este proyecto se lo realizó en varias fases, dentro de las cuales se elaboró una estructura metálica y de madera, para el respectivo soporte de los tanques, a continuación se detalla la elaboración de la estructura:

3.1 Diseño de la estructura

Para la elaboración de la estructura metálica de los tanques se utilizó un tubo cuadrado de 40mm x 3mm, un ángulo de 3/16" x 1" y una plancha de plywood laminado.



Figura 39: Elaboración de la estructura metálica y montaje del tablero.

Fuente: Autor

3.2 Diseño de los tanques

Los 3 tanques fueron elaborados con vidrio de 6 líneas, los dos de mayor capacidad pueden llegar a almacenar 15 litros cada uno, mientras el más pequeño aloja 5 litros, las paredes de los diferentes tanques mencionados fueron adheridas con silicona para así evitar filtraciones.

Cada uno de los tanques presenta una capacidad de 3 litros que no serán ocupados con líquido a efectos de evitar el rebose.

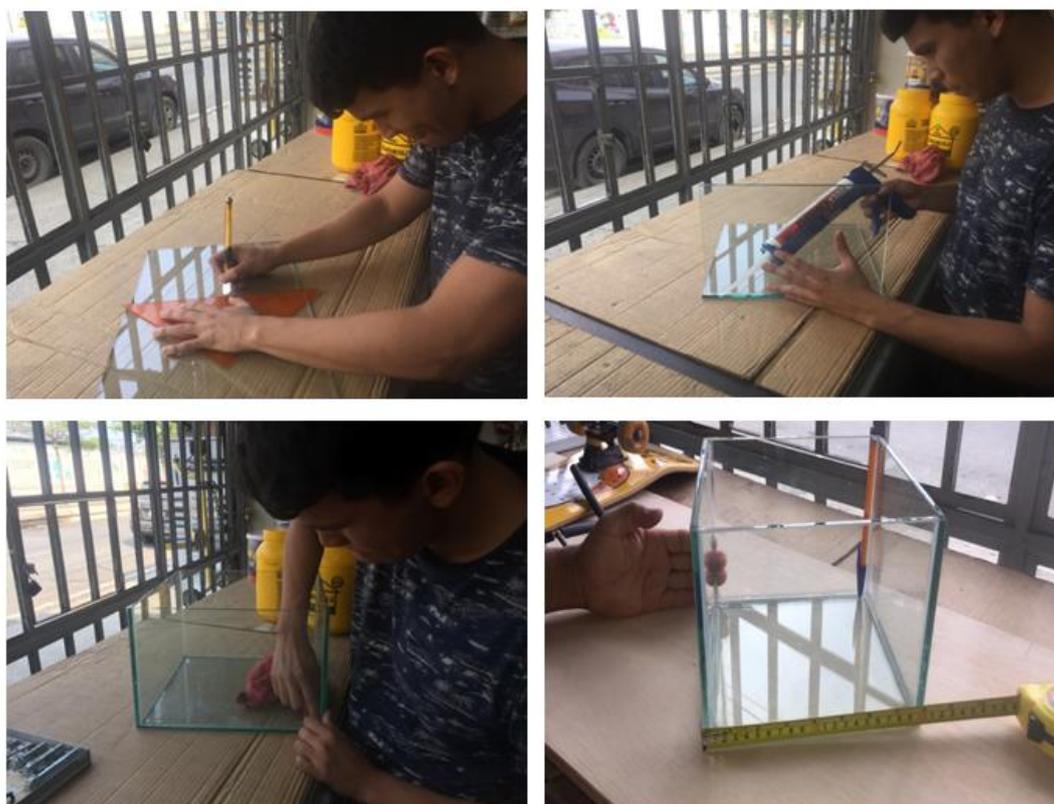


Figura 40: Elaboración de los tanques.

Fuente: Autor

En la siguiente figura se muestra el tanque 1 (TQ1) el cual cuenta con su respectiva regla de medida en litros, este tanque contiene agua libre de turbidez.

En la parte inferior derecha se le colocó la bomba P1, la cual mediante tuberías será la encargada de enviar agua al tanque 2 (TQ2), donde se cumplirá la siguiente fase del proceso.

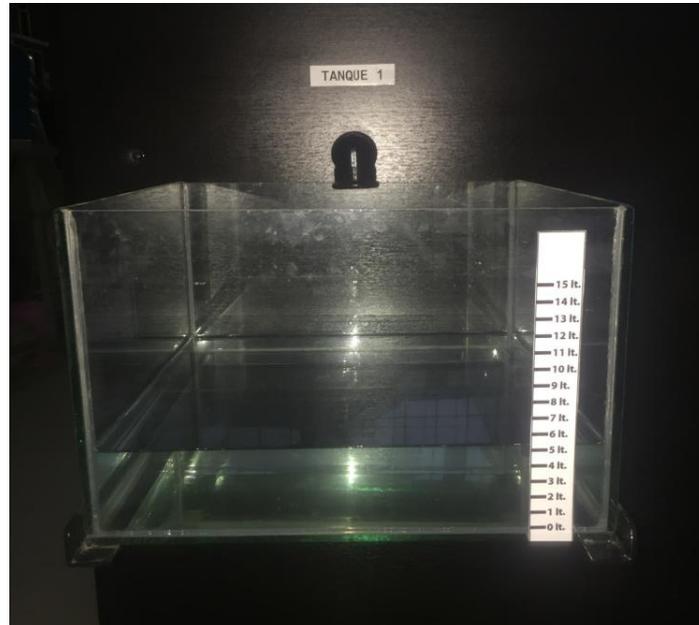


Figura 41: Tanque 1 (TQ1), agua libre de turbidez.

Fuente: Autor

A continuación se visualiza la imagen del Tanque2 (TQ2), donde se efectuará el proceso de neutralización por medio del control PID, ya que este tanque cuenta con el sensor de turbidez en la parte inferior, donde se realizó un orificio para que constantemente pueda sensor, la turbidez será aplicada manualmente en este tanque.

También cuenta con un sensor de nivel ultrasónico y una regla de medida en litros. Cabe recalcar que este tanque recibe constantemente agua del Tanque 1 y cuando el turbidímetro detecta turbidez también recibirá Cloro del Tanque 3.



Figura 42: Tanque 2 (TQ2), Neutralización.

Fuente: Autor

En el Tanque 3 (TQ3) que se visualiza a continuación, se almacenará cloro, este químico es el encargado de quitar la turbidez del proceso, cuenta con su regla de medida en litros y en la parte inferior izquierda se encuentra la bomba que enviará por medio de tuberías el químico al Tanque 2 (TQ2) en el caso de existir turbidez.

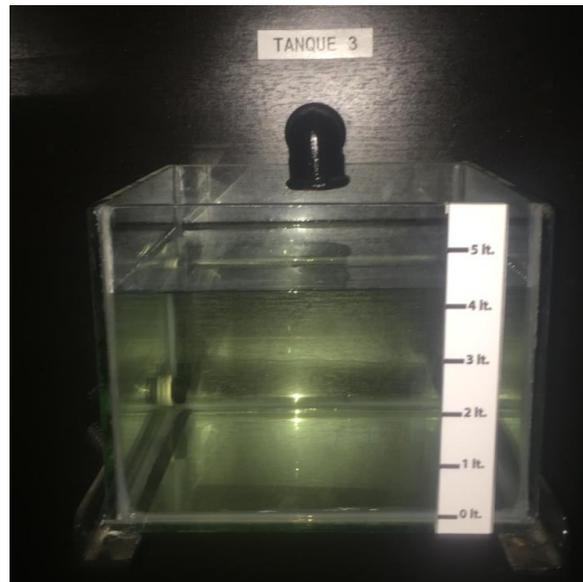


Figura 43: Tanque 3 (TQ3), Cloro.

Fuente: Autor



Figura 44: Tanques de alimentación y desfogue del sistema.

Fuente: Autor

La parte posterior del sistema cuenta con 3 tanques, de los cuales 2 sirven para alimentación del Tanque 1 (TQ1) y Tanque 3 (TQ3), en el caso de que se desee realizar varias presentaciones. También cuenta con un tanque de desfogue, para ser usado en el momento que se encuentra en su capacidad máxima el Tanque 2 (TQ2).



Figura 45: Llaves de paso, alimentación y desfogue de Tanques.

Fuente: Autor

Se utilizaron 3 llaves de paso para la circulación del agua a los tanques de alimentación y desfogue, las cuales deben ser manipuladas manualmente por el operador de la planta.

3.3 Diseño del Sistema de Control: Placa Electrónica

En la siguiente figura se visualiza el diseño del circuito impreso para el módulo de control integrando los respectivos elementos para su adecuado funcionamiento.

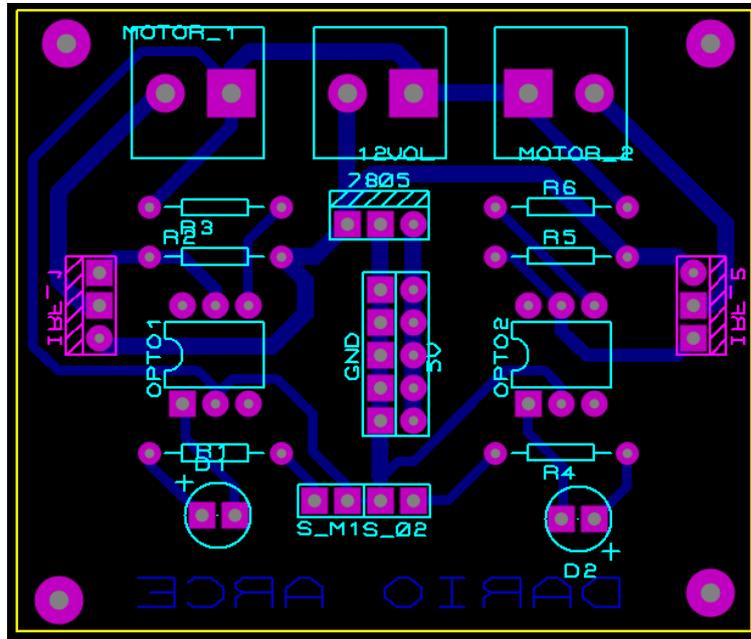


Figura 46: Diseño del circuito eléctrico de la placa de control (PCB) en el software Proteus.

Fuente: Autor

En la siguiente figura podemos observar la captura esquemática (schematic capture) de la tarjeta de control, en la cual vemos las diferentes conexiones con sus simbologías:

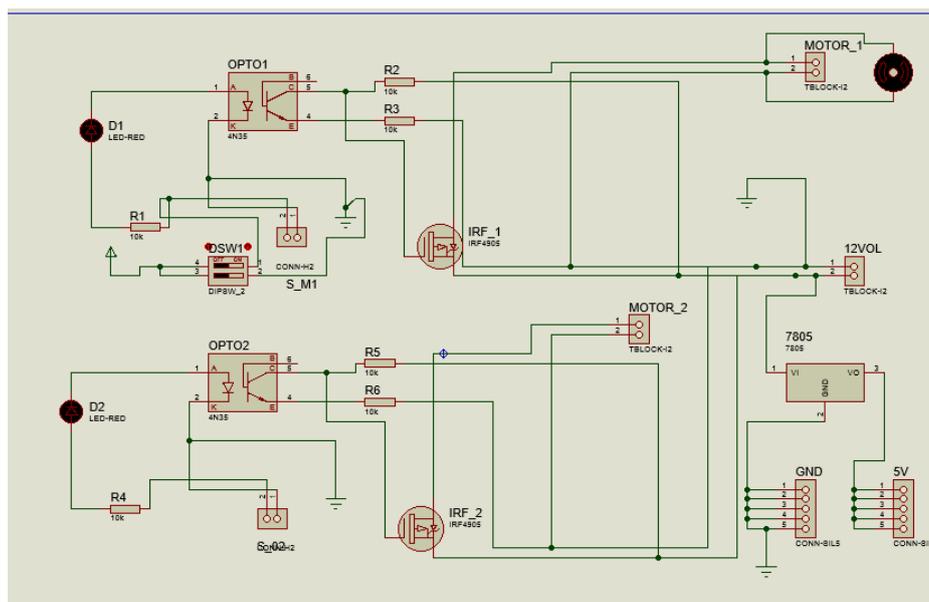


Figura 47: Capture esquemática de la tarjeta de control, en el software Proteus.

Fuente: Autor

En la siguiente figura se visualiza el diseño del circuito eléctrico de la tarjeta de potencia, desde un plano 3D, diseñado en el software Proteus.

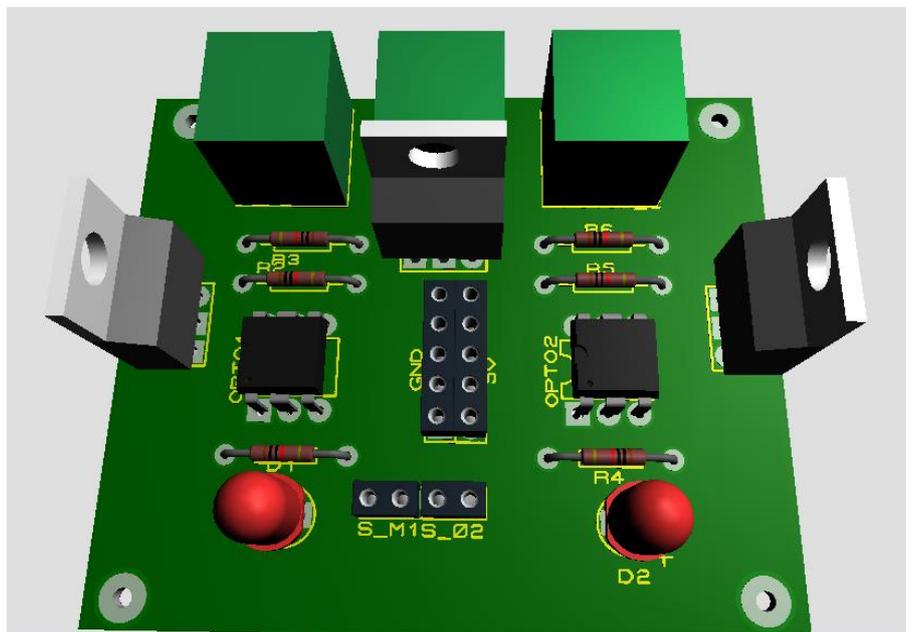


Figura 48: Diseño en 3D de la placa de control.
Fuente: Autor

3.4 Conexión de los Elementos

Para obtener como resultado la unidad de control se utilizaron los siguientes materiales:

- Papel fotográfico.
- Baquelita 10x10.
- Ácido Percloruro.
- Estaño.
- Cautín.
- Plancha.

Luego del proceso de quemar la pista a la baquelita, se realizaron las soldaduras de los elementos antes mencionados, para adherirlos correctamente se utilizó cautín, estaño y pasta, como se visualiza en las siguientes imágenes:

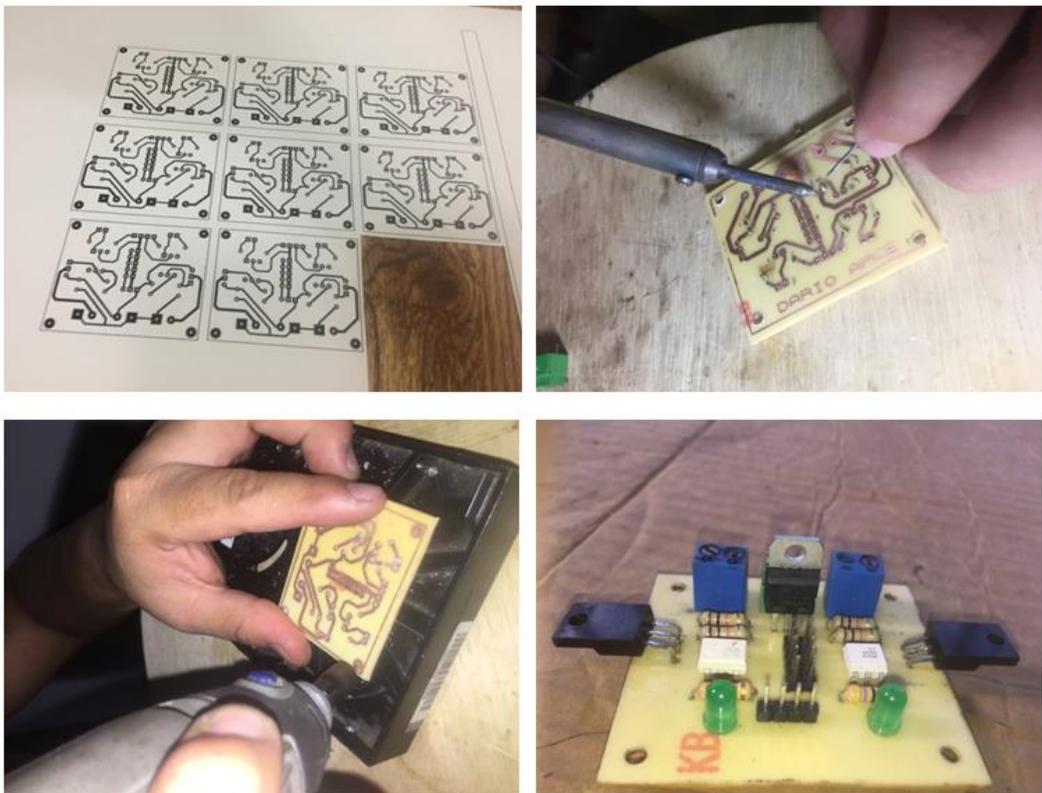


Figura 49: Conexiones de los elementos a placa de control.

Fuente: Autor

3.5 Acondicionamiento del tanque P2 con el sensor de Turbidez y Ultrasónico HC-SR04.

En la siguiente figura se visualiza la ubicación del turbidímetro, este se encuentra colocado en la parte inferior del tanque, se realizó un orificio de 2,5 cm de diámetro para colocarlo ya que debe permanecer en contacto con el agua para ejecutar la lectura.



Figura 50: Ubicación del Turbidímetro.

Fuente: Autor

Mediante las pruebas realizadas se pudo constatar que el Turbidímetro al ser un sensor infrarrojo le afecta en su totalidad la luz artificial o natural, por este motivo se decidió crear un ambiente de luz específicamente para él, en el cual no existen cambios de luz, para crear este ambiente se pintó la parte inferior del tanque de color negro para de esta forma evitar el ingreso de la luz.



Figura 51: Base del Tanque P2.
Fuente: Autor

Se elaboró una caja de madera para impedir el ingreso de la luz ya sea por las paredes o la parte superior, cuenta con un orificio pequeño en la tapa para poder aplicar la turbidez, también contiene una abertura que tiene como objetivo poder visualizar la neutralización que se desarrolla dentro del tanque.

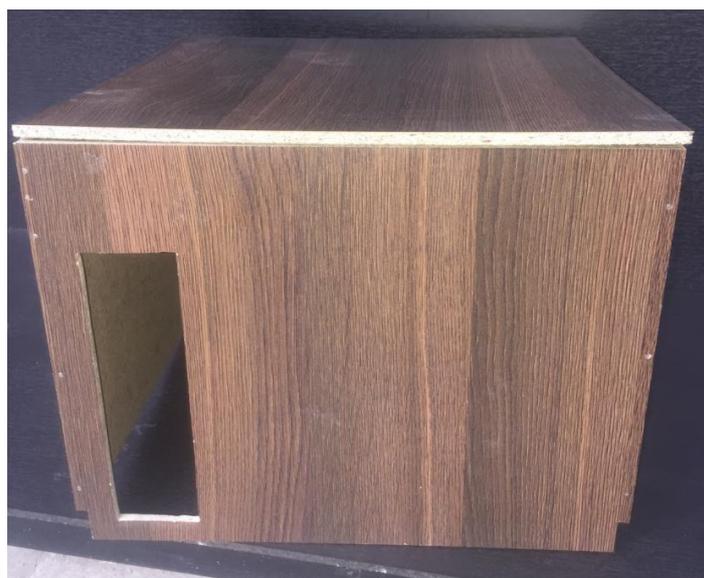


Figura 52: Cobertura del Tanque P2.
Fuente: Autor

Para poder tener una visualización de la neutralización que se realiza dentro del tanque, se implementó una pared de luces led entre el tanque y el tablero de la planta, las cuales utilizan como alimentación 12VDC, también se colocó una pequeña pared negra de acrílico para que la luz que ingresa por la abertura no cause efectos sobre el sensor de turbidez.

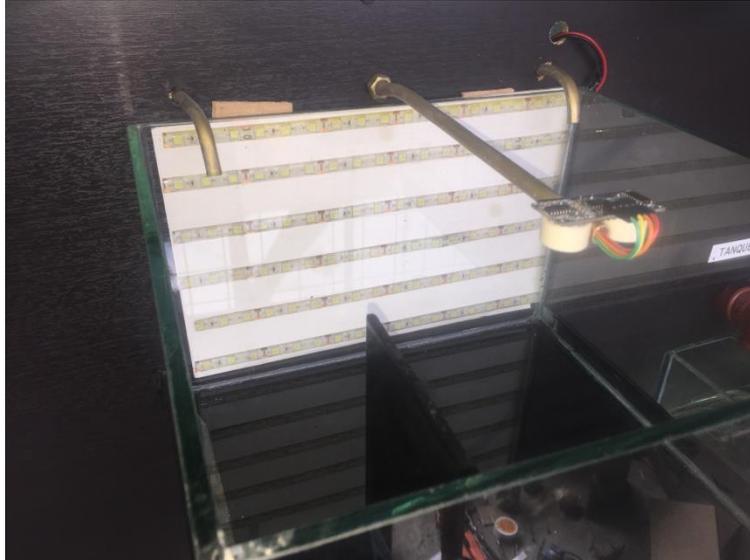


Figura 53: Pared de luces led.
Fuente: Autor

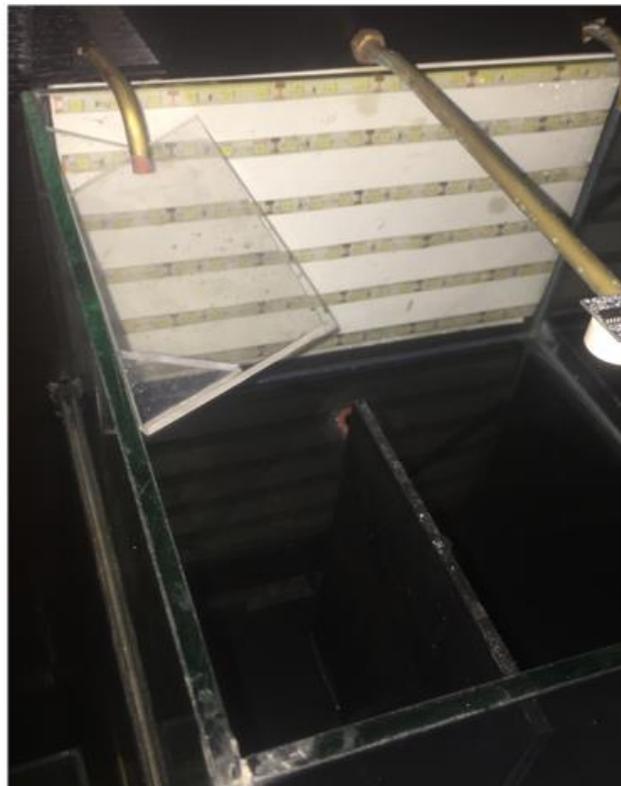


Figura 54: Acrílico bloqueador de luz.
Fuente: Autor

El sensor de turbidez es sumamente sensible, al caer agua contantemente se pudo constatar que se formaban burbujas, lo cual el sensor detecta como turbidez. Por este motivo se colocó una rectángulo de acrílico para que el agua caiga por un costado del tanque, esto significa que se formara una pared de agua y no existirán burbujas.

Al haber dejado una pequeña ventana en la caja que invita que entre luz, se podría tener una lectura errónea del sensor en el momento que le llegue algo de luz, por este motivo se colocó una pared de acrílico negra para así evitar el paso de la luz hacia el sensor.



Figura 55: Alimentación del Sistema.

Fuente: Autor

El sistema cuenta con la alimentación de una batería de 12VDC / 7A, la cual suele ser usada para motos. Esta batería entrega un valor de 12VDC y nuestro sistema al ser implementado en Arduino solo necesita 5VDC, por lo tanto se colocó en la tarjeta de potencia un regulador de tensión L7805CV, el cual a pesar de alimentarse de una cantidad de tensión determinada, es capaz de acondicionarla y entregar una tensión menor para nuestro sistema, que funciona a 5VDC.

4. Resultados

Para el desarrollo de este proyecto de titulación se obtuvo como resultado la implementación de un sistema de neutralización de agua utilizando un turbidímetro, el cual tiene una salida analógica que nos permite realizar el control PID para la regulación del flujo de la bomba, el sistema también contiene un sensor de nivel ultrasónico en el mismo tanque TQ2, el cual le permite al operador conocer constantemente la cantidad de líquido en litros que encuentra dentro del tanque.

El sistema de control está conformado por 2 tarjetas Arduino Uno, una pantalla LCD y una tarjeta de potencia, la cual es la encargada de alimentar las bombas y los sensores.

El sistema permite ser encendido, apagado y monitoreado por el software Myopenlab, la fase de elaboración de este proyecto técnico se describe a continuación:

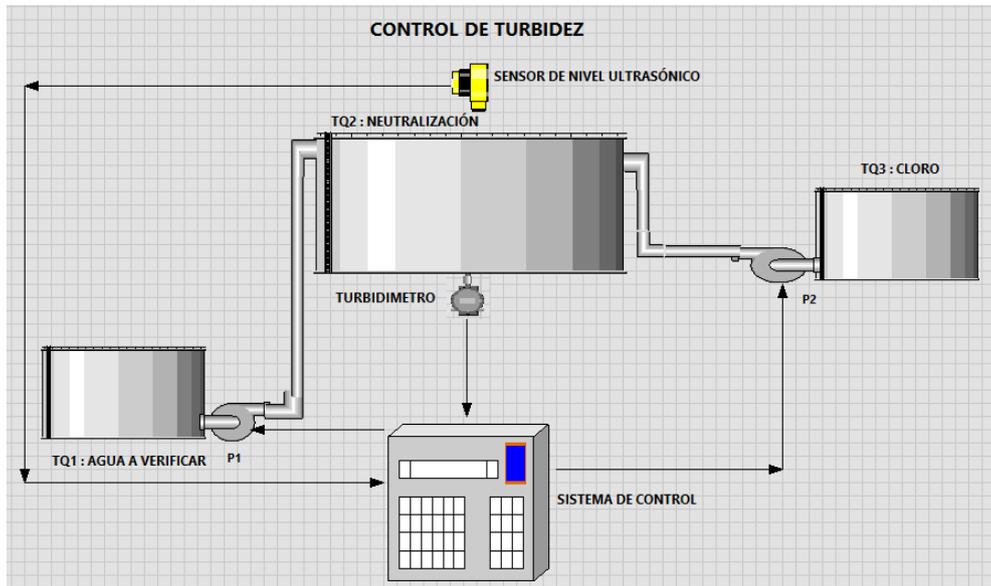


Figura 56: Diagrama Esquemático del Control de Turbidez.

Fuente: Autor

4.1 Sistema de Control:

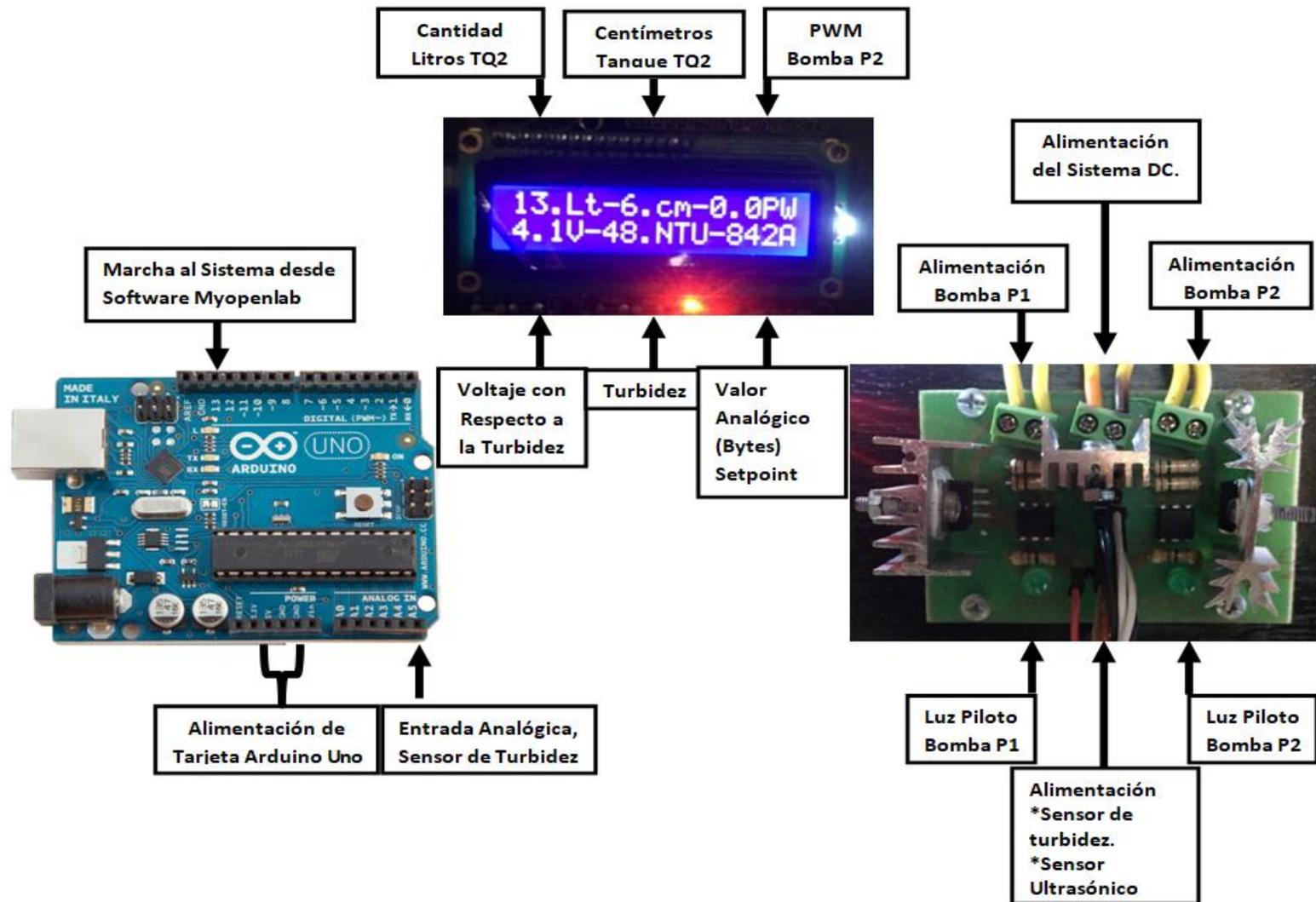


Figura 57: Esquema del Sistema Control.
Fuente: Autor

4.2 Desarrollo y Explicación del proceso:



Figura 58: Sistema de Neutralización de Agua Turbia.
Fuente: Autor

El diseño de la planta está conformado por tres tanques de vidrio de 6mm de espesor, de los cuales, el tanque N°1(TQ1) contiene agua libre de turbidez, este tanque TQ1 está conectado a la bomba P1, la cual es la encargada de enviar por medio de tuberías el líquido al tanque N°2(TQ2).

El tanque N°2(TQ2) donde se desarrollará la neutralización, tiene en la parte superior un sensor de nivel ultrasónico HC-SR04, el cual será el encargado de mantener informado al operador de la planta sobre el nivel de líquido en la unidad de medida litros (lt), mientras que en la parte inferior del tanque TQ2 tiene un sensor de turbidez analógico SKU: SEN0189, el cual será el encargado de detectar la calidad del agua mediante la detección de partículas en suspensión por medio de la luz que se transmite a través del agua y de la frecuencia que varía con la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST), ya que este sensor mide la transmitancia de luz dentro del líquido.

El tanque N°3(TQ3) es el encargado de almacenar cloro, una cantidad aproximada de 5 litros, este tanque permanece conectado a la bomba P2 la cual enviará por medio de tuberías el químico antes mencionado hacia el tanque N°2(TQ2), cuando el sensor de turbidez analógico SKU: SEN0189 detecte partículas en suspensión en el agua.

Durante la demostración se colocará yodo en el tanque N°2(TQ2), en ese momento sensorará el turbidímetro, el cual detectará partículas en suspensión por lo que inmediatamente el valor que se colocó en el setpoint de la programación sufrirá variaciones y le enviara una señal al sistema de control y este a su vez enviará pulsos a la bomba P2, la cual por las tuberías mandará cloro según la cantidad de turbidez que se detecte.

Por medio del control PID, la bomba P2 tiene una regulación del PWM, de 0 a 255, el cual permite que la bomba trabaje variando su velocidad dependiendo netamente de la turbidez en la que se encuentre el líquido.

Para este proyecto se utiliza yodo, ya que este componente es considerado una base química, esto significa que cuando se combina el yodo y el cloro al ser un ácido, se forma una oxidación obteniendo una purificación del iodo mediante la reducción y re oxidación con el cloro, quiere decir que presenta cambios en su estructura molecular y eso hace que cambie de color.

Mientras que el cloro es una disolución con una acidez menor, gracias a esto cuando se mezclan estos químicos se torna incoloro, por lo tanto la disolución resultante queda totalmente transparente.

Cabe recalcar que tanto las bombas, el turbidímetro y el sensor de nivel ultrasónico, se encuentran conectados directamente al sistema de control y alimentados a 5VDC para su correcto funcionamiento.



Figura 59: Sistema de control
Fuente: Autor

El sistema de control contiene una tarjeta de potencia, la cual controla el encendido y apagado de las bombas al momento de recibir la señal, a su vez esta tarjeta contiene un regulador de voltaje el que permite alimentar con 5VDC al sensor ultrasónico, al sensor de turbidez y a la pantalla LCD.

Contiene una tarjeta Arduino con las líneas de programación en general de la planta, además se realizó la conexión y configuración de los pines necesarios para el funcionamiento de la pantalla.

La pantalla LCD permite el monitoreo de la planta, contiene el valor en litros, la distancia desde el sensor ultrasónico hasta el líquido, el PWM de la bomba P2, el Voltaje con respecto a la turbidez, el valor en NTU (Unidad de Turbidez Nefelométrica) y el valor analógico del turbidímetro.

Por último la tarjeta Arduino UNO restante es utilizada para comunicación con el software Myopenlab, este microcontrolador debe contener las líneas de programación de la interface Firmata, la cual viene por default en Arduino, esta interface permite que exista la comunicación entre el software y el microcontrolador.

4.3 Modulación por Anchos de Pulsos

Mediante la aplicación que existe dentro de las herramientas de Arduino, llamada "Serial Potter " se pudieron obtener las siguientes graficas del ciclo de trabajo de la bomba, la siguiente imagen refleja la gráfica del PWM de la bomba P2, la cual se encuentra en cero ya que no existe turbidez alguna en el tanque

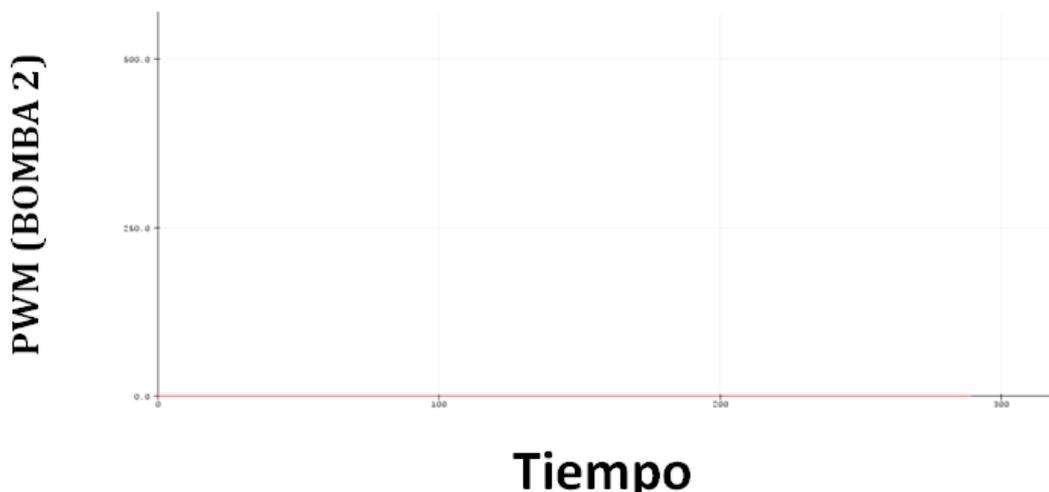


Figura 60: Línea Roja: Gráfica del PWM de la bomba P2.

Fuente: Autor

En la siguiente figura se visualiza la gráfica del PWM incrementando su valor sumamente rápido, esto como resultado de existir turbidez en el tanque, al elevarse el PWM a un valor de 255 la bomba P2, se encuentra encendida a su máxima velocidad, para de esta forma corregir el error que en este caso es la turbidez y así estabilizar el sistema.

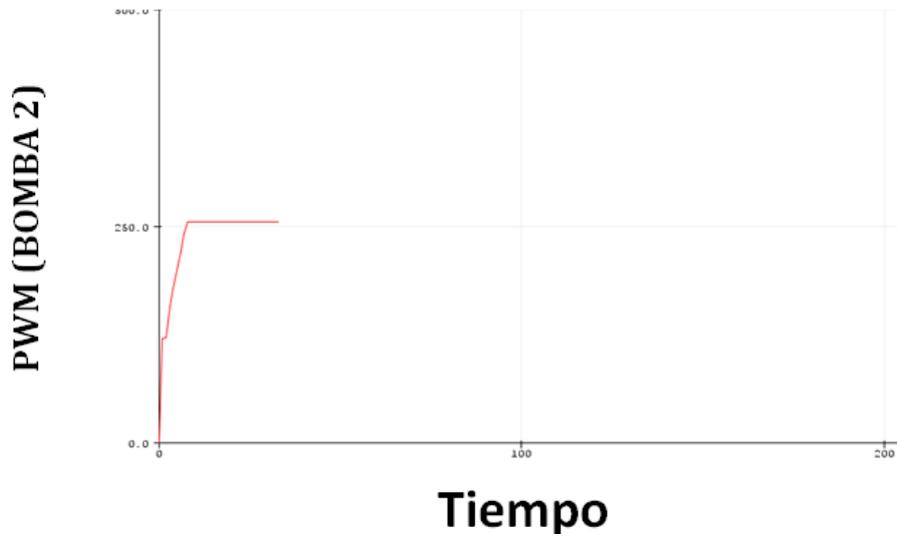


Figura 61: Línea Roja: Gráfica del PWM de la bomba P2.
Fuente: Autor

4.4 Pruebas con el sensor de Turbidez

Se realizaron varias pruebas con el turbidímetro con diferentes grados de turbidez, para así obtener datos más precisos de la referencia entre la turbidez y el voltaje.

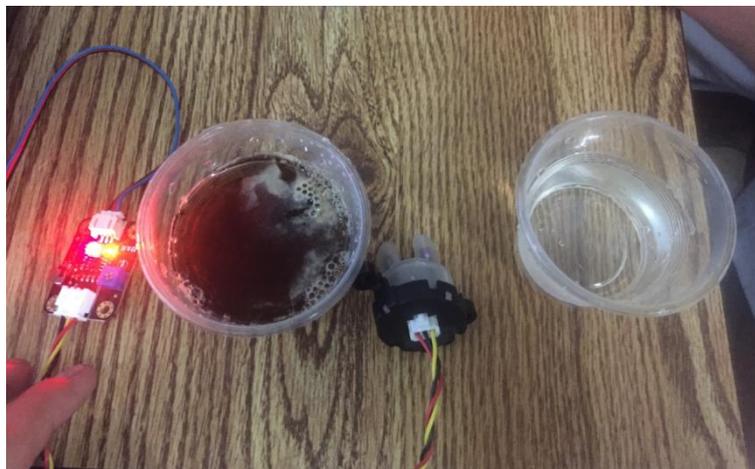


Figura 62: Turbidímetro junto a recipientes a evaluar, (Izq.) Agua con Yodo, (Der.) Agua libre de turbidez.
Fuente: (Autor)

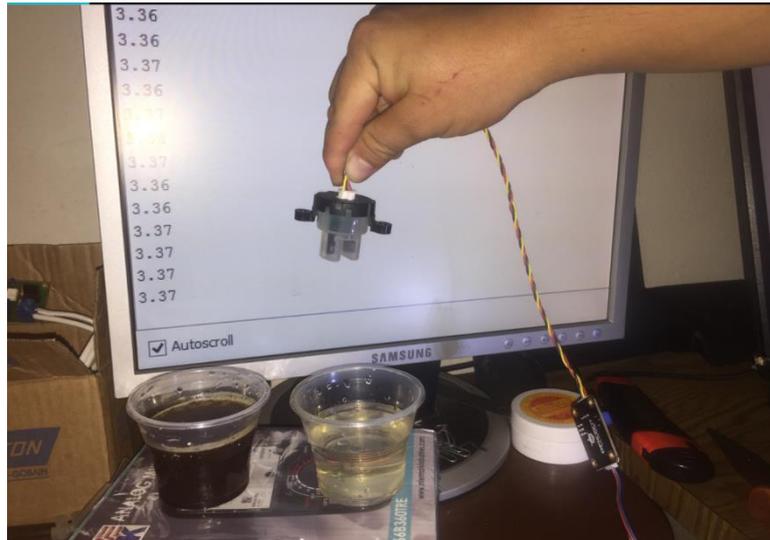


Figura 63: Imagen en la cual aprecia que el Turbidímetro debe permanecer siempre bajo líquido, de lo contrario al sensar el vacío dará un valor erróneo.

Fuente: (Autor)

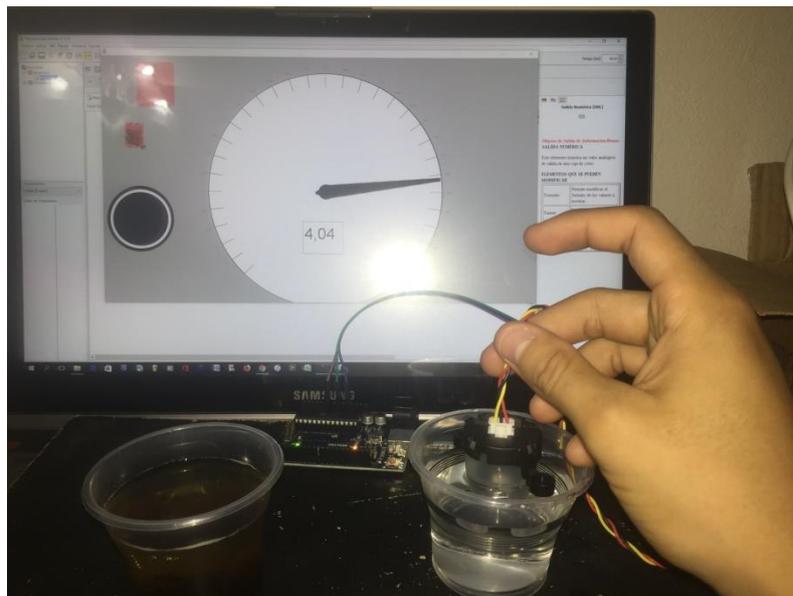


Figura 64: Gráfica de la relación entre la turbidez y el voltaje, se aprecia un valor de 4.04 voltios, al mantener el Turbidímetro sumergido en agua libre de turbidez.

Fuente: (Autor)

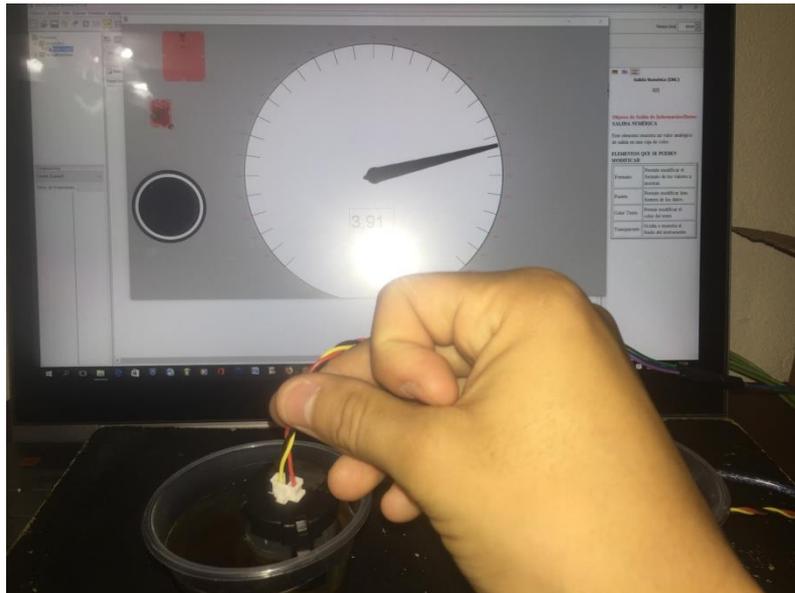


Figura 65: Gráfica de la relación entre la turbidez y el voltaje, se muestra un valor de 3.91 al sumergir el sensor en agua turbia.

Fuente: (Autor)

Se constató que al existir mayor turbidez será menor el valor con respecto al voltaje, ya que al introducir el sensor en agua sin turbidez arroja un valor de 4.04 Voltios, mientras que al sumergirlo en agua turbia por el Yodo, este nos da un valor de 3.91 Voltios.

Nota: Los valores que se obtuvieron a realizar esta prueba son diferentes a los que se muestra en los resultados de la planta, el motivo es la variación de iluminación que existe en el ambiente, esto significa que el valor que entrega el sensor como salida es variable según la cantidad de iluminación que perciba.

Más adelante podremos visualizar que para evitar esta variación constante de la señal, se creó un ambiente estable de iluminación, el cual nos permitirá tener un valor constante al momento de dar marcha al sistema.

A continuación se muestra una tabla publicada por el fabricante del turbidímetro, los valores que se visualizan en la tabla corresponde al voltaje con respecto a la turbidez:

VOLTAJE	NTU
3.27	500
4.1	50
4.21	0.5

Tabla 8: Valores Voltaje - Turbidez (NTU)

Fuente: Autor

Donde 0.5 NTU representa el valor del agua transparente, 50 NTU agua semiturbia y 500 NTU el valor del agua sumamente turbia, la otra columna existente representa el voltaje con respecto a la turbidez respectivamente. Luego se obtuvo la gráfica y fórmula para poder obtener el valor en la unidad de medida de la turbidez (NTU), al ser remplazado el voltaje en la constante x.

4.5 Obtención de control PID (Kp, Ki, Kd)

Para la obtención de los valores correspondientes al PID, kp - ki- kd, se realizó el cálculo recogiendo datos de la salida del sensor, luego con la ayuda del software Matlab se forma la planta y realice el controlador:

```

Command Window
fx >> clear all
close all
clc

%% Motor
r = 0.54; % Ohmios
k = 0.651; % V/(rad/seg)
f = 0.0653; % (N.m.seg)/Rad
l = 0.01; % Henrios
j = 0.432; % Kg.m^2
Vt = 120; % VDC

%% Función de transferencia con Salida (Velocidad Angular)
% considerando una carga mecánica aplicada Tl = 4 N.m
Tl = 4; %N.m
W = tf(Tl*r,[j*r f*r+k^2 0]);
figure(1)
rlocus(W)

%Control Proporcional
k = 5; %Valor que se encontro segun el lgr del lazo abierto
Cp = series(W,k);
%Control Proporcional integral
ki = 15;
PI = tf([k ki],[1 0]);
Cpi = W*PI;
%Control Proporcional integral derivativo
kd = 1.5;
PID = tf([kd k ki],[1 0]);
Cpid = W*PID;
% Funcion en lazo cerrado
W = feedback(W,1)
figure(3)
step(W)
hold on
step(feedback(Cpid,1))
hold off
grid on
legend('Planta', 'Controlador')

```

Figura 66: Código para hallar los valores del PID.

Fuente: Autor

```
Command Window

W =

      2.16
-----
0.2333 s^2 + 0.4591 s + 2.16

Continuous-time transfer function.

fx >> |
```

Figura 67: Función de Transferencia
Fuente: Autor

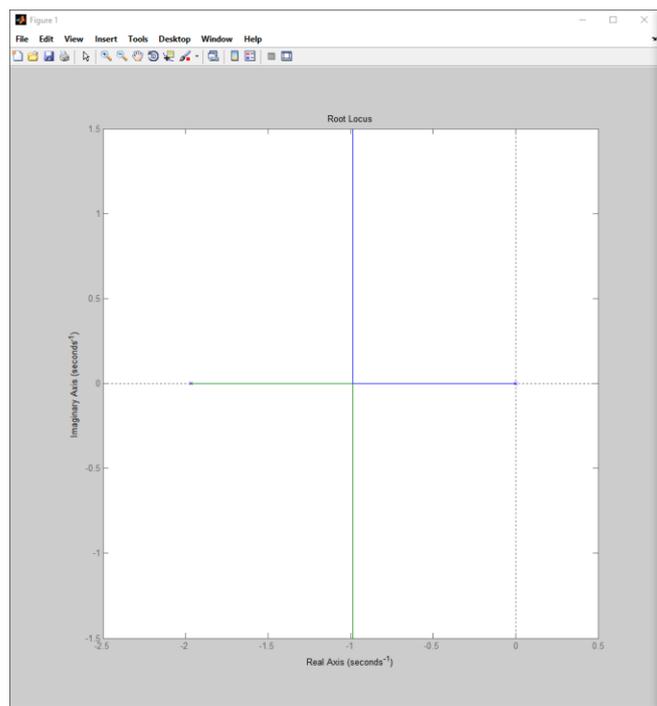


Figura 68: Polos en Lazo Abierto
Fuente: Autor

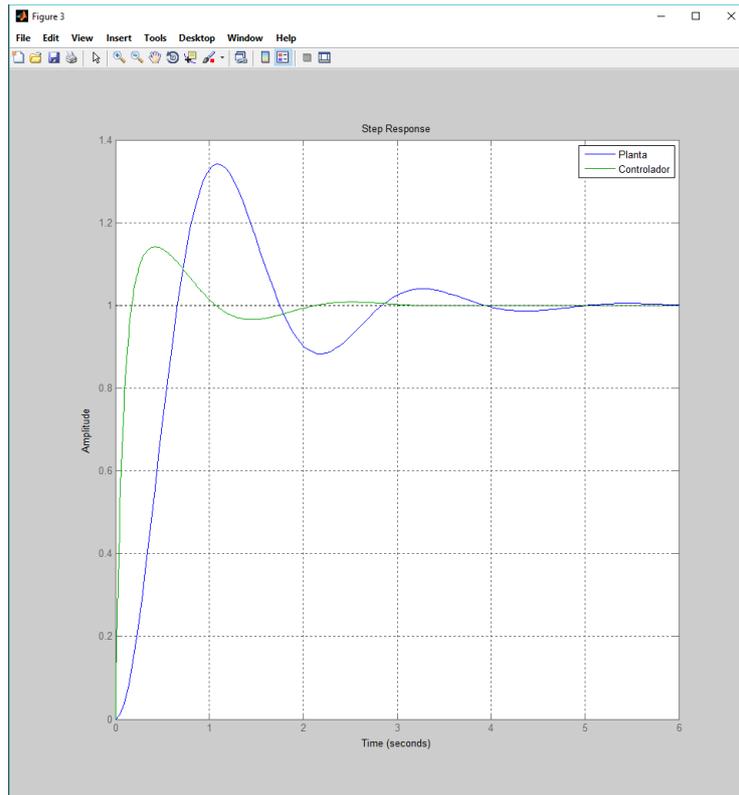


Figura 69: Gráfica de Estabilización del Sistema
Fuente: Autor

4.6 Desarrollo de la Aplicación.

El sistema de neutralización de agua tiene como característica principal el monitoreo con el software Myopenlab, este HMI trata de ser didáctico e intuitivo para que así el observador pueda entender la aplicación desde su forma básica.

La pantalla principal o panel frontal consta de un switch de marcha para dar arranque al sistema, el mismo que a su vez sirve para detenerlo, esta consta de una luz piloto la cual indica el encendido o apagado del sistema.

Consta de una gráfica que refleja la turbidez (NTU) con respecto al tiempo, también contiene dos instrumentos analógicos de aguja los cuales muestran los valores del voltaje con respecto a la turbidez y el valor analógico del turbidímetro el cual varía según la turbidez, incluye un barra gráfica la cual permite visualizar la turbidez en la unidad de medida NTU, y por último consta de una luz piloto la cual indica el nivel máximo del tanque TQ2 y a su vez se encarga de apagar las bombas P1 Y P2 para evitar el derrame del líquido.

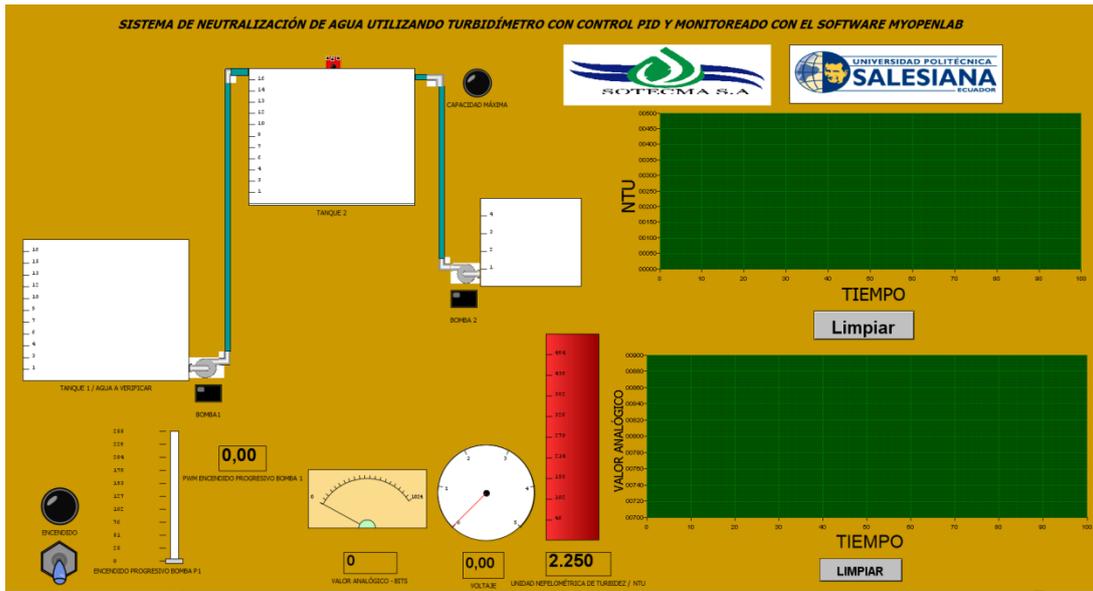


Figura 70: HMI o VI del sistema.
Fuente: Autor

El panel del circuito consta de una interface Arduino la cual permite la conexión con el microcontrolador, esta interface necesita las líneas de programación Firmata, las cuales vienen por default en Arduino.

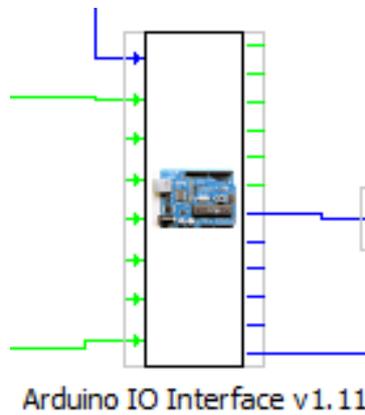


Figura 71: Arduino Interface V1.11
Fuente: Prof. José Manuel Ruiz Gutiérrez

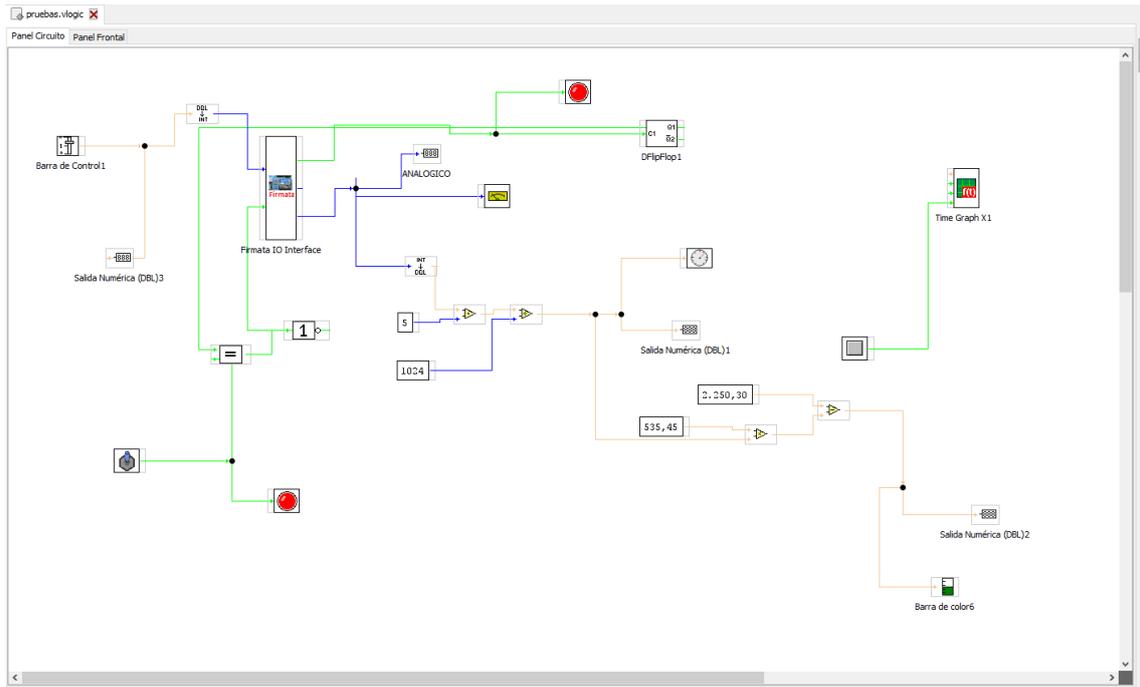


Figura 72: Panel Circuito
Fuente: Autor

A continuación se detalla la configuración de los pines del microcontrolador Arduino para lograr ser enlazado con el software Myopenlab, se debe ingresar en la opción "Config Pins", la cual se encuentra encerrada en un círculo verde:

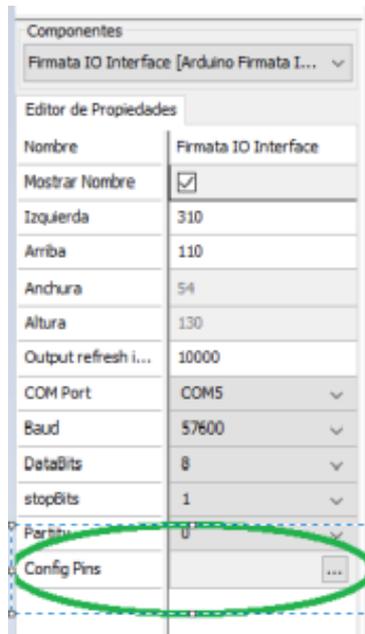


Figura 73: Configuración de Pines Arduino, mediante Myopenlab.
Fuente: Autor

Posteriormente se desplegó una pantalla detallando todos los pines existentes en Arduino Uno, para este proyecto se eligieron los pines, 6 encendido y apagado progresivo de la bomba P1, puerto 12 para encendido y apagado al máximo nivel del ancho de pulso, por último el puerto 19 (A5) recibe la lectura analógica de sensor de turbidez ,

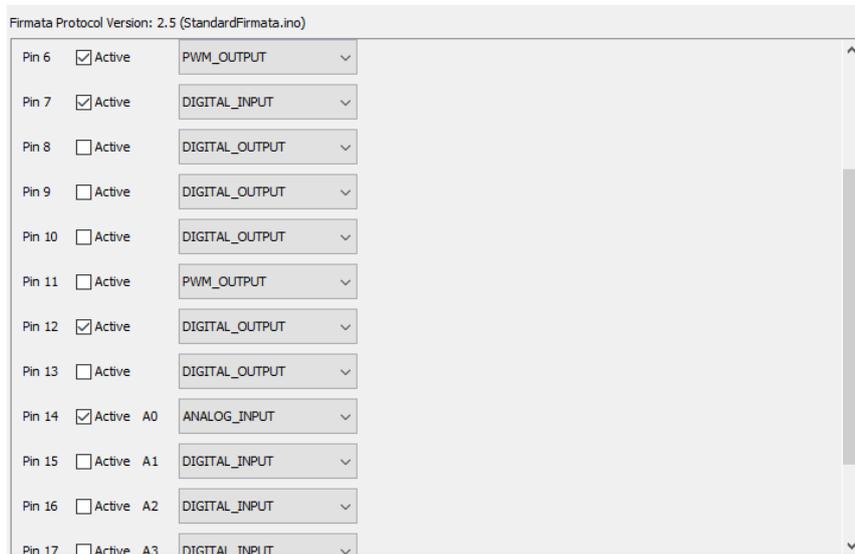


Figura 74: Configuración de Pines Arduino, mediante Myopenlab.

Fuente: Autor

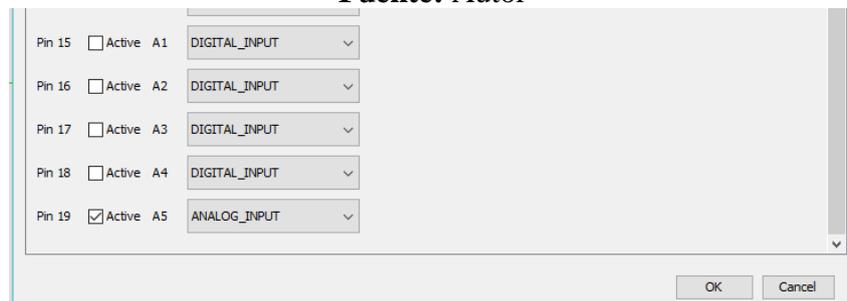


Figura 75: Configuración de Pines Arduino, mediante Myopenlab.

Fuente: Autor

4.7 Prueba y verificación del correcto funcionamiento de la Planta:

Se realizó esta prueba para constatar el correcto funcionamiento del sistema, a continuación en la siguiente imagen se visualiza la pantalla LCD, con los valores al momento de dar marcha desde el software, los cuales van variando según las perturbaciones.



Figura 76: Datos de pantalla LCD.
Fuente: Autor

Al momento de aplicar turbidez manualmente en el agua que se encuentra en el tanque, los valores de la pantalla se alteran.

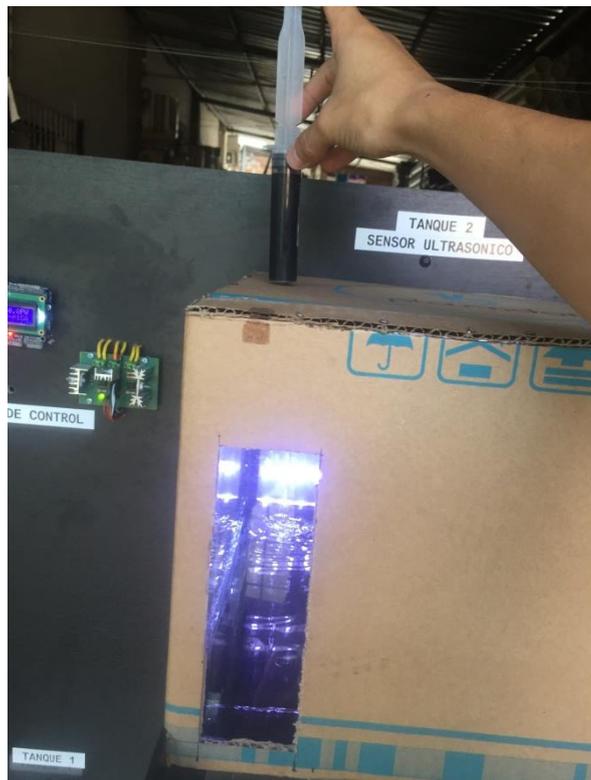


Figura 77: Aplicación de turbidez.
Fuente: Autor

Una vez aplicada la turbidez, que en este caso es Yodo, el turbidímetro detecta el error, enviando la señal a la tarjeta Arduino Uno y esta a su vez a la bomba P2, para que corrija rápidamente la perturbación, enviando la dosificación necesaria del líquido neutralizador, en este caso es cloro, el cual neutraliza el Yodo. De esta manera se aplica el control PID, corrigiendo el error existente, por medio un sistema de retroalimentación y estabilizando el sistema de forma rápida y eficaz.

En la siguiente figura se observa turbidez dentro del tanque:

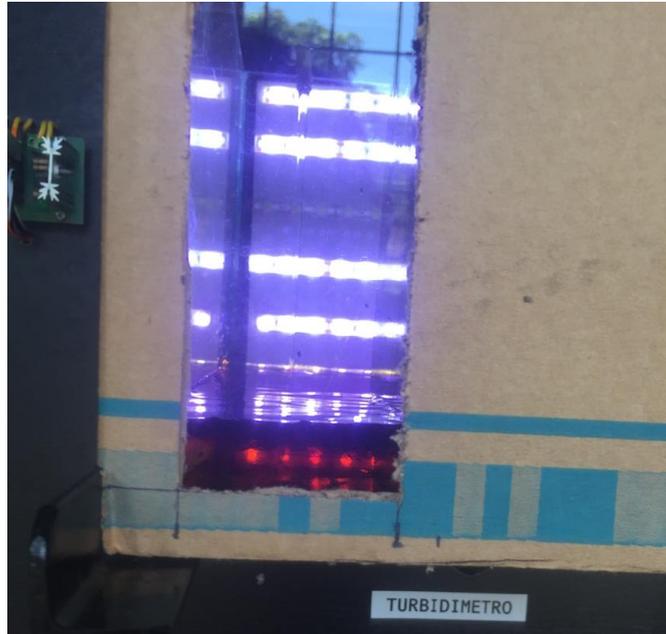


Figura 78: Turbidez aplicada al tanque TQ2.

Fuente: Autor

Los valores del PWM han incrementado casi al máximo, corrigiendo de esta forma el error rápidamente, también han variado los valores en NTU, al existir turbidez y por último el valor analógico del turbidímetro se ha disminuido, ya que el set point se encuentra en 830, al reducirse este valor automáticamente el sensor detecta la turbidez.



Figura 79: Visualización de los valores al momento de existir turbidez.

Fuente: Autor

En la siguiente imagen podemos verificar el estado del agua del tanque, podemos constatar que el proceso de neutralización se realizó con éxito, estabilizando el sistema mediante el proceso de realimentación.

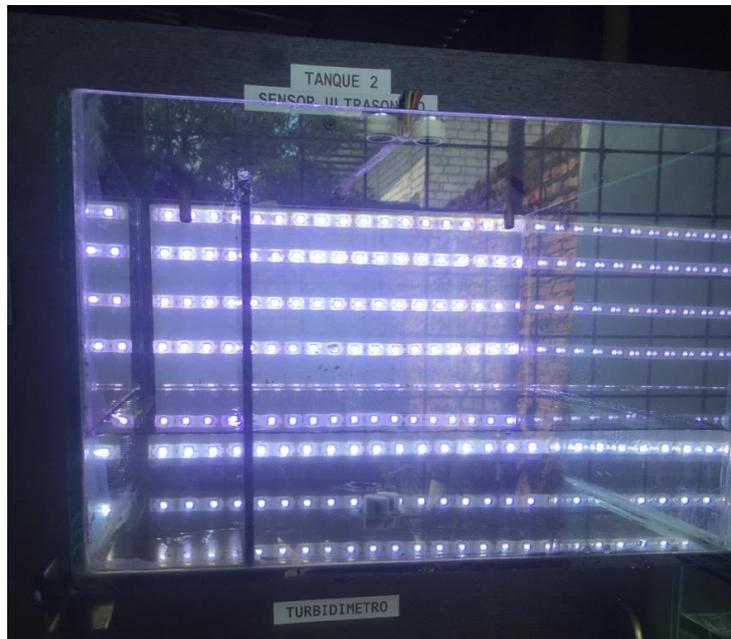


Figura 80: Visualización del tanque 2 neutralizado, sin turbidez.

Fuente: Autor

4.8 Valores mostrados en el HMI.

La planta cuenta con 2 modalidades de encendido, el switch alimenta el sistema, provocando que la bomba 1 (P1) se active a su velocidad máxima, mientras que el otro método de encendido, cuenta con una regulación progresiva del PWM de la bomba, esto se implementó con la finalidad de que el agua circule pausadamente y poder tener un control del ingreso del agua.

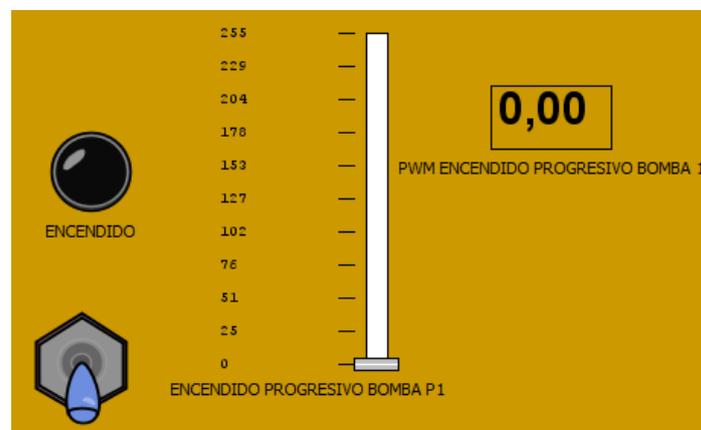


Figura 81: Modalidades de Encendido.

Fuente: Autor

La pantalla del HMI también cuenta con un instrumento analógico de aguja y una salida numérica, las cuales nos indican en valor analógico en bits, según las variaciones que se den en la planta.



Figura 82: Valor Analógico en Bits - Instrumento de Aguja.
Fuente: Autor

También se visualiza un instrumento analógico circular de aguja con su respectiva salida numérica, las cuales muestran el voltaje con respecto a la turbidez del sistema.

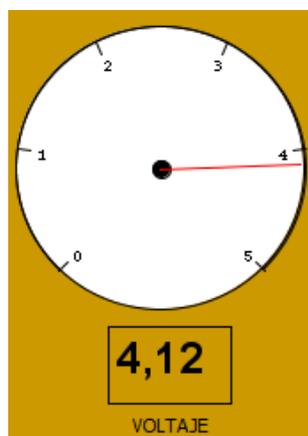


Figura 83: Voltaje - Instrumento Analógico circular de aguja.
Fuente: Autor

Para monitorear el NTU en el HMI, el sistema cuenta con una barra gráfica, la cual permite verificar en una barra de color el valor de la variable de entrada que en este caso es entregada por el sensor de turbidez y en la parte inferior se colocó una salida numérica.

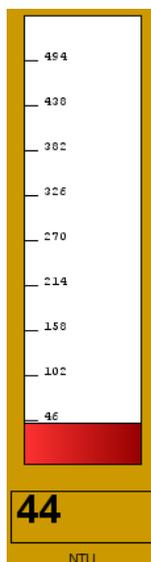


Figura 84: Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) - **Barra gráfica.**

Fuente: Autor

4.9 Gráficas del Sistema

Dentro de los valores que entrega el sensor de turbidez, se encuentra el voltaje (mV), las Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) y el valor Analógico en Bits.

Al realizar varias pruebas se constató que el valor del voltaje que entrega el sensor al ser en mV, es sumamente pequeño por esta razón este valor es demasiado inestable, por lo tanto no es la mejor opción para colocar el setpoint en voltaje.

Otro de los valores que entrega el sensor de turbidez es en NTU, este valor antes de comenzar el proceso es de aproximadamente 61 NTU, luego de desarrollarse la fase de neutralización este valor decrece ya que existe una mezcla de moléculas de yodo, cloro y agua, al formarse esta combinación, entre estos 3 elementos el yodo se oxida, ya que es una base química y queda predominando el cloro el cual es un ácido, que permite el aclaramiento del agua y por esta razón el valor resultante es de aproximadamente 51 NTU. Al existir esta variación de los NTU, tampoco es la mejor opción para colocar el setpoint, ya que si colocamos al principio de las pruebas un setpoint de 61 NTU, luego de realizar el proceso este quedará por debajo del setpoint y al querer colocar nuevamente turbidez, no se cumplirá el objetivo de neutralización, porque el valor se encuentre por debajo y lejos del setpoint.

El Valor Analógico en bits es la mejor opción para ser colocado como setpoint, ya que es un valor bastante estable e invariable, este valor tiene un rango de 0 a 1023 bits, donde el agua transparente antes del proceso arroja un valor de 839 bits y luego de desarrollarse la fase de neutralización este valor queda en 841, podemos notar que el

valor no sufre un cambio considerable por lo tanto este valor se lo estableció como setpoint.

Finalmente se visualizan varias graficas del NTU con respecto al tiempo, en las gráficas se puede notar la variación que existe en el sistema, al momento de existir turbidez la curva crece significativamente, rápidamente el control PID, estabiliza el sistema, y se visualiza como la curva se recupera a su esta inicial.

Los valores colocados para el correcto funcionamiento del control son: $K_p= 5$, $K_i= 15$, $K_d= 1.5005$, estos valores se obtuvieron para obtener una respuesta rápida y eficaz del sistema.

- **Varias aplicaciones de Turbidez**

Primera aplicación de Turbidez

En la primera figura se puede apreciar la gráfica del NTU con respecto al tiempo, a los 40 segundos se aplica la turbidez y se nota una variación en la gráfica, esta variación nos alerta que existe turbidez en el sistema, en un lapso de 20 segundos la gráfica decrece, quiere decir que ya se cumplió el proceso de neutralización, la gráfica no regresa a su estado inicial ya que al estar utilizando cloro, el agua se aclara más, por eso se aprecia que la gráfica baja un poco más al ser comparada con la inicial, pero vemos que el sistema queda estable nuevamente.

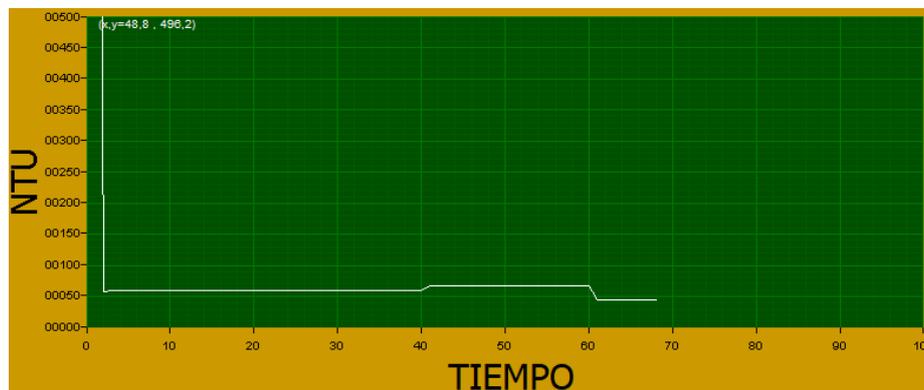


Figura 85: Gráfica NTU con respecto al tiempo (Primera aplicación).

Fuente: Autor

Segunda aplicación de Turbidez

Al aplicar turbidez en el sistema por segunda ocasión a los 98 segundos, vemos como nueva ente se forma una gráfica similar a la de la primera vez q se aplicó la turbidez, y tarda aproximadamente el mismo tiempo en restablecer el sistema.

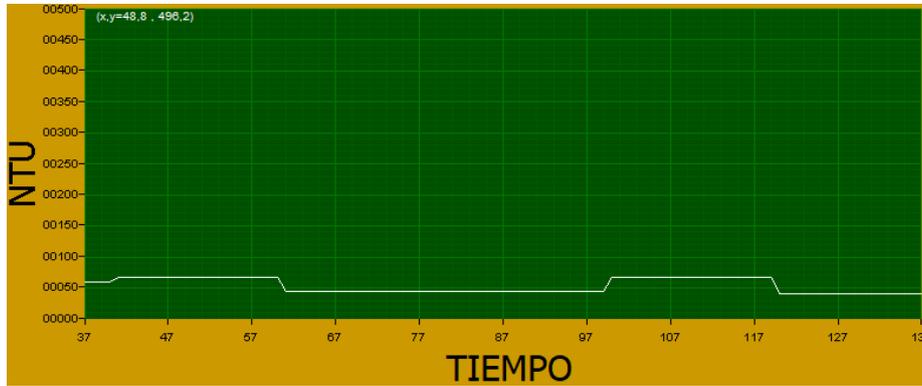


Figura 86: Gráfica NTU con respecto al tiempo (Segunda aplicación).

Fuente: Autor

Tercera aplicación de Turbidez

Se realizó la aplicación de la turbidez varias veces en la planta, ya que en cualquier proceso podría existir varias veces la presencia de turbidez y el sistema debe cumplir con el requerimiento de neutralizar el agua. En la siguiente figura se visualiza que en la gráfica en el segundo 179 y 199 corresponde a la tercera aplicación de turbidez y que luego nuevamente se estabiliza, lo cual contribuye que no existe turbidez en la planta.

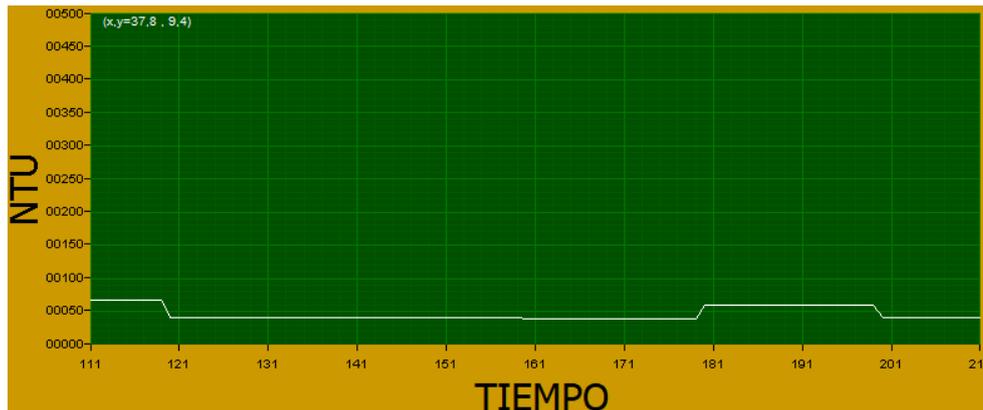


Figura 87: Gráfica NTU con respecto al tiempo.

Fuente: Autor

Conclusiones:

- Mediante el diseño de un lazo de control cerrado, el cual permite la variación del ancho de pulso (PWM) de la bomba, se logró regular el flujo de cloro hasta obtener la neutralización deseada.
- Se diseñó e implementó una planta neutralizadora de agua turbia basada en un control PID la cual consta de un sensor de turbidez con salida analógica.
- Para el control de nivel del tanque, se implementó un indicador de nivel ultrasónico, el cual se encarga de mantener informado al operador el nivel del tanque y al encontrarse repleto mandar una señal de alerta la cual a su vez para el sistema indicando que se debe vaciar el tanque.
- Utilizado el software Myopenlab se elaboró un control HMI para poder monitorear y controlar del sistema.
- Al realizar varias pruebas, se pudo constatar que el turbidímetro es afectado en su totalidad por el cambio de iluminación, ya sea artificial o natural, esto quiere decir que la salida del sensor variara según la iluminación que reciba, ya que el sensor realiza la medición según la transmisión de luz y la tasa de dispersión, por este motivo se creó un ambiente de iluminación estable para el sensor y de esta manera evitar el cambio de parámetros.
- El sistema implementado cumple con las características y funciones planteadas, de las cuales la principal es la neutralización del agua turbia.
- Al realizar varias pruebas en la planta se pudo sacar la conclusión de que, el valor de la turbidez (NTU) del agua, nunca podrá ser el mismo al inicio del proceso, y después de haber pasado por la neutralización, ya que existe un cambio de moléculas entre agua, cloro, yodo. Y en este caso el cloro con sus propiedades realiza la transformación del agua dejándola en un valor inferior de turbidez (NTU) con respecto al inicio del proceso.

Recomendaciones:

- Realizar un estudio previo de las condiciones donde se desea implementar el sistema, para de esta manera conseguir un óptimo funcionamiento del proceso.
- El sensor de turbidez debe permanecer siempre en un lugar donde no haya cambio de luz, ya sea luz artificial o luz solar, ya que dentro de las pruebas que se realizó se pudo constatar que a dicho sensor le afecta al 100% el cambio de luz, entregando valores alterados.
- Para este tipo de sistemas en los que se encuentra turbidez o partículas externas no deseadas, se debe realizar una limpieza constante ya que este consta de sensores los cuales podrían dar una lectura falsa al ser afectado por contaminaciones, es por eso que se recomienda una limpieza constante, por lo menos una vez cada tres meses, para así evitar lecturas erróneas en la planta.
- Designar personal específico para el manejo, control y mantenimiento del sistema, siendo capacitado previamente para no tener inconvenientes en el proceso.
- Para implementar el sistema en una planta de mayor escala, se recomienda utilizar otro tipo de sensores y microcontroladores de mayor alcance, ya que este proyecto es un prototipo de pruebas.

Bibliografía

- Rigola Lapeña, M. (1990). Tratamiento de aguas industriales: agua de proceso y residuales. Barcelona (España): MARCOMBO S.A. Obtenido de: <https://books.google.com.ec/books?isbn=8426707408>
- Fors I Comet, R. (1841). Farmacia experimental. Barcelona: Jose Taulo.
Rigola Lapeña, M. (1990). Tratamiento de aguas industriales: agua de proceso y residuales. Barcelona(España): MARCOMBO S.A.
- Rivas Panchana, R. (2010). Diseño e implementación de un módulo automatizado para el control de la turbidez de fluidos industriales. Guayaquil: Rivas Panchana.
- Tobajas, C. (2011). Elementos de un sistema domótico. En Instalaciones domóticas (págs. 1-5). Cano Pina.
- Arduino AG. (2017). Arduino. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- DF, R. (2016). Gravedad: Sensor de Turbidez Analogico para Arduino. Shanghai: GNU FDL.
- Torrente Artero, O. (2013). Arduino: curso práctico de formación. Madrid: Grupo RC.
- Mendez, A. (2016). DISIPADORES TÉRMICOS PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS. BARCELONA: GA.
- Orellana Apolinario, J., & Cascante Yopez, A. (2017). Modelado y control de posicion de un cilindro de doble efecto utilizando pid y pid-difuso con matlab y labview. Guayaquil.
- Zetina M., Á., & Zetina C., Á. (2004). Electrónica Básica. Mexico DF: Limusa S.A.
- Guijarro, J., & Vivar, J. (2015). Diseño e implementación de un levitador electro-magnetico basado en un control PID utilizanando Labview. Guayaquil.
- Ortiz, P., Dutan, B., Jaramillo, L., Avila Campoverde, R., Aleman, M., Montedeoca Contreras, J., et al. (2014). Linearization of mass spring damper system for applying linear cntrol PID techniques. Mexico.
- Punzenberger, I. (2003). Interfaz Hombre-Máquina. Austria: COPADATA.
- Cana, J. (2016). Sensor HC-SR04. HTPRO.
- DFrobot. (2016). LCD keypad shield. Shanghai: GNU FDL.

- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., & Zambrano, L. (2007). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. México D.F.: IEPSA.
- Ogata, K. (2003). Ingeniería de control moderna. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Ñeco García, R. P., Reinoso García, O., García Aracil, N., & Aracil Santonja, R. (2003). Apuntes de sistemas de control. San Vicente: Club Universitario.
- 3D, C. S. (2018). CIRCUITO INTEGRADO REGULADOR L7805CV. España.
- Arcsin. (2008). Ficha Técnica Clorox.

Anexos

Anexo 1: Empresa Beneficiada

Sotecma

Sobre Nosotros

Somos un grupo de profesionales dedicados a brindar asesoría técnica en las áreas de medio ambiente, buenas prácticas de manufactura, productividad, seguridad y salud en el trabajo.

En SOTECMA S.A. a todo nivel nos esforzamos por alcanzar nuestras metas para cumplir con las necesidades de nuestros clientes, cada uno de los servicios que ofrecemos, todo en la empresa contribuimos a:

*Satisfacer plenamente y a tiempo las necesidades de clientes internos y externos.

*Aplicar y mantener en todos nuestros servicios los estándares de calidades nacionales e internacionales.

Misión

En Sotecma S.A., nuestra misión es brindar servicios de asesoramiento técnico profesional de calidad dentro del cronograma establecido para lograr la completa satisfacción de nuestros clientes.

Visión

Nuestra visión es ser líderes dentro del campo de consultoría, concientizar a todos los actores sociales sobre los aspectos de Calidad, Seguridad y Medio Ambiente relacionados a las actividades industriales, además de brindar ayuda a nuestra comunidad.

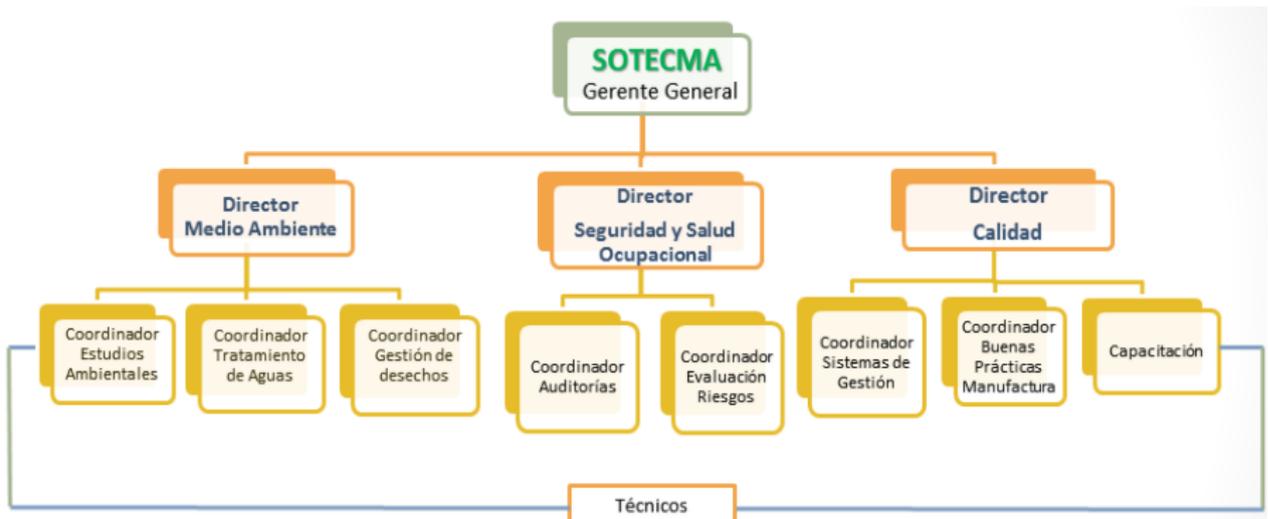


Figura 88: Sotecma, Equipo de trabajo.

Fuente: (Sotecma, 2018)

Los servicios que brinda la Empresa Sotecma:

Seguridad y salud en el trabajo

- Implementación de Política
- Planificación del Sistema de Gestión
- Organización del Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo;
- Elaboración del reglamento interno de SST, Conformación del Comité de SST
- Auditorías interna y externas de cumplimiento.
- Identificación de los factores de Riesgos.
- Inspecciones de Seguridad y Salud
- Capacitación en temas de Seguridad
- Análisis de riesgo
- Mapa de riesgo
- Planes de contingencia
- Evaluación de tareas críticas
- Inspección de áreas de trabajo.
- Investigación de Incidentes y Accidentes.
- Preparación para emergencias
- Asesoría en la legislación de Seguridad y Salud Ocupacional vigente.
- Control de salud, Elaboración de Fichas médicas.
- Asesoría en implantar sistemas de Seguridad Industrial
- Identificación de las necesidades de EPP, según las exposiciones a riesgo.
- Elaboración de manuales, instructivos, procedimientos y programas Operativos.
- Seguimiento de los Indicadores de Gestión en Seguridad y Salud Ocupacional.

Medio Ambiente

Nuestros profesionales tienen amplia experiencia en la elaboración de los diversos proyectos ambientales en empresas de reconocido prestigio en el país, podemos a vuestra consideración los siguientes servicios:

- Procesos de Entrenamiento y Capacitación en asuntos ambientales
- Seguimiento a Planes de Acción.
- Elaboración y seguimiento al Plan de manejo ambiental.
- Desarrollo de soluciones ambientales
- Diseño, construcción y puesta en marcha de Unidades de tratamiento para aguas residuales.
- Estudios de Impacto Ambiental.
- Ejecución de Auditorías Ambientales.
- Ejecución de Fichas Ambientales
- Diagnósticos ambientales.
- Sistemas de Gerencia ambiental.
- Asesoría en implantar Sistemas de Gestión Ambiental.
- Asesoría Legal en la Normativa Ambiental Vigente.

Manejo de procesos legales con las diversas instituciones del Estado.

Calidad

- Entrenamiento y Capacitación en temas de Calidad.
- Asesoría en implantar BPM.
- Asesoría en implantar HACCP.
- Realización de Auditorías internas.
- Proceso de mejoramiento continuo.
- Formación de Auditores Internos.

Sustancias catalogadas sujetas a fiscalización

- Procesos de Obtención de licencia
- Sistemas de Ampliación de cupo
- Inclusiones de Sustancias
- Procesos de Renovación
- Asesoría Legal en la Normativa Vigente
- Defensa Jurídica en conflictos legales con entes del Estado.

Asuntos regulatorios en salud

- Obtención de Registros Sanitarios
- Etiquetado de alimentos con semáforos.
- Permiso de funcionamiento para industria de alimentos.

La empresa Sotecma tiene dentro de su planificación incrementar el servicio de "Neutralización de Aguas Turbias", es por esto que se realiza este proyecto técnico, el cual será usado como prototipo de demostración.

Ubicación

Oficina 1: Edificio City Office – Av. Dr. Emilio Romero Menéndez y Av. Benjamín Carrión, Quinto piso, Of 504.
Teléfono oficina 1: 5068552

Oficina 2: Florida Norte Mz. 401- Villa 16
Teléfono oficina 2: 042259250
Móvil: 0994532462

Email: info@sotecmaecuador.com

Anexo 2: Líneas de Programación en Arduino

```
#include <PID_v1.h>
#define PIN_OUTPUT 3

#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
const int PinTrig = 11 ;
const int PinEcho = 12 ;
const int apago = 13 ;
///<----
const float VelSon = 34000.0;
unsigned long tiempo = 0 ;
float distancia = 0 ;
float distanciaLleno = 0 ;
float cantidadLiquido = 0 ;
float agualt = 0 ;

// distanciavacio - distancia500
const float distancia500 = (0.54); // 1/2 litro // 1 litro 19.74
// Distancia al vacio
const float distanciaVacio = 20.77; //21.39 21.49 21.06 //21.3 21.5
///<----
//colocamos variables we'll be connecting to
doubleSetpoint, Input, Output, suma;
float voltaje = 0 ;
float ntu = 0 ;

// Especifica los enlaces y los parámetros de ajuste iniciales
double Kp=5, Ki=15, Kd=1.5005;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  //initialize the variables we're linked to
  //Input = analogRead(PIN_INPUT);

  pinMode(PinTrig, OUTPUT);
  // Ponemos el pin Echo en modo entrada
  pinMode(PinEcho, INPUT);
  pinMode (apago,OUTPUT);
  suma = analogRead(A4);

  /*******
  Setpoint =819; //811 //813
  /*******
  //turn the PID on
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  //mensaje de Bienvenida
  lcd.clear();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("*Proyecto Tesis*");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("*** DARIO ARCE ***");
  delay(2500);
```

```

}

void loop()
{
  Input = ADC0_promedio(600);
  float voltaje = (Input * (5.0 / 1024.0));
  float ntu = (-535.45 *(Input * (5.0 / 1024.0))) + (2250.3) );
  myPID.Compute();
  analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
  iniciarTrigger();
  unsigned long tiempo = pulseIn(PinEcho, HIGH);
  float distancia = tiempo * 0.000001 * VelSon / 2.0;
  float distanciaLleno = distanciaVacio - distancia;
  float cantidadLiquido = distanciaLleno * 500 / distancia500;
  if (distancia <= 6.30)
  {
    digitalWrite(PIN_OUTPUT, LOW);
    digitalWrite(apago, HIGH);
    lcd.clear();
    lcd.print("CAPACIDAD MAXIMA");
    lcd.print("VACIAR TANQUE");
    //Serial.print(" - distancia ");
    // Serial.println(distancia);
    delay(250);
  }
  else
  {
    digitalWrite(apago, LOW);
    Input = ADC0_promedio(600);
    float voltaje = (Input * (5.0 / 1024.0));
    float ntu = (-535.45 *(Input * (5.0 / 1024.0))) + (2250.3) );
    myPID.Compute();
    analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
    iniciarTrigger();
    unsigned long tiempo = pulseIn(PinEcho, HIGH);
    float distancia = tiempo * 0.000001 * VelSon / 2.0;
    float distanciaLleno = distanciaVacio - distancia;
    float cantidadLiquido = distanciaLleno * 500 / distancia500;
    agualt = cantidadLiquido /1000;
    //analogWrite(litros, agualt);
    Serial.print(" - analogico ");
    Serial.print(Input);
    Serial.print(" - pwm ");
    Serial.println(Output);

    //*****
    lcd.clear();
    lcd.begin(16, 2);

    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.print("Lt-");
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print(distancia);

    lcd.setCursor(8,0);
    lcd.print("cm-");

```

```

    lcd.setCursor(11,0);
    lcd.print(Output);

    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print("PWM");
    //*****
}
// Serial.print(" - analogico ");
// Serial.print(Input);
// Serial.print(" - pwm ");
// Serial.println(Output);
//-----
}
void iniciarTrigger()
{
    // Ponemos el Triiger en estado bajo y esperamos 2 ms
    digitalWrite(PinTrig, LOW);
    delayMicroseconds(2);

    // Ponemos el pin Trigger a estado alto y esperamos 10 ms
    digitalWrite(PinTrig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    // Comenzamos poniendo el pin Trigger en estado bajo
    digitalWrite(PinTrig, LOW);
}
int ADC0_promedio(int n)
{
    long suma=0;
    for(int i=0;i<n;i++)
    {
        suma=suma+analogRead(A4);
    }
    return(suma/n);
}

```

Anexo 3: Cronograma de duración del proyecto

ACTIVIDADES	1 MES				2 MESES				3 MESES				4 MESES				5 MESES				6 MESES				7 MESES				8 MESES				9 MESES				10 MESES							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
ELECCION DEL TEMA	█																																											
ELABORACION DEL ANTEPROYECTO		█																																										
CORRECCIONES POR PARTE DE DOCENTES REVISORES			█																																									
APROBACION DE CONSEJO				█																																								
COMPRA DE MATERIALES A UTILIZAR				█																																								
ELABORACIÓN DE ESTRUCTURA METALICA, TANQUES Y TUBERIAS.					█																																							
IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL						█																																						
ELABORACION DEL HMI EN MYOPENLAB							█																																					
ARRIBO Y COLOCACIÓN DEL TURBIDIMETRO								█																																				
PROGRAMACION EN ARDUINO DEL SISTEMA DE CONTROL									█																																			
IPLEMETACION DEL INDICADOR DE NIVEL ULTRASONICO										█																																		
DISEÑO DE UN LAZO DE CONTROL PARA LA REGULACION DE FLUJO DE CLORO											█																																	
REALIZACION DE VARIAS PRUEBAS Y OBTENCION DE DATOS												█																																
REDACCION DEL PROYECTO													█																															
SOLICITUD VISITA TECNICA																																												
PRIMERA VISITA TECNICA																																												
REALIZACION DE LAS CORRECCIONES SEGUN REVISORES																																												
PRUEBAS DEL CORRECTO Y COMPLETO FUNCIONAMIENTO																																												
SOLICITUD VISITA TECNICA																																												
APROBACION DE LA PLANTA																																												
REVISION Y CORRECCION DEL BORRADOR DEL PROYECTO																																												
ENTREGA Y SUSTENTACION DEL PROYECTO DE TITULACION																																												

Figura 89: Cronograma de trabajo.

Fuente: (Autor, 2018)

Anexo 4: Presupuesto del Proyecto de Titulación

El presupuesto para realizar el proyecto en su mayoría fue cubierto por el autor, a excepción del turbidímetro y el sensor ultrasónico, tal como se detalla en la siguiente tabla:

CANTIDAD	EQUIPOS	VALOR
1	TURBIDIMETRO (Donado por Sotecma)	\$50.00
1	SENSOR DE NIVEL ULTRASONICO(Donado por Sotecma)	\$4.00
2	BOMBAS LIMPIAPARABRISAS 12VDC	\$ 30.00
3	TANQUES DE VIDRIO DE 6MM	\$ 200.00
4	METROS TUBERIA DE COBRE	\$ 48.00
2	TARJETAS ARDUINO	\$ 25.00
1	PANTALLA LCD 16 x 2	\$ 6.00
1	TARJETA DE POTENCIA	\$ 25.00
2	TUBOS CUADRADO DE 40MM X 3MM	\$ 50.00
1	TABLERO DE RH LAMINADO	\$ 30.00
1	BATERIA DE 12 VDC	\$ 22.00
1	REGULADOR DE VOLTAJE DE 110VAC- 12VDC	\$ 20.00
3	LLAVES DE PASO 3/4"	\$ 12.60
3	TANQUES PLASTICOS/ ALIMENTACION Y DESFOGUE	\$ 35.00
1	ANGULO DE 3/16" x 1"	
1	ACOPLE PARA TANQUE DE 3/4"	\$ 2.75
3	INTERRUPTORES OJO DE CANGREJO	\$ 9.00
1	DISCO DE CORTE DE 4"	\$ 2.00
3	LIBRAS SOLDADURA AGA 6011	\$ 5.70
5	GALONES DE CLORO	\$ 25.00
2	GALONES DE IODO	\$ 64.00
TOTAL		\$ 666.05

Tabla 9: Presupuesto de Trabajo.

Fuente: Autor

Anexo 5: Propuesta de solución en Diagrama de Bloques

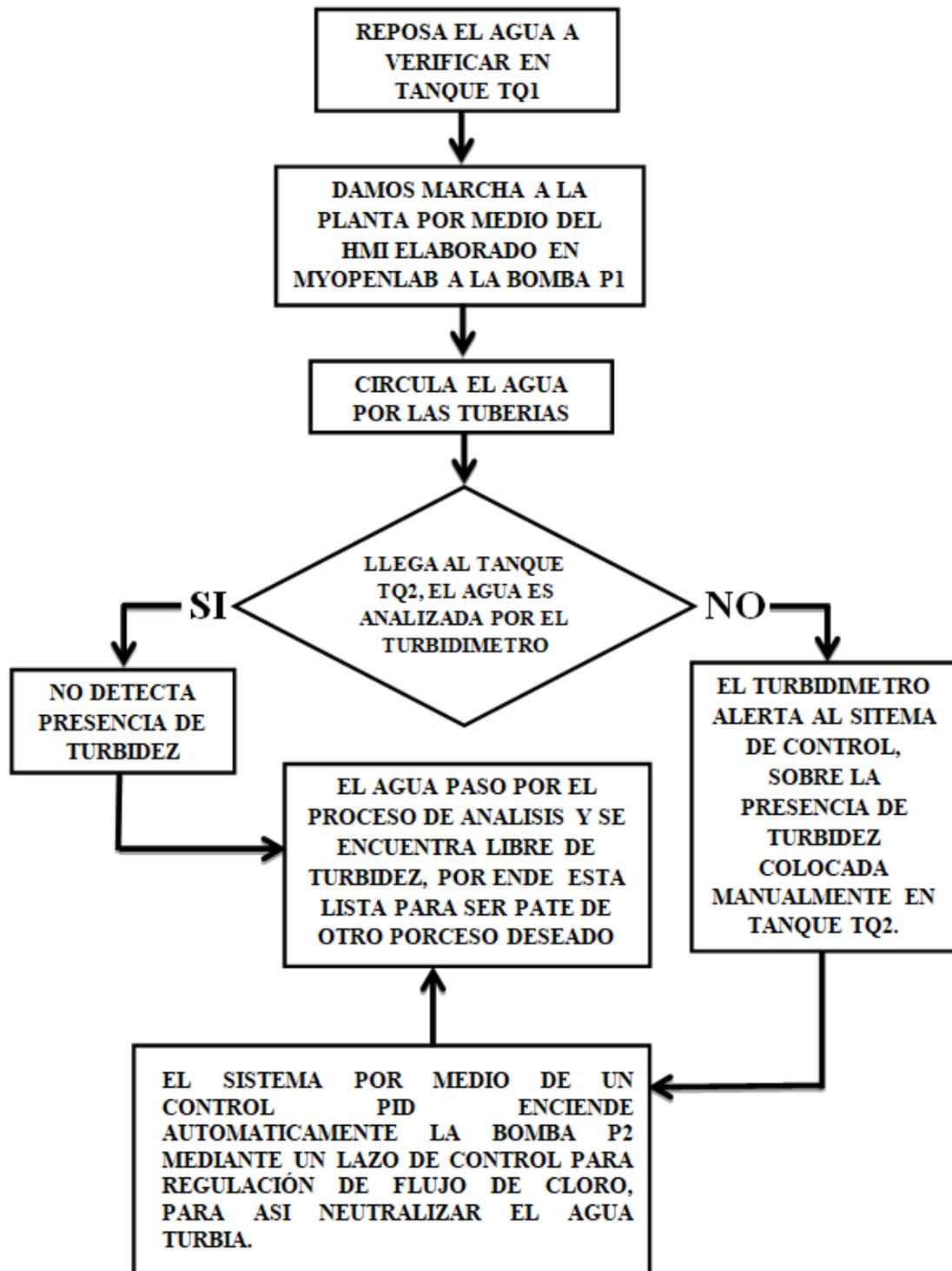


Figura 90: Propuesta de solución en Diagrama de Bloques.

Fuente: Autor