



Automatización del Sistema de Neutralización de Aguas Residuales Mediante el Control de PH en Una Termoeléctrica

Julio Alberto Parejo Gutiérrez

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Santa Marta, Colombia
2020

Automatización del Sistema de Neutralización de Aguas Residuales Mediante el Control de PH en Una Termoeléctrica

Julio Alberto Parejo Gutiérrez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director (a):

Ph.D., Maira Cecilia Gasca Mantilla

Línea de Investigación:

Automatización industrial

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Santa Marta, Colombia

2020

Lema

*En el Esfuerzo de un hombre, está el progreso
de una sociedad,*

A mis padres mi esposa y mis hijos

Reflexión personal

*La vida enseña... es decisión tuya el aprender.
Yo aprendí a no correr para llegar primero,
pero si a caminar para ver hasta dónde puedo
llegar.*

*Aprendí a que si tengo, no es para mí, si tengo
es para que los demás puedan tener también,
que la vida no es mañana, es ahora.... Porque
el mañana no sé si vendrá*

Y a ti... que te enseñó la vida?

Julio A. Parejo G. Japger...

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a Dios por darme la oportunidad de conseguir alcanzar mis metas, y que se, por fe, que por medio de su intersección todas las cosas son posibles, y que el tiempo de él es perfecto.

Agradecer a mi padre Julio Cesar Parejo, QEPD, a quien dedico este logro, a mi madre Luz marina Gutiérrez.

Quiero agradecer muy especialmente a mi esposa, Angélica María Sierra Ayala quien ha estado a mi lado, ha sido mi compañera mi amiga y mi apoyo incondicional, la que me ha dado tres maravillosos hijos y por los que siempre seguiré luchando

A los ingenieros, Maira Cecilia Gasca, Elsy Patricia Prado a los Doctores Jairo Daza, José Gregorio Barraza, quienes con su esfuerzo, dedicación y paciencia me guiaron a lo largo de este camino y que sin su total apoyo no habría sido sencillo alcanzar esta meta.

Gracias totales....

Resumen

La automatización del sistema de neutralización de un pozo o estanque de agua por medio del control de pH para el vertimiento de aguas residuales, es un sistema que muestra un proceso industrial en el cual se busca dar condiciones a las aguas residuales, producto de la regeneración de resinas iónicas, usadas muy comúnmente en la desmineralización de agua para calderas generadoras de vapor de una central termoeléctrica, para que estas puedan ser regresadas al medio ambiente en condiciones normales.

Este trabajo explica la importancia de la Automatización del proceso de neutralización usando como bases el modelamiento de sistemas dinámicos On/off por el método de caja negra, se comprobó que es posible modelar un sistema con base en los resultados experimentales desconociendo la función matemática que le concierne y dando como resultado un sistema estable, además con el análisis del balance costo beneficio se evidencio una disminución de los costos operativos y de consumo de químicos. Y finalmente usando el Software LABVIEW se hizo muy fácil y practico el diseño de sistemas autónomos de gran utilidad en los procesos industriales.

Palabras clave: Automatización y Caja negra, LABVIEW Modelamiento, Desmineralización, Neutralización).

Abstract

The automation of the neutralization system of a water well or pond by means of the pH control for the discharge of wastewater, is a system that shows an industrial process in which it is sought to give conditions to the wastewater, product of regeneration of ionic resins, very commonly used in the demineralization of water for steam generating boilers of a thermoelectric power plant, so that these can be returned to the environment under normal conditions.

This work explains the importance of the Automation of the neutralization process using as bases the modeling of dynamic On / off systems by the black box method, it was found that it is possible to model a system based on the experimental results, ignoring the mathematical function that it concerns and resulting in a stable system, in addition to the cost-benefit balance analysis, a decrease in operating costs and chemical consumption was evidenced. And finally, using the LABVIEW Software, the design of autonomous systems of great utility in industrial processes became very easy and practical.

Keywords: Automation and Black Box, LABVIEW Modeling, Demineralization, Neutralization).

Contenido

	Pág.
1. Presentación del Proyecto.....	14
1.1 Descripción Inicial	14
1.2 Descripción del Problema.....	15
1.2.1 Planteamiento del Problema	16
1.3 Justificación.....	17
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos.....	18
1.5 Alcance	18
1.5.1 Limitaciones.....	18
1.6 Línea de Investigación	19
1.7 Usuario Directo y Formas de Utilización de los Resultados del Proyecto	19
2. Marco teórico	20
2.1 Reseña Teórica.....	20
2.2 Central Térmica o Termoeléctrica.	20
2.3 Planta Desmineralizadora de Agua.	21
2.4 Sistema de Neutralización de Aguas Residuales.....	21
2.5 Automatización Industrial	22
2.5.1 Sistemas de Control	23
2.5.2 Diseño de Sistemas de Control con Base en Datos Experimentales.....	25
2.5.3 SCADA	26
2.5.4 LABVIEW (Laboratory Virtual Engineering Workbench).	27
2.5.5 Raspberry Pi.....	30
2.5.6 PLC	32
2.5.7 Sensores	33
2.5.8 Sensores a utilizar	35
2.5.9 Bases químicas	36

3. Marco Metodológico.....	37
3.1 Tipo de investigación.....	37
3.2 Población.....	38
3.3 Recolección de datos.....	38
3.4 Diseño de la Investigación.....	39
3.5 Normativa Legal.....	42
4. Análisis e Interpretación de los Resultados.....	44
4.1 Condiciones actuales del sistema de neutralización.....	44
4.1.1 Equipos que intervienen en la operación.....	46
4.1.2 Condiciones operativas del sistema de neutralización existente.....	47
4.2 Sistema de control del proceso de neutralización.....	48
4.2.1 Caracterización de la variable.....	49
4.3 Simulación del proceso utilizando el software LABVIEW.....	56
4.3.1 Simulación en LABVIEW.....	58
4.4 Protocolo de Comunicación.....	64
4.5 Elaboración del Prototipo.....	67
4.5.1 Elaboración de la interface del software.....	67
4.5.2 Montaje del prototipo.....	68
4.5.3 Calibración de pHmeter.....	72
4.5.4 Elementos que usaron en el montaje.....	72
4.6 Análisis de costo beneficio.....	73
4.6.1 Consumo de químicos.....	73
4.6.2 Costos Tiempo del Operador.....	75
4.6.3 Costos de Implementación.....	76
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	78
5.1 Conclusiones.....	78
5.2 Recomendaciones.....	79
6. Anexo A Formato de Encuesta.....	84
7. Anexo B Tabla de recolección de datos.....	85

8. Anexo C Hoja de seguridad del HCL.....	86
9. Bibliografía.....	81

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2.1 Esquema de una central Termoeléctrica.....	21
Figura 2.2 Estructura básica de un sistema Automatizado de bucle cerrado.	22
Figura 2.3 Sistema de Control Realimentado	24
Figura 2.4 Esquema de un sistema de control de lazo cerrado.....	24
Figura 2.5 Esquema de un sistema de control de lazo abierto.....	25
Figura 2.6 Representación gráfica del movimiento de un control On/Off	25
Figura 2.7 Planta Embotelladora hecho en LABVIEW	27
Figura 2.8 Pantalla principal de LABVIEW	27
Figura 2.9 Ejemplo de una ventana del panel frontal del VI	28
Figura 2.10 Ventana de Controles con sus categorías.....	28
Figura 2.11 Panel de Controles y Funciones.	29
Figura 2.12 vista física de la Raspberry pi	31
Figura 2.13. Clasificación según su funcionalidad	33
Figura 2.14 Clasificación según la señal que proporcionan	34
Figura 2.15 Sensores según la naturaleza de su Funcionamiento.....	34
Figura 2.16 Sensor Ultrasónico	35
Figura 2.17 Rango de Detección del sensor Ultrasónico	35
Figura 2.18 Conexión Básica del Sensor Ultrasónico HC-SR04	36
Figura 3.1 Estructura del proceso Investigativo	39
Figura 3.2 Estado de los Equipos.	40
Figura 3.3 Esquema de una matriz DOFA	41
Figura 4.1 Matriz DOFA.....	45

Figura 4.2 Estado actual del sistema de neutralización	46
Figura 4.3 Sistema de Control.	48
Figura 4.4 Grafica de datos pH vs Tiempo (seg).....	50
Figura 4.5 Diagrama en Bloques de la Función de transferencia.....	51
Figura 4.6 Representación Gráfica de la Función Escalón de Magnitud A.....	52
Figura 4.7 Introducir la Ecuación en la tabla 4.2	53
Figura 4.8 Grafica de la tendencia del pH corregida con la ecuación.....	55
Figura 4.9 Diagrama de la función de transferencia.....	55
Figura 4.10 Diagrama de bloques del sistema de control	56
Figura 4.11 Pantalla inicial del VI.....	58
Figura 4.12 VI con los elementos primarios para la Simulación	59
Figura 4.13 Panel Frontal y Diagrama de Bloques.....	59
Figura 4.14 Panel de Control de la Simulación.	60
Figura 4.15 Pantalla del panel Frontal de la simulación	60
Figura 4.16 Ciclo While Loop.....	61
Figura 4.17 Elementos dentro del While Loop.	61
Figura 4.18 diagrama de bloque de la simulación del Tanque.	62
Figura 4.19 Conexión Arduino, potenciómetro y PC.	62
Figura 4.20 Configuración de la Conexión serial con el Arduino.....	63
Figura 4.21 Esquema del protocolo de comunicación.....	65
Figura 4.22 Conexión Makerhub.....	65
Figura 4.23 Autenticación Con la Raspberry.....	66
Figura 4.24 Conexión Raspberry Arduino por USB.....	67
Figura 4.25 Inicio de la Creación de la HMI	67
Figura 4.26 Pantalla HMI	68
Figura 4.27 Plano Esquemático.....	69
Figura 4.28 Esquema Eléctrico.....	70
Figura 4.29 Esquema eléctrico de potencia	71
Figura 4.30 Elementos del Montaje	73

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2.1 Características de los principales modelos de Raspberry.....	32
Tabla 4.1 Recolección de Datos pH vs Tiempo.....	49
Tabla 4.2 Verificación de datos en la función de transferencia.....	53
Tabla 4.3 Datos generales del sensor de pH	72
Tabla 4.4 Relación de costos por neutralización.	75
Tabla 4.5 Costos del Proceso ya Automatizado.	75
Tabla 4.6 Lista de Elementos para la Automatización a nivel Industrial.	76
Tabla 4.7 Tabla de costos del prototipo	77

Introducción

En el presente documento se describirán las condiciones del sistema existente, realizando así una explicación del proceso, con el fin de evaluar las condiciones actuales del sistema de neutralización, identificando los equipos que intervienen en la operación, condiciones de uso y el por qué debe ser automatizado el proceso de neutralización en base al control de pH.

Por otro lado se abordarán los conceptos básicos que forman parte la automatización, incluyendo terminología y demás recursos usados para llevar a cabo el proceso de automatización incluyendo la metodología usada y el tipo de investigación. Por otro lado se hará una explicación del diseño de la automatización del proceso y una simulación por medio del software LABVIEW y un prototipo para comprobar la operatividad el proyecto.

1. Presentación del Proyecto

1.1 Descripción Inicial

Las termoeléctricas de ciclo combinado utilizan como fuente para impulsar los álabes de la turbina el vapor producido en calderas acuotubulares alimentadas por el agua proveniente de las planta de tratamiento (Fernández Diez, 2000).

El agua tratada en estas plantas, está formada por una gran variedad de elementos y compuestos químicos; que dependiendo mucho de la fuente de donde provienen, tendrán diferencias en cuanto a sólidos suspendidos y/o disueltos, los cuales cuando son de orígenes naturales reciben el nombre de impurezas y cuando son de origen industrial se les conoce como contaminante

El agua cruda utilizada en la Planta de Tratamiento Químico, es impulsada a través de un sistema de 4 cilindros, llamada cadena desmineralizadora, por las bombas de agua filtrada que la transporta un flujo líquido, agua, por los Cilindros de intercambio iónico para su desmineralización. Estas Cadenas desmineralizadoras están compuestas por un filtro de carbón Activado que se encarga de eliminar las partículas orgánicas del agua. Seguido dos intercambiadores iónicos un desgasificador y un lecho mixto. Estos equipos están llenos con resina, regeneradas en ciclo de hidrógeno capaz de detener los cationes de calcio, magnesio, sodio, y cederle al agua el hidrógeno, por lo que la convierte en agua acidulada, su función consiste en evitar los escapes de sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) hacia la unidad aniónica. A continuación de la unidad catiónica, el agua pasa por un desgasificador los cuales se encargan de extraer los

gases no disueltos en el agua y luego entra al intercambiador anionico fuerte, que está cargado con resina, regenerada en ciclo hidróxido (OH)- y su función es la de retener los radicales anionicos de los ácidos débiles y aportar (OH)- al agua, o sea, retener el ácido silícico y el carbónico. Después de los aniones fuertes se encuentran situados los intercambiadores cargados con resina catiónica y aniónica, y su función es la de retener los escapes de los cationes, mejorando la calidad del agua

1.2 Descripción del Problema

El proceso de regeneración arroja como resultado aguas con PH (Potencial de Hidrógeno) fuera de los rangos de los valores aptos para su vertimiento, por tanto se hace necesario neutralizar a un punto saludable, por decirlo de alguna manera, para el medio ambiente.

En la actualidad, estos procesos se realizan de forma manual, en donde el operador debe medir en unos tanques cierta cantidad de químicos, ya sea ácido clorhídrico o soda cáustica dependiendo del pH medido, para luego con la apertura de válvulas manuales se vierten los químicos a un estanque llamado pozo de neutralización.

Al momento de abrir estas válvulas manuales, los químicos entran en contacto con el aire produciendo así una primera reacción química, generando vapor de ácido, en el caso del HCL, y cuando entra en contacto con el agua también se produce una segunda reacción química que también produce vapor de ácido.

Esta operación trae consigo riesgo para la salud, y esto debido a las características corrosivas y tóxicas que tienen los químicos usados en la neutralización. Por tanto se hace necesario conocer algunas consecuencias producidas por las diferentes formas de contacto con el ácido clorhídrico.

Este es uno de los grandes riesgos que se manejan en el proceso del neutralización de las aguas, al agregar los químicos, esta genera vapores, producto de la neutralización misma, además de que el mismo ácido al contacto con el aire genera vapores, El ácido

clorhídrico en concentraciones altas de gas, son altamente corrosivos a la piel y membranas mucosas (Anexo 8 hoja de seguridad del ácido clorhídrico).

- **Inhalación:** En el caso de exposiciones agudas, los mayores efectos se limitan al tracto respiratorio superior. El gas causa dificultad para respirar, tos e inflamación y ulceración de nariz, tráquea y laringe. Exposiciones severas causan espasmo de la laringe y edema en los pulmones y cuerdas vocales. Una exposición prolongada y repetida puede causar decoloración y corrosión dental. En algunos casos, se han presentado problemas de gastritis y bronquitis crónica. En humanos, la exposición a una concentración de 50 a 100 ppm por una hora fue muy poco tolerada; de 35 ppm por un momento, causó irritación de la tráquea y de 10 ppm fue tolerada. Por otra parte, estudios con animales han demostrado que una exposición a concentraciones altas de gas provocando daños en los vasos sanguíneos, colapso de los pulmones y lesiones en hígado y otros órganos. Las exposiciones constantes a bajas concentraciones del gas no tienen efectos inmediatos y no producen cambios morfológicos. **Contacto con ojos:** Este ácido es un irritante severo de los ojos y su contacto con ellos puede causar quemaduras, reducir la visión o, incluso, la pérdida total de ésta.
- **Contacto con la piel:** En forma de vapor o disoluciones concentradas causa quemaduras serias, dermatitis y fotosensibilización. Las quemaduras pueden dejar cicatrices, que incluso pueden desfigurar las regiones que han sido dañadas.
- **Ingestión:** Produce corrosión de las membranas mucosas de la boca, esófago y estómago. Los síntomas que se presentan son: disfagia, náuseas, vómito, sed intensa y diarrea. Puede presentarse, incluso, colapso respiratorio y muerte por necrosis del esófago y estómago.

1.2.1 Planteamiento del Problema

El problema a tratar en este proyecto se enfoca es en el agua residual producto de la regeneración de las resinas, como bien lo dice el apartado anterior, es necesario regenerar las resinas una vez se han saturado debido al intercambio iónico, ácido

clorhídrico (HCL), para la resina catiónica, e hidróxido de sodio (NAOH), para la resina aniónica.

Así que la pregunta que surge ante esta problemática es:

¿Cómo se puede mejorar el proceso de neutralización de aguas residuales y minimizar el riesgo tanto laboral como ambiental para que la operación sea más confiable?

1.3 Justificación

En la mayoría de industrias y empresas generadoras de servicios de uso común, es muy frecuente encontrar como resultado de los procesos industriales que se generen residuos los cuales deben ser debidamente tratados.

En el caso de las generadoras de energía eléctrica se producen desechos industriales que afectan el medio ambiente, una parte de estos son los residuos producto de la quema de carbón (ceniza), y por otro lado las aguas residuales, que quedan de la desmineralización de agua dulce, utilizada en la generación de vapor para mover la turbina y a su vez el generador.

Estas empresas deben cumplir con unas leyes y normas ambientales, con el fin de salvaguardar el ecosistema y los recursos renovables. Dentro de este marco tenemos las siguientes leyes, decretos y resoluciones:

En este sentido se debe establecer la implementación de mecanismos que permitan cumplir con las normas ambientales establecidas y a su vez la reducción de los riesgos laborales. Para esto se proponen cuatro frentes de estudio; En el marco Teórico el proyecto está basado en la automatización del proceso de medición del pH (Potencial de hidrógeno) y su respectiva neutralización, con el fin de garantizar que las aguas residuales cumpla con los parámetros ambientales requeridos para su vertimiento al medio ambiente. En el marco Social los operadores podrán realizar el proceso de neutralización, disminuyendo los riesgos de intoxicación por la exposición accidental de los vapores producto de la neutralización.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Automatizar el Sistema de Neutralización de aguas residuales mediante el control de pH en una Termoeléctrica.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las condiciones actuales del sistema de neutralización, identificando los equipos que intervienen en la operación y condiciones de uso además de los riesgos ambientales y laborales.
- Diseñar el sistema de control para el sistema a evaluar.
- Realizar la simulación del proceso utilizando el software LABVIEW, con los parámetros operativos descritos en la planeación de la rutina operativa, que cumpla con las normas ambientales para el vertimiento de aguas residuales al medio ambiente.
- Realizar un Prototipo con el fin de comprobar la operatividad del sistema.
- Realizar un análisis de costo beneficio que permita medir la relación que existe entre ambos con el fin de conocer la rentabilidad al implementar la automatización

1.5 Alcance

Con el desarrollo de este proyecto se desea proporcionar una herramienta automática, y versátil para el control del pH el cual estará en etapa de pruebas en prototipo con el fin de comprobar su funcionalidad

1.5.1 Limitaciones

Dentro de las limitaciones podemos encontrar:

Que en la etapa de la construcción del prototipo se utilizara como interface de comunicación con el medio real una placa Raspberry Pi, que funcionara como un HMI y un Arduino pero ya para proyecto de mayor envergadura o tipo industrial, se podrá usar

Plc y elementos de mayor potencia, es decir solo se presentara el prototipado del sistema a pequeña escala.

1.6 Línea de Investigación

El desarrollo de este proyecto se encuentra enfocado en la línea de investigación de Automatización Industrial; por tanto se encuentra dentro de los lineamientos temáticos de la Facultad de ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica, tomando como campo de estudio la Automatización de procesos, basado en los conocimientos ya adquiridos a lo largo del estudio de las diferentes disciplinas de investigación.

1.7 Usuario Directo y Formas de Utilización de los Resultados del Proyecto

Este proyecto está dirigido a la investigación y puesta en marcha de diferentes procesos de automatización a nivel de prototipos y también industrial, por esta razón los principales usuarios de este proyecto y sus resultados son los estudiantes y las empresas dedicadas a realizar procesos industriales que tengan que ver con el control de variables como pH por otro lado los estudiantes de ingeniería que se interesan en la automatización de procesos usando nuevas tecnologías ofrecidas por el mercado electrónico.

2. Marco teórico

2.1 Reseña Teórica

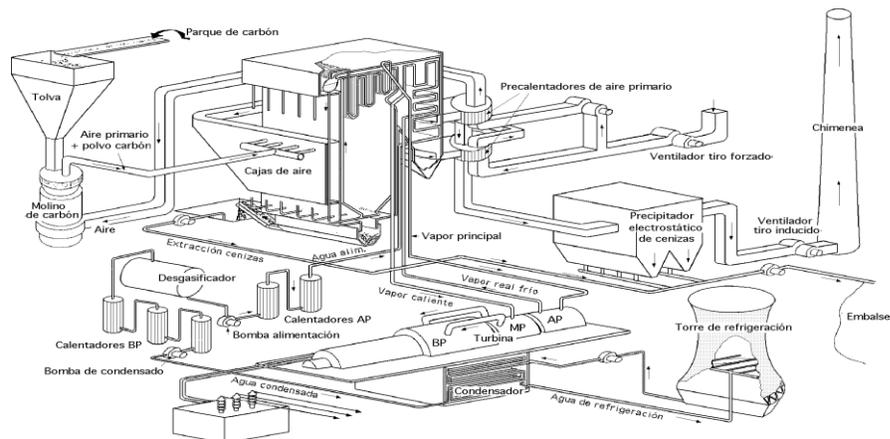
En los procesos productivos de muchas empresas existe una larga lista de actividades que pueden ser automatizadas. Como afirma (García, 2018) la Automática es la ciencia y técnica de la automatización, que agrupa el conjunto de las disciplinas teóricas y tecnológicas que intervienen en la concepción, construcción y el empleo de los sistemas autónomos.

Para lograr el cometido planteado en el presente documento, se deben seguir unas pautas o guía que ayudará a tener una visión clara a la hora de proponer soluciones a los problemas que surgen durante el diseño del proyecto.

2.2 Central Térmica o Termoeléctrica.

Una central termoeléctrica es una instalación que se encarga de generar energía eléctrica a partir de la quema de combustibles como el carbón, el gas o el fueloil. Aprovechando las propiedades caloríficas de estos con el fin de calentar el agua hasta convertirla en vapor con características y propiedades aptas para inducir movimiento a los álabes de una turbina, la cual está conectada a un generador que se encarga de producir energía eléctrica.

En sí una termoeléctrica, como se muestra en la Figura 2.1 es una máquina termodinámica que se encarga de convertir energía cinética a mecánica y luego a eléctrica.

Figura 2.1 Esquema de una central Termoeléctrica

Fuente. (Fernández Díez, 2000)

2.3 Planta Desmineralizadora de Agua.

Una planta de tratamiento de agua o planta desmineralizadora, es una instalación dentro de las centrales termoeléctricas cuya función es producir agua con propiedades idóneas para poder introducirlas en la caldera.

Esta operación se realiza para eliminar la dureza del agua y las sales y minerales disueltas en ella. Este proceso llamado desmineralización, evita que estos elementos, que son altamente nocivos para los tubos de la caldera y los álabes de la turbina, entren al sistema de generación y así prevenir daños estructurales a los mismos.

El agua debe pasar por un filtro cargado con carbón Activado para eliminar todo material orgánico que tenga el agua, luego pasa a circular a través de un intercambiador catiónico donde los iones positivos se sustituyen por iones de hidrogeno; después pasa a través de una resina de intercambio anionico en donde los iones anionicos son cambiados por iones de hidróxido. Este proceso da como resultado que los sólidos disueltos en el agua sean cambiados por iones de hidrogeno e hidróxido. (Nevares)

2.4 Sistema de Neutralización de Aguas Residuales.

Las aguas residuales: son aquellas que han sido usadas en actividades industriales; en el caso de las plantas desmineralizadoras, son los desechos que se generan al momento de realizar el proceso de regeneración de las resinas iónicas que al entrar en contacto con la sustancia regenerativa de resinas como lo es al ácido clorhídrico y la soda

cáustica dan como resultado aguas con pH fuera de los rangos permitidos para su vertimiento al medio ambiente.

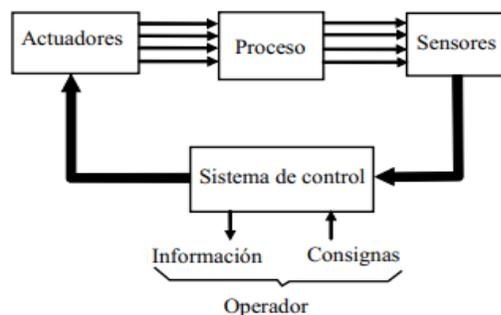
Estos desechos van al pozo de neutralización de aguas residuales donde son analizados para su tratamiento. El sistema de neutralización de Aguas Residuales es el encargado de tratar estas aguas y dejarlas en un punto apto para el vertimiento de nuevo al medio ambiente.

2.5 Automatización Industrial

El conferencista Carlos (Rueda, 2008) define la Automatización Industrial como el uso de sistemas o elementos de cómputo para controlar procesos industriales, máquinas y demás elementos que intervienen en los procesos sustituyendo así al humano en la operación.

Por otro lado, un sistema automatizado se define como aquel que es capaz reaccionar de forma automática a las señales provenientes del mundo real, a través de sensores o ayudado con la programación implementada en él, con el objeto de cumplir con la función para la cual fue diseñada. La figura muestra la estructura de un sistema automatizado. (Sanchis Llopis, Romero, & Ariño Latorre, 2010).

Figura 2.2 Estructura básica de un sistema Automatizado de bucle cerrado.



Fuente: (Sanchis Llopis, Romero, & Ariño Latorre, 2010).

2.5.1 Sistemas de Control

Es la parte encargada de ejercer control coordinado de las operaciones encaminadas a mantener la operación en un determinado funcionamiento ya establecido con anterioridad en las especificaciones del diseño.

Existen dos tipos de sistemas de control (Sanchis Llopis, Romero, & Ariño Latorre, 2010), sistema de control centralizado y sistema de control distribuido; a continuación se hará una breve definición de estos sistemas.

Un sistema de control centralizado es aquel en donde se encuentra un único equipo de control conectado a todos los periféricos conectados al proceso; por lo general es un equipo autómatas que cuenta con un algoritmo de control del proceso. Por otro lado, un sistema de control distribuido o descentralizado es aquel que cuenta con varios equipos de control el cual controla una parte del proceso en ejecución.

Según (García Moreno, 2010) las funciones más comunes de un sistema de control son:

- Gestión de entradas y salidas.
- Tratamiento de ecuaciones lógicas.
- Tratamiento de funciones de seguridad.
- Tratamiento secuencial.
- Funciones de regulación.
- Funciones de cálculo para la optimización.
- Gestión de herramientas.
- Control de calidad.
- Gestión de mantenimiento
- Operaciones de Supervisión.
- Seguimiento de la producción.
-

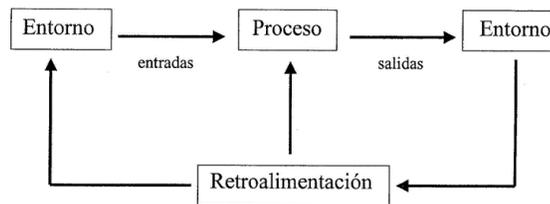
Tipos de sistemas de control

Sistema de control de lazo abierto, Sistema de control lazo cerrado y sistema de control realimentado (Ogata, 2010).

Sistemas de control realimentados.

Son sistemas que mantienen una relación determinada entre la salida y la entrada, comparándolas y usando la diferencia como medio de control. En la figura 2.3 se muestra como es el esquema básico de un sistema de control realimentado.

Figura 2.3 Sistema de Control Realimentado

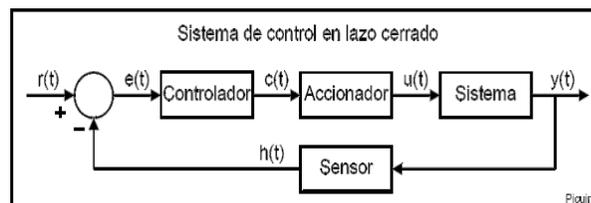


Fuente. (tecnodeport.blogspot.com).

Sistema de control de lazo Cerrado.

También denominado como sistema de control realimentados, pero en la práctica tiene sus distinciones, y tal es que un sistema de lazo cerrado se alimenta de la señal de error de actuación, que no es más que la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, que puede ser la señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas o integrales. Así como se muestra en la figura 2.4.

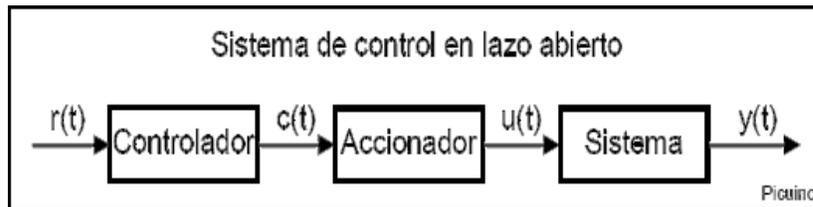
Figura 2.4 Esquema de un sistema de control de lazo cerrado.



Fuente: (sitegoogle.com)

Sistema de lazo abierto.

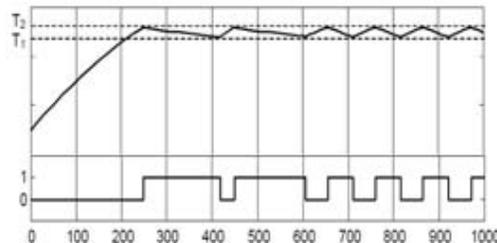
Son sistema sobre los cuales la salida no tiene ninguna influencia sobre la acción de control, como se puede ver en la figura 2.5. Dicho de otro modo en este sistema la salida no se mide ni se realimenta para compararla con la señal de entrada.

Figura 2.5 Esquema de un sistema de control de lazo abierto.

Fuente (sitegoogle.com)

Sistema de control On/Off

Su principal característica, según (Cartagena99, 2003) es que el elemento de control, solo tiene dos posiciones cerrado o abierto y que la variable a controlar estará oscilando entre los valores máximos y mínimos. Además es un control adecuado para tiempos de respuesta relativamente altos. El comportamiento de este tipo de control se muestra en la figura 2.6 en donde se fija un valor máximo y mínimo de interacción.

Figura 2.6 Representación gráfica del movimiento de un control On/Off

Fuente. (Cartagena99, 2003)

2.5.2 Diseño de Sistemas de Control con Base en Datos

Experimentales

Dentro de los procesos cualitativos y de estudio de campo se hace necesario contar con una estrategia que permita tomar datos experimentales cuantificables y modelarlos matemáticamente, con el fin de tener control del proceso, esto, según, (Bravo Montenegro, Cortes Carvajal, Patiño, & Cabrera Lopez, 2008), es conocido como identificación de sistemas, lo cual converge en tratar el proceso como una caja negra que con base en los datos de entrada y salida permita encontrar un modelo matemático aplicable al proceso. Debido a la complejidad de los cálculos la ecuación de transferencia se encuentra como resultado de la experimentación.

2.5.3 SCADA

Se define el sistema SCADA como un software de supervisión control y adquisición de datos, el cual comunica el ordenador con los equipos que se requiere controlar en un proceso de determinado, esto con el fin de que el operador pueda supervisar el funcionamiento de todo el proceso en tiempo real. (Sanchis Llopis, Romero, & Ariño Latorre, 2010).

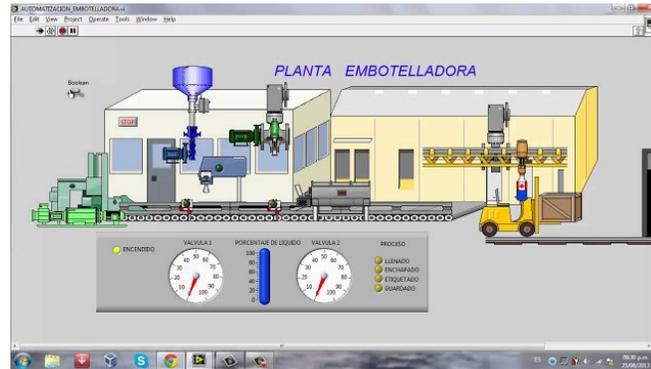
Según (Perez Lopez, 2015) un sistema SCADA no solo es una aplicación, pueden ser un conjunto de aplicaciones especialmente diseñadas para funcionar sobre un ordenador de control de producción. Para el autor del presente artículo, las características principales de un SCADA son:

- Adquisición y almacenamiento de datos.
- Representación gráfica y animada de las variables del proceso
- Ejecutar acciones de control.
- Que sea de arquitectura abierta y flexible.
- Que tenga conectividad con otras aplicaciones y bases de datos.
- Que se pueda supervisar, para observar la evolución de las variables
- Que sea posible la transmisión de información con dispositivos en el campo y otras computadoras.
- Que sea posible la presentación grafica de datos a través de una HMI.

Ventajas de utilizar un sistema SCADA

Según la página de internet (SENSORICX) una de las principales ventajas de usar un sistema SCADA es la realimentación en tiempo real del proceso en curso a través de los sensores, los actuadores además de poder controlar todo el proceso en forma automática y sin interrupciones.

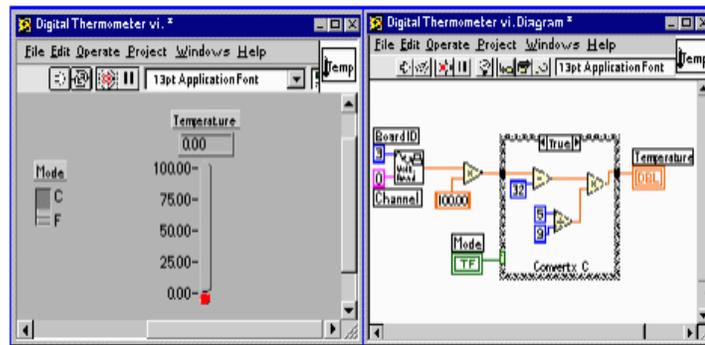
A continuación, se muestra en la figura 2.6 un ejemplo de un SCADA donde se monitoriza el proceso de una planta embotelladora realizada en LABVIEW.

Figura 2.7 Planta Embotelladora hecho en LABVIEW

Fuente. (SENSORICX)

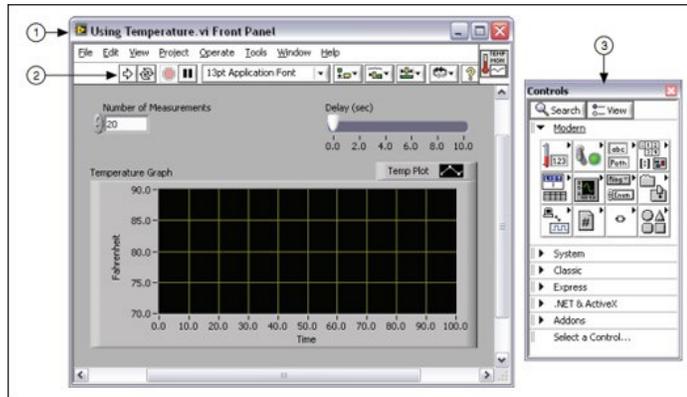
2.5.4 LABVIEW (Laboratory Virtual Engineering Workbench).

LABVIEW es una plataforma desarrollada por la National Instruments, que ofrece un entorno de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos instrumentación y control (Roncancio & Cifuentes, 2001); que ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, así como la configuración de los equipos, datos a recolectar e instrucciones operativas. LABVIEW tiene su mayor aplicación en la medición y visualización de datos de un proceso de control. Así como se muestra en la figura 2.7.

Figura 2.8 Pantalla principal de LABVIEW

Fuente. (Roncancio & Cifuentes, 2001)

El entorno LABVIEW según Roncancio, (Roncancio & Cifuentes, 2001) en su Publicación, Tutorial LABVIEW, la define como una aplicación muy intuitiva y de fácil manejo, que está basada en una interface conocida como VI o instrumento virtual

Figura 2.9 Ejemplo de una ventana del panel frontal del VI

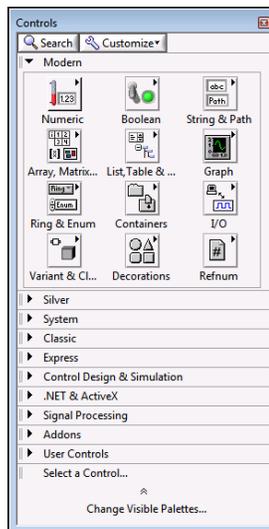
Fuente. (LABVIEW, 2018)

Ahora bien, el entorno de programación de LABVIEW está conformado por un panel frontal y un panel de código, siendo el panel frontal donde se diseña la interface de usuario junto con los controles e indicadores y el panel de control es donde se hace las conexiones lógicas y se encuentran las funciones.

Paleta de Controles

Aquí podemos encontrar los controles e indicadores que el usuario utiliza para la creación de un proyecto en el panel frontal; para acceder a este el usuario simplemente da clic derecho sobre cualquier parte de la pantalla frontal, como se muestra en la figura 2.9. Al realizar esta acción se despliega una ventana que está dividida en categorías con funciones para cumplir con las necesidades del programador

Figura 2.10 Ventana de Controles con sus categorías.



Fuente. (LABVIEW, 2018).

Controles e Indicadores

Los controles son el conjunto de herramientas que el usuario utiliza para poder realizar su diseño, entre los que entramos, botones, perillas, deslizadores y secuencias, los cuales se encargan de simular la entrada de datos a la simulación; por otro lado los indicadores generalmente son leds, tablas, gráficas y secuencia de datos, estos se encargan de simular la salida de datos producto de las operaciones realizadas en la simulación.

Dentro de los controles e indicaciones también podemos encontrar los controles booleanos, controles e indicadores numéricos, controles e indicadores de cadenas de caracteres, controles e indicadores de contantes, etc., como se muestra en la figura 2.11.

Figura 2.11 Panel de Controles y Funciones.

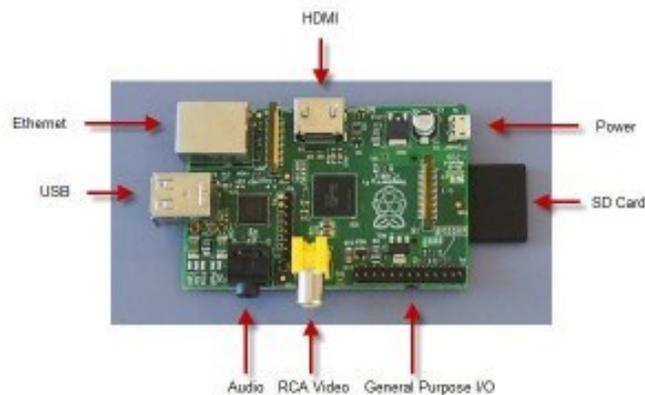


Fuente. (Roncancio & Cifuentes, 2001).

2.5.5 Raspberry Pi

Es un computador (SBC) sencillo de bajo costo y del tamaño de una tarjeta de crédito, desarrollado en el Reino Unido por la fundación Raspberry Pi en 2011, pero con las bondades de un ordenador normal. Consta de una placa base con un procesador, tarjeta o chip gráfico y un apartado de memoria RAM; su disco duro es una memoria SD, donde se almacena el sistema operativo basado en Linux. Sus características incluyen:

- Un Chipset Broadcom BCM2835, que contiene un procesador central (CPU) ARM1176JZF-S a 700 MHz.
- Un procesador gráfico (GPU) VideoCore IV
- Un módulo de 512 MB de memoria RAM (aunque originalmente al ser lanzado eran 256 MB).
- Un conector de RJ45 conectado a un integrado lan9512 -jzx de SMSC que nos proporciona conectividad a 10/100 Mbps.
- 4 buses USB 2.0
- Una Salida analógica de audio estéreo por Jack de 3.5 mm.
- Salida digital de video + audio HDMI
- Salida analógica de video RCA
- Pines de entrada y salida de propósito general
- Conector de alimentación micro USB
- Lector de tarjetas SD

Figura 2.12 vista física de la Raspberry pi

Fuente (histinf.blogs.upv.es)

Versiones

Fue desarrollado por la Fundación Raspberry Pi en el año 2006 con el fin de estimular la enseñanza de la informática. (elconfidencial.com)

Del producto Raspberry podemos categorizar dos familias que son la familia normal y la familia Zero la cual es un poco más pequeña. (www.luisllamas.es)

Familia RASPBERRY PI

A continuación se presentara una breve descripción de los modelos que componen la familia Raspberry PI

- **Modelo RASPBERRY PI 1**

El modelo tiene un procesador ARM11 ARM1176JZF con un núcleo de 700 MHZ, 2 puertos USB y un chip grafico VideoCore IV.

- **Modelo RASPBERRY PI 2**

El modelo 2 es una versión más actualizada lo cual se vio representado en la potencia de cálculo superior. Con un procesador ARM Cortex A7 de cuatro núcleos a 900 MHZ y 1 Gb de SDRAM continúa el mismo chip gráfico.

- **Modelo RASPBERRY PI 3**

Con la salida del nuevo Raspberry PI 3 se busca un cambio en la velocidad de conexión ya que la principal novedad fue la inclusión de Bluetooth 4.1 y WIFI 802.11n.

- **Familia RASPBERRY ZERO y ZERO W**

A grandes rasgos el Zero y el Zero W tienen la misma potencia de una Raspberry Pi 1 B pero un tamaño inferior y Raspberry Zero W es la actualización del Zero que incluye Bluetooth 4.1 y Wifi 802.11n manteniendo el resto de características

A continuación, se muestra una tabla 2.1 las características básicas, el año de publicación y forma física, a parte de otras características.

Tabla 2.1 Características de los principales modelos de Raspberry.

Modelo	Raspberry Pi 1 B+	Raspberry Pi 2 B	Raspberry Pi 3 B	Raspberry Pi Zero	Raspberry Pi Zero W
Fecha	2012 Feb 15	2015 Feb 1	2016 Feb 29	2015 Nov 30	2017 Feb 28
SOC	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2836	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835
Core	ARM1176JZF-S	Cortex-A7	Cortex-A53 64-bit	ARM1176JZF-S	ARM1176JZF-S
Nº Cores	1	4	4	1	1
GPU	VideoCore IV				
CPU Clock	700 MHz	900 MHz	1.2 GHz	1 GHz	1 GHz
RAM	512 MB	1 GB	1 GB	512 MB	512 MB
Memoria	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD
USB	2	4	4	1 microUSB	1 microUSB
Ethernet	SI	SI	SI	No	No
Wi-Fi	No	No	SI	No	SI
Bluetooth	No	No	SI	No	SI
Físico					

Fuente: (www.luisllamas.es).

2.5.6 PLC

Controlador lógico programable (*Programmable Logic Controller*) es un equipo electrónico, programado en lenguaje con informático, diseñado para controlar en tiempo real cualquier proceso industrial (Sanchis Llopis, Romero, & Ariño Latorre, 2010)

2.5.7 Sensores

Se define sensor como un dispositivo que detecta una acción del medio real ya sea temperatura, intensidad lumínica, velocidad, pH etc. y la transmite a un equipo receptor de señales. (Serna Ruiz, Ros Garcia, & Rico Noguera, 2010)

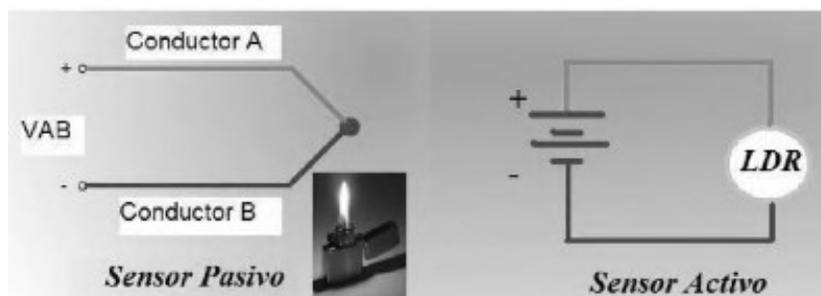
Los sensores (Serna Ruiz, Ros Garcia, & Rico Noguera, 2010) se clasifican según su funcionalidad, criterio y aplicabilidad, siendo el siguiente los más frecuentes

Por su funcionalidad

Según su funcionalidad se pueden clasificar en pasivos y activos

- **Sensores pasivos** no necesitan de una fuente de alimentación ya con las condiciones ambientales son suficiente para que funcionen según sea su cometido.
- **Sensores activos** requieren de una fuente externa que le suministre energía para su funcionamiento.
-

Figura 2.13. Clasificación según su funcionalidad



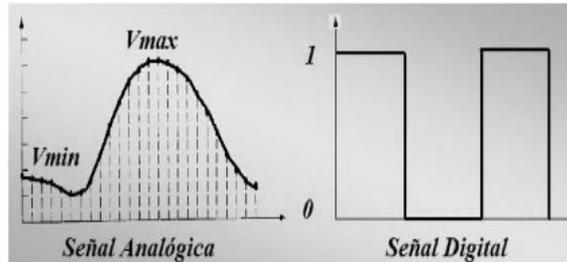
Fuente (Serna Ruiz, Ros Garcia, & Rico Noguera, 2010)

Según las señales que proporcionan

Dependiendo del tipo de señales que proporciona pueden ser analógicos o digitales.

- **Analógicos** dan como resultado a la salida una **señal** analógica ya sea en tensión o corriente la cual puede tomar un número infinito de valores entre mínimo y máximo
- **Digitales** la información que entrega es por medio de una señal digital que bien puede ser 1 o 0 lógicos.

Figura 2.14 Clasificación según la señal que proporcionan



(Serna Ruiz, Ros Garcia, & Rico Noguera, 2010)

Según la naturaleza de su funcionamiento

Dependiendo de la tarea a realizar podemos decir que según su funcionamiento puede estar entre:

- **Magnéticos:** son los que se encargan de capturar las variaciones del campo magnético que le rodea.
- **Posición:** son aquellos que captan del medio ambiente las variaciones con respecto a la posición en la que se encuentran los elementos que en el proceso intervienen. **Presión:** este tipo de sensor se encarga de captar los cambios de presión a los que son sometidos.
- **Fotoeléctricos:** se encargan de captar del medio ambiente las variaciones de los niveles lumínicos que inciden sobre el sensor
- **Humedad:** experimentan los cambios en función al nivel de humedad presente en el medio que le rodea
- **Movimiento:** son del tipo de detección de movimiento, captan variaciones de función al movimiento que experimentan
- **Químico:** este tipo de sensores experimentan cambios en función a los agentes químicos externos a los que pudieran estar sometidos. (pH metro).

Figura 2.15 Sensores según la naturaleza de su Funcionamiento.



Fuente: (Serna Ruiz, Ros Garcia, & Rico Noguera, 2010)

2.5.8 Sensores a utilizar

Para el presente proyecto se usarán como periféricos de entrada al sistema, con el fin de captar información necesaria para el proceso, un sensor de pH y un sensor ultrasónico, esto con el fin de mantener constante comunicación con los parámetros operativos del sistema de neutralización

➤ Sensor Ultrasónico

Un sensor ultrasónico es un detector de proximidad, el cual emite un sonido y mide el tiempo que la señal demora en regresar. Puede medir la distancia a la que se un objeto de cualquier material que puede ser sólido, líquido o polvoriento. (Cárdenas, 2015)

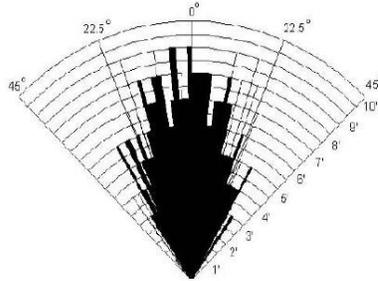
Figura 2.16 Sensor Ultrasónico



Fuente: (Cárdenas, 2015)

El sensor trabaja en el aire y vale la pena decir que no funciona en línea recta solamente, sino, que tiene un rango de detección de 30° como se muestra en la figura 2.12 donde se muestra el color negro como el área de detección del eco, así como la distancia a la que mejor trabaja que dependiendo del modelo podría llegar hasta los 5 mts.

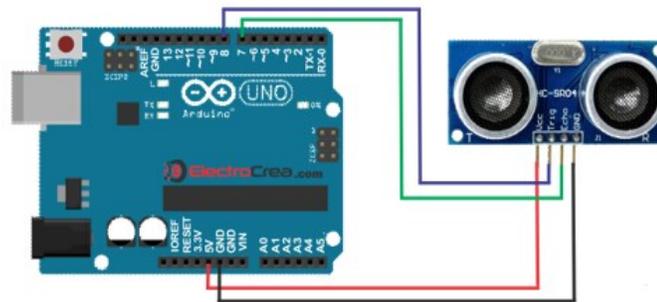
Figura 2.17 Rango de Detección del sensor Ultrasónico



Fuente: (Cárdenas, 2015)

Un ejemplo básico de la configuración de este dispositivo sería con la ayuda de una placa Arduino cuya conexión física sería la mostrada en la figura, donde se conecta a los pines 7 – 8 y a la alimentación provista por la misma placa Arduino de 5 Vcc y Gnd.

Figura 2.18 Conexión Básica del Sensor Ultrasónico HC-SR04



Fuente: (Cárdenas, 2015)

2.5.9 Bases químicas

Es importante conocer sobre qué aspectos técnicos químicos se va a trabajar, por eso a continuación se destacan algunos aspectos básicos que tendrán cabida a la hora de recolectar datos y evaluar resultado:

Definición de pH

Como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrogeno; así lo definió en 1909 Soren Peter según Guerrero Hernán (Guerrero & Puyol, 2006), en su artículo para la sociedad Acuariológica del Plata llamado el pH.

3. Marco Metodológico

En este capítulo se describe la metodología utilizada para recabar datos que ayuden a la comprensión y nos acerque a la problematización de la realidad en busca de obtener un conocimiento útil y necesario para llevar a buen término una investigación clara de los fenómenos y procedimientos a seguir dentro del proceso de neutralización con base en el control del pH de las aguas producto de la regeneración de resinas de intercambio iónico.

3.1 Tipo de investigación

Al tratar de plantear una perspectiva investigativa para resolver una situación que aqueja un grupo determinado de personas, que se encuentran íntimamente involucradas con el proceso objeto de esta Investigación, se realiza un estudio de campo ya que como afirman (Gross, 2010), este estudio permite comprender y resolver situaciones necesidades o problemas dentro de un ámbito predeterminado y se realiza una puntualización de los aspectos más relevantes y que dan merito a la mejora operativa del proceso de neutralización.

Con el fin de describir los fenómenos y situaciones provenientes del proceso de neutralización y detallar cada parte del mismo es conveniente plantear un enfoque descriptivo. Como lo plantea Hernández Sampieri (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2004) en el cual se busca especificar las propiedades de un proceso o fenómeno, midiendo y recogiendo información de manera independiente o conjunta sobre las variables que hace parte del proceso y como están relacionadas. De esta manera tendremos a la mano la información sobre las variables que deben ser consideradas como prioridad a tratar, de esta manera el proceso de automatización del sistema de neutralización, así como el aporte de químicos se hará de forma eficiente.

Dado que para este trabajo ningún proceso se repite exactamente igual con respecto al anterior, debido a las condiciones tan variables del agua residual, la pregunta que surge inmediatamente es como estandarizar un proceso que no cumple con las mismas condiciones cada vez que se analiza el agua a neutralizar; para llegar a esta conclusión se debió hacer una caracterización del agua residual en varias muestras tomadas durante las operaciones diarias.

Por otro lado, se adoptan las características del enfoque cualitativo de la investigación, que según Hernández Sampieri (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2004), utiliza la recolección de datos para dar claridad a las preguntas de la investigación y sacar a la luz posibles nuevas preguntas sobre el proceso, lo importante de ese enfoque es que se pueden desarrollar preguntas antes durante y después de la recolección de datos. Tomando lo anteriormente dicho como referencia y aplicando el estudio de campo que no es más que la recolección de datos, validación de muestras y análisis de las mismas (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2004). Podemos dar inicio al diseño de la investigación.

3.2 Población.

Siendo la población un grupo limitado de personas, con las cuales se requiere compartir los resultados de la investigación según Bisquerra (Bisquerra Alzina, Dorio Alcaraz, & Gómez Alonso, 2009), como el concepto del presente, se limita a un grupo específico de personas que se encargan de la operación diaria del sistema de Neutralización no se hace necesario hacer muestra siendo que el grupo de operadores de una planta de tratamiento de agua no es mayor a 10 personas.

3.3 Recolección de datos

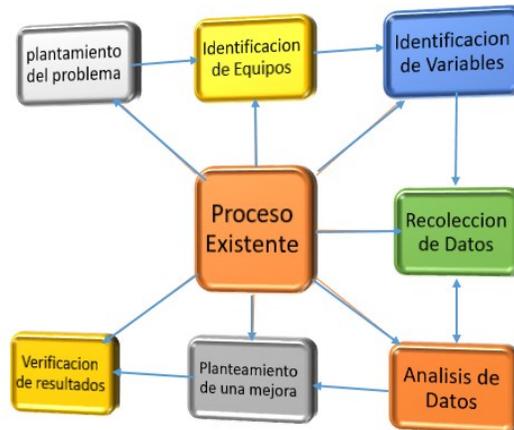
Según Hernández Sampieri (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2004), la observación, las entrevistas, la recolección de documentos y las historias de vivencias, son los principales métodos para para recolectar datos cualitativos. En el desarrollo del presente capítulo recolectaron datos sobre todo las experiencias vividas

por los operadores, además se realizó un reconocimiento visual del estado físico del sistema y se tomaron como base los datos recolectados.

3.4 Diseño de la Investigación

El término diseño según (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2004) hace referencia a la estrategia o plan a seguir para obtener toda la información necesaria para resolver las interrogantes que surgen después de haber planteado el problema en cuestión. Con base en la información suministrada y el aporte bibliográfico de los métodos de investigación se planteó un sistema investigativo con enfoque descriptivo bajo los parámetros que posee el método cualitativo de investigación, y realizando trabajo de campo, tomando datos reales del proceso y haciendo un paso a paso del mismo, siguiendo así la siguiente estructura.

Figura 3.1 Estructura del proceso Investigativo



Fuentes: (Parejo Gutiérrez, 2020)

En el capítulo primero del presente, se estableció el planteamiento del problema, con sus aspectos más relevantes, con lo cual se aborda la primera parte de la estructura establecida en el diseño del presente proyecto de grado. Lo siguiente es realizar un reconocimiento del área donde el proceso se realiza, identificando los equipos que intervienen, así como también la rutina del operador.

A continuación, se listan los puntos a resaltar en la evaluación física locativa del lugar donde se encuentran los equipos y de los elementos que intervienen en la neutralización, como se muestra en la figura 3.3.

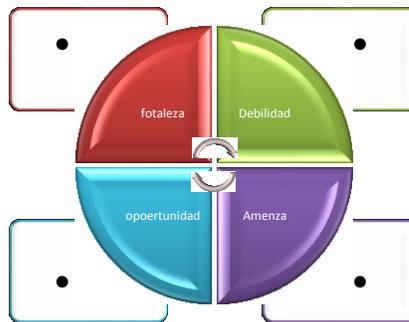
- Estado de los equipos
- Condiciones de elementos de medición
- Estado de las tanques de medida y almacenamiento.
- Estado de las interfaces (pantallas ,si las hay, transmisores de nivel)

Figura 3.2 Estado de los Equipos.



Fuente. Foto tomada por el autor a una planta de tratamiento de agua en una termoeléctrica.

Con la identificación de equipos existentes se busca familiarizarse con las condiciones actuales del proceso, inspeccionando y haciendo un levantamiento, con esto comienza la primera fase de recolección de información y con la ayuda de una matriz donde se muestren las debilidades, oportunidades fortaleza y amenazas (Chapman, 2004), y se pudo evaluar el sistema actual.

Figura 3.3 Esquema de una matriz DOFA

Fuente: (Chapman, 2004)

Para la fase de identificación de variables, es necesario conocer el final del proceso, este conocimiento dado por la cotidianidad, tal cual lo enmarca el enfoque cualitativo, según (Galeano, 2004) en donde a través de lo cotidiano se desarrolla un contacto directo con los actores y escenarios que se estudian. Gracias a esto es fácil entender que las variables a considerar dentro del desarrollo del presente proyecto son el control de pH del agua que va al vertimiento proveniente del pozo de neutralización y que el inicio del proceso dependerá del estado del mismo y del nivel del pozo, el cual se monitorizará desde la aplicación en tiempo real a través de un sensor ultrasónico.

Una vez realizada la identificación de variables se procedió a la recolección de datos. Para este paso se realiza una encuesta entre los operadores basado en el formato que se muestra en el anexo A, la cual ayudo a identificar y a proyectar de manera más organizada la automatización del sistema, como bien lo estipula Hernández Sampieri (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2004), los datos son analizados al tiempo que se recolectan, esto con el fin de crear un procedimiento estándar que se ajuste a los requerimientos de operación del sistema y cubra con las expectativas operativas, teniendo como base las especificaciones o normativas de ley (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

En la fase de análisis de datos, surgen algunos hallazgos en la parte operativa, y esto debido a que por ser una operación en modo manual, por la ausencia de un sistema automatizado, está sometida al criterio subjetivo del operador, y a pesar de que hay un

manual de operaciones establecido por las empresas, termina siendo una guía operativa sujeta a cambio por parte de quien ejecuta, por tanto, resulta necesario e indispensable estandarizar el proceso de neutralización con el fin de garantizar que al final de este, los parámetros de salida sean lo más parecidos unos de otros, o al menos dentro de los rangos exigidos por la ley.

De estos datos también surgió la necesidad de saber cuáles eran características del agua a neutralizar, con el fin de conocer sus propiedades en lo que a pH se refiere, para esto se realizó un muestreo apoyado en la tabla que aparece en el Anexo B, al cual se le introdujeron los datos de pH mientras se realizaba la neutralización y el tiempo que transcurrió del mismo; esto dio una idea general de las condiciones del agua y que proceso dentro de la neutralización es el más recurrente, si el suministrar HCL para bajar el valor del pH o el agregar NaOH para subir el valor del pH hasta el valor deseado para Vertimiento. Estos análisis se realizaron en el laboratorio con los equipos necesarios, y el apoyo de un formato para la recolección de los mismos.

Después de tener la información recolectada se inició con el diseño de la automatización del sistema propuesto.

3.5 Normativa Legal.

- Ley 99 de 1993 - Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. (Presidencia de la República de Colombia, 1993)

- Resolución 0631 de 2015 - Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

- Decreto 1076 de 2015 - se compilan todas las normas emitidas a nivel ambiental tanto por el ministerio como por quien anteriormente ejercía sus funciones.

- Resolución 0883 de 2018 - Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

- Decreto 391 de 1996 - Régimen común sobre acceso a los recursos energéticos.

4. Análisis e Interpretación de los Resultados.

En este capítulo, se establecen las condiciones de uso del sistema de neutralización existente, así como también la rutina operativa, además se hace elabora una simulación del proceso nuevo y se comienzan a fijar los parámetros operativos en una fase experimental apoyada en la construcción de un prototipo basado en Raspberry Pi.

En el proceso de investigación, se pudo encontrar en antecedentes bibliográficos, donde se trata el tema de neutralización utilizando bombas peristálticas para controlar la dosificación de químicos, pero sus bases experimentales se realizaron con volúmenes pequeños de agua, en donde el tiempo de reacción del agente neutralizante es corto comparado con respecto el tiempo que demora si el volumen de agua es mucho mayor, de ahí la decisión de adoptar una postura diferente para el tratamiento de la información de entrada, usando como método el modelamiento de sistemas por caja negra y que se vio reflejado a la hora de hacer la ecuación de transferencia, debido a que dicho proceso estará cimentada sobre la experimentación mas no sobre un soporte matemático, como se verá más adelante en el presente documento.

Por otro lado, se realiza un esquema del paso a paso de la rutina que deberá cumplir el sistema una vez entre en funcionamiento.

4.1 Condiciones actuales del sistema de neutralización.

Teniendo en cuenta un análisis cualitativo del sistema este se evalúa utilizando una matriz DOFA, la cual es una herramienta que permite entender un proceso o situación y tomar decisiones con base en su análisis. Esta evaluación subjetiva, permite conocer,

presentar y discutir una situación o proceso, esto con el fin de encontrar sus debilidades, fortalezas, posibles amenazas y ver la oportunidad que se pueda presentar de mejoramiento.

En la figura 4.1 se muestra el análisis realizado a través de una matriz sencilla pero que ha arrojado gran información, que aunque subjetiva ha sido de gran aporte al proyecto como tal.

Figura 4.1 Matriz DOFA.



Fuente: (Parejo Gutiérrez, 2020)

Como se describe en la matriz anterior, el proceso es sencillo con operaciones rutinarias cuyos pasos van ligados unos de otros, es decir no se puede hacer el siguiente paso sin antes cumplir con el anterior, que debido a que el proceso se realiza manual mente se corre el riesgo de que los parámetros se alteren en el transcurso del proceso de vaciado por alguna llegada de agua proveniente de cualquier fuente que tenga su llegada al pozo de neutralización. Lo cual incurriría en una penalización por parte de las autoridades del medio ambiente regidas por la Resolución 0631 de 2015 y otras que vigilan el proceso de vertimiento a los lechos marinos y fluviales.

Por otro lado, el sistema actualmente, es un sistema expuesto y de interacción con el medio ambiente, en donde los químicos utilizados para la neutralización entran en

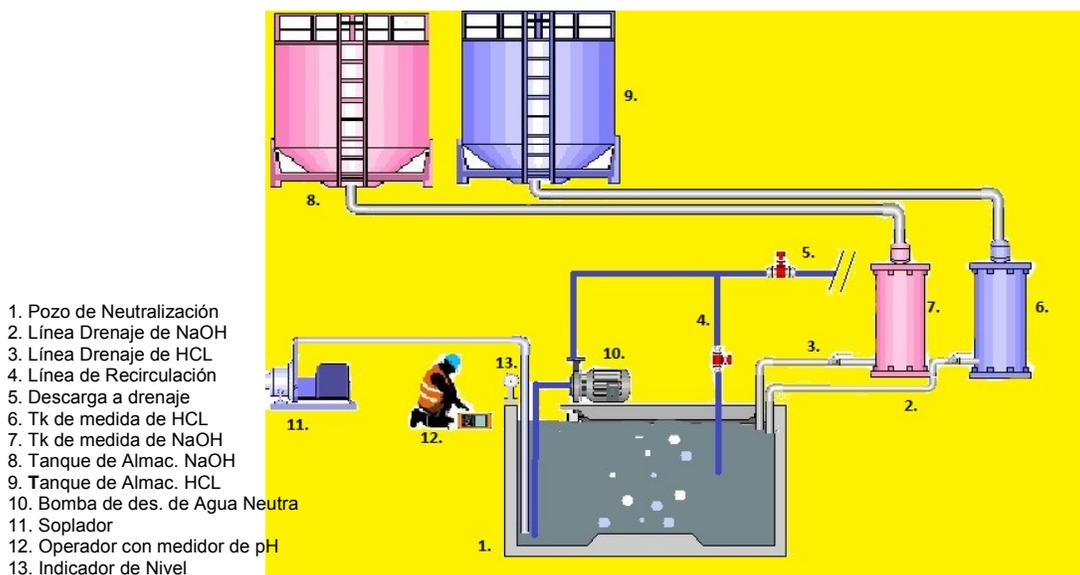
contacto con el aire, generando así vapores corrosivos, más que todo vapores de ácido, esto debido a que al entra en contacto el ácido clorhídrico con el oxígeno produce una reacción que genera vapor de ácido. Esto también trae consigo un impacto ambiental, ya que estos vapores son expulsados al medio ambiente cargando la atmosfera circuncidante con estos vapores que aparte resultan ser bastante asfixiantes.

Otra situación que se puede presentar dentro de las posibles amenazas es que por un descuido del operador mientras se esté llenando el tanque de medida, deje por error la válvula de llenado abierta lo que conlleva a un derrame de químicos, generando así posibles incidentes y atentados a la salud del operador, como también generar un impacto ambiental negativo propio del mismo derrame de químicos.

4.1.1 Equipos que intervienen en la operación.

A continuación como se muestra en la figura 4.2 aparecen los equipos que intervienen en el proceso de neutralización y la función del operador dentro del proceso; también la disposición de los tanque de almacenamiento y medida de los químicos utilizados en el proceso.

Figura 4.2 Estado actual del sistema de neutralización



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

4.1.2 Condiciones operativas del sistema de neutralización existente.

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos especificados en el presente escrito a continuación se enumera el procedimiento actual de neutralización según manual de operaciones de una empresa X para la neutralización así:

Descripción del proceso actual.

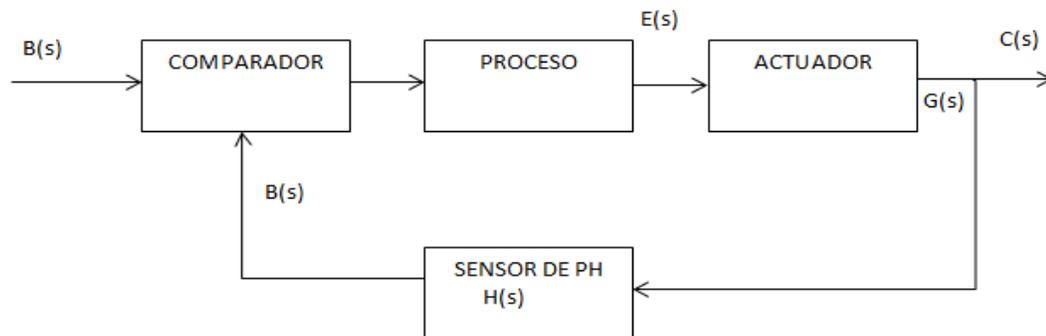
- a. Operador de Planta debe revisar el nivel del pozo de agua residual. Si el nivel del pozo de agua residual se encuentra en la posición 95% del indicador de nivel, NO se debe realizar el procedimiento de regeneración durante la neutralización de las aguas.
- b. Se debe recircular el agua esto se hace abriendo las válvulas de recirculación y la válvula de soplado. Se ponen en servicio las bombas de neutralización y el soplador. Realizar éste paso de mezcla por 30 minutos para garantizar una buena homogeneización.
- c. verificar en el pH-metro, que se encuentra en el pozo el pH del agua residual. Si el pH es mayor a nueve (9), se debe adicionar ácido clorhídrico HCl, por medio de un tanque de medida (se llena hasta 20 cm de altura en la mirilla medidora del tanque de medida) y si es menor que cinco (5), se debe adicionar soda cáustica NaOH (7 cm de altura en la mirilla medidora del tanque de medida). Esto se realiza abriendo la válvula manual del tanque de medida de HCl o NaOH que drena al pozo de neutralización. Realizar la inyección de químicos con el soplador y las bombas de neutralización en servicio y con las válvulas de recirculación y soplado abiertas. Nota; se repite este paso hasta alcanzar los parámetros deseados.
- d. Esperar cinco (5) minutos después de la inyección con las bombas de neutralización y el soplador en servicio y las válvulas de recirculación y soplado abiertas.

- e. Revisar las condiciones del agua en el pH-metro. Si el agua alcanzó las condiciones (pH entre cinco (6) y nueve (9)) ir al paso siguiente. De lo contrario, regresar al paso c.
- f. Estando en servicio las bombas de neutralización y el soplador, abrir la válvula de descarga y vaciado de pozo y cerrar la válvula de recirculación para comenzar a vaciar el pozo

4.2 Sistema de control del proceso de neutralización

En el diagrama de bloques del lazo de control que se muestra en la figura 4.5 podemos ver cómo está compuesto el sistema por un controlador que no es más que un comparador que toma la señal de entrada y la compara con la variable a controlar y este genera una respuesta según el resultado de la operación la cual es enviada al bloque de proceso que es quien decide que se debe hacer según el dato que recibe del comparador, dicha dato es enviado a los actuadores de forma tal que si el pH está por encima del valor de consigna el actuador que se activa es el correspondiente al de la válvula de ácido y si el valor está por debajo del valor de consigna el actuador que se activa es el de la válvula de soda caustica.

Figura 4.3 Sistema de Control.



Fuente: (Parejo Gutiérrez, 2020)

Habiendo aclarado la importancia del sistema de control, se comenzó a pautar los parámetros del sistema. Comenzando por una caracterización de la variable a controlar

4.2.1 Caracterización de la variable

Con el fin de plantear las pautas para el diseño del sistema de control, primero, se debió tener claridad sobre el comportamiento del variable a controla, en este caso el pH, para lo cual se realizó un muestreo en tiempo real de las condiciones de pH a medida que se va agregando los químicos para la neutralización del agua y su comportamiento al transcurrir el tiempo, para ellos se tomó como base los datos consignados en la tabla 4.1

Tabla 4.1 Recolección de Datos pH vs Tiempo

Time -	Lectura de pH	Amplitude -	Lectura de pH
0	11,84	654	7,20
1	11,84	655	7,13
2	11,84	656	7,13
3	11,84	657	7,13
4	11,84	658	7,03
5	11,84	659	7,03
6	11,84	660	6,80
7	11,84	661	6,80
8	11,84	662	6,80
9	11,84	663	6,80
10	11,84	664	6,80
11	11,84	665	6,80
12	11,84	666	6,80
13	11,84	667	6,80
14	11,84	668	6,70
15	11,84	669	6,70
16	11,84	670	6,70
17	11,84	671	6,70
18	11,84	672	6,70
19	11,84	673	6,70
20	11,84	674	6,70
21	11,84	675	6,70
22	11,84	676	6,70
23	11,84	677	6,70
24	11,84	678	6,70
25	11,84	679	6,80
26	11,84	680	6,80

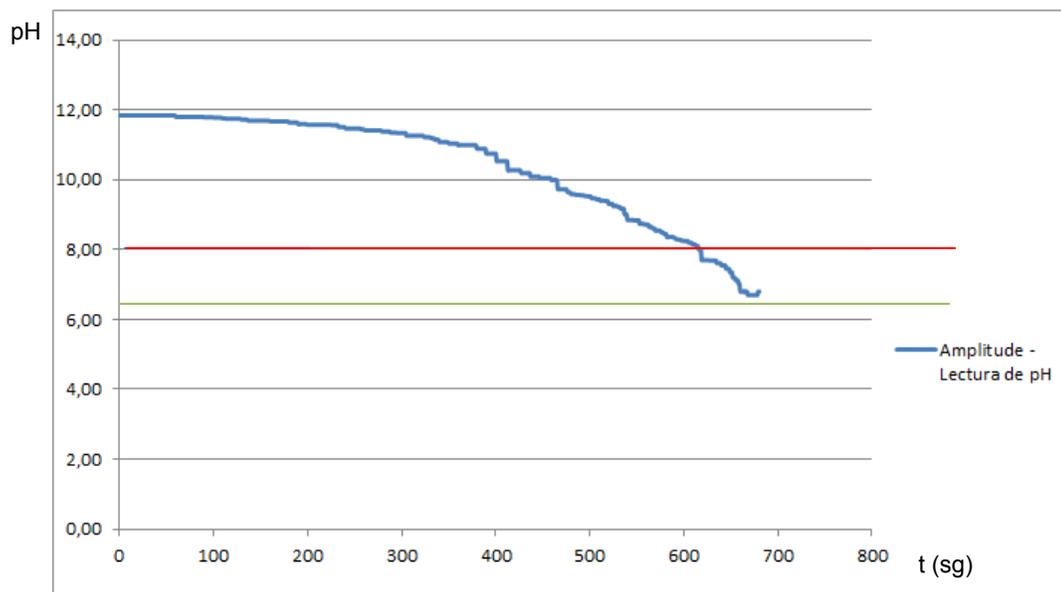
Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Con los datos recopilados en la tabla 4.1 se pudo graficar la tendencia del comportamiento del pH al pasar un lapso 11 minutos (680 segundos), tiempo que le tomo al sistema en estabilizar el pH del agua al valor de consigna, el cual está definido según

la norma (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), la cual los fija entre 6 y 9 de pH.

En la gráfica de la figura 4.4 se observa el comportamiento del pH, muestra que a medida que el químico se está inyectando al pozo, el pH comienza a bajar hasta llegar al valor establecido para el vertimiento. Ahora bien con el fin de garantizar que el pH este siempre dentro de los parámetros establecidos, se fijan unos márgenes de seguridad que para este caso será estimado en 10% por debajo del punto máximo de vertimiento y 10% por encima del punto mínimo; así los nuevos punto máximos y mínimos de vertimiento será 6.5 y 8, como se muestra en la figura 4.4, La línea roja muestra el límite superior máximo (pH 8,0) y la línea verde el límite inferior mínimo (pH 6,5) para vertimiento.

Figura 4.4 Grafica de datos pH vs Tiempo (seg)



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Al analizar los datos de la tabla y realizando una comparación con los tipos de controladores se denota un comportamiento similar al tipo de acción On/off.

Este tipo de controlador tiene como ventaja su facilidad para controlar un proceso que se tarda un tiempo relativamente grande en detectarse un cambio en la variable controlada

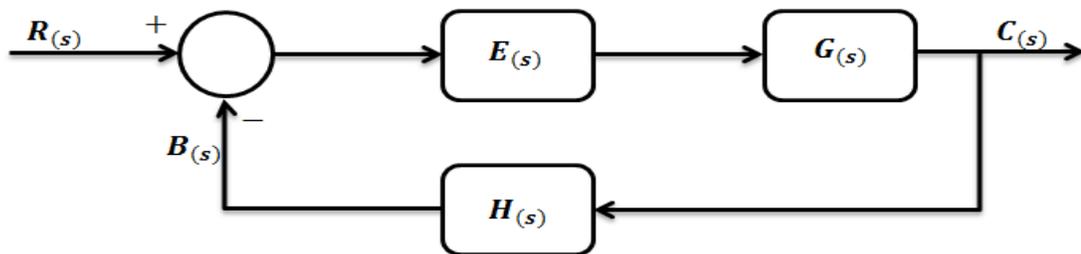
siendo esta variación muy pequeña. (Cartagena99, 2003), de esta manera el sistema interrumpirá el proceso una vez se haya alcanzado los valores de set point.

4.2.2 Función de transferencia

Una manera sencilla de definir la función de transferencia como bien dice (Dorf & Bishop, 2005), es la relación que hay entre la transformada de Laplace de la variable de salida y la transformada de Laplace de la Variable de entrada, esto suponiendo que todas las variables iniciales de entrada sean cero.

A continuación se muestra el diagrama en bloques de una función de transferencia de ciclo cerrado con realimentación

Figura 4.5 Diagrama en Bloques de la Función de transferencia



Fuentes: (Dorf & Bishop, 2005)

Tenemos que:

$E(s)$ = Señal der error

$C(s)$ = Variable Controlada

$G(s)$ = Funcion de tranferencia lazo cerrado

$R(s)$ = Señal de Referencia

$H(s)$ = Funcion de transferencia de Retroalimentacion

$B(s)$ = Señal de Retroalimentacion

Para un sistema On/off con modelamiento por caja negra se tomó como base la función de la transforma de Laplace de una función escalón de primer orden la cual viene dada por la expresión:

Ecuación 4-1

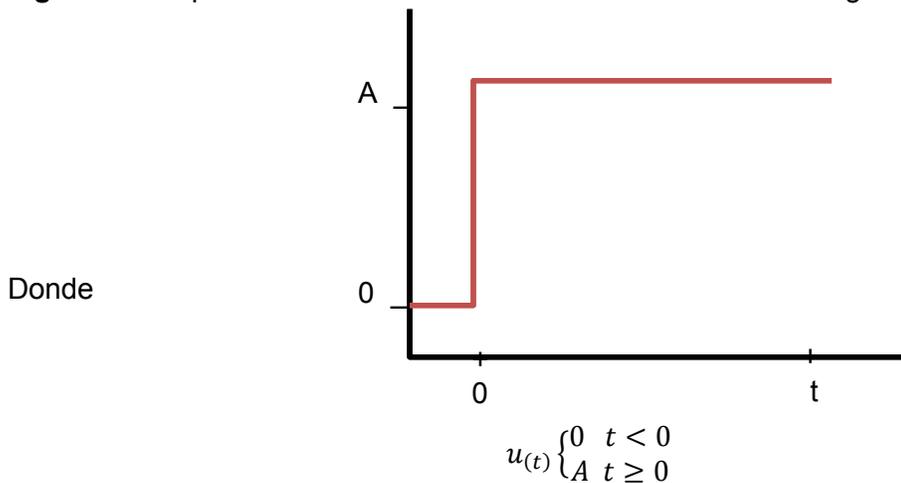
$$Y(s) = \frac{k}{\tau s + 1} U(s)$$

Cuya función en el tiempo está dada por

Ecuación 4-2

$$y(t) = k(\Delta u) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$$

Figura 4.6 Representación Gráfica de la Función Escalón de Magnitud A



Fuente (Castaño Giraldo)

Lo anterior indica que a la entrada del sistema sufre un cambio escalón de 0 a una magnitud A (ΔU); como lo que se desea es llegar a un valor de pH entre 8 y 6.5 se necesita una señal a la entrada del sistema que tenga una magnitud semejante a la señal que se desea a la salida del proceso; y además que dicho valor sea la diferencia entre el pH máximo legible por el instrumento (pH 14) y el promedio de los valores de referencia para vertimiento ($8 < \text{pH} \leq 6.5$) de la siguiente manera:

Ecuación 4-3

$$\Delta U = \max \text{pH}_{\text{Lectura}} - \left(\frac{\text{pH}_{\text{max}} - \text{pH}_{\text{min}}}{2} \right)$$

Dando como resultado para ΔU

$$\Delta U = 14 - \left(\frac{8 - 6.5}{2} \right) = 6.75$$

El siguiente valor a conseguir es la constante k (*ganancia estática de un sistema*), la cual se define experimentalmente y según (Castaño Giraldo) como la diferencia entre el valor final de la lectura del pH menos el valor inicial de la lectura del pH entre ΔU

Ecuación 4-4

$$k = \left(\frac{\text{Lectura final}_{pH} - \text{Lectura Inicial}_{pH}}{\Delta U} \right)$$

$$k = \left(\frac{6.8 - 11.84}{6.75} \right) = -0.74666667$$

Lo siguiente en tener en cuenta fue τ , la cual como lo dice (Castaño Giraldo), es el 63.2% del tiempo total que demora la variable en alcanzar un valor estable deseado. Para el valor de τ se toma como referencia los datos experimentales arrojados en la tabla 4.1. Como se pudo observar el tiempo T que le tomo a la variable para estabilizarse es el tiempo total del proceso el cual fue de 680 segundos; por tanto

$$\tau = t * 63,2\%$$

$$\tau = 680 \text{ sg} * 63,2\% = 429,76 \text{sg}$$

Teniendo los nuevos valores calculados y usando la ecuación 4.2 como se muestra en la figura 4.7 se ingresan los valores para llenar los campos en la tabla.

Figura 4.7 Introducir la Ecuación en la tabla 4.2

Time - Lectura de pH	Amplitude - Lectura de pH	TF
0	11,84	11,84
1	11,84	11,83998636

Fuente (Parejo Gutiérrez, 2020)

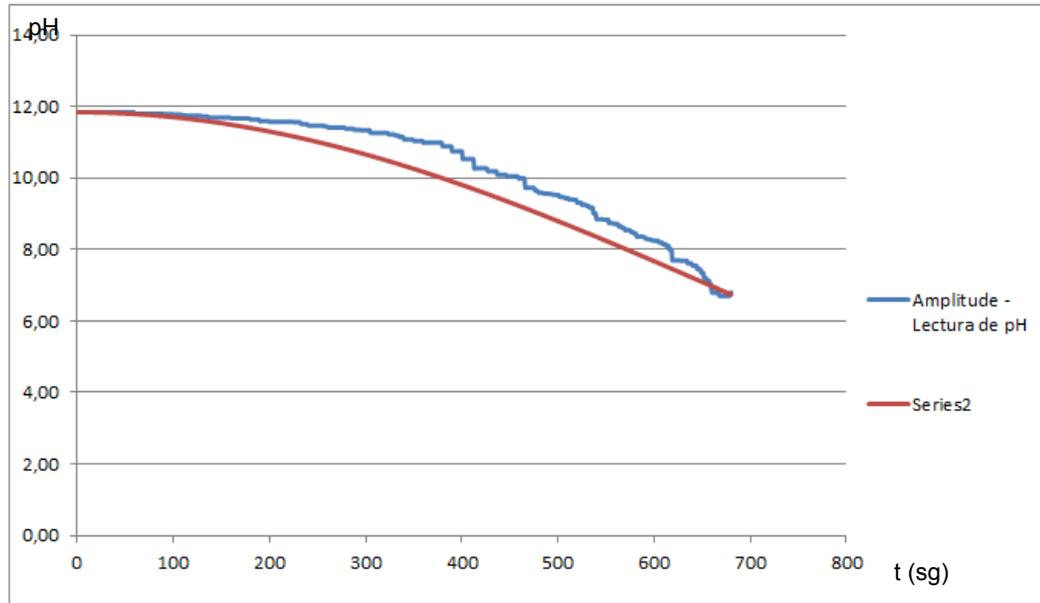
Tabla 4.2 Verificación de datos en la función de transferencia

Time - Lectura de pH	Amplitude - Lectura de pH	TF			
0	11,84	11,84	653	7,20	7,05865811
1	11,84	11,83998636	654	7,20	7,046945399
2	11,84	11,83994542	655	7,13	7,035231351
3	11,84	11,8398772	656	7,13	7,023516029
4	11,84	11,83978169	657	7,13	7,011799497
5	11,84	11,8396589	658	7,03	7,000081818
6	11,84	11,83950882	659	7,03	6,988363056
7	11,84	11,83933145	660	6,80	6,976643275
8	11,84	11,8391268	661	6,80	6,964922536
9	11,84	11,83889486	662	6,80	6,953200905
10	11,84	11,83863564	663	6,80	6,941478444
11	11,84	11,83834914	664	6,80	6,929755217
12	11,84	11,83803536	665	6,80	6,918031288
13	11,84	11,8376943	666	6,80	6,90630672
14	11,84	11,83732597	667	6,80	6,894581576
15	11,84	11,83693036	668	6,70	6,88285592
16	11,84	11,83650748	669	6,70	6,871129815
17	11,84	11,83605734	670	6,70	6,859403325
18	11,84	11,83557992	671	6,70	6,847676514
19	11,84	11,83507524	672	6,70	6,835949444
20	11,84	11,8345433	673	6,70	6,82422218
21	11,84	11,8339841	674	6,70	6,812494785
22	11,84	11,83339764	675	6,70	6,800767322
23	11,84	11,83278393	676	6,70	6,789039855
24	11,84	11,83214297	677	6,70	6,777312447
25	11,84	11,83147477	678	6,70	6,765585162
26	11,84	11,83077932	679	6,80	6,753858063
			680	6,80	6,742131214

Fuente: (Parejo Gutiérrez, 2020)

Una vez se alimentó la tabla 4.2 con los nuevos datos arrojados por la ecuación 4.2 volvemos a graficar y miramos el nuevo comportamiento de la variable con respecto al tiempo como se puede apreciar en la figura 4.8.

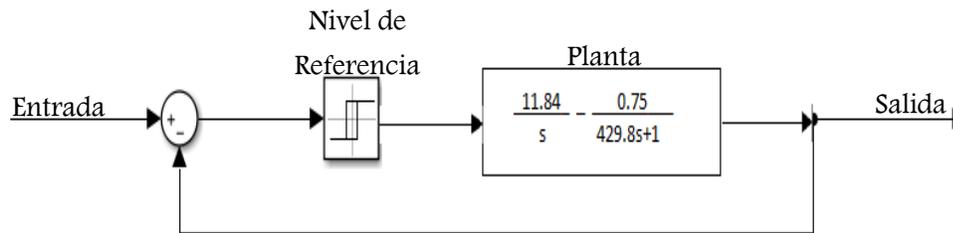
Figura 4.8 Grafica de la tendencia del pH corregida con la ecuación



Fuente (Parejo Gutiérrez, 2020)

Teniendo claro el comportamiento de la variable a controlar se procedió a esquematizar el comportamiento del sistema mediante un diagrama de flujo, y la elaboración de una simulación utilizando el software LABVIEW, además se estableció el diagrama de bloque de la función de transferencia como se muestra en la figura 4.9. En esta se puede apreciar el nivel de referencia del Ph y la planta compuesta por dos valores en transformada de Laplace, el valor de 11,84/S es el valor en transformada de Laplace del valor constante de referencia para el dato en t=0. Y el dato de 0,75/(429,8s+1) es el valor de la función de transferencia calculada en el proceso experimenta.

Figura 4.9 Diagrama de la función de transferencia



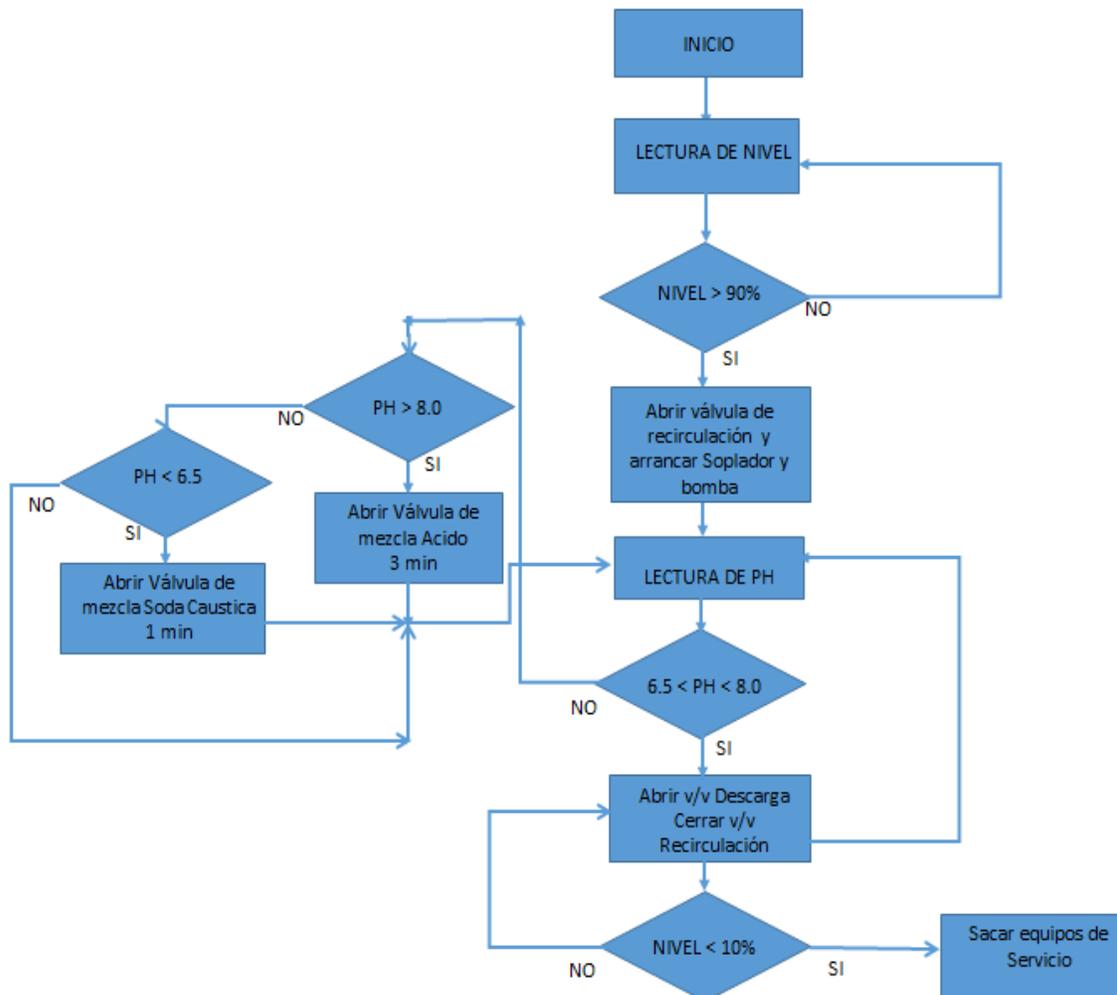
Fuente (Parejo Gutiérrez, 2020)

4.3 Simulación del proceso utilizando el software LABVIEW.

Habiendo alcanzado los parámetros iniciales continuamos con la simulación del proceso con lo cual se tuvo una idea más clara de la acción realizada durante el proceso de neutralización, esto bajo los criterios del modelamiento de sistemas por el método de caja negra.

A continuación se da inicio a la descripción del nuevo proceso apoyado en el diagrama de flujo mostrado en la figura 4.7.

Figura 4.10 Diagrama de bloques del sistema de control



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Descripción del proceso nuevo

Inicio de la Neutralización: El proceso comienza con la primicia del inicio de la neutralización, en este momento el sistema está en Stanby, esperando que se le pulso de arranque para comenzar, pero recibiendo datos del nivel del tanque o pozo de neutralización.

Lectura de Nivel: En esta fase el sistema está realizando lectura en tiempo real del estado del tanque o pozo de neutralización.

Primer condicional Nivel > 90%: El sistema está comparando el nivel del pozo con el valor consignado en el diseño, que para este caso es 90% del nivel total de agua contenida en el pozo.

Arranque de Equipos Abrir Válvula de Recirculación y poner en servicio soplador y Bomba de descarga: Una vez; que el nivel alcanza un nivel de 90% o superior el sistema comienza la secuencia con el arranque de quipos, siguiente los siguientes pasos según la figura 4.10, así: en servicio el soplador durante 10 minutos, esto para producir un movimiento en el agua que provoque una turbulencia de la misma para luego tomar una lectura homogénea del pH del agua.

Lectura de pH: ya pasado el tiempo de soplado, abre la válvula de recirculación y entra en servicio la bomba de descarga, una vez haya flujo de agua por las tuberías, comienza la lectura del pH del agua.

Segundo condicional (6,5 <pH<8,0): Si el pH se encuentra fuera del siguiente rango 6,5 < pH <= 8,0 el sistema pasa al paso de inyección de químicos bajo el siguiente condicional, si el pH es mayo a 8.0 la Válvula que se abre a la línea de mezcla es la de HCL por lapsos de 3 minutos y reposo de 3 minutos, esto con el fin de bajar el pH, si no, si el pH es menor a 6.5 la válvula que se abre a la línea de mezcla es la de NaOH por lapsos de 1 minutos y 2 de reposo con el fin de subir el pH, si no, si el pH esta en rango 6,5 < pH <= 8,0, el sistema pasa al paso siguiente

Abrir Válvula de Descarga y cerrar válvula de recirculación: una vez el pH ha alcanzado los parámetros necesarios para su evacuación, el sistema pasa a la siguiente fase que es la de apertura de la válvula de descarga y cierre de la válvula de recirculación. Cabe anotar que el pH se seguirá leyendo a todo lo largo del proceso de descarga de agua a los sistemas de drenajes y haciendo la comparación del segundo condicional.

Tercer condicional: ya con el proceso en línea el nivel de agua va bajando de nivel hasta llegar a un nivel menor a 10% del nivel del pozo, en este momento se da por terminado el proceso de neutralización y vaciado del pozo de neutralización.

Sacar equipos: una vez el nivel del agua en el pozo está por debajo del 10%, el sistema procede a sacar los equipos que intervinieron (soplador y bomba de neutralización)

4.3.1 Simulación en LABVIEW

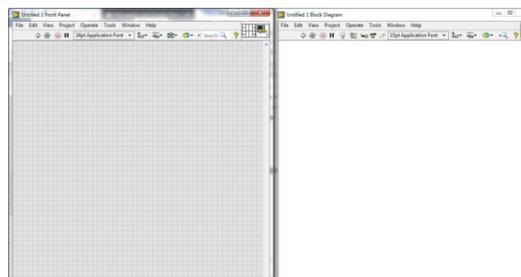
Para la elaboración de la simulación en el Software LABVIEW se tomó como base el diagrama de bloques relacionado en la figura 4.7, contando con los datos experimentales relacionados en el presente documento; cabe anotar que por tratarse de un prototipo a escala, los tiempos de apertura fueron y cierre de las válvulas fueron disminuidos para una mejor apreciación de la funcionalidad del proceso.

A continuación se relaciona una guía de la elaboración del programa de simulación.

Primero se listan los posibles elementos que se utilizaron como son los indicadores booleanos y representaciones de los elementos que intervienen en el proceso. Como la simulación se trata de un proceso de neutralización de aguas residuales producto de la regeneración de resinas iónicas, entonces se asume que esas aguas llegan a un depósito o tanque. Aparte también se necesitan elementos que simulen equipos como bombas, sopladores, válvulas y tuberías, además de indicadores de nivel y de pH.

Primero se abre un nuevo proyecto, como se muestra en la figura 4.8, una vez abierta la pantalla inicial se comienza a colocar sobre la zona de trabajo los elementos que harán parte de la simulación.

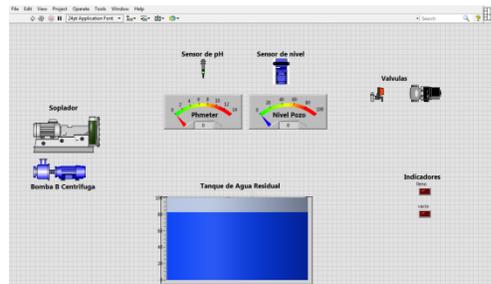
Figura 4.11 Pantalla inicial del VI



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

En esta nueva ventana agregamos la bomba centrífuga para el descargue o recirculación del agua según sea el caso; por otro lado se colocó un soplador con el fin de provocar una presión de aire capaz revolver el agua ahí depositada con el fin de homogenizarla una vez se han agregado los químicos para la neutralización, además se hizo necesario unos indicadores de nivel del tanque como medida de control de nivel, los cuales estarán conectados digitalmente a un indicador de nivel tipo Led, también con el fin de tener constante información real del nivel del tanque se dotó al sistema de un transmisor de nivel, que para el caso del prototipo será un transmisor ultrasónico y ya al final pero no menos importante se instaló el sensor de pH, quien fue el encargado de censar en tiempo real el pH del agua que se está moviendo por el sistema, tal se muestra en la figura.4.9.

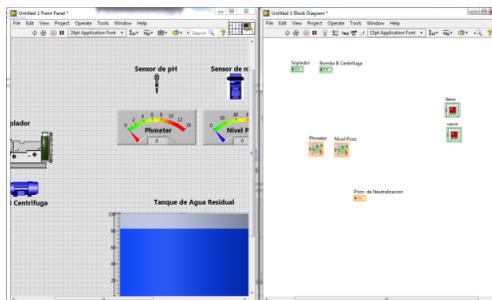
Figura 4.12 VI con los elementos primarios para la Simulación



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Mientras se van colocando elementos en el panel frontal, van apareciendo sus respectivos controles en el panel de diagramas de bloques, como se muestra en la figura 4.10.

Figura 4.13 Panel Frontal y Diagrama de Bloques.



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020).

También se necesitó un panel de control dentro del VI (*Virtual Interface*), desde el cual se dará arranque al sistema y donde estarán ubicados los indicadores de nivel y pH, también se ubicaran los datos concernientes a los setting para las alarmas de nivel, alto y bajo, como se muestra en la figura 4.11

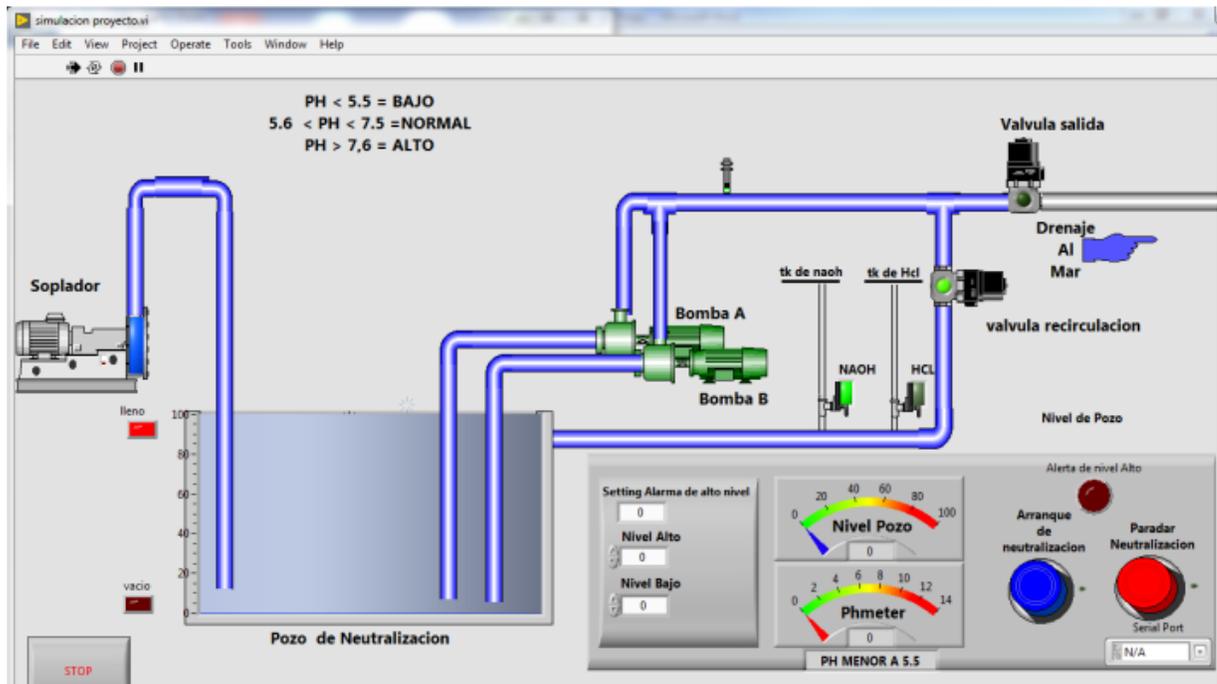
Figura 4.14 Panel de Control de la Simulación.



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Ahora para terminar la parte frontal de la simulación se ordenaron los elementos y además se fijaron elementos boléanos que cumplen con la consigna de simular las tuberías del sistema de neutralización con el fin de dar sentido y orden a la secuencia, quedando ya un pantalla de simulación como se muestra en la figura 4.12

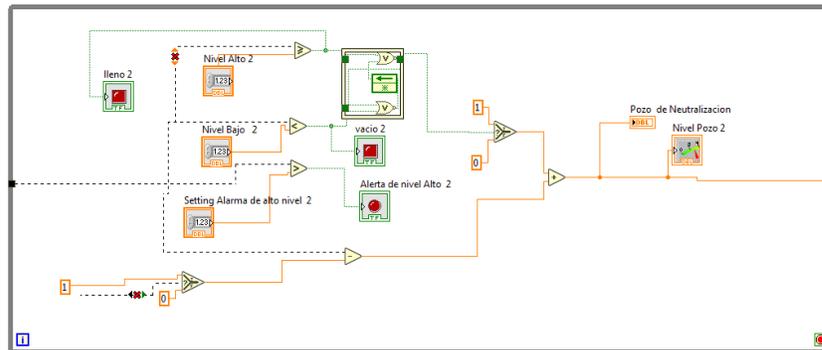
Figura 4.15 Pantalla del panel Frontal de la simulación



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Por otro lado para lograr el comportamiento de llenado y vaciado del tanque, que va a hacer las veces de pozo de neutralización se implementó un sistema de contador que aumenten y disminuyan el nivel del tanque según se vayan dando las condiciones en el programa.

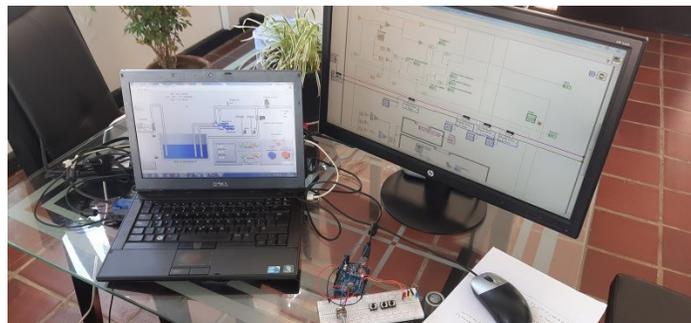
Figura 4.18 diagrama de bloque de la simulación del Tanque.



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Dados los parámetros de trabajo del tanque usado como pozo de neutralización, se plantea la necesidad de simular la variable a controlar, que en este caso es el pH, el cual para efectos de la simulación se hará usando un potenciómetro conectado a una placa Arduino que se encargara de simular el comportamiento del pH medido en la salida de las bombas de neutralización como se muestra en la figura 4.17

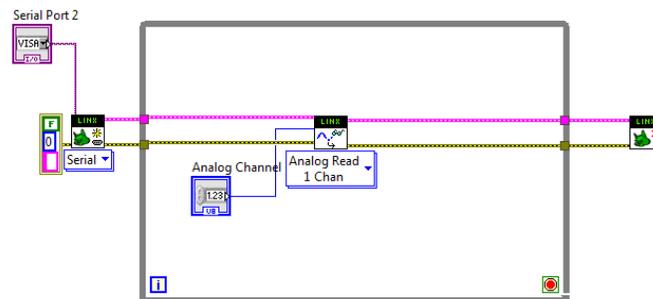
Figura 4.19 Conexión Arduino, potenciómetro y PC.



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Este arreglo digital estará soportado por una conexión lógica dentro de la programación a través de un protocolo de comunicación proporcionado por la misma aplicación, usando la opción Makerhub se hace una conexión real con el medio real, así como se muestra en la figura 4.18

Figura 4.20 Configuración de la Conexión serial con el Arduino.



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

En esta conexión se usan las entradas analógicas del Arduino y a través del puerto USB se realiza conexión física entre este y el Computador donde se encuentra instalada la simulación.

Lo siguiente es realizar las conexiones lógicas de programación, la cual deberá cumplir con las siguientes condiciones basadas en el diagrama de bloques de la figura 4.2:

- El programa se debe iniciar una vez el nivel del tanque o pozo de neutralización haya alcanzado el máximo permisible lo cual dará condiciones de arranque del sistema pulsando un interruptor que inicialice el proceso (vale la pena anotar que la neutralización se puede hacer a cualquier nivel de agua por encima del nivel de seguridad, el cual será fijado por diseño a una altura de 20 cm o 10 % del nivel de fondo, esto con el fin de garantizar la protección bombas por bajo nivel)
- El sistema deberá comenzar la secuencia abriendo las válvulas de soplado y de recirculación además poner en servicio el soplador y la bomba de descarga, pero haciendo una recirculación del agua residual con el fin de tomar su muestra y ver en las condiciones de pH en las que se encuentra; esta fase tiene una duración de 10 minutos.
- En este momento el sensor de pH comienza el envío de datos en el sistema y este hará una comparación interna con el valor consignado por diseño de los valores permisibles para la descarga de agua a los sistemas de drenaje, dichos

valores según la norma (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) estarán comprendidos entre 6 y 9 de pH. Ahora bien, la consigna por diseño es que se deja un factor de seguridad de 10% por debajo del máximo pH, que es 9 y 10% por encima de mínimo pH, que es 6, para un resultado en la descarga de pH entre 6,5 y 8

- Una vez se tenga un dato estable del valor de pH, el programa decidirá cuál es la condición a seguir según los parámetros de diseño

Normativa de ley para vertimiento a lechos marinos

Con el fin de dar cumplimiento a lo contemplado en el artículo 14 de la resolución 631, (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) donde se estipula un máximo de pH en 9 y un mínimo de 6 para el vertimiento de aguas residuales a lechos marinos; por tanto se estipula para el diseño de la simulación y el programa como tal unos parámetros de máximo 8 de pH y mínimo de 6,5 para el vertimiento, de tal manera que cuando el pH medido en el pozo de neutralización es mayor de 8 el sistema recirculara el agua, abriendo la válvula de recirculación, y se abre la válvula de ácido Clorhídrico realizando la secuencia descrita en el diagrama de flujo; igual pasaría si el pH estuviera por debajo de 6,5 pero con la diferencia que en vez de la válvula de ácido Clorhídrico se abre la válvula de soda caustica.

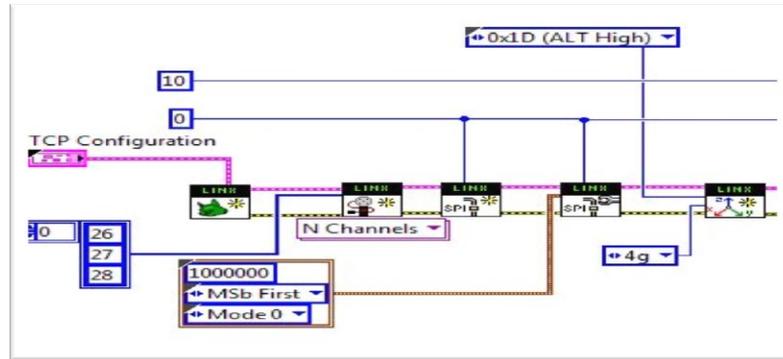
Una vez el pH se ha estabilizado entre 6,5 y 8 el sistema abre la válvula de descarga y cierra la válvula de recirculación para comenzar el vaciado del agua ya neutralizada a los canales de descarga. Este proceso se realizara hasta que el nivel del tanque o pozo de neutralización llegue a su bajo nivel, en este momento el sistema saca de servicio todos los equipos que intervinieron en el proceso como lo es la bomba de descarga y el soplador.

4.4 Protocolo de Comunicación

Para poder usar la Aplicación LABVIEW en Raspberry PI se debe tener instalado la versión 2014 de este software ya que fue es el que consta con los protocolos de comunicación entre LABVIEW y Raspberry a través de la opción LINX de Digital/ Makerhub, el cual, según, (Engineer-Ambiotiously, 2019) y como se muestra en la figura

4.21, es un proyecto de fuente abierta que permite el desarrollo de aplicaciones con sensores de las tecnologías Arduino y Raspberry Pi. El protocolo de comunicación empleado para lograr el envío y recibo de datos está determinado por la opción Makerhub

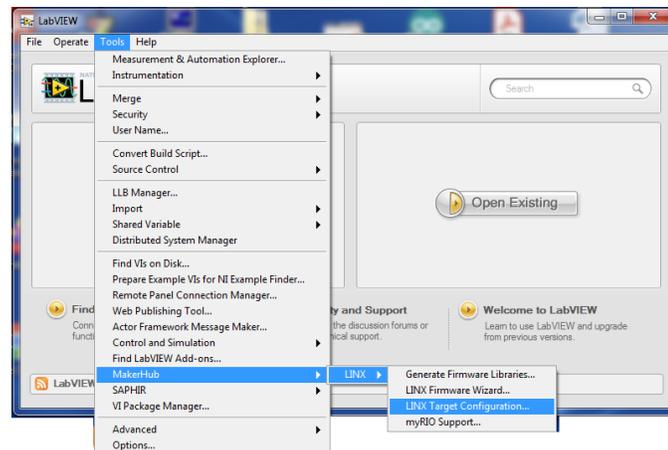
Figura 4.21 Esquema del protocolo de comunicación.



Fuente, (Askix, 2020)

Para realizar esta conexión se debe ingresar a la aplicación LABVIEW y una vez dentro se entra a herramientas buscar Makerhub/LINX/LINX target configuración, así como se muestra en la figura 4.22

Figura 4.22 Conexión Makerhub

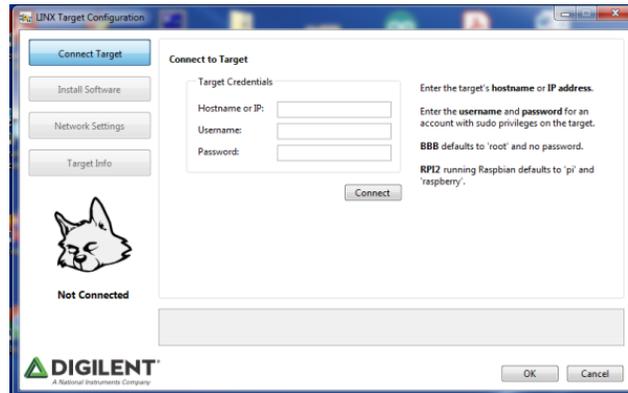


Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Una vez dentro se cargan los archivos necesarios para lograr la comunicación entre LABVIEW y la Raspberry Pi; ya cargado los ficheros el programa solicita la contraseña de

la dirección IP de la Raspberry el usuario y la contraseña, los cuales por defecto son PI y la contraseña es raspberry tal como se muestra en la figura 4.23

Figura 4.23 Autenticación Con la Raspberry



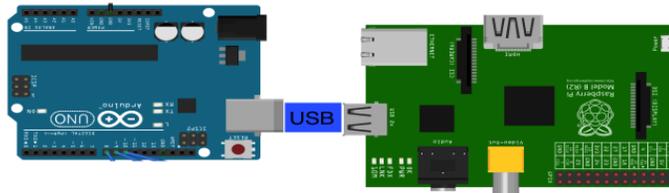
Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Una vez configurada esta parte, el sistema quedo listo para enviar e instalar los datos del programa en la Raspberry PI.

Programación de la Raspberry Pi

Ahora para que la Raspberry pueda leer los datos de sensores debe haber una tarjeta que sirva como interface de comunicación, y para esto se usó una tarjeta Arduino Uno, la cual antes de conectarla debió ser instalada primero en la Raspberry través del terminal y utilizando el comando `sudo apt-get install Arduino` y con esto la placa Arduino pasa a ser un puerto esclavo de la Raspberry PI.

Con esto ya se establece una conexión entre el medio analógico y el medio digital; ahora solo resta crear una aplicación de lectura y escritura de datos que permita leer la información capturada por el Arduino y a su vez se ejecuten las operaciones de control del programa. Así quedaron trabajando Raspberry Pi Y Arduino UNO, conectados a través del puerto USB, figura 4.24.

Figura 4.24 Conexión Raspberry Arduino por USB

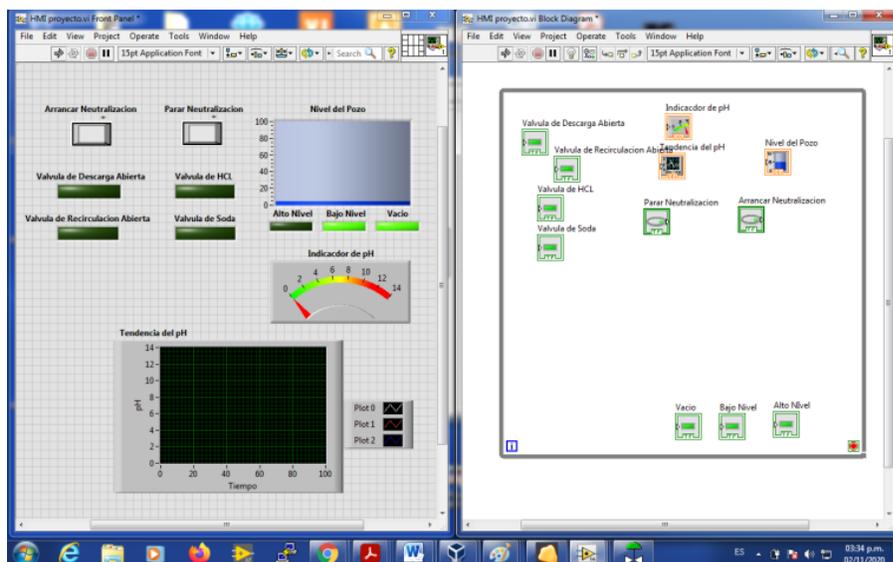
Fuente (Parejo Gutiérrez, 2020)

4.5 Elaboración del Prototipo

En esta sección se mostrara la creación y la ejecución del programa desarrollado en LABVIEW, además del montaje eléctrico del prototipo, con planos sencillo de fácil lectura para su interpretación.

4.5.1 Elaboración de la interface del software

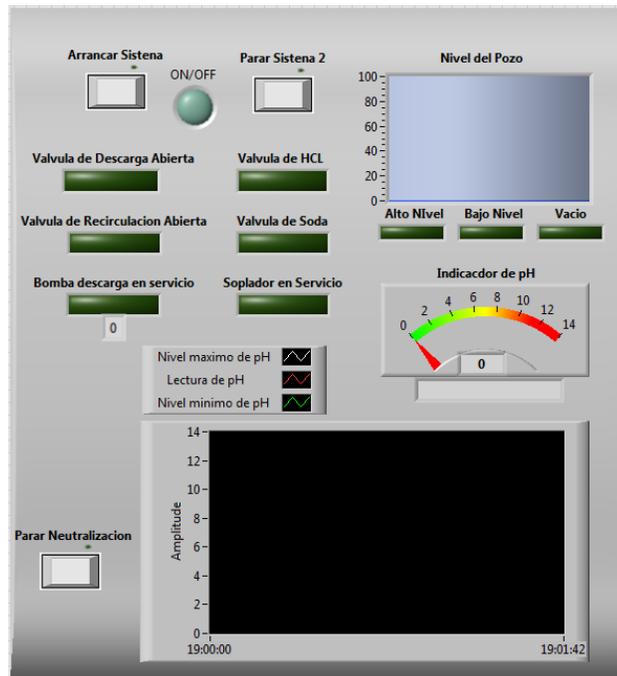
Para la implementación de la interface gráfica HMI (*Human Interface Machine*), se utilizó la versión 2014 de LABVIEW como se muestra en la figura 4.25.

Figura 4.25 Inicio de la Creación de la HMI

Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Después de haber utilizado las herramientas ofrecidas por LABIEW, y realizado las conexiones lógicas el software de control y monitoreo quedó lista como se muestra en la figura 4.26. la pantalla principal de la aplicación

Figura 4.26 Pantalla HMI



Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

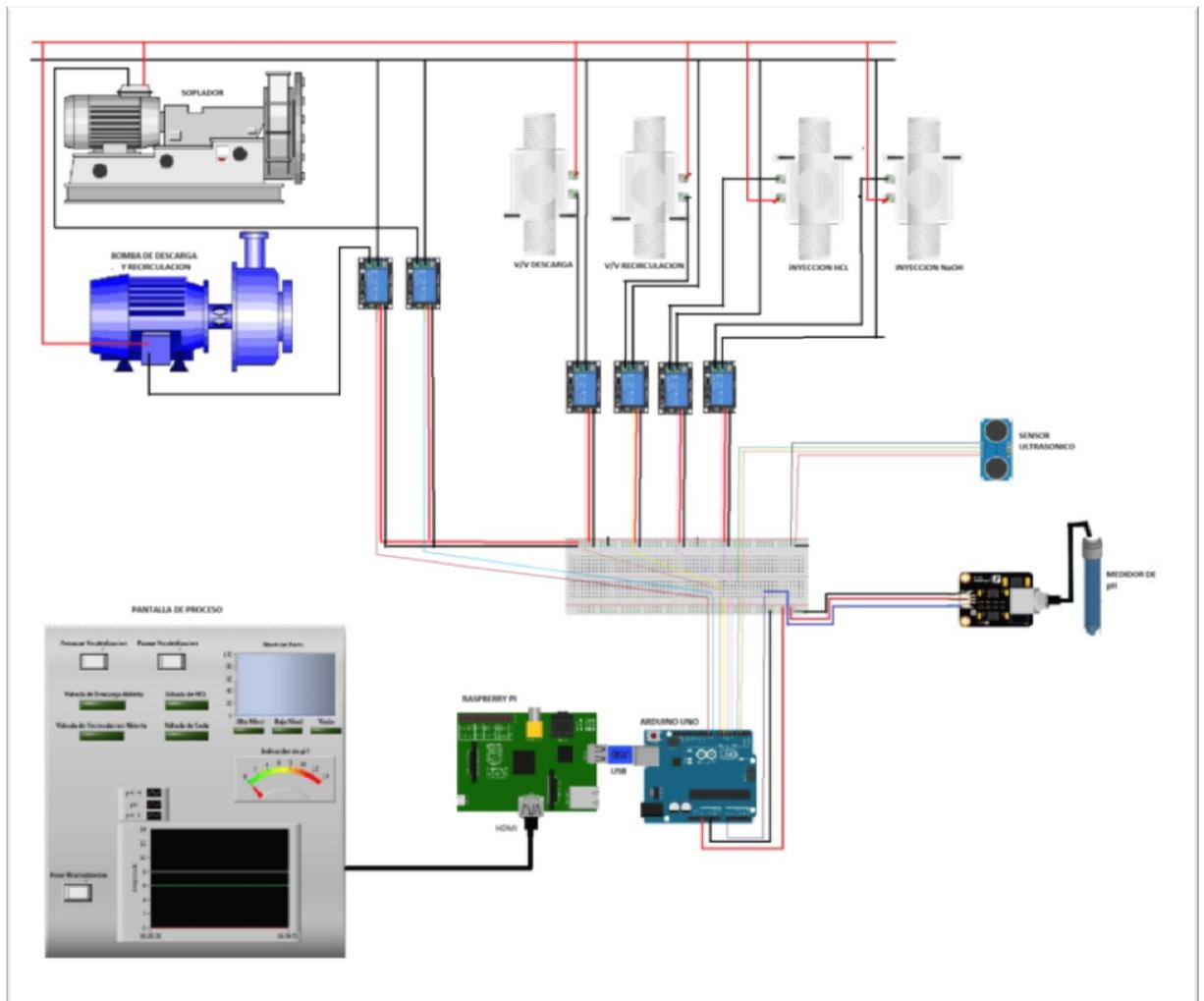
En esta pantalla se muestran los datos de pH en un dial, el nivel del tanque en un indicador visual que simula el nivel en escala de 0 a 100%, los indicadores de válvula de descarga, recirculación, HCL y NaOH abiertas, un pulsador de inicio de la Neutralización, un pulsador de pausa y uno de paro total

4.5.2 Montaje del prototipo

Para el montaje del prototipo se utilizaron elementos de baja potencia con el fin de simular lo más posible al montaje real, el cual consiste en tomar el montaje vigente y actualizar su tecnología, aumentando así su eficiencia y seguridad operacional.

Para el montaje del prototipo se comenzó por un esquema del plano físico de los elementos que hicieron parte del mismo. Así como se muestra en la figura 4.27.

Figura 4.27 Plano Esquemático

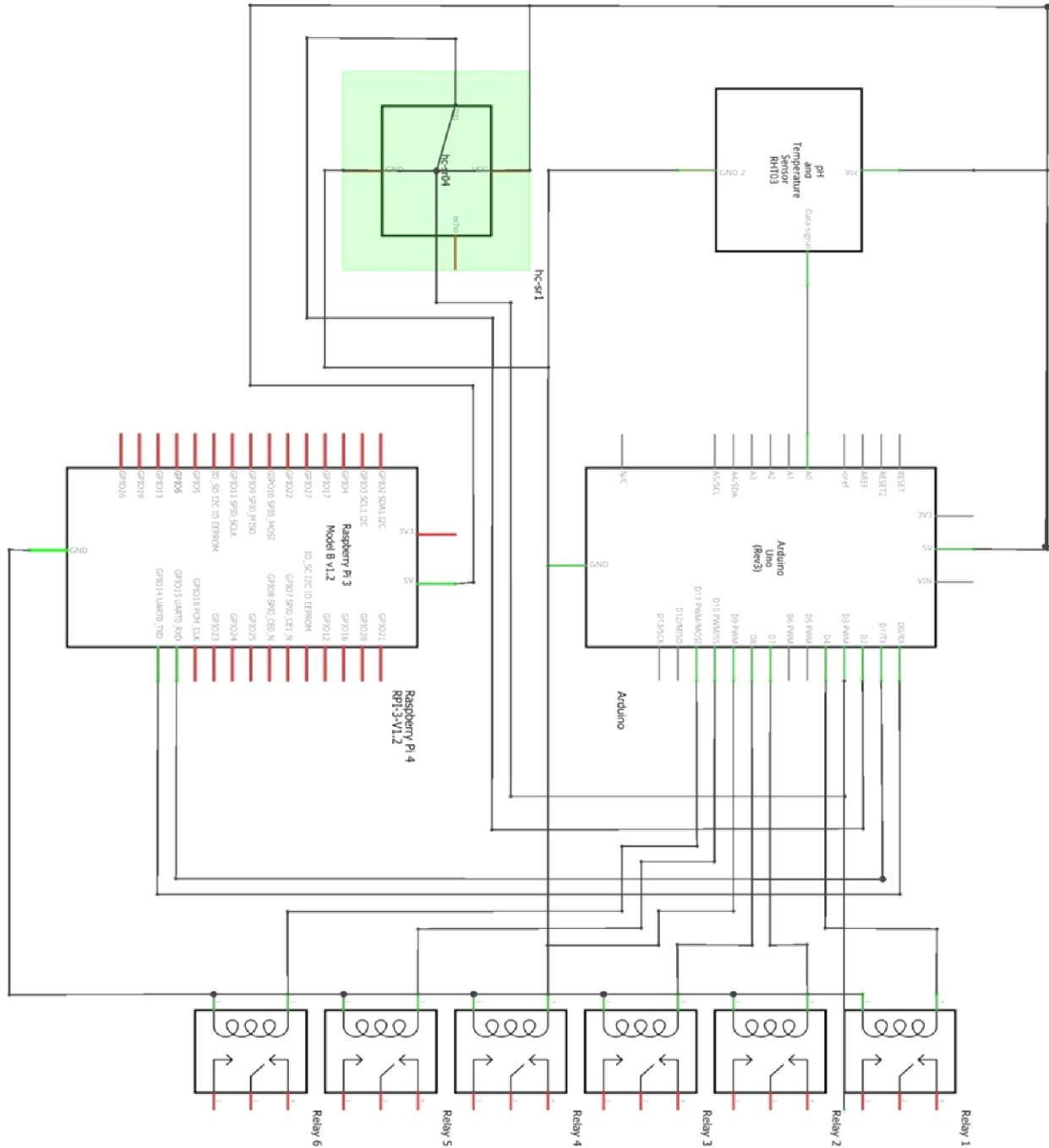


Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Conexión:

La conexión entre la Raspberry y el Arduino es a través de USB, la conexión de los otros componentes están relacionados así como se muestra en la figura 4.28.

Figura 4.28 Esquema Eléctrico



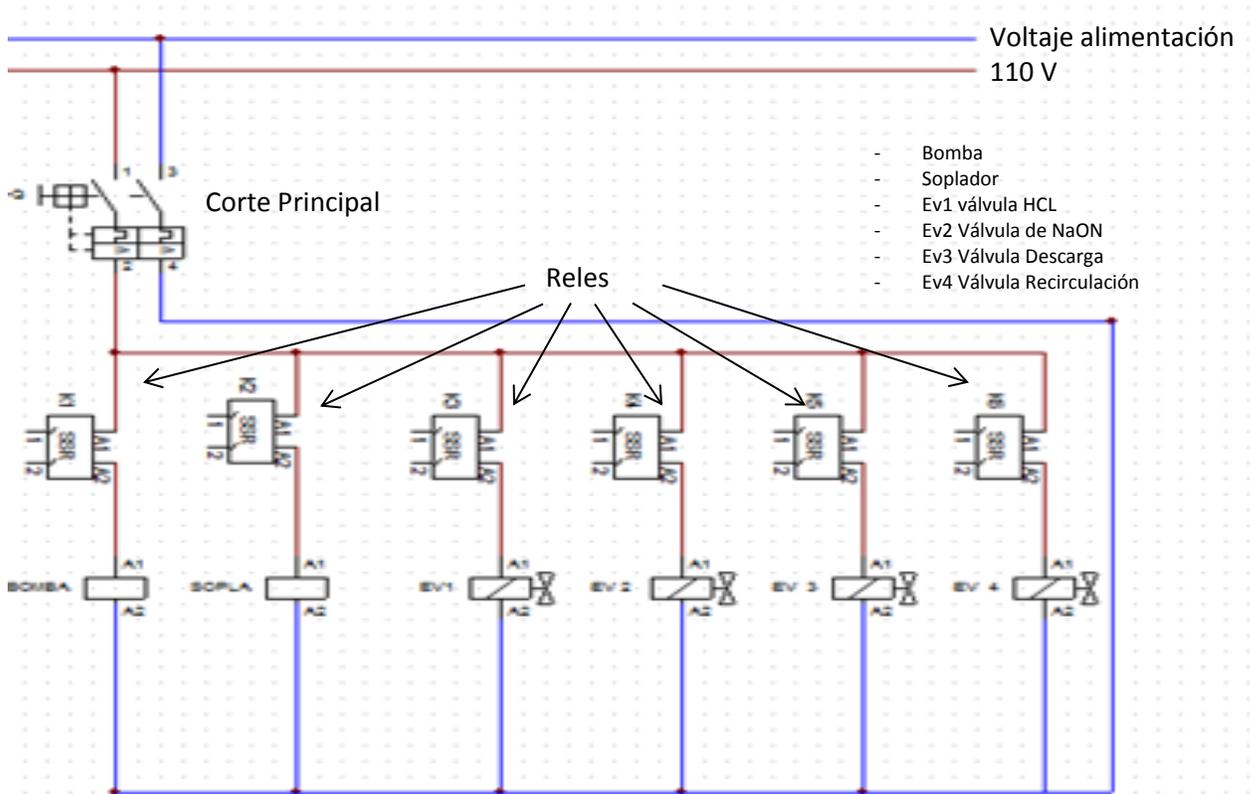
Fuente (Parejo Gutiérrez, 2020)

Distribución de componentes:

- 2 es el TRIGGER del sensor ultrasónico
- 3 es el ECHO del sensor ultrasónico
- 4 a relé 3 comanda la apertura de la válvula de HCL
- 7 a relé 4 comanda la apertura de la Válvula de NaOH
- 8 a relé 5 apertura de la válvula de Recirculación
- 9 a relé 6 apertura de la válvula de Descarga
- 10 a relé 1 puesta en Servicio de la Bomba
- 11 a relé 2 puesta en servicio del soplador
- A0 señal de datos del sensor de pH
- Vcc alimentación de sensor de pH y sensor ultrasónico
- GND negativo común del circuito

En la figura 4.29 se puede apreciar la conexión eléctrica de la etapa de potencia

Figura 4.29 Esquema eléctrico de potencia



Fuente (Parejo Gutiérrez, 2020)

4.5.3 Calibración de pH meter

Para lograr una lectura fidedigna del sensor de pH se debe tener claro que tipo de equipo estamos usando. El Sensor de pH a usar es el cuyos rangos de operación están relacionados en la tabla 4.3

Tabla 4.3 Datos generales del sensor de pH

Voltaje de Alimentación	5V
Corriente	5 – 10 mA
Consumo	≤ 0.5 W
Temperatura	10 – 50°C
Tiempo de Respuesta	<2 min

Fuente. (Scidle)

Debido a que la lectura del sensor de pH es un valor en Voltaje cuyo rango va de 0 a 5V el sistema debe hacer la conversión de tal manera que para una lectura de pH14 el sensor envía una tensión de 5V a la placa; esto se hace multiplicando internamente por un factor de conversión de 2.8, así al registrar una tensión de 5V se tendrá una lectura máxima, igual que con cualquier otro valor de pH por debajo de 14, (lectura máxima de pH)

Ecuación 4-5

$$V_{pH} = S_{in} * 2.8 \quad ; \quad V_{pHmax} = 5V * 2.8 = 14$$

Ahora bien para la calibración del sensor

4.5.4 Elementos que usaron en el montaje

Como se había mencionado para el montaje del prototipo se usaron elementos reciclados así: 3 electroválvulas de ½" una electroválvula de ¼" y dos bombas de lavadora, además se utilizó tubería en PVC de ½", cableado para conexiones, una protoboard (para el montaje inicial), una placa Raspberry PI 4, una placa Arduino UNO un set de 6 relés de 5V un cable USB de datos serial, un cable Ethernet un portátil, el software LABVIEW

2014 y 2017, una Tablet, dos tanques de dos litro un pHmeter compatible con Arduino, como se muestra en la figura 4.30; también se hizo necesario tener una solución acida y una básica

Figura 4.30 Elementos del Montaje



Fuente. Fotos de (Parejo Gutiérrez, 2020)

4.6 Análisis de costo beneficio.

Con el fin de tener una real visión del proyecto con respecto a su viabilidad, se hizo una relación costo beneficio con el fin de relacionar el estado actual del proceso y la proyección a futuro con la construcción de un sistema automático para la ejecución del proceso en cuestión. Ahora bien, se debió tener claro algunos puntos y costos del proceso como lo es el consumo de químicos, el costo mano de obra operativa, el consumo energético de los equipos que intervienen en el proceso y los costos de implementación.

4.6.1 Consumo de químicos

El cálculo de consumo de los químicos que se usan para la neutralización, en este caso el HCL, se hace en base a los datos experimentales y de operación diaria la cual esta aproximada a los 769 litros, (dependiendo del valor de pH del agua) medidos en el tanque principal de almacenamiento, ahora bien, el costo por kilogramo de HCL de grado industrial con densidad de 1.16, está estimado y controlado por la dirección nacional de estupefacientes en \$ 1130 por kilogramo. Teniendo esto cuenta podemos calcular el consumo aproximado de ácido clorhídrico por regeneración, así:

Primero, se pasa los litros a kilogramo

$$P_{HCL-kg} = 769 \text{ lt} * 1.16 \frac{\text{kg}}{\text{lt}} = 893 \text{ kg}$$

Quiere decir que el consumo de ácido clorhídrico en kilogramos es de 893 por neutralización. Ahora teniendo el valor por kilogramo de HCL calculamos el costo total del químico consumido en la regeneración así:

$$\text{Costo}_{HCL \text{ neutralización}} = 893 \text{ kg} * \frac{\$1130}{1 \text{ kg}} = \$ 1'009.316$$

Esto significa que el costo del químico usado para una sola neutralización cuesta un millón nueve mil trescientos dieciséis pesos.

Aparte de esto se debe tener en consideración lo que pasaría si el pH desciende por debajo del mínimo permitido para el vertimiento del agua lo cual conlleva a un consumo de soda caustica, esto sucede muy seguido debido a la falta de control en la lectura en tiempo real del pH en el agua a neutralizar. Este valor se calculó de forma experimental, lo cual arrojo como resultado un consumo total de soda Caustica de 100 litros, dato tomado en la mirilla del tanque de almacenamiento, ahora para calcular el consumo de soda caustica se tienen los siguientes datos: densidad de la soda caustica NaOH es 1.52 kg/lt; precio del kilogramo de NaOH está estipulado por la división de estupefacientes en \$1.428 el kilogramo, entonces:

$$P_{NaOH-kg} = 100 \text{ lt} * 1.52 \frac{\text{kg}}{\text{lt}} = 152 \text{ kg}$$

Para el costo del NaOH consumido tenemos entonces:

$$\text{Costo}_{NaOH \text{ neutralización}} = 152 \text{ kg} * \frac{\$1428}{1 \text{ kg}} = \$ 217,056$$

Lo cual nos da como resultado un costo total de neutralización solo en consumo de químicos de:

$$\text{Costo}_{total} = \text{Costo}_{NaOH \text{ neutralización}} + \text{Costo}_{HCL \text{ neutralización}}$$

$$\text{Costo}_{total} = \$ 217.056 + \$ 1'009.316 = \$ 1'226.372$$

4.6.2 Costos Tiempo del Operador

La hora de mano de obra está estimada en \$11.975.629 /hora, para un operador de planta de agua, entonces tomando de la encuesta realizada a los operadores se estimó un tiempo de 3 horas y media repartidos así: 40 minutos en el proceso de neutralización (agregar químicos y tiempo de reposo) y 2, horas 50 minutos para la evacuación total del agua, entonces los costos de mano de obra serian:

$$\text{Costo}_{\text{operador}} = (3 * 11.975,629) + \left(\frac{11.975,629}{60} * 30 \right) = \$41.914,70 \text{ por neutralización}$$

Por otro lado está el costo de la energía eléctrica consumida por los equipos, los cuales no se relacionaran en el presente debido a que están incluidos en los gastos operativos del consumo de planta, aunque no por tal quiere decir que sean despreciables.

Tabla 4.4 Relación de costos por neutralización.

Costos de Neutralización	
Consumo de HCL	\$ 1'009,316
Consumo de NaOH	\$ 217,056
Tiempo empleado por el Operador(\$)	\$ 41,914.7
Total	\$ 1'268,286.70

Fuente (Parejo Gutiérrez, 2020)

Estos costos relacionados en la tabla 4.4 son los costos por cada neutralización la cual es una operación que se realiza cada dos días y que al mes sería un total de 15 neutralizaciones para un total de \$ 19'024.290.

Evaluación de costos con el proceso automatizado según la tabla 4.5

Tabla 4.5 Costos del Proceso ya Automatizado.

Costos de Neutralización	
Consumo de HCL	\$ 1'009.316
Consumo de NaOH	\$ 0
Tiempo empleado por el Operador(\$)	\$ 36,324

Costos de Neutralización	
Total	\$ 1'045,640

Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Como consecuencia de esto se evidencio una disminución de aproximadamente 17% de los costos con respecto al estado actual con lo cual tenemos un ahorro mensual por neutralización de \$3'255,840, que al año le representa un ahorro de \$39'070.080

4.6.3 Costos de Implementación

Para realizar un balance de costos asumimos que la infraestructura eléctrica está en buenas condiciones por tanto solo se hará la implementación de la parte de automatización, con lo cual se deduce los siguientes datos a manera de recomendación. Para el autómatas se recomienda el PLC SIEMENS S7 1200 el cual cuenta con 14 entradas digitales 2 entradas analógicas y 10 salidas digitales, con lo cual se cubre los parámetros de entrada y salida y cuyo costo comercial se encuentra en \$1'480,500 por demás otros elementos que se relacionan en la tabla 4.6

Tabla 4.6 Lista de Elementos para la Automatización a nivel Industrial.

Costos de implementación de Automatización			
Cant	Descripción	Valor Uni.	Valor Total
1	Pantalla Siemens Plc Touch Tkp 700	\$2'200,500	\$2'200,500
1	Autómata Siemens Simatic S7 1200	\$1'480,500	\$1'480,500
1	Fuente Siemens S7 Ps 307 24 Vdc/5amp	\$180,000	\$180,000
2	Válvula Bola Nc. Pvc actuador neumat. ½"	\$1'585,900	\$3'171,800
2	Relés de estado sólido Ssr 40 Da Fotek	\$ 33.350	\$66,700
2	Contactador o arrancador motor 50 amp 110 V	\$135,000	\$ 270,000
1	Sensor de nivel Scul Sense	\$3'000,000	\$ 3'000,000
1	Sensor de pH industrial analógico	\$ 332,300	\$ 320,300
	otros		\$ 1'500.000
	Total		\$32'189.800

Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

En el ítem otros se relacionan cableados y demás accesorios que hagan falta al momento del montaje, además se necesitara un software para la elaboración de la programación del Plc, que para este caso será el Tia Portal en versiones 2016 en adelante.

Ahora bien si se realiza un proyección anual comparando los datos arrojados por la tabla 4.5 del consumo por regeneración a un año y el ahorro por regeneración se puede apreciar un considerable ahorro con respecto a la inversión inicial del proyecto la cual es de \$ 32'189,800.

Continuación se mostrara una lista de costos de los elementos que se usaron para la construcción del prototipo.

Tabla 4.7 Tabla de costos del prototipo

Cant.	Descripción	Valor Uní	Valor total
1	Raspberry PI 4	350.000	350.000
1.	Arduino UNO	42.000	42.000
2	Maletas para kit	10.000	20.000
6	Relés de 5V	5.000	30.000
1	Protoboard (baquelita perforada)	25.000	25.000
1	Válvulas ¼"	65.000	65.000
3	Válvulas ½"	30.000	90.000
2	Bombas de agua (lavadora)	154.990	309.980
1	Sensor de pH	134,000	134,000
1	Sensor Ultrasónico	10,400	10,400
	Total		931.980

Fuente. (Parejo Gutiérrez, 2020)

Por lo cual podemos decir que los costos de construcción del prototipo están en \$ 931.980.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Luego de comprobar la funcionalidad del proyecto, y realizando el análisis costo beneficios se pudo concluir que:

- Al evaluar las condiciones actuales se encontró que el sistema presenta falencias, las cuales están dadas por la carencia de un equipo que haga control de la mezcla de químicos para la neutralización y ya que esta operación es manual da como consecuencia el aumento de riesgos a la salud del operador. Esto también traer consigo pérdidas asociadas a los gastos por consumo de químicos debido a la falta de control de pH sujeta al criterio de cada operador.
- Por otro lado al ser una operación manual, el pH puede variar por la llegada de cualquier efluente al pozo, y si el operador no está presente, las condiciones podrían cambiar dando como resultado la alteración del pH lo que conlleva a una penalización a la empresa.
- Basado en los datos experimentales obtenidos en la práctica, se pudo determinar que la Función de Transferencia del sistema está dada por los siguientes valores donde τ es calculada como el 62.3% de T, donde T es el tiempo que le toma a la variable estabilizarse y que podría partir de un valor máximo de 13 pero que a la hora de hacer el experimento partió de 11.89. por tanto se pudo concluir con base en los resultados que este sistema se adapta a una función de transferencia de primer orden
- Realizando un análisis experimental del sistema se pudo observar que los tiempos de neutralización son bastante largos, debido que al agregar los químicos para la neutralización a estos le toma un tiempo determinado para reaccionar, y que por

tanto es ideal para evaluarse bajo el control de una sistema escalón de amplitud A.

- Al realizar una simulación del proceso se pudo hacer una pre evaluación de proceso con el fin de determinar el comportamiento de los equipo ante los diferentes momentos de las neutralización, y también poder determinar los elementos que se requieren para hacer el diseño de primero prototipado y luego de manera industrial
- Con el diseño del prototipo se logró constatar la funcionalidad del sistema, a bajo costo, analizando el comportamiento de la variable, una vez puesto en marcha dando como resultado el comportamiento deseado para el cometido del diseño.
- Con respecto a los costos beneficios a que hace referencia el presente documento, que los costos por neutralización están avaluados aproximadamente en \$ 1'268,286.70, por neutralización, y que ya con el sistema automatizado los costos se reducen a \$ 1'045,640, lo cual genera un ahorro anual de \$39'070.080 y como se evidencio que el costo del proyecto, el cual tiene un valor aproximado por implementación de \$32'189.800 se puede concluir que los costos por implementación son recuperables en el término de un año.
- Con el proceso ya automatizado, el primer factor que se ve disminuido es el tiempo de neutralización que como se vio en la fase experimental fue de 680 segundos para un total de 11 minutos (vertimiento de químico y reposo) lo que es una reducción considerable de tiempo, también se minimiza el riesgo de bajar demasiado el pH al punto en que se deba usar soda caustica para normalizar el valor al punto de vertimiento. Utilizando las mismas condiciones experimentales de pH y considerando que la cantidad de Ácido Clorhídrico es la misma, ósea 769 litros, notamos como con la puesta en servicio del sistema automatizado el valor del uso de NaOH será cero debido que el programa está diseñado para minimizar el riesgo de bajo pH por sobre dosificación de ácido, se realizó una nueva evaluación de costos dando como resultado los datos visualizados en la tabla 4.5.

5.2 Recomendaciones

Según los datos Experimentales arrojados en la practica se recomienda mantener el soplador en servicio por 10 minutos antes de comenzar el proceso de neutralización con

el fin de homogenizar completamente el agua y así tener un datos real de las condiciones del agua a neutralizar, igual que también se recomienda mantenerlo en servicio a todo lo largo del proceso de neutralización

Por otro lado se debe tener en cuenta que para poder usar este tipo de aplicación se hizo necesario tener instalado en la Raspberry el S.O. Rasbian debían Jessie y la versión 2014 de LABVIEW, según (Cadenas, 2017). También se deja en consigna explorar todas las posibilidades de uso de la placa Raspberry Pi, el cual ha demostrado ser una excelente herramienta de procesamiento para procesos de mayor envergadura, que si bien no son diseñados para trabajos fuertes, se puede lograr mucho con tan poco, debido a su rendimiento y velocidad de procesamiento.

Bibliografía

- Askix. (2020). *Askix.com*. Obtenido de http://www.askix.com/robot-de-justa-codigo-de-labview_2.html
- Bisquerra Alzina, r., Dorio Alcaraz, I., & Gómez Alonso, J. (2009). *Metodología de la Investigación educativa*.
- Bravo Montenegro, D., Cortes Carvajal, J., Patiño, M., & Cabrera Lopez, J. (2008). Modelado de Sistemas Dinamicos a Partir de Datos Experimentales. *Revista Colombiana de Fisica*.
- Cadenas, A. (2017). *Acadenas Tutoriales*. Obtenido de <https://www.youtube.com/playlist?list=PLvgpUBcodQalebdhXcDTt-EcVDgfvQAI>
- Cárdenas, A. (6 de Junio de 2015). *Electrocrea*. Obtenido de <https://electrocrea.com/blogs/tutoriales/33306499-sensor-ultrasonico#:~:text=Los%20sensores%20de%20ultrasonidos%20son,la%20se%C3%B1al%20tarda%20en%20regresar.>
- Cartagena99, A. (2003). *cartagena99.com*. Obtenido de www.cartagena99.com
- Castaño Giraldo, S. A. (s.f.). *Control Automatico educacion*. Obtenido de www.controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/sistemas-dinamicos-de-primer-orden/
- Chapman, A. (2004). *Analisis DOFA y analisis PEST*. Obtenido de www.eduardoleyton.com.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2005). *Sistema de Control Moderno*.
- elconfidencial.com. (s.f.). https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2013-11-22/dos-millones-de-razones-para-saber-que-es-exactamente-raspberry-pi_56003/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20Raspberry%20Pi%3F,escuelas%20de%20todo%20el%20mundo.
- Engineer-Ambiotiously. (2019). *sine.ni.com*. Obtenido de <https://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212478>
- Fernández Diez, P. (2000). *Centrales Térmicas*.
- Galeano, M. E. (2004). *Diseño de Proyecto en la Investigacion Cualitativa*.
- Garcia Moreno, E. (2010). *Automatizacion de Procesos Industriales*.

- Gecelca. (2010). Manual de Operaciones. En G. S. E.S.P..
- Gross, M. (2010). *Conozca tres tipos de Investigación*.
- Guerrero, H., & Puyol, C. (2006). *www.sadelplata.com*. Obtenido de http://www.sadelplata.org/articulos/guerrero_060901.pdf
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2004). *Metodología de la Investigación*.
- histinf.blogs.upv.es. (s.f.). <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/>.
- LABVIEW. (2018). <https://www.ni.com>. Obtenido de <https://www.ni.com/es-co/shop/labview.html>
- Mini. (s.f.).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Resolución N° 0883 de 18 de mayo de 2018*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 631 de marzo 17 de 2015*.
- Nevares, M. E. (s.f.). *Optimización del Proceso de Regeneración de Resinas*.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A 2010.
- Orozco Jaramillo, A. (2005). *Bioingeniería de Aguas Residuales*.
- Palacio Santos, L. A., Tapias Garcia, H., & Saldarriaga Molina, C. (s.f.). *Métodos y Algoritmos de diseño en Ingeniería Química*.
- Parejo Gutiérrez, J. A. (2020). *Tesis de grado*.
- Perez Lopez, E. (2015). Los Sistemas SCADA en la Automatización Industrial. *Tecnología en Marcha*, 3-14.
- Ponsa Asensio, P., & Vilanova Arbós, R. (2005). *Automatización de Procesos mediante la guía GEMMA*.
- Presidencia de la República de Colombia. (1993).
- Roncancio, H. A., & Cifuentes, H. (2001). *Tutorial de LABVIEW*. Obtenido de <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/labviewtutorialuniversidadfranciscodecaldas.pdf>
- Rueda, C. (12 de Agosto de 2008). Automatización Industrial: *Automatización Industrial: Areas de aplicación en la Ingeniería*.

-
- Sanchis Llopis, R., Romero, J. A., & Ariño Latorre, C. (2010). *Automatización industrial*.
 - Sarantakos, S. (2005). *Social Research 3th edition*.
 - Scidle. (s.f.). Obtenido de scidle.com
 - SENSORICX. (s.f.). *SENSORICX.COM*. Obtenido de EL SITIO WEB DE LA TECNOLOGIA: <https://sensoricx.com/mediciones-e-instrumentacion/scada-que-es-para-que-sirve-ventajas-como-funciona/>
 - Serna Ruiz, A., Ros Garcia, A., & Rico Noguera, J. C. (2010). *Guía Práctica de sensores*. Madrid: Creaciones Copyright.
 - sitegoogle.com. (s.f.).
https://sites.google.com/site/picuino/pid_controller?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1.
 - tecnodeport.blogspot.com. (s.f.).
<http://tecnodeport.blogspot.com/2012/11/retroalimentacion.html>.
 - www.luisllamas.es. (s.f.). <https://www.luisllamas.es/modelos-de-raspberry-pi/>.

Anexo A Formato de Encuesta

Formato de Recolección de datos Operativos

Fecha: _____

Nombre del Operador: _____

Cargo que Ocupa: _____

Asunto: Establecer la Necesidad de Automatizar el Sistema de Neutralización de Aguas Residuales Mediante el Control de PH.

Preguntas:

1. ¿Realiza usted proceso de Neutralización en planta?

2. ¿Cuánto tiempo demora el proceso de Neutralización?

3. ¿Considera Usted que está expuesto a alguno tipo de riesgo físico, químico o mecánico mientras está realizando la neutralización, diga cuál y explique porque?

4. ¿Cree usted que la neutralización se realizaría de manera más eficiente y segura si el proceso fuera automatizado, porque?

Anexo C Hoja de seguridad del HCL

HOJA DE SEGURIDAD III ACIDO CLORHIDRICO

FORMULA: HCl

PESO MOLECULAR: 36.46 g/mol

COMPOSICION: Cl: 97.23 % y H: 2.76 %.

GENERALIDADES:

El ácido clorhídrico es una disolución acuosa de cloruro de hidrógeno. El nombre de ácido muriático, con el que también se le conoce, le fue dado por Lavoisier, basado en el hecho de que "muriato" indicaba la presencia de cloro en los compuestos inorgánicos. Es un líquido de color amarillo (por presencia de trazas de hierro, cloro o materia orgánica) o incoloro con un olor penetrante. Está presente en el sistema digestivo de muchos mamíferos y una deficiencia de éste, provoca problemas en la digestión, especialmente, de carbohidratos y proteínas; un exceso provoca úlceras gástricas.

La disolución acuosa grado reactivo contiene aproximadamente 38 % de HCl. Es utilizado en la refinación de minerales, en la extracción de estaño y tántalo, para limpiar metales, como reactivo químico, en la hidrólisis de almidón y proteínas para obtener otros productos alimenticios y como catalizador y disolvente en síntesis orgánica.

Sus vapores son irritantes a los ojos y membranas mucosas. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Es corrosivo de metales y tejidos. Para su obtención se tienen diferentes procesos industriales, entre los cuales se encuentran: la reacción entre cloruro de sodio o potasio con ácido sulfúrico; la reacción de bisulfuro de sodio con cloruro de sodio, conocido como proceso Meyer; el proceso Hargreaves, en el cual se usa óxido de azufre, sal y vapor.

NUMEROS DE IDENTIFICACION:

CAS: 7647-01-0

UN: 1789

NIOSH: MW 4025000

NOAA: 5020

STOC: 4930228

RTECS: MW4025000

NFPA: Salud: 2 Reactividad: 0 Fuego: 0

HAZCHEM CODE: 2R

El producto está incluido en: CERCLA, 313

MARCAJE: LIQUIDO CORROSIVO.

SINONIMOS:

ACIDO MURIATICO

CLORURO DE HIDROGENO (GAS)

Otros idiomas:

CHLORWASSERSTOFF (ALEMAN)

ACIDE CHLORHYDRIQUE (FRANCES)

ACIDO CLORIDRICO (ITALIANO)

CHLOORWATERSTOF (HOLANDES)

CHLOROWODOR (POLACO)

En Inglés:

ANHYDROUS HYDROCHLORIC AC.

CHLOROHYDRIC ACID

SPIRITS OF SALT

DILUTE HYDROCHLORIC ACID

HYDROCHLORIC AC.

HYDROCHLORIDE

HYDROCHLORIC AC. GAS

HYDROGEN CHLORIDE (GAS)

PROPIEDADES FISICAS:

Presión de vapor (A 17.8 °C): 4 atm

Densidad del vapor: 1.27

Densidad del gas (a 0 °C): 1.639 g/l

Índice de refracción de disolución 1.0 N (a 18 °C): 1.34168.

Densidad de disoluciones acuosas peso/peso (15 °C): 1.05 (10.17 %); 1.1 (20 %); 1.15 (29.57%); 1.2 (39.11%).

Puntos de congelación de disoluciones acuosas: -17.14°C (0.81 %); -62.25°C (20.69 %); -46.2°C (31.24 %); -25.4°C (39.17 %)

Puntos de ebullición de disoluciones acuosas: 48.72 °C (50.25 mm de Hg y 23.42 % en peso); 81.21 °C (247.5 mm de Hg y 21.88 % en peso); 97.58 °C (495 mm de Hg y 20.92 % en peso); 106.42 °C (697.5 mm de Hg y 20.36 % en peso) y 108.58 °C (757.5 mm de Hg y 20.22 % en peso)

Punto de ebullición del azeótropo con agua conteniendo 20.22 % de HCl (760 mm de Hg): 108.58 °C.

pH de disoluciones acuosas: 0.1 (1.0 N); 1.1 (0.1 N); 2.02 (0.01N); 3.02 (0.001N); 4.01 (0.0001 N).

PROPIEDADES QUIMICAS:

Productos de descomposición de este compuesto: cloruro de hidrógeno.

Reacciona con la mayoría de metales desprendiendo hidrógeno.