



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

PROYECTO TÉCNICO:

Diseño e implementación de un control neuronal para una
planta piloto de desinfección de aguas terciarias utilizando
tecnología porosa

AUTORES:

John Gregory Guzmán Escalante

Jean Carlos Matailo Vélez

TUTOR:

Ing. Mónica Miranda MSc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2019

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Mediante la presente declaramos que el proyecto técnico a realizar, titulado “Diseño e implementación de un control neuronal para una planta piloto de desinfección de aguas terciarias utilizando tecnología porosa”, se encuentra bajo nuestra autoría, así mismo como las investigaciones que se han desarrollado.

Guayaquil, febrero del 2019

John Gregory Guzmán Escalante
C.I: 0921974200

Jean Carlos Matailo Vélez
C.I: 0950468330

CERTIFICADO SOBRE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Mediante la presente, cedemos los correspondientes derechos de propiedad intelectual del siguiente trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, según lo establecido por el reglamento y la normativa institucional vigente de la Ley de Propiedad Intelectual

Guayaquil, febrero del 2019

John Gregory Guzmán Escalante
C.I: 0921974200

Jean Carlos Matailo Vélez
C.I: 0950468330

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente constancia que los Sres. John Gregory Guzmán Escalante y Jean Carlos Matailo Vélez han desarrollado y elaborado satisfactoriamente el proyecto final de titulación, que se ajusta a las normas establecidas por la Universidad Politécnica Salesiana, por tanto, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Ing. Mónica Miranda MSc.
Director del Proyecto

DEDICATORIA

Tengo la satisfacción de haber culminado con una de mis metas, y terminar con éxito este trabajo, mi dedicatoria es:

A Dios por darme salud, y así con seguridad y esfuerzo llegar a mi meta.

A mi familia, por brindarme su apoyo y amor incondicional, por darme ejemplos de respeto, perseverancia, generosidad y responsabilidad.

Este triunfo lo logre gracias a todos ustedes por estar a mi lado y guiarme por el sendero del triunfo y el éxito en mi vida profesional.

John Gregory Guzmán Escalante

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios por haberme dado fuerza, sabiduría y la paciencia necesaria para poder alcanzar mis metas en esta vida.

A mi familia y amigos, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado durante el transcurso de mi vida académica.

A mis compañeros de clases, por sus consejos para ser un mejor profesional y sus recomendaciones para avanzar cada día en los estudios y no dejarme vencer por las pruebas que han existido a lo largo de estos años de estudio.

Jean Carlos Matailo Vélez

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad, a cada uno de los que son parte de mi familia; a mi PADRE, y en especial a mi MADRE, con mucho amor y cariño, por haberme dado su apoyo que me ha ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

A mi tutora de tesis, Ing. Mónica Miranda Ramos y al Ing. Byron Lima Cedillo quienes a lo largo de este tiempo me han orientado con sus capacidades y conocimientos correspondiente a mi profesión.

John Gregory Guzmán Escalante

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por otorgarme sabiduría suficiente para llegar hasta este punto en mi vida, por haberme dado las fuerzas necesarias para no dejarme derrotar.

A mi familia; en especial a mi padre E. Matailo y a mi madre M. Vélez, por su apoyo absoluto en este proceso, amor, paciencia y cariño hacia mi persona y la paciencia que han tenido conmigo.

A mi tutora de tesis; Mónica Miranda, quien a lo largo de este tiempo me ha orientado con sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de mi proyecto, la cual ha finalizado llenando todas las expectativas.

A los Ingenieros; B. Lima y D. Carpio, quienes a lo largo de la carrera me orientaron con los conocimientos necesarios para poder culminar esta fase.

A mis compañeros; J. Guzmán, A. Moyón, B. Vera y A. Bustos, quienes a lo largo de la carrera me han ayudado en diferentes ocasiones, me han brindado su amistad, sus conocimientos y múltiples consejos para poder seguir adelante en cada semestre.

Jean Carlos Matailo Vélez

AGRADECIMIENTO INSTITUCIONAL

Mediante la presente, los estudiantes John Gregory Guzmán Escalante y Jean Carlos Matailo Vélez se permiten agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil por el compromiso institucional que facilitó la investigación de presente proyecto.

John Gregory Guzmán Escalante

Jean Carlos Matailo Vélez

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR	TEMA
2019	JOHN GREGORY GUZMÁN ESCALANTE JEAN CARLOS MATAILO VÉLEZ	ING. MÓNICA MARÍA MIRANDA RAMOS	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL NEURONAL PARA UNA PLANTA PILOTO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS TERCIARIAS UTILIZANDO TECNOLOGÍA POROSA”

La planta de purificación de agua se diseñó e implementó de una manera eficiente y óptima aplicando varios conocimientos, como el químico, mecánico, eléctrico, electrónico y control. Este prototipo se encuentra ubicado en el aula 100 del edificio C de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil para poder purificar el agua proveniente de la red interna del edificio.

Un reservorio de aproximadamente un metro cúbico, el uso de dos tipos diferentes de medios filtrantes, un filtro de polipropileno, además de luz UV y una nanomembrana conforman esta planta piloto para purificar y limpiar el agua de microorganismos y otras sustancias dañinas para el consumo humano.

El sistema de purificación instalado tiene la capacidad de depurar el agua en su etapa terciaria, es decir, el agua cruda que proviene de la red de agua del edificio C. Las plantas de purificación de agua que existen en el campo industrial son de gran tamaño y con otros tipos diferentes de filtros, puesto que trabajan con un mayor volumen y el estado del agua es diferente, por ejemplo: ríos, reservorios o pozos donde hay presencia de basura y/o minerales que podrían saturar filtros inmediatamente como los que tenemos.

Es importante también desarrollar una investigación antes de instalar un sistema de este tipo, para determinar los compuestos orgánicos que se encuentran en los reservorios de agua, ya que la mayor parte de pozos tienen diferentes minerales; dependiendo de los resultados de los estudios realizados se determinarán los filtros a usarse.

El elemento más importante de nuestro equipo de depuración es la membrana de nano filtración, ya que esta es la que librerá al líquido vital que estamos procesando de bacterias, plaguicidas, minerales, virus y otros compuestos orgánicos presentes en el agua; su porcentaje de retención de sólidos y bacterias es de un 99.9%.

Se diseña un control neuronal en MatLab para simular los resultados esperados de la red neuronal, luego de este desarrollo se diseñará la red neuronal artificial en el software LabVIEW que trabaja en conjunto con una tarjeta de adquisición de datos NI DAQ 6009 y un Arduino Mega 2560, para el monitoreo de los diferentes parámetros del agua que se debe necesitar para que esta sea bebible.

Palabras Clave: purificación, control neuronal, filtros, nanomembrana, MatLab, LabVIEW, NI DAQ

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	DIRECTOR	TOPIC
2019	JOHN GREGORY GUZMÁN ESCALANTE JEAN CARLOS MATAILO VÉLEZ	ENG. MÓNICA MARÍA MIRANDA RAMOS	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL NEURONAL PARA UNA PLANTA PILOTO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS TERCIARIAS UTILIZANDO TECNOLOGÍA POROSA”

The water purification plant was designed and implemented in an efficient and optimal way applying various knowledge, such as chemical, mechanical, electrical, electronic and control. This prototype is in the 100th classroom of the C building of the Salesian Polytechnic University, Guayaquil, to purify the water coming from the internal network of the building.

A reservoir of approximately one cubic meter, the use of two different types of filter media, a polypropylene filter, in addition to UV light and a nanomembrane make up this pilot plant to purify and clean water of microorganisms and other harmful substances for human consumption.

The purification system installed has the capacity to purify the water in its tertiary stage, that is, the raw water that comes from the water network of building C. The water purification plants that exist in the industrial field are large and with other types of filters, since they work with a greater volume and the state of the water is different, for example: rivers, reservoirs or wells where there are garbage and / or minerals that could saturate filters immediately like the ones we have.

It is also important to develop an investigation before installing a system of this type, to determine the organic compounds found in water reservoirs, since most wells have different minerals; Depending on the results of the studies carried out, the filters to be used will be determined.

The most important element of our purification equipment is the nano filtration membrane, since this is the one that will free the vital liquid that we are processing from bacteria, pesticides, minerals, viruses and other organic compounds present in water; its percentage of retention of solids and bacteria is 99.9%.

A neuronal control is designed in MatLab to simulate the expected results of the neural network, after this development the artificial neural network will be designed in LabVIEW software that works in conjunction with a data acquisition card NI DAQ 6009 and an Arduino Mega 2560, for the monitoring of the different parameters of the water that must be needed for it to be drinkable.

Keywords: purification, neural control, filters, nano membrane, MatLab, LabVIEW, NI DAQ.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	II
CERTIFICADO SOBRE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VII
AGRADECIMIENTO INSTITUCIONAL	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
ÍNDICE GENERAL	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
1. PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Importancia.....	3
1.4. Alcance.....	3
1.5. Delimitación del problema.....	3
1.5.1. Delimitación espacial	3
1.5.2. Delimitación temporal	4
1.5.3. Delimitación académica	4
1.6. Objetivos.....	4
1.6.1. Objetivo general.....	4
1.6.2. Objetivos específicos	5
1.7. Justificación	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Componentes de la planta de purificación de agua.....	6
2.1.1. Tanque	6
2.1.2. Bomba	6
2.1.3. Tanque Hidroneumático.....	7
2.1.4. Medios Filtrantes.....	8
2.1.5. Filtro de lecho profundo	9
2.1.6. Filtro de carbón activado.....	9
2.1.7. Filtro de Polipropileno	11
2.1.8. Membrana de Nano Filtración.....	12
2.1.9. Luz Ultravioleta	13
2.2. Sensores.....	13
2.2.1. Sensor de pH.....	13
2.2.2. Sensor de Flujo.....	14
2.2.3. Sensor de Conductividad	15
2.2.4. Transductor de Presión.....	16

2.3. Instrumentos de medición	17
2.3.1. Rotámetros	17
2.3.2. Manómetros.....	18
2.4. Software.....	18
2.4.1. MatLab.....	18
2.4.2. LabVIEW	19
2.5. Redes neuronales artificiales (RNA)	20
2.5.1. Elementos de las Redes Neuronales Artificiales	21
2.5.2. Ventajas de las redes neuronales artificiales	21
2.5.3. Estructura de las redes neuronales artificiales	22
2.5.4. Redes de propagación hacia delante (Feed-Forward).....	23
2.5.5. Funciones de Activación	23
2.5.6. Entrenamiento Supervisado.....	25
2.5.7. Caja negra	25
3. MARCO METODOLÓGICO	26
3.1. Planta de purificación de agua.....	26
3.2. Calibración de sensores y lectura de datos.....	36
3.2.1. Sensor de Conductividad	36
3.2.2. Sensor de pH.....	39
3.2.3. Sensor de Flujo.....	40
3.2.4. Transductores de presión	41
3.2.5. Diseño de consola	43
3.2.6. Identificación del sistema	48
3.2.7. Diseño de red neuronal en MatLab	54
3.2.8. Diseño e implementación de la red neuronal en LabVIEW	56
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	60
5. CRONOGRAMA	63
6. PRESUPUESTO.....	64
7. CONCLUSIONES	65
8. RECOMENDACIONES.....	66
9. BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Universidad Politécnica Salesiana – Edificio C.....	4
Figura 2. Tanque de agua de 500 litros.....	6
Figura 3. Bomba de agua.....	7
Figura 4. Diseño de un tanque hidroneumático	8
Figura 5. Diseño del tanque utilizado para medios filtrantes.....	9
Figura 6. Filtro de carbón activado	10
Figura 7. Carbón Activado Granular.....	10
Figura 8. Carbón Activado en Polvo.....	10
Figura 9. Filtro de polipropileno.....	11
Figura 10. Membrana de nano filtración	12
Figura 11. Luz Ultravioleta	13
Figura 12. Sensor de pH.....	14
Figura 13. Componentes del controlador del sensor	14
Figura 14. Sensor de Flujo.....	15
Figura 15. Sensor de Conductividad	16
Figura 16. Transductor de Presión	17
Figura 17. Rotámetro	18
Figura 18. Manómetros.....	18
Figura 19. Interfaz MatLab	19
Figura 20. Interfaz LabVIEW	19
Figura 21. Elementos de una neurona biológica	20
Figura 22. Red Neuronal Artificial	22
Figura 23. Estructura de las Redes Neuronales Artificiales	22
Figura 24. Red Neuronal feed-forward	23
Figura 25. Función escalón	23
Figura 26. Función sigmoideal	24
Figura 27. Función tangente hiperbólica	24
Figura 28. Diagrama de caja negra.....	25
Figura 29. Diagrama de bloques de la planta de purificación de agua.....	26
Figura 30. Sistema de almacenamiento de agua	27
Figura 31. Tanque inicial con capacidad de 1300 litros	27
Figura 32. Bomba de ½ hp con automático.....	28
Figura 33. Instalación del sistema hidroneumático.....	28
Figura 34. Medios Filtrantes.....	29
Figura 35. Proceso de producción y lavado de un lecho	30
Figura 36. Medios Filtrantes de la planta de purificación	31
Figura 37. Sistema de purificación de agua por nano filtración.....	32
Figura 38. Filtro de polipropileno.....	33
Figura 39. Limpieza de Luz Ultravioleta antes de la instalación.....	33
Figura 40. Balastro de la Luz Ultravioleta.....	34
Figura 41. Bomba de alta presión	34
Figura 42. Membrana de nano filtración	35
Figura 43. Luz Ultravioleta instalada en la planta	35
Figura 44. Instalación del Tanque de salida de agua bebible	36

Figura 45. Conexión de los sensores de conductividad	36
Figura 46. Soluciones de conductividad para calibrar	37
Figura 47. Calibración de los sensores de conductividad	37
Figura 48. Calibración del sensor de conductividad con solución de 80000 uS	37
Figura 49. Calibración del sensor de conductividad con solución de 12880 uS	38
Figura 50. Lectura de la conductividad del agua sin purificar	39
Figura 51. Calibración del sensor con una solución de pH igual a 4	39
Figura 52. Lectura de los tres sensores de pH	40
Figura 53. Instalación del sensor de flujo en la planta de agua	40
Figura 54. Lectura del flujo de agua que produce la planta	41
Figura 55. Instalación de los transductores de presión	41
Figura 56. Ubicación e instalación del transductor de presión	42
Figura 57. Instalación de los toolkits necesarios en LabVIEW	42
Figura 58. Prueba de los transductores de presión	43
Figura 59. Vista Superior de la consola y sus respectivas medidas	43
Figura 60. Vista Lateral de la consola y sus respectivas medidas	44
Figura 61. Vista Posterior de la consola y sus respectivas medidas	44
Figura 62. Desarrollo de la consola de control	44
Figura 63. Ubicación de los componentes	45
Figura 64. Ubicación de los componentes	45
Figura 65. Cableado de los elementos	46
Figura 66. Cableado Final de la Consola	46
Figura 67. Consola de Control Finalizada	47
Figura 68. Consola de Control en la planta de purificación de agua	47
Figura 69. Ingreso de datos en el Workspace de MatLab	48
Figura 70. Importación de los valores de conductividad	49
Figura 71. Gráfica de entrada y salida del sistema	49
Figura 72. Ingreso de los polos y ceros para hallar la función de transferencia	50
Figura 73. Estimación de función de transferencia de segundo orden del sistema	50
Figura 74. Modelo de función de transferencia de segundo orden	51
Figura 75. Estimación de la función de transferencia de tercer orden del sistema	52
Figura 76. Modelo de función de transferencia de tercer orden	53
Figura 77. Comparación de las gráficas de los modelos encontrados	53
Figura 78. Importación de datos de entrada y objetivo	54
Figura 79. Estructura del entrenamiento de las RNA en MatLab	54
Figura 80. Ventana de creación de la red neuronal	55
Figura 81. Estimación del primer valor de la red neuronal	55
Figura 82. Estimación del segundo valor de la red neuronal	55
Figura 83. Estimación del tercer valor de la red neuronal	56
Figura 84. Estimación del cuarto valor de la red neuronal	56
Figura 85. Estimación del quinto valor de la red neuronal	56
Figura 86. Esquema del sistema de la planta de purificación de agua	57
Figura 87. Arquitectura de una Red Neuronal de Base Radial	57
Figura 88. Código para la adquisición de datos de los transductores	58
Figura 89. Red Neuronal implementada en la planta de purificación de agua	58
Figura 90. Bloque de lectura de los sensores	59
Figura 91. Motor paso a paso ubicado en la válvula de compuerta	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones Generales del Sensor de pH	14
Tabla 2. Especificaciones del sensor de flujo	15
Tabla 3. Conductividad en diferentes tipos de agua	16
Tabla 4. Aplicaciones de las Redes Neuronales Artificiales	21
Tabla 5. Parámetros físicos adquiridos experimentalmente del agua inicial	29
Tabla 6. Especificaciones del tanque del lecho	30
Tabla 7. Especificaciones del cabezal.....	31
Tabla 8. Valores de los parámetros del agua antes del ingreso de la planta	60
Tabla 9. Valores de los parámetros del agua antes del ingreso de la planta	61
Tabla 10. Valores de los parámetros del agua antes del ingreso de la planta	61

INTRODUCCIÓN

En pleno siglo XXI en el que vivimos, con avances tecnológicos y el vertiginoso crecimiento de nuevas tecnologías no se puede obviar el costo que muchas veces se paga a cambio del desarrollo tecnológico; un ejemplo de esto es la polución, el desgaste de la atmosfera y la contaminación del agua es solo un botón de muestra del gran problema que enfrenta la humanidad.

Este problema se agudiza más cuando estos elementos contaminados minan la calidad de vida de las personas e incluso en algunos casos provoca la muerte. En vista de esta problemática la presente tesis ha sido planteada con el objetivo de ayudar a la mejora de la calidad del agua de manera que se ha procedido a elaborar el diseño de una planta piloto de purificación de agua de tratamiento terciario para el consumo humano, la implementación de esta y el desarrollo de un control para monitorear los diferentes parámetros del agua.

Para la monitorización de los equipos y el control de la presencia de microorganismos en el agua se implementarán un conjunto de sensores entre los cuales se tendrán: sensores de turbidez, pH y conductividad, además de transductores de presión, los mismos que trabajarán con un control basado en redes neuronales artificiales.

La investigación realizada tiene como finalidad el estudio del agua en las diferentes etapas de la planta de purificación, además de monitorear constantemente la nanomembrana para evitar una posible saturación.

En el diseño se contará en primer lugar con un reservorio de agua de un metro cúbico, mismo que enviará el líquido a un filtro de lecho profundo en la primera etapa que removerá los diferentes sólidos presentes; un filtro de carbón activado ubicado después del filtro de lecho ayuda al agua a deshacerse de algún sabor, olor y color no deseado.

Para proteger la nanomembrana se ha instalado previamente una luz ultravioleta, con esto, un determinado porcentaje de bacterias quedarán neutralizadas; un filtro de polipropileno se encargará de absorber minerales que no hayan sido eliminados por el proceso anterior.

El siguiente proceso incluye a la nanomembrana, esta membrana se especializa en capturar todo tipo de bacterias, plaguicidas, minerales y diferentes agentes tóxicos perjudiciales para el consumo humano; la etapa final de la planta consiste en que el agua ingrese por una segunda luz ultravioleta para descartar alguna bacteria que haya podido traspasar la nanomembrana.

El control que sirve para monitorear el sistema se basa en redes neuronales artificiales, las cuales se desarrollarán en MatLab, se elaborará un programa con estas redes y se realizarán pruebas con el control antes mencionado; luego de esto se transportarán estas redes y los datos evaluados al software LabVIEW, que funcionará junto a una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments.

1. PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El agua es un elemento fundamental para todo ser viviente, pues este líquido es necesario para que los seres vivos lleven a cabo diversos procesos metabólicos que le garantizan su supervivencia.

El porcentaje de microorganismos presentes en el agua en diversas ocasiones es muy alto, adicional a esta problemática se encuentra la falta de información y capacitación de las normas de higiene y salubridad en las personas.

En Guayaquil hay sectores que carecen de sistemas de tratamiento de agua, por lo que al ingerir este líquido vital se convierte en el causante de enfermedades tales como: diarrea, parasitosis, gastroenteritis, cólera, entre otras. Los problemas ocasionados por el agua contaminada pueden solucionarse, a través de tratamiento de depuración de aguas residuales, sometiéndola a los debidos procesos de saneamiento para su consumo.

Debido a la necesidad de investigar el comportamiento del agua por cada uno de sus procesos, se implementará una planta de purificación de agua, con el objetivo de realizar un análisis en las diferentes etapas que debe pasar este líquido para su purificación, se usarán sensores y un control automático para examinar los parámetros del agua en cada fase de su limpieza. [1] [2]

1.2. Antecedentes

El incremento de la población, la excesiva contaminación y los cambios climáticos alrededor del mundo son factores que influyen en la escasez de agua dulce, debido a este problema, el interés por la reutilización del agua ha crecido. La demanda de este líquido seguirá en un constante crecimiento mientras su disponibilidad siga disminuyendo.

Las aguas residuales domésticas son generadas por las actividades diarias de las personas debido a la limpieza, aseo personal, entre otras acciones. En el campo industrial, las aguas residuales dependen del tratamiento que reciben antes de la descarga; en muchas ocasiones existen empresas que desechan residuos sin ninguna precaución y contaminan ríos, arroyos, lagos, entre otras fuentes de agua, dando lugar a problemas de salud, estas acciones contribuyen a la contaminación alrededor del planeta, además de ayudar a que la calidad del agua baje.

En aguas no tratadas existen microorganismos que afectan a la salud de las personas, entre estos se encuentran bacterias y virus, algunas de ellas incluso pueden afectar al ser humano gravemente. Debido a los problemas existentes, la purificación de agua es fundamental para la eliminación de bacterias, virus y otros microorganismos, además de los diversos minerales que contiene el agua.

Uno de los métodos más usados en la actualidad es el uso de nano partículas, debido a su tamaño. Los procesos más utilizados en la actualidad son la ósmosis inversa y la nano filtración, en ambas se usan membranas para la purificación del agua, estos procesos tienen un costo elevado debido a la limpieza o reemplazo de las membranas.

También se han desarrollado membranas de matriz polimérica, a las cuales se le incorporan zeolitas, puesto que éstas presentan características de sorción, por lo que permite mayor selectividad de iones. [3]

1.1. Importancia

Actualmente existen muchos procesos para poder obtener agua para el consumo humano, muchas personas alrededor del país carecen de esta importante información, debido a esto en muchas ciudades se puede encontrar personas enfermas, por ingerir agua de ríos o pozos sin haber sido está tratada antes.

En la mayoría de los hogares ecuatorianos se realizan diversos procesos sencillos de purificación del agua como por ejemplo el uso de gotas de cloro o la desinfección por ebullición antes de que sea consumible para los seres humanos, pero a pesar de esto, no quiere decir que este libre totalmente de sólidos o microorganismos.

La implementación de esta planta busca dejar un campo abierto en la investigación de este proceso de purificación y del estudio de las redes neuronales artificiales.

1.2. Alcance

Al implementar esta planta en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil se realizaron los estudios correspondientes para determinar la calidad de agua por cada fase; posterior a estas pruebas, se espera que la planta de nano filtración se ubique en un punto estratégico para poder ofrecer agua purificada a profesores y estudiantes de la institución.

Adicionalmente, se espera poder generar conciencia en las personas acerca de la contaminación del agua, ya que los equipos para realizar este proceso tienen un costo elevado.

1.3. Delimitación del problema

1.3.1. Delimitación espacial

La planta piloto de purificación se ensambló en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil; lugar donde se desarrollaron las pruebas y los respectivos estudios para lograr los objetivos especificados.



Figura 1. Universidad Politécnica Salesiana – Edificio C. [4]

1.5.2. Delimitación temporal

El tiempo de ejecución del proyecto de titulación es de aproximadamente 18 meses, a partir de su aprobación a finales del mes de septiembre.

1.5.3. Delimitación académica

En el presente proyecto se utilizaron los conocimientos adquiridos por los autores en la carrera de Ingeniería Electrónica. Se utilizaron temas como la identificación de sistemas, diseño de control automático, instrumentación y el manejo de software de Ingeniería, como MatLab y LabVIEW.

Con la presentación del proyecto finalizado se pretende ampliar los conocimientos de los estudiantes acerca de los procesos conocidos para purificar el agua, en segundo lugar, se espera incentivar a los estudiantes de Ingeniería a utilizar las redes neuronales como nuevo método en sus proyectos.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un control neuronal para una evaluación de la pureza del agua utilizando una tarjeta de adquisición de datos (DAQ), y obtener por caja negra el modelo matemático del sistema.

1.6.2. Objetivos específicos

1. Diseñar e implementar la planta de nano filtración.
2. Identificar el sistema de la planta de nano filtración mediante las herramientas de MatLab.
3. Analizar la estabilidad del Sistema de nano filtración con la herramienta MatLab.
4. Diseñar el control del sistema de nano filtración utilizando Matlab Neuronal Network Tools para el control de las bacterias.
5. Diseñar e implementar el control neuronal en LabVIEW utilizando tarjetas de adquisición de datos para la obtención de los diferentes datos de la planta.

1.7. Justificación

Dentro de las investigaciones realizadas se encontró que en el Ecuador existe un 20,7% de agua contaminada y las personas se encuentran bebiendo de la misma. En la mayoría de las ciudades ecuatorianas hay muchas familias que desconocen esto e ingieren esta agua cruda.

A muchas personas les basta hervir el agua, que proviene de la llave, para tomarla; en algunas ocasiones esto no es suficiente, porque puede darse el caso de que la red que abastece la edificación no esté totalmente limpia y puede ocurrir que este líquido se encuentre con microorganismos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Componentes de la planta de purificación de agua

2.1.1. Tanque

Utilizado para el almacenamiento de agua, en la planta se dispondrá de un tanque de entrada y un tanque de salida. En la entrada de la planta se tendrá un tanque de 1300 litros, este tanque servirá como reservorio de agua, para poder proveer de agua a toda la planta de nano filtración.

La salida de la planta cuenta con un tanque cilíndrico con ceja hacia afuera, la capacidad de este es de 500 litros, además cuenta con una certificación FDA, lo cual nos certifica que el material es ideal para almacenar agua. [5]



Figura 2. Tanque de agua de 500 litros. [5]

2.1.2. Bomba

Es un elemento que transforma energía para mover el agua, normalmente ascendente. Según el funcionamiento tenemos dos tipos principales de bombas: volumétricas y centrífugas; todas las bombas constan de una entrada equivalente a la aspiración y una salida encargada de la impulsión.

Las bombas centrífugas usan un impulsor giratorio para mover el agua en la bomba y presurizar el flujo de descarga. Son usadas en líquidos ligeros y con caudales alto.

Las bombas volumétricas aspiran por el tubo de entrada para luego impulsar el agua mediante la variación periódica de un volumen, pueden ser de tipo recíprocante o rotatorio. Son usadas por la mayoría de las industrias debido a que son capaces de manejar líquidos con alta viscosidad.

Las aplicaciones son variadas, existen bombas de agua para pozos, para aguas residuales, e incluso estos artefactos se pueden encontrar en nuestras respectivas

casas, siendo usado para alimentar la red de agua de una casa; asimismo el tamaño de la bomba puede variar dependiendo del uso que se le dé. [6] [7]

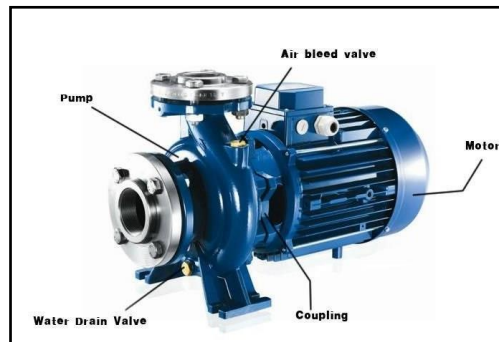


Figura 3. Bomba de agua. [6]

2.1.3. Tanque Hidroneumático

Este tipo de tanque almacena una determinada cantidad de agua y proporciona presión al sistema, ya que dentro de él contiene aire bajo presión; en la parte superior se encuentra ubicado un cojín de aire, el cual tiene contacto directo con el agua.

Mientras mayor sea la cantidad de agua, el aire tendrá una mayor compresión. Este tipo de tanques entrega el agua según un rango de presión específico.

Una notable diferencia entre los tanques hidroneumáticos es el uso de las membranas para separar el aire del agua, según esta clasificación tenemos los que poseen membrana y aquellos que carecen de ella. [8]

a) Tanques sin membrana

- En su mayoría son usados para industrias con servicios pesados, garantiza la presurización en los sistemas en que se implementen.
- El agua se encuentra en contacto con el aire, el mismo que pierde volumen debido a la capacidad del agua para absorber aire.
- Se pueden instalar diferentes instrumentos de medición, como manómetros, presostatos y válvulas. [9]

b) Tanques con membrana

- Actualmente este tipo de tanques son usados para presurización domiciliaria.
- La función principal de la membrana es no permitir el contacto del aire con el agua, de esta forma se evita que el aire sea absorbido por el agua y la durabilidad del tanque se prolongue. [9]

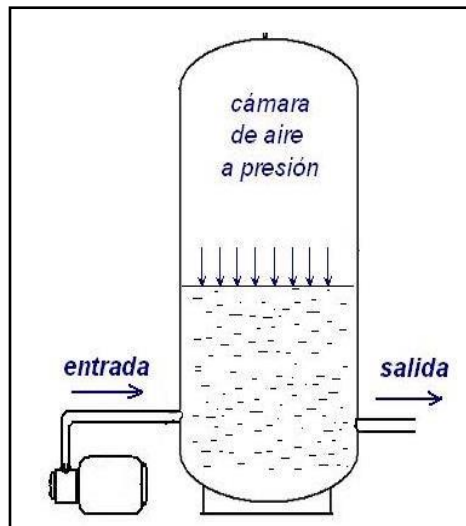


Figura 4. Diseño de un tanque hidroneumático. [8]

2.1.4. Medios Filtrantes

La característica principal de estos elementos es la adsorción, la cual consiste en la atracción de sustancias solubles a la superficie del medio filtrante. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie de este. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento esté en auge.

Entre los diversos factores que afectan a la adsorción tenemos el peso molecular, la estructura de la molécula y la solubilidad; mientras las moléculas sean más grandes, la estructura más ramificada y haya una menor solubilidad, la adsorción será mejor.

Los medios filtrantes deben ser seleccionados dependiendo de la condición de agua a tratar, al saber el estado se seleccionará el tamaño de la partícula de los medios filtrantes.

El medio filtrante mientras sea más grueso permite un mayor tiempo de filtrado entre retro lavados, estos tipos de lechos se aplican cuando los sólidos que deben retenerse son grandes y las partículas en suspensión contenidas en la misma son relativamente pequeñas, son usados comúnmente para filtración industrial, domésticas y comercial. En el tratamiento de agua se pueden utilizar filtros de cama simples, duales o múltiples.

En las camas duales o múltiples, los medios filtrantes gruesos van ubicados en la parte superior, mientras que lo finos en la parte inferior, esto debido a que se logra combinar un mayor lapso de filtración con una remoción más fina.

Es importante la selección adecuada del tamaño de las partículas y la densidad de las distintas capas filtrantes, con el objetivo de mantener la posición de las capas gruesas arriba y las finas abajo durante la filtración y los retro lavados. [10]



Figura 5. Diseño del tanque utilizado para medios filtrantes. [11]

2.1.5. Filtro de lecho profundo

Llamado también filtro multimedia o de zeolita (debido al componente que posee). La zeolita produce satisfactorios resultados en la filtración de agua. La selección del tamaño de la partícula depende de las condiciones del agua a tratarse. [10]

Entre las ventajas que podemos destacar de estos filtros:

- Instalación muy sencilla y mantenimiento fácil.
- No consume electricidad.
- Mayor seguridad con el agua que consumimos.

2.1.6. Filtro de carbón activado

El carbón activado es un medio filtrante extremadamente poroso, posee orificios por debajo de los dos nanómetros y son muy eficientes en los fenómenos de adsorción; puede mejorar el sabor mediante la eliminación de los compuestos orgánicos que pueden darle al agua un mal sabor u olor. [12]

Ventajas:

- No utiliza productos químicos adicionales de limpieza.
- Costos de operación bajos.
- Confianza sobre la calidad del agua que tomamos, la cual estará libre de contaminantes orgánicos y químicos.
- No malgasta agua.
- No conlleva ningún tipo de consumo eléctrico.

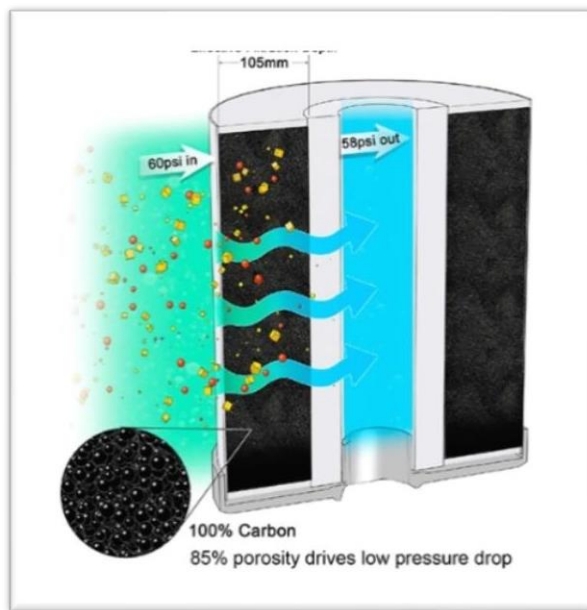


Figura 6. Filtro de carbón activado. [12]

Existen dos formas de utilización de carbón activo, con propiedades diferentes y utilizándolo en diferentes aplicaciones:

1. Carbón activado granular (GAC): Se utiliza una columna como medio de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado, en la que el agua ingresa por la parte inferior y asciende hacia la superior.

Se suele utilizar para eliminar elementos traza (nutrimentos) que pueden estar presentes en el agua, y que habitualmente han resistido un tratamiento biológico, a pesar de su pequeña concentración, en muchas ocasiones proporcionan mal olor, color o sabor al agua. [13]



Figura 7. Carbón Activado Granular.
[14]



Figura 8. Carbón Activado en Polvo.
[15]

2. Carbón activo en polvo (CAP): Este tipo de carbón se suele utilizar en procesos biológicos, cuando el agua contiene elementos orgánicos que pueden resultar

tóxicos. También se suele añadir al agua a tratar, y pasado un tiempo de contacto, normalmente con agitación, se deja sedimentar las partículas para su separación previa.

La viabilidad económica de este proceso depende de la existencia de un medio eficaz de regeneración del sólido una vez agotada su capacidad de adsorción. El GAC se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y posterior eliminación de la superficie del sólido en un horno.

Las propiedades del carbón activado se deterioran, por lo que es necesario reponer parte de este por carbón virgen en cada ciclo. Por otro lado, el Carbón Activado en Polvo es más difícil de regenerar, pero también es cierto que es más fácil de producir. [13]

2.1.7. Filtro de Polipropileno

Llamado también Filtro de Polydepth, está fabricado con microfibras de polipropileno térmicamente fusionadas para certificar una alta eficiencia. Este filtro incorpora un núcleo central de polipropileno rígido para tener una mayor duración. Estos filtros no imparten sabor, olor o color al líquido que se vaya a filtrar.

El límite de temperatura recomendado es 4,4 °C a 79.4°C, lo que permite que se use en muchas aplicaciones, ya sea agua fría o caliente. Además, el tipo de construcción proporciona mayor resistencia química y no es propensa al ataque de las bacterias. [16]



Figura 9. Filtro de polipropileno. [16]

2.1.8. Membrana de Nano Filtración

Dentro de la purificación de agua, existe un método denominado nano filtración. Se trata de un proceso de filtración donde se utiliza agua con un TDS (Sólidos Totales Disueltos) bajo; este elemento realiza la desinfección de la materia orgánica natural y sintética.

Una gran diferencia con la ósmosis inversa y la nano filtración es que la membrana no es tan cerrada y funciona a una presión de agua de alimentación inferior; la membrana también reduce la dureza del agua y reduce un poco el contenido total de sólidos disueltos.

La nano filtración puede ser utilizada en muchas aplicaciones, una de las más importantes es la producción de agua purificada, apta para consumo humano. [17] [18]

Aplicaciones:

- La fabricación de medicamentos
- Producción de productos lácteos
- Textiles
- Cocinas industriales
- Agua potable
- Agua de laboratorio médico
- Cualquier aplicación de agua de alta pureza.

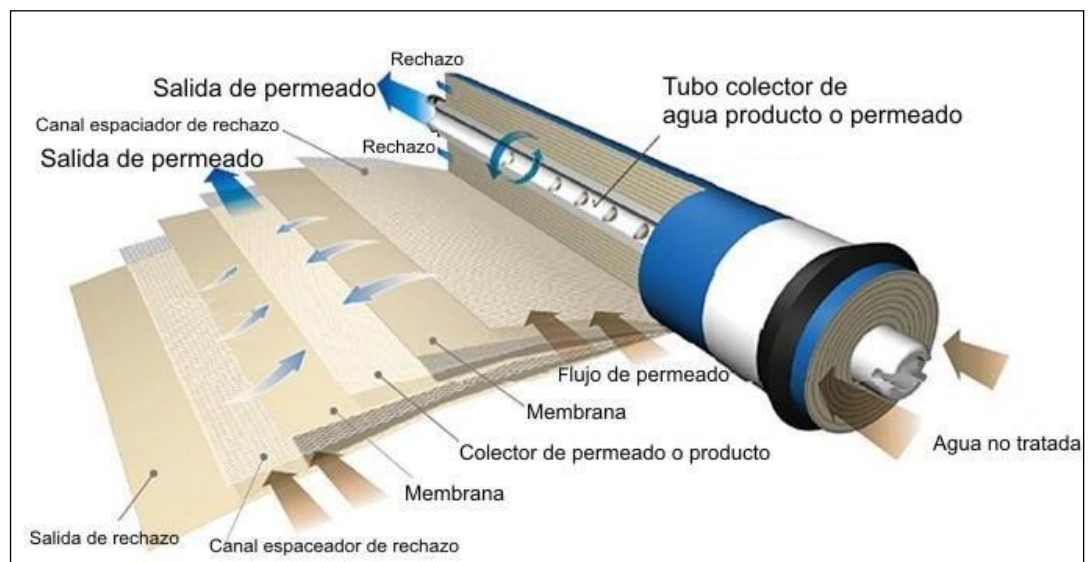


Figura 10. Membrana de nano filtración. [19]

2.1.9. Luz Ultravioleta

La luz ultravioleta tiene una longitud de onda más corta que la de la luz visible; este tipo de radiación se encuentra entre la luz visible y los rayos X del espectro electromagnético. La banda de luz que se encuentra entre los 30 a 200 nanómetros se ha denominado “región germicida” debido a que esta área es letal para los microorganismos. La luz solar mediante los rayos UV que emite, elimina bacterias y virus en corrientes de agua. [20]

Ventajas de la luz ultravioleta

- No afecta a la ecología, ya que no añade sustancias químicas al agua.
- Tiene un costo inicial y gasto de mantenimiento bajo; además el mantenimiento es simple.
- Proceso de tratamiento inmediato.
- No altera los parámetros físicos (olor, color y sabor) del agua.
- De fácil instalación; dos conexiones de tubería y una conexión eléctrica. [20]



Figura 11. Luz Ultravioleta. [21]

2.2. Sensores

2.2.1. Sensor de pH

Utilizado para medir la acidez de una solución. El pH es la unidad de medida que describe el grado de acidez, el rango de medición para el pH es de 0 a 14. El valor de pH de una sustancia está directamente relacionada a la proporción de las concentraciones de los iones de hidrógeno (H^+) e hidroxilo (OH^-). Si la solución es ácida; el valor de pH es menor que 7. Si el pH es mayor que 7, el material es básico. Si las cantidades de H^+ y OH^- son iguales, el material es neutro y su pH es 7.



Figura 12. Sensor de pH. [22]

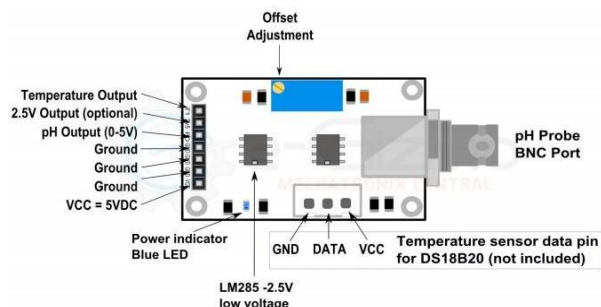


Figura 13. Componentes del controlador del sensor. [22]

El sistema de medición es formado por tres partes: un electrodo de medición de pH, un electrodo de referencia y un medidor de alta impedancia de entrada. El electrodo que mide el pH es un bulbo de vidrio sensible a iones de hidrógeno, con una salida en milivoltios que varía conforme las alteraciones en la concentración relativa de los iones de hidrógeno dentro y fuera del bulbo. La salida del electrodo de referencia no cambia con la actividad de los iones de hidrógeno.

El electrodo de pH posee una resistencia interna muy alta, lo que dificulta la medición de la variación de la tensión con el pH. Por lo tanto, la impedancia de la entrada del medidor de pH y las resistencias de dispersión son factores importantes. [23]

Características Generales del Sensor de pH	
Voltaje de entrada	5V
Corriente de operación	5 – 10mA
Rango de detección de concentración	pH: 0- 14
Tiempo de respuesta	≤ 5 seg
Tiempo de estabilidad	≤ 60 seg
Salida	Analógica

Tabla 1. Especificaciones Generales del Sensor de pH. [22]

2.2.2. Sensor de Flujo

Diseñado para medición de caudal, estos sensores suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido, también suelen llamarse sensor de caudal. Sus partes mecánicas consisten en un molino con aspas transversales a la circulación de flujo, el molino tiene en un extremo un imán permanente.

Cuando este imán gira genera un campo magnético variable que es leído por un sensor de efecto de campo magnético, después el circuito electrónico lo convierte en pulsos que transmite a través de un cable. [24]



Figura 14. Sensor de Flujo. [24]

Características Generales del Sensor	
Voltaje de operación	5 a 18V
Corriente máxima de operación	15mA
Salida Digital	5V
Rango de Flujo	1 a 30 LPM
Rango de Temperatura	-25 a 80 °C

Tabla 2. Especificaciones del sensor de flujo. [24]

2.2.3. Sensor de Conductividad

La conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en soluciones (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua totalmente pura no conduce electricidad, por otro lado, cuando el agua posee sales conduce corriente eléctrica.

Los iones positivos y negativos son los encargados de conducir la electricidad, la cantidad de corriente que conduce depende del número de iones presentes y de la movilidad.

Algunas sustancias se ionizan en forma más completa que otras y por esta razón conducen mejor la corriente. Cada ácido, base o sal tiene su curva característica de concentración contra conductividad.

Un aumento en la temperatura disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Conociendo estos factores, la medición de la conductividad nos permite tener una idea muy aproximada de la cantidad de sales disueltas. [25]



Figura 15. Sensor de Conductividad. [26]

Temperatura de la muestra (25 °C)	Conductividad (uS/cm)
Agua ultra pura	0.05
Agua de alimentación a calderas	1 - 5
Agua potable	50 – 100
Agua de mar	53.000

Tabla 3. Conductividad en diferentes tipos de agua. [25]

2.2.4. Transductor de Presión

Convierte presión en una señal eléctrica analógica. La conversión se realiza mediante la deformación física de medidores de tensión que están unidos al diafragma del transductor de presión y cableados a una configuración de puente de Wheatstone. La presión aplicada al transductor de presión produce una deflexión del diafragma que introduce tensión en los calibradores. La tensión producirá un cambio en la resistencia eléctrica proporcional a la presión. [27]

a) Transductores de presión con salida en milivoltios

La señal de salida de este transductor es de alrededor de 30 mV. La salida real es directamente proporcional a la energía de entrada; si la excitación fluctúa, la salida también cambiará. Debido a que la señal de salida es tan baja, el transductor no se deberá ubicar en un entorno eléctricamente ruidoso, por ello se debe mantener distancias cortas entre el transductor y el instrumento.

b) Transductores de presión de salida de voltaje

Estos transductores incluyen un acondicionador de señales incorporado que proporciona una salida mucho más alta que un transductor de milivoltios. Normalmente la salida es de 0 a 5 Voltios, o de 0 a 10 Voltios.

Debido a que tienen una salida de nivel más alto, estos transductores no son tan susceptibles al ruido eléctrico como los transductores de milivoltios y por lo tanto se pueden usar en muchos más entornos industriales.

c) Transductores de presión con salida 4-20 mA

Produce una señal de 4-20mA es menos afectada por el ruido eléctrico y la resistencia en los alambres de señal, estos transductores se usan cuando la señal debe transmitirse por distancias grandes. [27]



Figura 16. Transductor de Presión. [28]

2.3. Instrumentos de medición

2.3.1. Rotámetros

Instrumento utilizado para medir caudales, tanto de líquidos como de gases que trabajan con un salto de presión constante. Se basan en la medición del desplazamiento vertical de un “elemento sensible”, cuya posición de equilibrio depende del caudal circulante que conduce simultáneamente a un cambio en el área del orificio de pasaje del fluido, de tal modo que la diferencia de presiones que actúan sobre el elemento móvil permanece prácticamente constante. [29]

Los flotadores pueden tener varios perfiles de construcción:

- Esférico: para bajos caudales y poca precisión, con una influencia considerable de la viscosidad del fluido.
- Cilíndrico con borde plano: para caudales medios y elevados con una influencia media de la viscosidad del fluido.
- Cilíndrico con borde saliente: de cara inclinada contra el flujo con menor influencia de la viscosidad que, por sus características de caudal, puede compararse a una tobera
- Cilíndrico con boteras salientes: contra el flujo y con la mínima influencia de la viscosidad del fluido, que, por su funcionamiento, puede compararse a una placa-orificio o diafragma. [29]

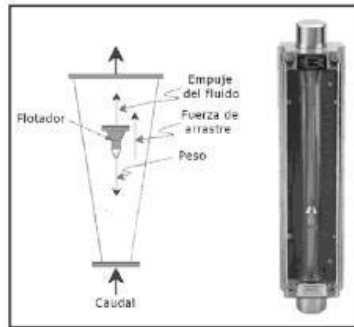


Figura 17. Rotámetro. [29]

2.3.2. Manómetros

Un manómetro de presión es un indicador analógico utilizado para medir la presión de un gas o líquido, como agua, aceite o aire. A diferencia de los transductores de presión tradicionales, estos son dispositivos analógicos con un dial circular y un puntero accionado mecánicamente.

En muchas aplicaciones modernas el manómetro analógico está siendo sustituido por los manómetros digitales, con pantalla digitales y características adicionales, tales como incorporación de alarmas y retransmisión inalámbrica del valor indicado. [30]

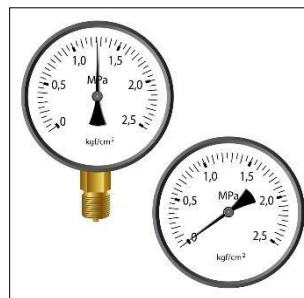


Figura 18. Manómetros. [30]

2.4. Software

2.4.1. MatLab

Software matemático que posee un entorno de desarrollo, tiene un lenguaje de programación propio. Una de sus principales características es la manipulación de matrices.

Usando diversos toolboxes se pueden ampliar las capacidades del software, así también mediante el uso de blocksets en Simulink las capacidades se vuelven extensas. [31]

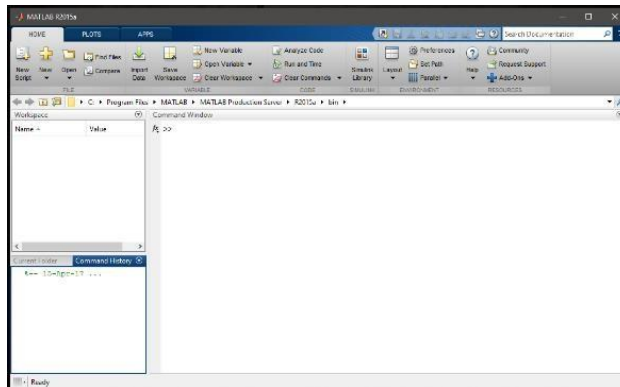


Figura 19. Interfaz MatLab.

2.4.2. LabVIEW

Es un entorno de desarrollo para elaborar sistemas, tiene un lenguaje de programación gráfica, desarrollado por National Instruments. Es usado frecuentemente en sistemas de pruebas, de control y diseño, ya sean estos simulados o reales.

El software LabVIEW se integra de dos partes:

- Panel Frontal: Se desarrolla la interfaz con el usuario, para que este pueda tener una interacción con los datos en tiempo real con el sistema.
- Diagrama de bloques: en esta ventana es donde se realizará el programa; también se definirán las funciones y se interconectarán los iconos para formar el programa. [32]

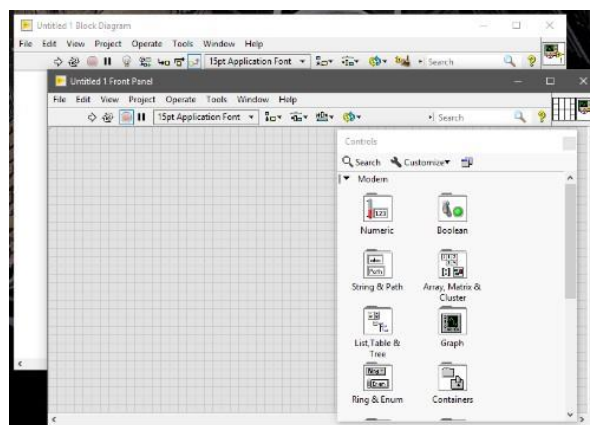


Figura 20. Interfaz LabVIEW.

2.5. Redes neuronales artificiales (RNA)

El cerebro humano es un órgano muy complejo, cumple diversas funciones dentro del organismo de una persona, es capaz de procesar información a velocidades muy altas, capta información del día a día y de los diferentes sentidos y almacena la misma en recuerdos, a lo cual persona puede acceder a estos en cualquier momento que desee.

Actualmente es muy complicado describir al cerebro en su totalidad; varias personas han podido desarrollar modelos computacionales que simulan en ciertos aspectos al cerebro humano; estos modelos han sido denominados redes neuronales artificiales.

Debido a la alta complejidad del funcionamiento del cerebro no es correcto comparar las redes neuronales artificiales con las biológicas, puesto a que estos modelos computacionales son solo aproximaciones no lineales; mientras las neuronas biológicas se encargan de realizar procesos neurobiológicos muy complejos, que no pueden ser simulados ni con redes monocapa, ni multicapa.

El campo de la inteligencia artificial está compuesto por tres ramas; la primera es la lógica difusa, que se basa en la relatividad de lo que se observa como una posición diferencial. Luego tenemos las RNA (Redes Neuronales Artificiales), y después los algoritmos genéticos.

Las redes neuronales artificiales es una pretensión burda de emular la forma en que trabaja el cerebro humano; actualmente los conocimientos adquiridos no son suficientes para simular un nivel tan complejo como el funcionamiento del cerebro, pero a lo largo de los últimos años se han podido desarrollar algunos modelos matemáticos, por lo tanto, la ciencia no está muy lejos de diseñar procesadores con un número similar de transistores igual al número de neuronas del cerebro de algunos animales.

Estas redes pueden adquirir conocimientos por medio de un proceso de aprendizaje, las conexiones entre neuronas se les denominan pesos sinápticos y son los encargados de adquirir, almacena y usar la información empíricamente. Estas redes son sistemas no lineales, su principio se basa en los sistemas nerviosos de animales y humanos. [33]

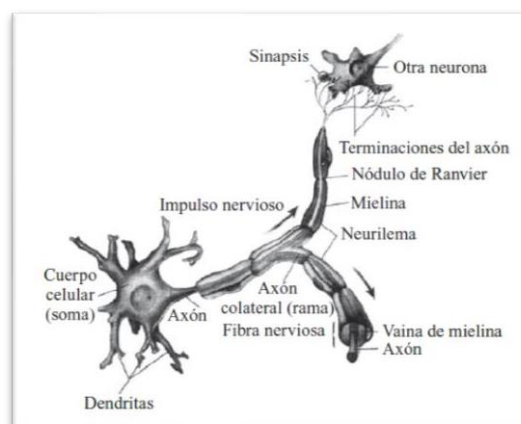


Figura 21. Elementos de una neurona biológica. [33]

Áreas	Aplicaciones
Automóviles	• Sistemas de piloto automático. • Detección de fallas por reconocimiento externo de vibraciones.
Electrónica	• Predicción de secuencias de códigos. • Distribución de elementos en CI. • Control de procesos. • Análisis de fallas. • Visión Artificial.
Robótica	• Control dinámico de trayectoria • Controladores • Sistemas ópticos
Telecomunicaciones	• Compresión de datos e imágenes • Automatización de servicios de información • Traslación en tiempo real de lenguaje hablado
Transporte	• Diagnóstico de frenos en camiones • Sistemas de ruteo y seguimiento de flotas
Voz	• Reconocimiento de voz • Compresión de voz • Transformación de texto escrito a voz

Tabla 4. Aplicaciones de las Redes Neuronales Artificiales. [33]

2.5.1. Elementos de las Redes Neuronales Artificiales

Los elementos que integran las redes neuronales artificiales son las siguientes:

- Conjunto de unidades de procesamiento (Neuronas).
- Estado de activación para cada unidad.
- Conexiones entre las unidades (Pesos sinápticos).
- Reglas de propagación.
- Función de activación.
- Reglas de aprendizaje.
- Ambiente en que el sistema va a operar. [33]

2.5.2. Ventajas de las redes neuronales artificiales

- **Aprendizaje:** Tienen la habilidad de aprender a realizar tareas mediante una fase de entrenamiento, o también denominada "etapa de aprendizaje", en la cual se ingresarán los datos del sistema y se indicará el objetivo deseado.
- **Autoorganización:** Mediante la etapa de aprendizaje una red neuronal es capaz de crear su propia representación de la información que recibe.

- Tolerancia a fallas: Debido a que el modelo se basa en el funcionamiento del cerebro humano, las neuronas artificiales deben tener conexiones redundantes que les permita seguir respondiendo en el caso de una falla.
- Flexibilidad: La red se puede adaptar a los diferentes cambios no importantes en la información que se ingresa en la entrada del sistema.
- Tiempo real: Estos modelos pueden implementarse en tarjetas electrónicas programables, programas de computadoras y en otros dispositivos para obtener respuestas en tiempo real. [34]

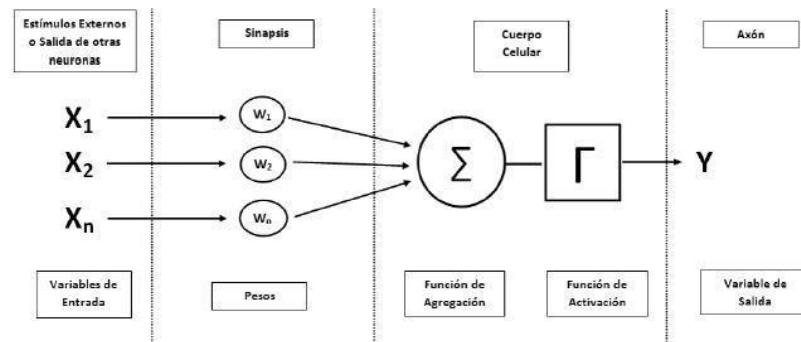


Figura 22. Red Neuronal Artificial. [35]

2.5.3. Estructura de las redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales cuentan con tres capas de trabajo:

- Capa de entrada: En esta capa se encuentran las neuronas artificiales que reciben información del exterior.
- Capa oculta: La capa intermedia, encargada de realizar los procesos de la red.
- Capa de salida: Proporciona el resultado del trabajo de la red al exterior. [33]

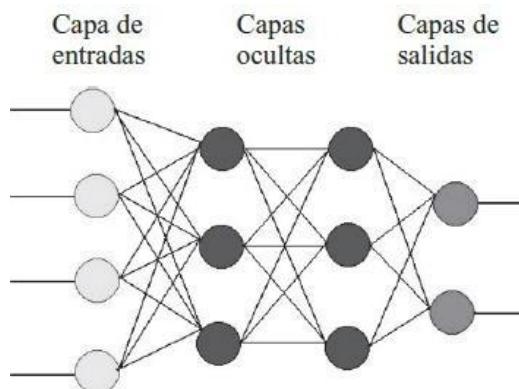


Figura 23. Estructura de las Redes Neuronales Artificiales. [33]

2.5.4. Redes de propagación hacia delante (Feed-Forward):

El flujo de información de las entradas a las salidas es exactamente hacia delante, extendiéndose por capas múltiples de unidades, pero no hay ninguna conexión de retroalimentación. [33]

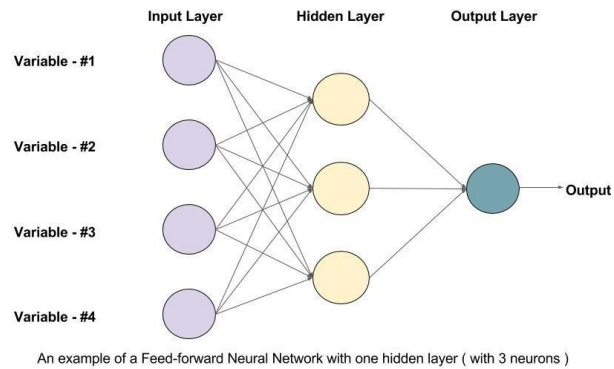


Figura 24. Red Neuronal feed-forward. [35]

2.5.5. Funciones de Activación

a) Función escalón

Se asocia a neuronas binarias en las cuales, cuando la suma de las entradas es mayor o igual que el umbral de la neurona, la activación es 1; si es menor, la activación es 0 (o -1). [33]

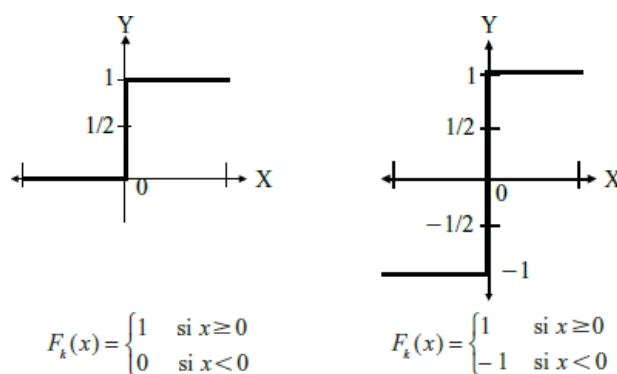


Figura 25. Función escalón. [33]

b) Función sigmoideal

Con la función sigmoideal el valor dado por la función es cercano a uno de los valores asíntóticos. Esto hace que, en la mayoría de los casos, el valor de salida esté comprendido en la zona alta o baja del sigmoide. De hecho, cuando la pendiente es elevada, esta función tiende a la función escalón. Sin embargo, la importancia de la función sigmoideal es que su derivada siempre es positiva y cercana a cero para los valores grandes positivos o negativos; además, toma su valor máximo cuando $x=0$. Esto hace que se puedan utilizar reglas de aprendizaje definidas para las funciones escalón, con la ventaja, respecto a esta función, de que la derivada está definida en todo el intervalo. [33]

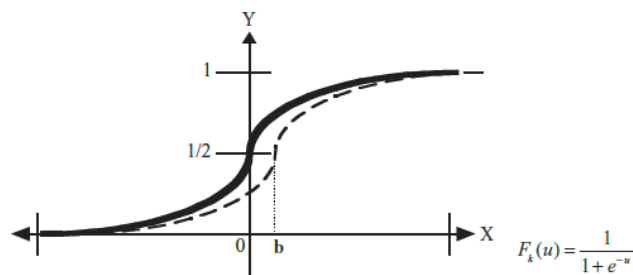


Figura 26. Función sigmoideal. [33]

c) Función tangente hiperbólica

La función de activación tangente hiperbólica se emplea en los casos que presentan variaciones suaves de valores positivos y negativos de la señal a clasificar. Es una de las funciones más empleadas en entrenamientos supervisados, como en el caso del entrenamiento de retro propagación del error. Debe tenerse cuidado de emplear esta función entre los umbrales positivos y negativos antes de la saturación, de otra forma la salida siempre generara valores saturados iguales a 1 y -1. [33]

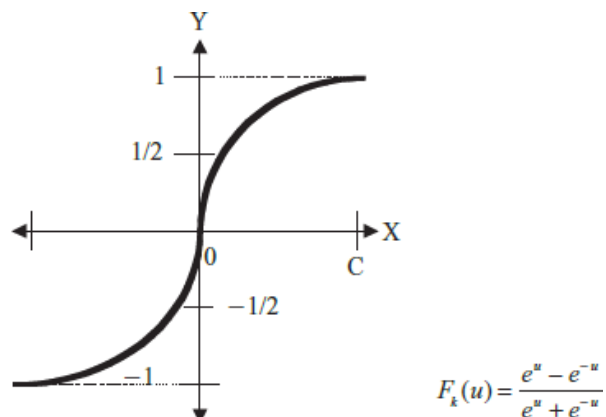


Figura 27. Función tangente hiperbólica. [33]

2.5.6. Entrenamiento Supervisado

Se introducen entradas que correspondan a determinadas salidas, ya sea un agente externo o por el mismo sistema. La red se encarga de procesar las entradas y comparar este resultado con el producto deseado. Los errores han sido propagados hacia atrás en el sistema, haciendo que los pesos que controlan la red sean ajustados por el sistema.

Redes de retro propagación: Es un tipo de entrenamiento supervisado, empleado para redes que contienen múltiples capas, donde se ajustan los pesos en función del error generado. Esta técnica suele ser muy utilizada debido a que tiene un método de optimización que se encuentra al definir el gradiente del error y minimizar el mismo con respecto a los parámetros de la red neuronal. [33]

2.5.7. Caja negra

En el modelo de caja negra nosotros estudiamos las entradas que se ingresan al sistema y las salidas que este produce, sin tener en cuenta su funcionamiento interno, en pocas palabras al realizar un modelo de caja negra nos interesa la interacción que esta tiene con el medio que rodea al sistema

En este método tenemos la siguiente estructura:

- Entrada: en este punto se establecerán los datos de los que disponemos
- Black Box: este es el lugar donde ocurre el proceso, pero no se tiene ningún interés en saber su funcionamiento
- Salida: aquí se representa el resultado al que se quiere llegar

El entorno tiene una gran influencia en lo que respecta al comportamiento de la black box, pero al incluir a este parámetro al sistema no se podría llegar a alguna conclusión relevante sobre el funcionamiento, debido a esto se tiene que aislar al entorno, y estar seguros de que todas nuestras entradas se encuentran vinculadas de una forma fija a las salidas. Las pruebas son llevadas sobre la interfaz del software, se tiene que proporcionar las entradas y estudiar las salidas para observar si las respuestas son las esperadas. [36]

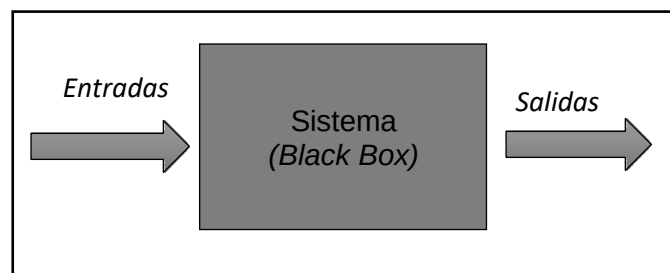


Figura 28. Diagrama de caja negra.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Planta de purificación de agua

Mediante la investigación realizada previamente de diversos modelos de plantas de agua, se estableció un diseño para la planta de purificación de agua, el cual se encuentra en el diagrama de bloques de la figura 29.

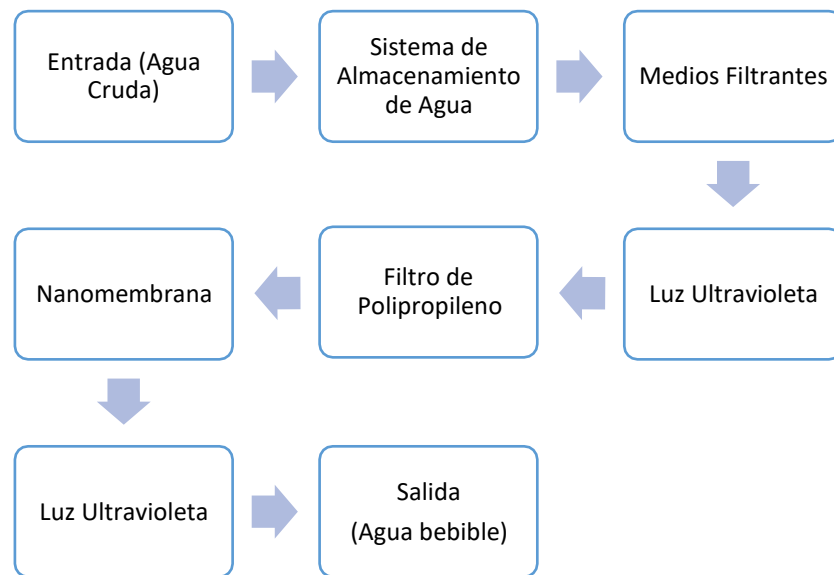


Figura 29. Diagrama de bloques de la planta de purificación de agua.

A partir de la estructura establecida, se dividió la planta de purificación de agua en tres sistemas, lo cuales son:

- Sistema de almacenamiento:

Este sistema este compuesto por un reservorio (con capacidad de 1300 litros, se puede observar en la figura 31.) encargado de almacenar agua para proveer la cantidad necesaria a los elementos de la planta; en caso de no ubicar un reservorio inicial, los elementos pueden absorber agua directamente del edificio mediante la bomba instalada, y podría dejar sin abastecimiento a la red de agua. El agua una vez en el reservorio, se dirige a la parte hidroneumática. En la figura 30, se puede apreciar el sistema de almacenamiento con más detalle.

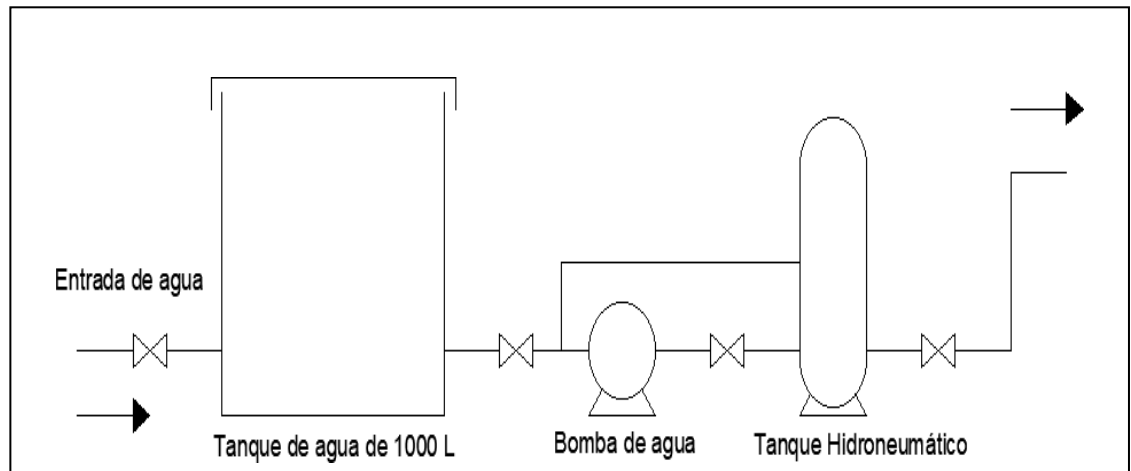


Figura 30. Sistema de almacenamiento de agua.



Figura 31. Tanque inicial con capacidad de 1300 litros.

Después del reservorio inicial se tiene una bomba de 1/2 HP, la cual posee un manómetro para monitorear el valor de la presión con la que está siendo enviada el agua, este elemento cuenta con un automático ajustado previamente en un rango de 20 - 40 PSI; cuando la bomba se enciende y el manómetro marca los 40 PSI, esta se apaga hasta que llega a los 20 PSI, valor donde se enciende nuevamente. Este automático depende de los requerimientos que necesite el sistema.



Figura 32. Bomba de ½ hp con automático



Figura 33. Instalación del sistema hidroneumático

La bomba se encarga de succionar el agua almacenada en el reservorio y llevarla a un tanque hidroneumático, el cual sirve para almacenar y mantener constante la presión del agua que es transportada hacia el equipo final, si la presión no es la requerida los equipos no trabajan correctamente y es posible que el agua no se purifique correctamente. Una de las características del tanque hidroneumático, es que mientras más acumula flujo, más puede controlar presión.

La presión de entrada del sistema oscila entre 20 PSI y 40 PSI (presión otorgada por la bomba), esto es debido a que se debe mantener la presión constante otorgada por el tanque hidroneumático.

La presión y caudal son dos factores primordiales en el diseño, se necesita el conocimiento de estas dos variables para elegir los elementos a instalar en la planta de agua. Se tomó como referencia el valor de presión más alto con el que trabaja la bomba (40 PSI), valor obtenido mediante el manómetro ubicado en el elemento.

El caudal experimental obtenido es igual a:

$$Q = 0.000685897 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 10.87 \text{ gpm}$$

Además de estos datos, se obtuvieron los parámetros físicos del agua (para determinar a qué grado el agua está contaminada), de esta manera se puede conocer

el tipo de elementos a usar. Los parámetros del agua de entrada se hallaron experimentalmente, y se pueden observar en la tabla 5.

Parámetros del agua de entrada	
Conductividad	126.1
Sólidos Totales Disueltos	68
pH	6.51

Tabla 5. Parámetros físicos adquiridos experimentalmente del agua inicial.

- Sistema de medios filtrantes:

Compuesto por un filtro de zeolita para retener sólidos presentes en el agua, y un filtro de carbón activado para eliminar olor, color y sabor del agua.

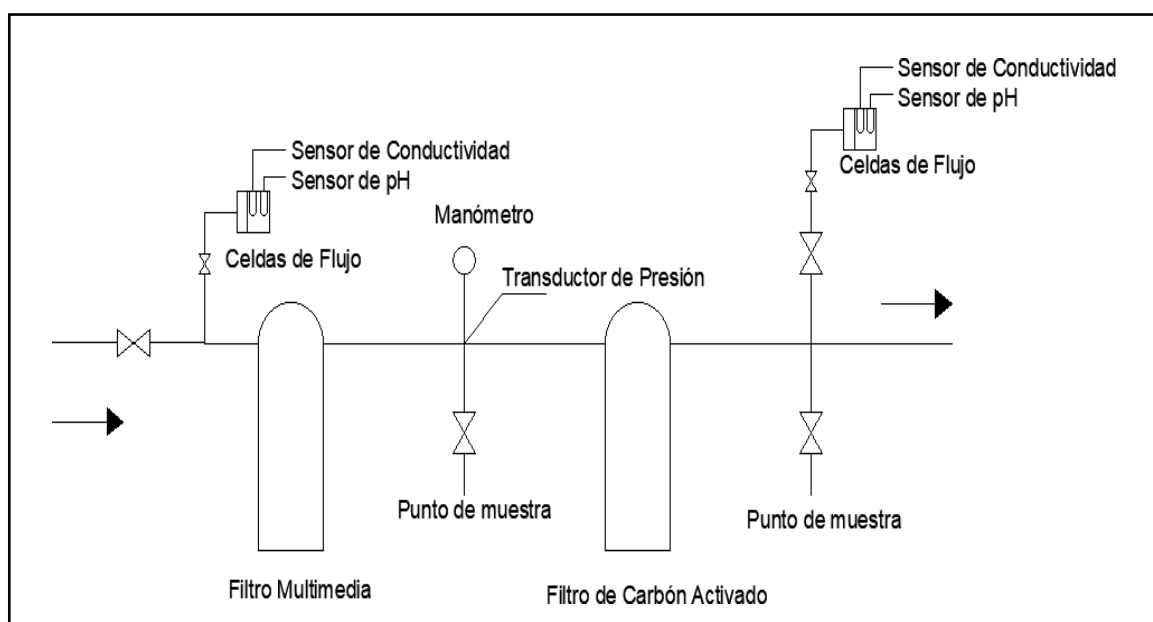


Figura 34. Medios Filtrantes.

El agua ingresa al primer medio filtrante, este primer filtro contiene en su interior un elemento llamado zeolita, este filtro va a contener la mayor cantidad posible de sólidos entrantes, como polvo o pequeñas basuras. El filtro de zeolita da mejor visión, da claridad al agua, reduce turbidez.

Al momento de entrar el agua por el filtro de zeolita, esta atraviesa un tubo de $\frac{3}{4}$ que se encuentra en el interior donde se encuentran unos difusores o canastillas especiales, que evita que pase el medio filtrante y los sedimentos; solo pasara agua y partículas que el filtro no retiene, por presión el agua sale por el tubo ubicado en el centro del filtro

Los dos lechos tienen en su cabezal tres compuertas y cada una de ellas cumple una función. Las compuertas del cabezal son:

- **Filtración:** El agua al ingresar por esta compuerta, va a ir directo al material filtrante; luego al terminar el proceso de filtración, el agua será dirigida al siguiente elemento.
- **Lavado:** Al ubicar el lecho en esta compuerta, el agua ingresa hacia el medio filtrante para remover los sólidos presentes en el material. Este proceso solo deber durar de 5 a 8 minutos, y debe realizarse diariamente.
- **Enjuague:** Después de realizar el lavado del lecho, se procede a girar el cabezal a la compuerta de en medio, el agua junto con los sedimentos removidos del lecho salen hacia el sistema de alcantarillado. Este proceso solo deber durar de 5 a 8 minutos, y debe realizarse diariamente.

Los procesos mencionados pueden visualizarse en la figura 35.

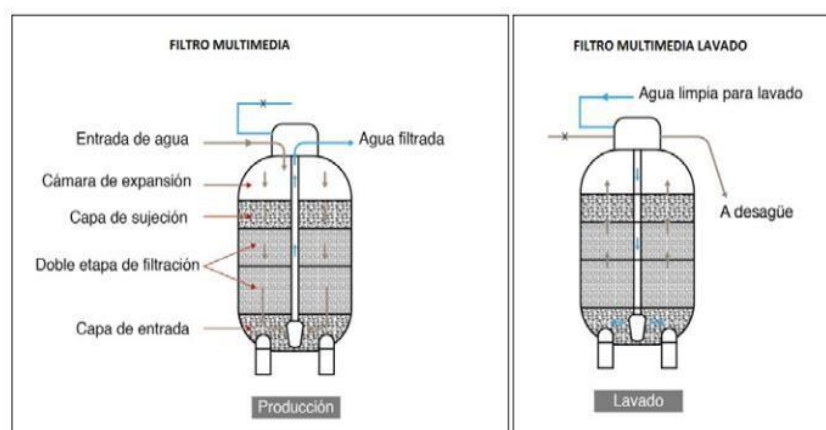


Figura 35. Proceso de producción y lavado de un lecho. [37]

El agua que ingresa a la planta trae consigo minerales que pueden afectar a su estado, proporcionando mal olor, un color y un olor no deseado. Por esta razón el segundo lecho a usar es un filtro de carbón activado granular; este material se utiliza para la filtración de químicos. Mientras el agua se encuentra fluyendo a través del lecho, los minerales o microorganismos que se encuentran afectando el estado del agua se adhieren a la superficie y los microporos de este material. El filtro de carbón activado se utiliza siempre para el tratamiento de agua después de un filtro de zeolita.

Descripción	Cantidad
Presión máxima	150 PSI
Presión de operación	40 - 60 PSI
Volumen del tanque	8 x 35 ft ³

Tabla 6. Especificaciones del tanque del lecho.

Descripción	Cantidad
Presión del agua	0.15 – 0.6 MPa
Temperatura del agua	5 °C – 45 °C
Turbidez del agua	< 20 FTU
Tasa de flujo máximo	4 m ³ / h
Medida del cabezal de Entrada / Salida / Vaciado	1" ft

Tabla 7. Especificaciones del cabezal.



Figura 36. Medios Filtrantes de la planta de purificación.

El reservorio inicial almacena agua cruda, debido a que está sin tratar (esto no quiere decir que no sea agua potable); los equipos de la planta mencionada en esta investigación trabajan con este tipo de agua debido a sus especificaciones; para trabajar con agua de ríos o de pozos se debe realizar un estudio previo para determinar el tipo de equipos con las características adecuadas para este trabajo.

La presión que se encuentra después del lecho de zeolita tiene que ser aproximadamente igual a la del manómetro de la bomba, caso contrario el medio filtrante está saturado.

El filtro de carbón activado elimina color, olor y sabor. además posee un material llamado KDF. Además, este lecho retiene y neutraliza el Cloro, el agua puede tener cierta cantidad de cloro (1.5 a 4000 ppm), el filtro lo retiene gracias a la porosidad que contiene.

- Sistema de nano filtración y desinfección UV:

Se tiene un filtro de polipropileno para retener sólidos pequeños que los medios filtrantes no pueden retener, dos luces UV para neutralizar bacterias y una membrana de nano filtración, para eliminar virus y microorganismos dañinos para la salud.

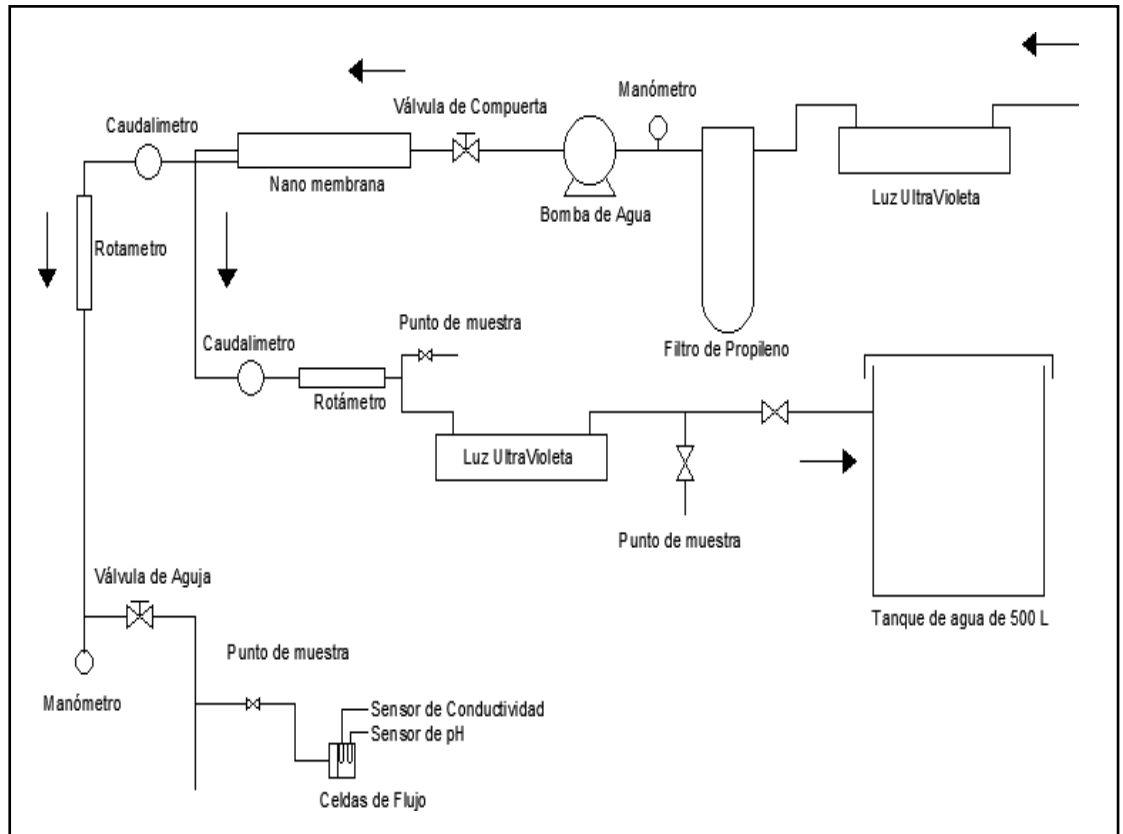


Figura 37. Sistema de purificación de agua por nano filtración.

Los medios filtrantes no eliminan parásitos, ni virus, ni bacterias, solo mejoran el aspecto físico; biológicamente y químicamente aun existe ese problema en el agua. Para la protección de la nanomembrana, se deben contrarrestar bacterias, debido a esto antes de ingresar a ella ingresa por una Luz Ultravioleta que va a neutralizar gran porcentaje de las bacterias presentes en el agua para evitar que se quede en la nanomembrana.

Una vez eliminada las bacterias pasan por un filtro de polipropileno de cinco micras, para retener cualquier partícula que haya pasado por los medios filtrantes. Cuando se satura el filtro de polipropileno, este bloquea el paso hacia el siguiente elemento. Este tipo de filtros no se lavan como los mencionados anteriormente, se cambian en un tiempo aproximado de seis meses.



Figura 38. Filtro de polipropileno

El elemento principal de la planta de purificación de agua es la membrana de nano filtración, ya que ésta es capaz de retener diferentes tipos de bacterias, virus y microorganismo presentes en el agua; además de eliminar ciertos minerales; debido a esto debe ser protegida.

La planta después de encenderla no debe parar en ningún momento, a menos que se deba realizar la limpieza de los medios filtrantes. Si el equipo llega a detenerse y no hay rotación de agua, las bacterias que están antes de la nanomembrana se reproducen exponencialmente; en caso de no encender la planta en un día o una semana, las bacterias hacen colonias y se hace un tapón.

Debido a esto se instaló una luz ultravioleta, para neutralizar la mayor cantidad de bacterias, aun así, hay un pequeño porcentaje que logra traspasar hacia la nanomembrana.



Figura 39. Limpieza de Luz Ultravioleta antes de la instalación.



Figura 40. Balastro de la Luz Ultravioleta.

Después del filtro de polipropileno, vamos a tener una bomba de alta presión con impeler, este elemento eleva la presión para que ingrese a la nanomembrana.

A la salida de la bomba se tiene una válvula de compuerta, con la que puedo regular el caudal para que ingrese a la nanomembrana.



Figura 41. Bomba de alta presión

La membrana de nano filtración tiene una entrada ubicada en un punto lateral de la parte superior, y tiene dos salidas en la parte inferior de la misma. El agua purificada, o también llamada agua permeable, tiene su salida en el punto central de la parte

inferior de la nanomembrana. En el lado lateral inferior saldrá el agua concentrada, este tipo de agua contiene minerales.



Figura 42. Membrana de nano filtración

El agua concentrada es eliminada, ya que posee un alto grado de contaminantes; pocas veces esta agua es usada para lavar los pisos, en caso de tener mucha dureza, no es recomendable su uso y se procede a desecharla.

En la salida del desecho de la nano membrana, se tendrá una válvula de aguja, la cual restringe la salida del agua concentrada. Al cerrar la llave de aguja, el desecho es menor y el agua ingresa nuevamente a la membrana para producir más. Esta acción puede saturar a la nanomembrana, por lo cual no es recomendable hacerlo. El agua al salir por la nano membrana ingresa nuevamente por una luz ultravioleta para eliminar el porcentaje restante de las bacterias (en caso de que haya), esto le otorga más calidad al agua.



Figura 43. Luz Ultravioleta instalada en la planta

El agua permeada (bebible), se almacenará en un tanque final de 500 litros, en la figura 44, se observa la instalación del tanque de salida.



Figura 44. Instalación del Tanque de salida de agua bebible.

3.2. Calibración de sensores y lectura de datos

3.2.1. Sensor de Conductividad

Los sensores de conductividad antes de ser implementados en la planta necesitan ser calibrados para poder tomar lecturas correctas sin errores. En la figura E-4 del Anexo E se observa la gráfica de precisión del sensor. El primer paso para la calibración correcta de estos sensores es calibrar la sonda en seco. Podemos lograrlo mediante el comando “Cal,dry”, el cual lo insertamos en el monitor serie de nuestro Arduino IDE.

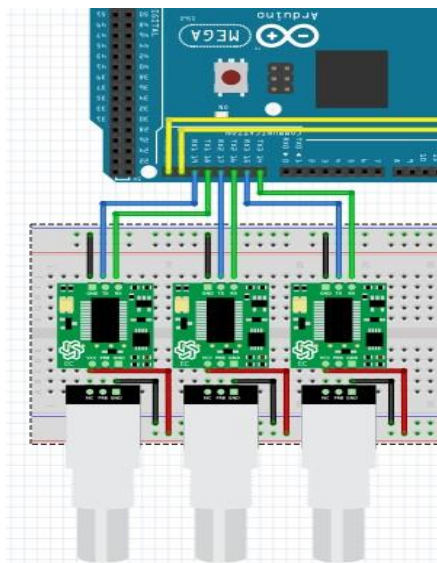


Figura 45. Conexión de los sensores de conductividad.

El siguiente paso es sumergir la sonda en las soluciones de conductividad, se emite el comando “Cal,high” para poder calibrar el sensor con la solución que contiene el nivel más alto de conductividad; luego el comando “Cal,low” para la calibración del sensor de conductividad al nivel más bajo de las soluciones.



Figura 46. Soluciones de conductividad para calibrar.

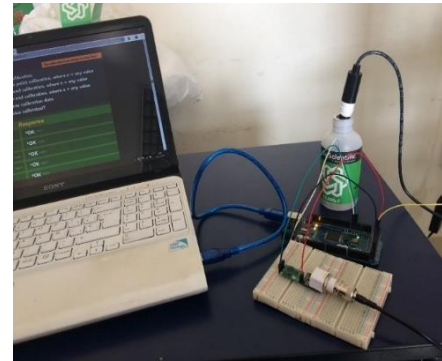


Figura 47. Calibración de los sensores de conductividad.

En el monitor serial del Arduino, también se puede ingresar el comando “Cal,high,n”, donde n es el valor de las soluciones con la que calibramos el sensor. En este caso es “Cal,high,80000”.

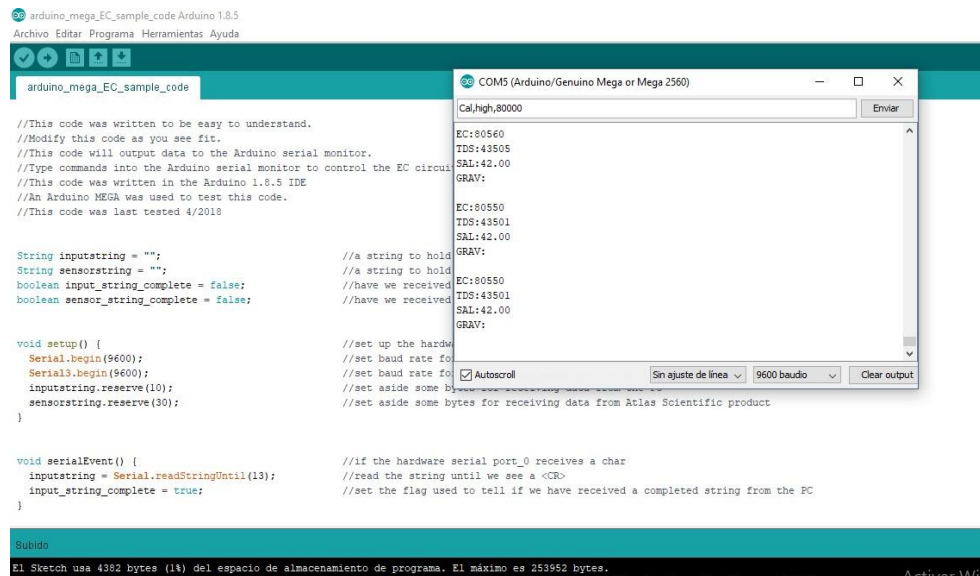


Figura 48. Calibración del sensor de conductividad con solución de 80000 uS.

El mismo procedimiento lo hacemos con el que posee baja conductividad, “Cal,low,12880”.

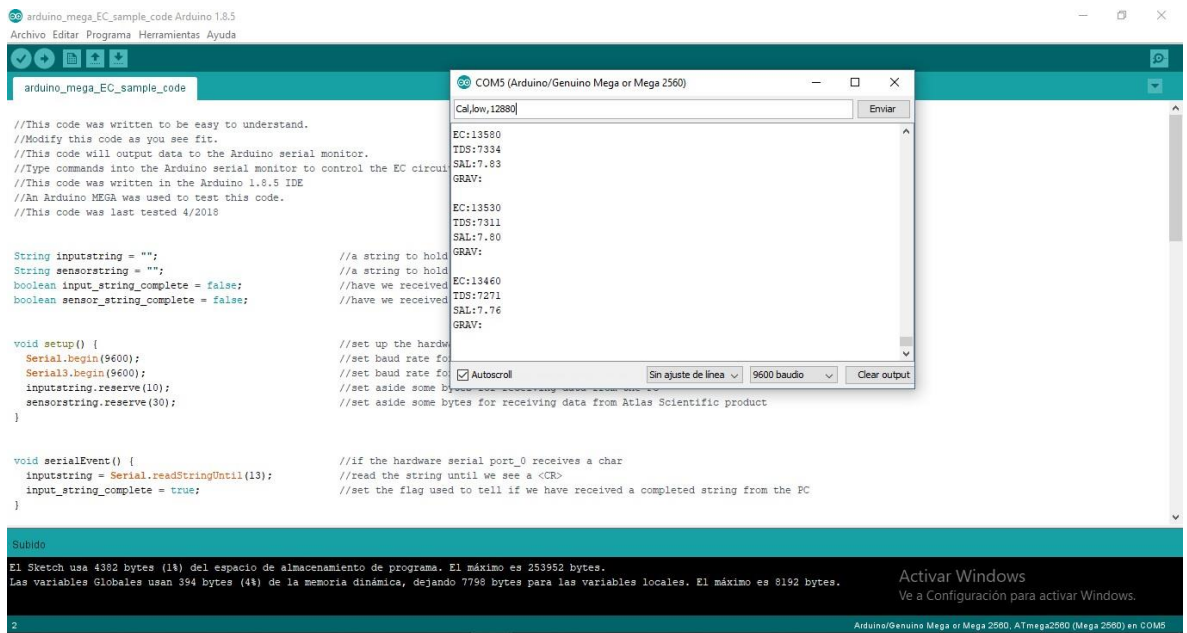


Figura 49. Calibración del sensor de conductividad con solución de 12880 uS.

Después de haber realizado la calibración necesaria, se procederá a tomar valores del agua que vamos a tratar. Se puede ver que en este caso tendremos Conductividad, TDS, Salinidad y Gravedad; las variables a usar en el presente proyecto son Conductividad y TDS.

Además de obtener conductividad a través del sensor mencionado, se puede calcular el total de sólidos totales, gracias a que este parámetro deriva de la conductividad eléctrica en el agua, la fórmula para hallar el TDS es la siguiente:

$$TDS = KE * EC \quad [ec. 1]$$

Donde:

- TDS = Sólidos totales disueltos (mg/L).
- KE = factor de correlación
- EC = Conductividad eléctrica (μS).

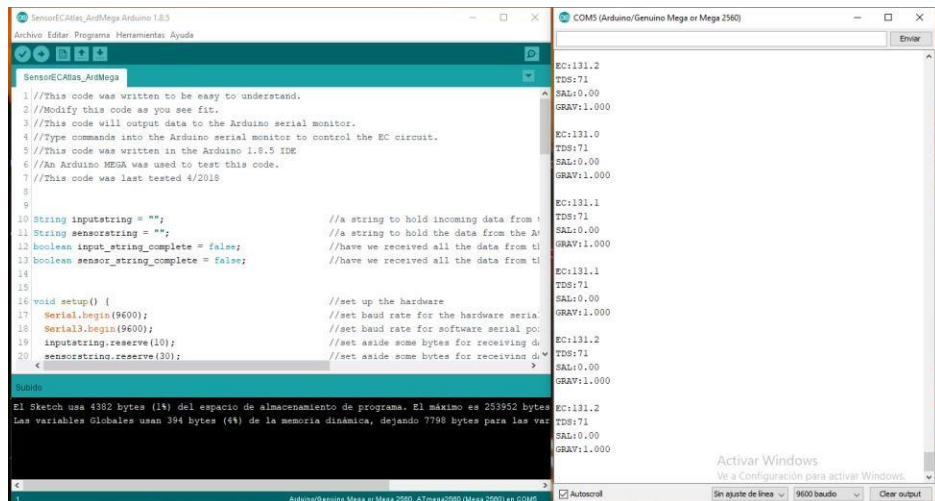


Figura 50. Lectura de la conductividad del agua sin purificar

3.2.2. Sensor de pH

Los sensores de pH, al igual que los sensores de conductividad, necesitan ser calibrados antes de ser implementados en la planta. En este caso en lugar de códigos se usa un potenciómetro de precisión ubicado en el controlador del sensor.

Con ayuda de una solución de pH=4, se procede a calibrar el sensor mediante el potenciómetro, como se puede ver en la figura 51.

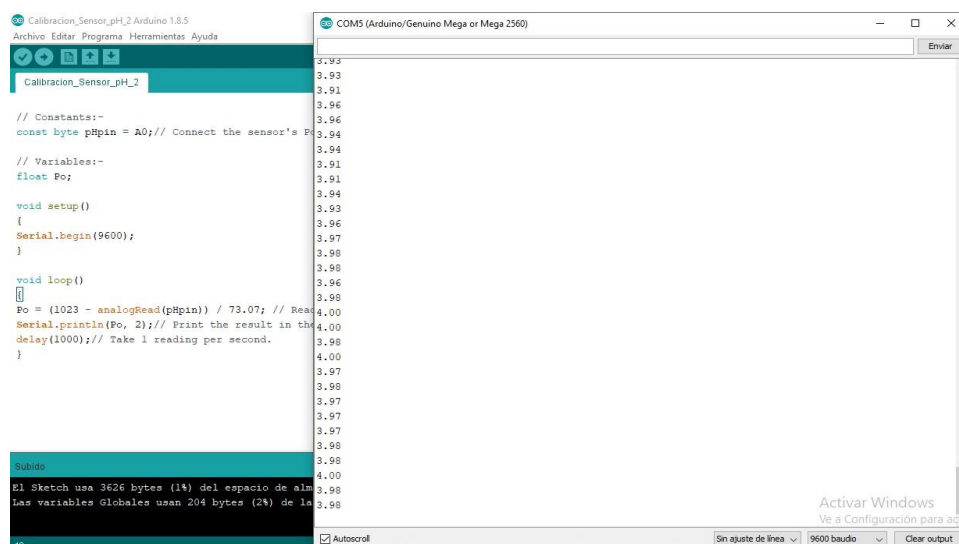


Figura 51. Calibración del sensor con una solución de pH igual a 4.

Al finalizar la calibración, se proceden a conectar los tres sensores juntos para la visualización y comparación de datos.

```

Sketch
El Sketch usa 4030 bytes (1%) del espacio de almacenamiento de programa. El m
Las variables Globales usan 234 bytes (2%) de la memoria dinámica, dejando 79

```

```

void setup() { Serial.begin(9600); }

void loop() {
  Po1 = (1023 - analogRead(pHpin0)) / 73.07;
  Serial.print("pH1: ");
  Serial.print(Po1, 2);
  Serial.print(" ");
  delay(500);

  Po2 = (1023 - analogRead(pHpin1)) / 73.07;
  Serial.print("pH2: ");
  Serial.print(Po2, 2);
  Serial.print(" ");
  delay(500);

  Po3 = (1023 - analogRead(pHpin2)) / 73.07;
  Serial.print("pH3: ");
  Serial.print(Po3, 2);
  Serial.println(" ");
  delay(1000);
}

```

```

pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 4.30
pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 4.05
pH1: 4.01 pH2: 3.98 pH3: 4.05
pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 4.28
pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 4.01
pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 12.55
pH1: 4.06 pH2: 14.00 pH3: 11.52
pH1: 4.01 pH2: 3.97 pH3: 4.37
pH1: 4.01 pH2: 3.98 pH3: 4.43
pH1: 4.01 pH2: 3.98 pH3: 4.48
pH1: 4.01 pH2: 3.98 pH3: 4.53
pH1: 4.01 pH2: 4.00 pH3: 4.56
pH1: 4.02 pH2: 3.98 pH3: 4.57
pH1: 4.02 pH2: 3.98 pH3: 4.60
pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 4.69
pH1: 4.00 pH2: 3.98 pH3: 4.58
pH1: 4.01 pH2: 4.00 pH3: 4.39
pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 4.09
pH1: 4.02 pH2: 4.01 pH3: 3.97
pH1: 4.01 pH2: 4.01 pH3: 3.93
pH1: 4.00 pH2: 4.00 pH3: 3.93
pH1: 4.02 pH2: 4.01 pH3: 4.02
pH1: 4.01 pH2: 4.01 pH3: 4.01
pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 4.01
pH1: 4.01 pH2: 4.01 pH3: 4.00
pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 4.00
pH1: 4.02 pH2: 4.01 pH3: 4.02
pH1: 4.02 pH2: 4.00 pH3: 4.01

```

Figura 52. Lectura de los tres sensores de pH.

3.2.3. Sensor de Flujo

El mecanismo de funcionamiento de este sensor consta de pulsos, por lo tanto, se conecta a un conector digital del Arduino Mega. Se procede a realizar las diferentes combinaciones con la válvula de compuerta, mediante el monitor serial del Arduino y el rotámetro ubicado en la tubería verificamos que el sensor cumple las especificaciones requeridas.



Figura 53. Instalación del sensor de flujo en la planta de agua.

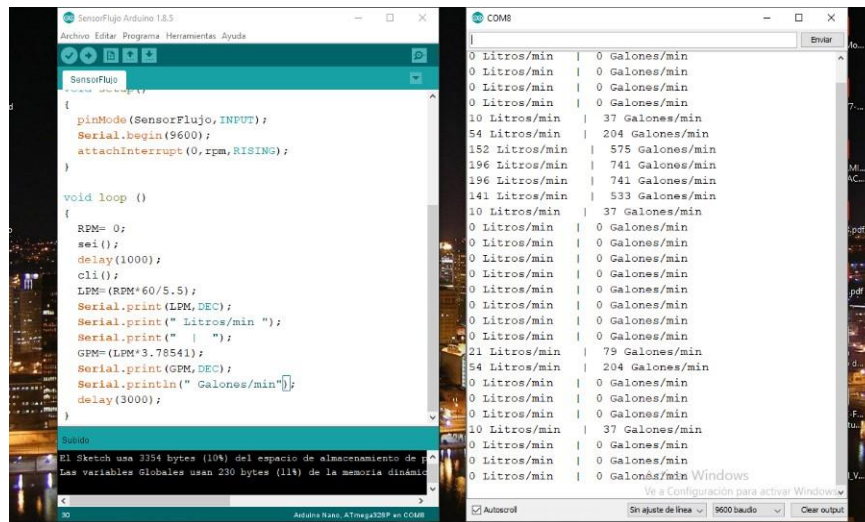


Figura 54. Lectura del flujo de agua que produce la planta.

3.2.4. Transductores de presión

Estos elementos sirven para poder adquirir valores de presión desde una señal eléctrica; En la figura 55. sobre la mesa se encuentran los transductores a instalar en la planta de purificación; previamente se escogieron puntos donde es necesario conocer la presión del sistema. En la figura 56. se aprecia la instalación del transductor de presión antes de la nanomembrana.



Figura 55. Instalación de los transductores de presión.



Figura 56. Ubicación e instalación del transductor de presión.

La lectura de los datos se realiza con una tarjeta de adquisición de datos NI DAQ 6009, puesto que los transductores de presión poseen una salida de 0-10 V; esta tarjeta puede leer el rango indicado y sin un gran porcentaje de error. Antes del uso de los transistores se instalan los toolkits necesarios para la tarjeta de adquisición, esto lo podemos ver en la figura 57.

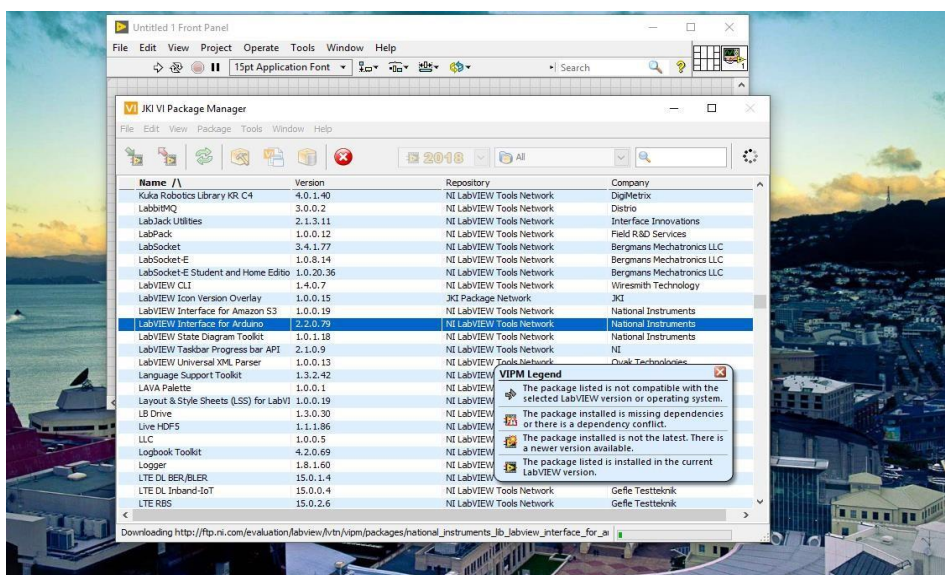


Figura 57. Instalación de los toolkits necesarios en LabVIEW.



Figura 58. Prueba de los transductores de presión.

3.2.5. Diseño de consola

Como se puede observar en los planos de las figuras 59, 60 y 61 se diseñó una consola para poder ubicar las tarjetas de adquisición de datos (Arduino y NI DAQ 6009), además de los elementos necesarios para adquirir las señales, como conectores, borneras, entre otros elementos; los puntos de conexión se encontrarán ubicados en la parte posterior de la planta, esto se puede observar con detalle en la figura 61.

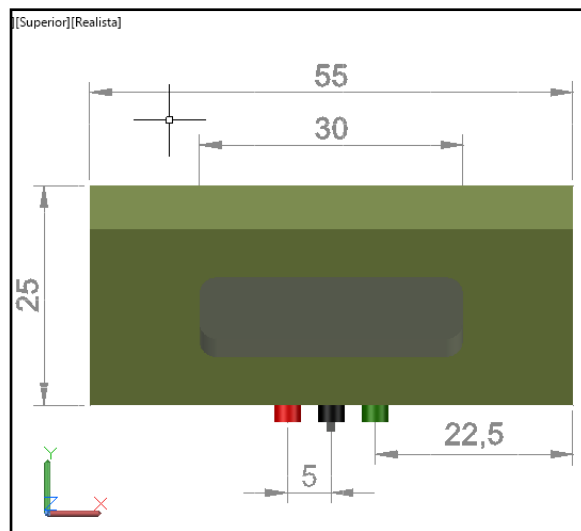


Figura 59. Vista Superior de la consola y sus respectivas medidas.

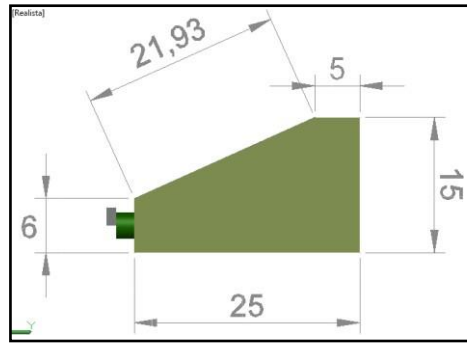


Figura 60. Vista Lateral de la consola y sus respectivas medidas.

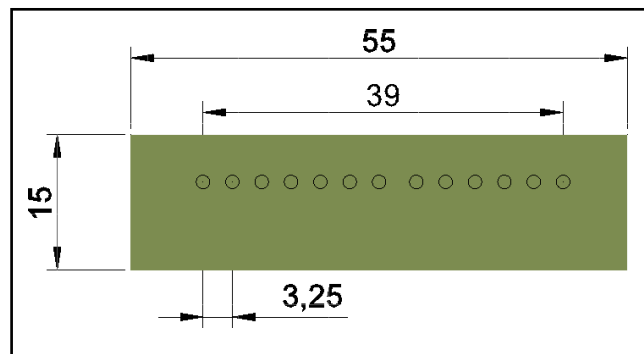


Figura 61. Vista Posterior de la consola y sus respectivas medidas.

En la figura 62. la consola está terminada, se puede observar que la puerta tiene sus bisagras instaladas y el vidrio en el visor.



Figura 62. Desarrollo de la consola de control

Los elementos se ubican en la consola para su correspondiente instalación, esto se puede apreciar en las figuras 63 y 64.



Figura 63. Ubicación de los componentes.

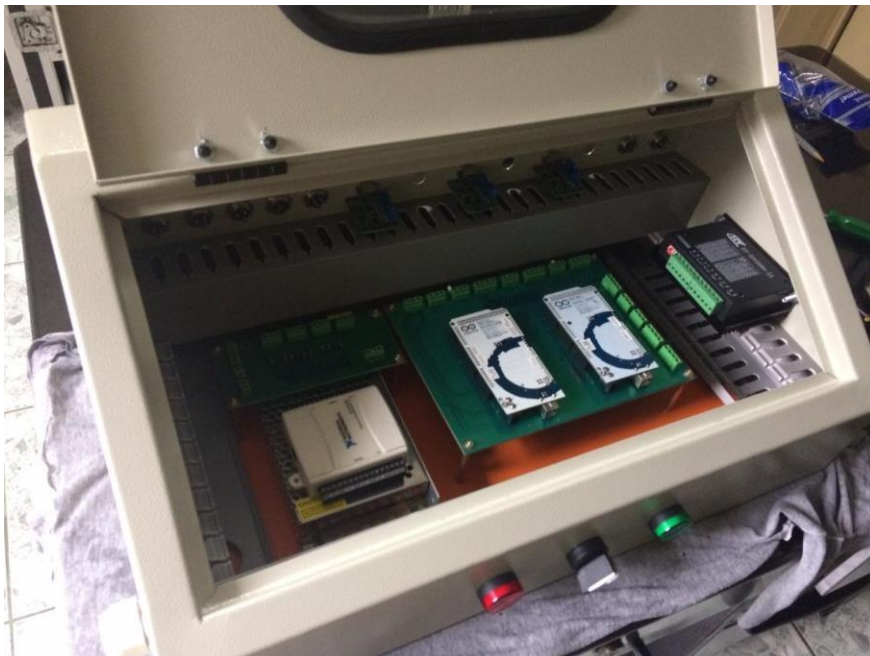


Figura 64. Ubicación de los componentes.

En un período de cuatro días se finalizó la instalación y conexión de los elementos, en la figura 65. se observan los cables y elementos antes de su conexión; mientras que en las siguientes imágenes (figura 66 y 67) se observa el trabajo final realizado.

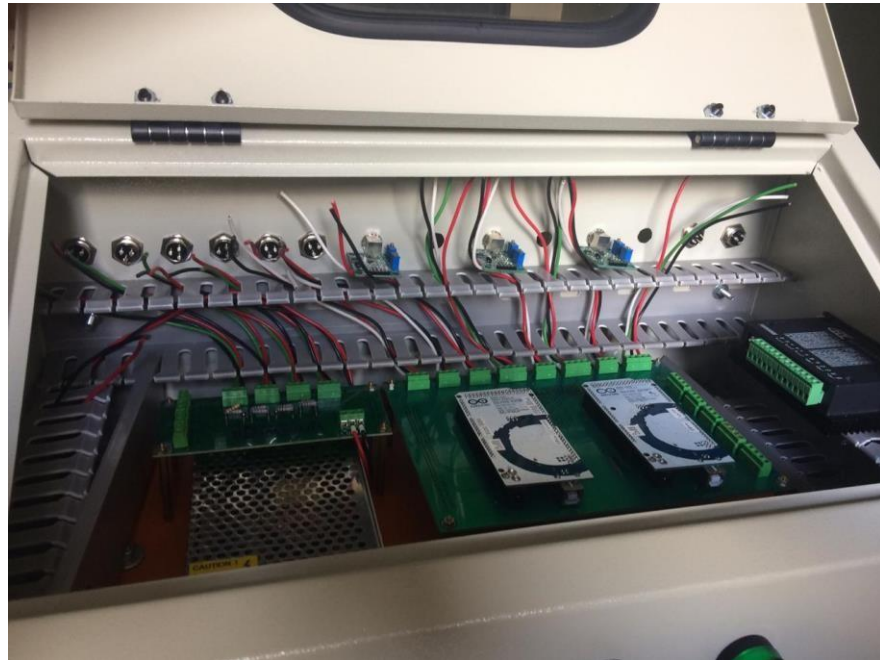


Figura 65. Cableado de los elementos.

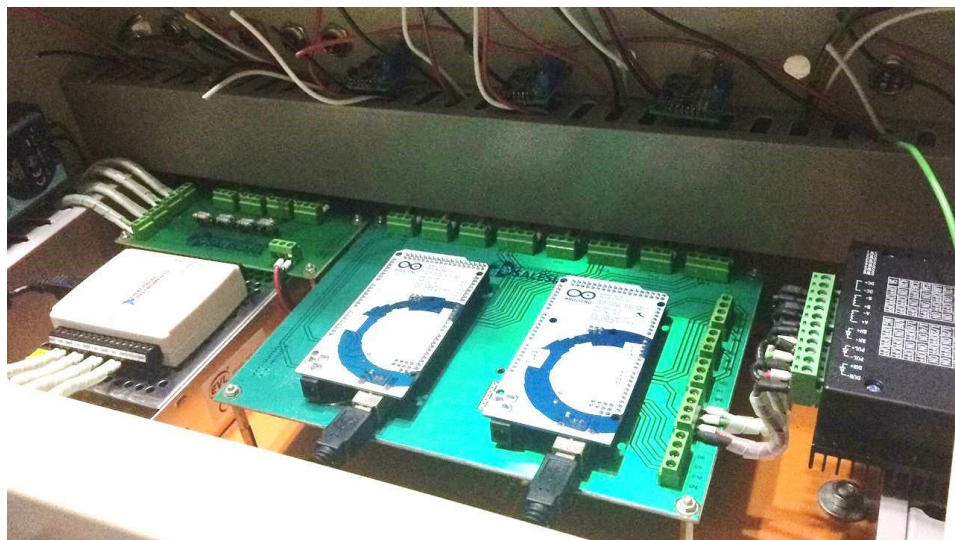


Figura 66. Cableado Final de la Consola.



Figura 67. Consola de Control Finalizada.

La consola se instaló junto a la planta purificadora de agua, esto permitirá mediante una computadora adquirir los datos a través de los sensores, luego son procesados mediante la red neuronal para encontrar la posición precisa de la válvula automatizada.



Figura 68. Consola de Control en la planta de purificación de agua.

3.2.6. Identificación del sistema

Una vez implementada la planta de purificación de agua se busca determinar un modelo que describa al sistema, para obtenerlo se ha seleccionado el método por caja negra, por lo cual se usarán las variables de entrada y salida que se han adquirido a lo largo de la investigación.

Por medio de los sensores de conductividad y pH se adquirieron los valores de estos parámetros, estos datos obtenidos se usan para la identificación del sistema; mediante la herramienta “ident” de MatLab se halla el modelo requerido.

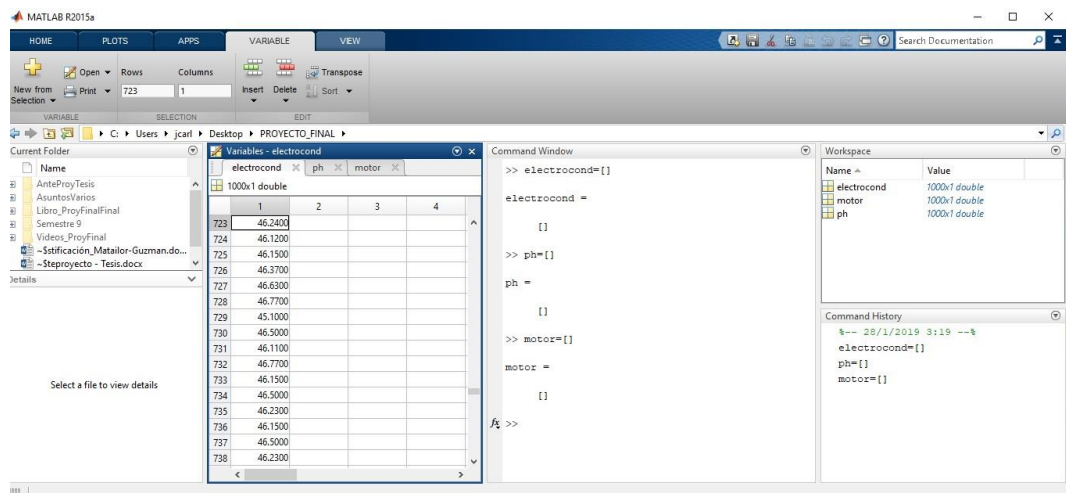


Figura 69. Ingreso de datos en el Workspace de MatLab.

Como primer paso se crearán las variables en el Workspace y se añadirán los valores adquiridos dentro de la matriz de los parámetros del agua. Debido a que el pH no es tan variable en el sistema, se seleccionará el parámetro más significativo, que en este caso se trata de la conductividad del agua.

Luego del ingreso en el Workspace de MatLab, en la ventana de comandos escribimos la sentencia “Ident”, se abrirá la ventana de herramientas de identificación del sistema (figura 69). Dentro de la ventana se selecciona la opción Import Data, al hacer esto se desplegará una nueva ventana en la cual se ingresan los valores de entrada y salida, correspondientes a la conductividad del agua y el motor que automatiza la válvula.

Al importar los datos se escoge la opción Transfer Function Models, para hallar una función de transferencia que describa al sistema de la planta de purificación. Se eligen los números de ceros y polos escogidos para hallar la función de transferencia, en la figura 70 se puede observar que se seleccionó un sistema de segundo orden.

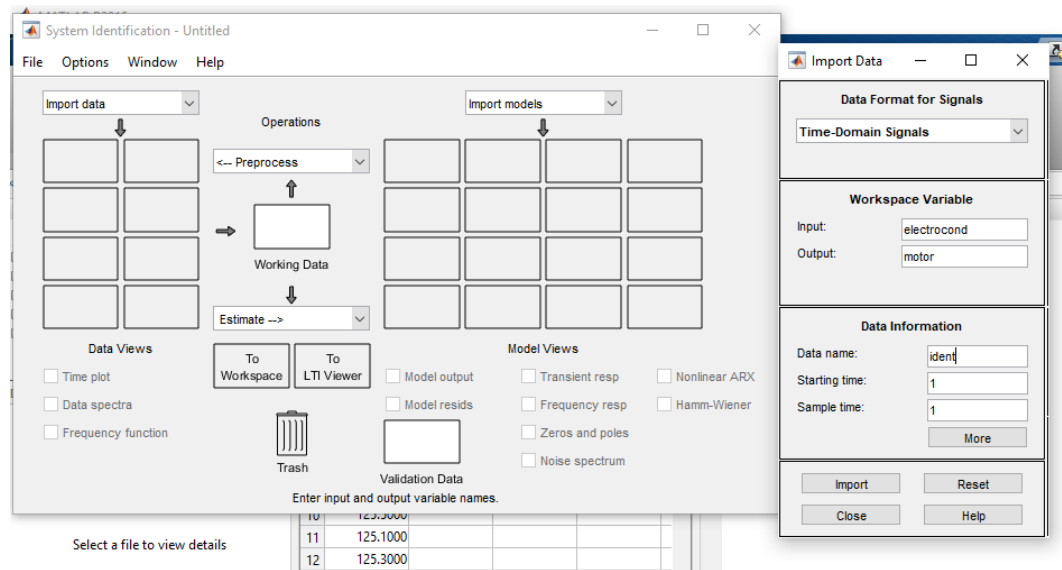


Figura 70. Importación de los valores de conductividad.

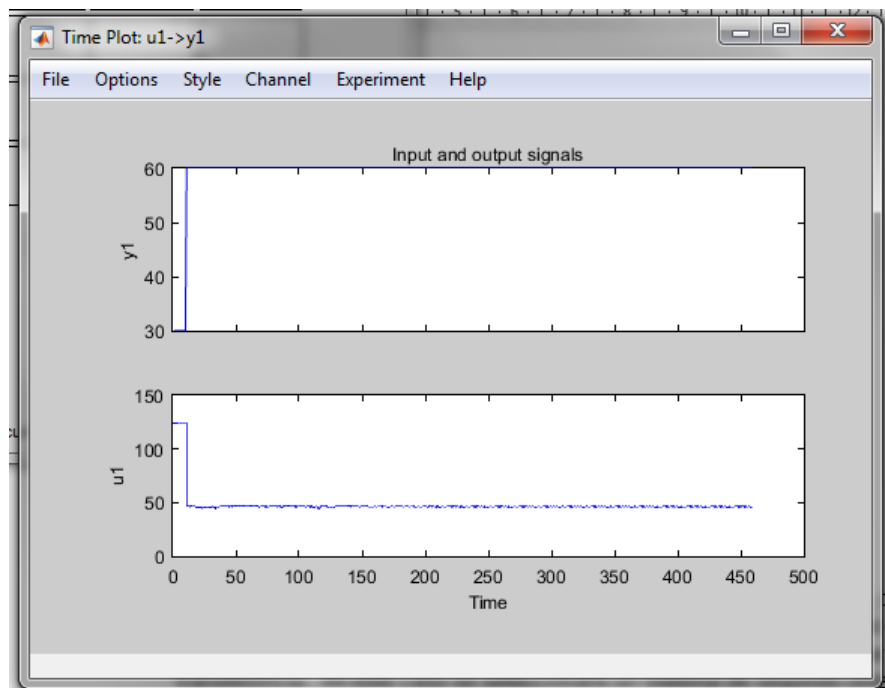


Figura 71. Gráfica de entrada y salida del sistema

Al importar los datos se escoge la opción Transfer Function Models, para hallar una función de transferencia que describa al sistema de la planta de purificación. En la figura 72. Se ingresan la cantidad de ceros y polos escogidos para hallar la función de transferencia, en este caso se seleccionará un sistema de segundo orden.

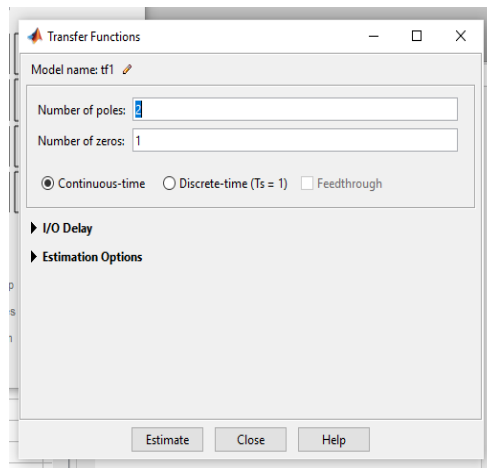


Figura 72. Ingreso de los polos y ceros para hallar la función de transferencia.

En la figura 73 se muestra la estimación de los valores de la función de transferencia, se puede observar además el número de iteraciones, y el ajuste de la estimación de los datos.

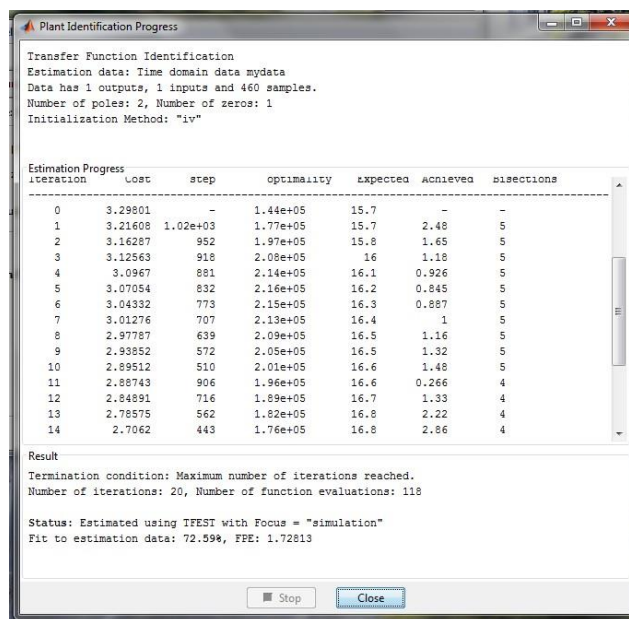


Figura 73. Estimación de función de transferencia de segundo orden del sistema.

La función de transferencia de segundo orden que describe al sistema se puede observar en la figura 74,

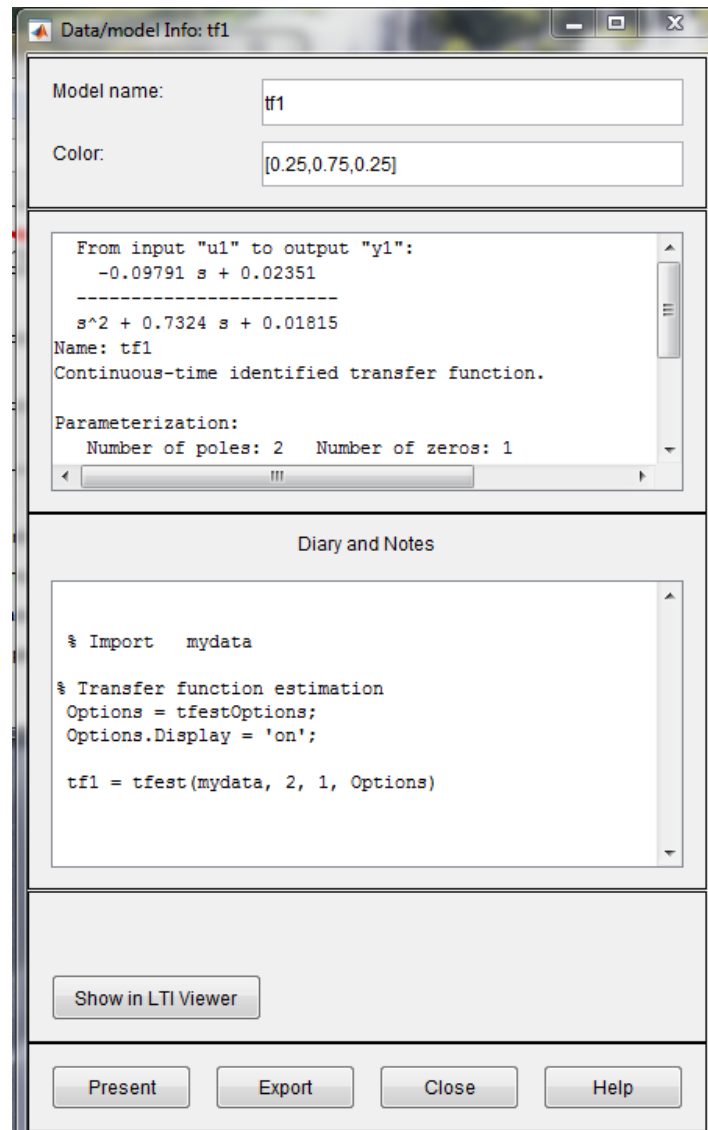


Figura 74. Modelo de función de transferencia de segundo orden.

Después de haber realizado la estimación del modelo en segundo orden, se seleccionaron los mismos datos para efectuar un nuevo análisis, en este caso se buscará el modelo en tercer orden. (figura 75).

Esto se realiza con la finalidad de comparar los resultados y observar que orden describe mejor al sistema estudiado.

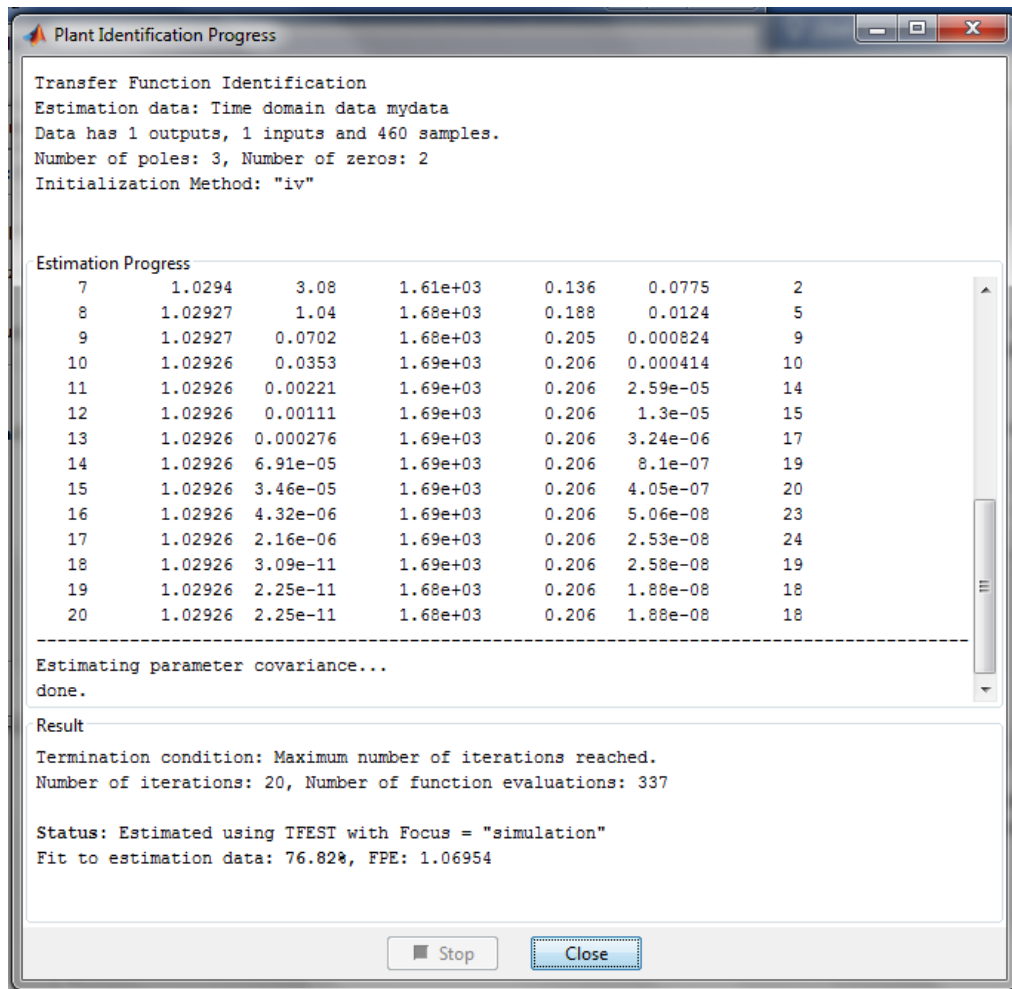


Figura 75. Estimación de la función de transferencia de tercer orden del sistema.

Luego de haber realizado la estimación de la función de transferencia se puede observar el resultado en la ventana de modelos (figura 76), observamos que se ha encontrado sin ningún problema la función de transferencia de tercer orden.

Se procede a seleccionar "Model Output" para observar las gráficas de los modelos encontrados (figura 77), en estas gráficas se observa que no hay mucha diferencia entre ambos modelos, pero observando detenidamente el tiempo de estabilidad, en el sistema de segundo orden es menor al de tercer orden encontrado previamente.

Función de transferencia estimada:

$$tf1 = \frac{-0.09791s + 0.02351}{s^2 + 0.7324s + 0.01815} \quad [ec. 2]$$

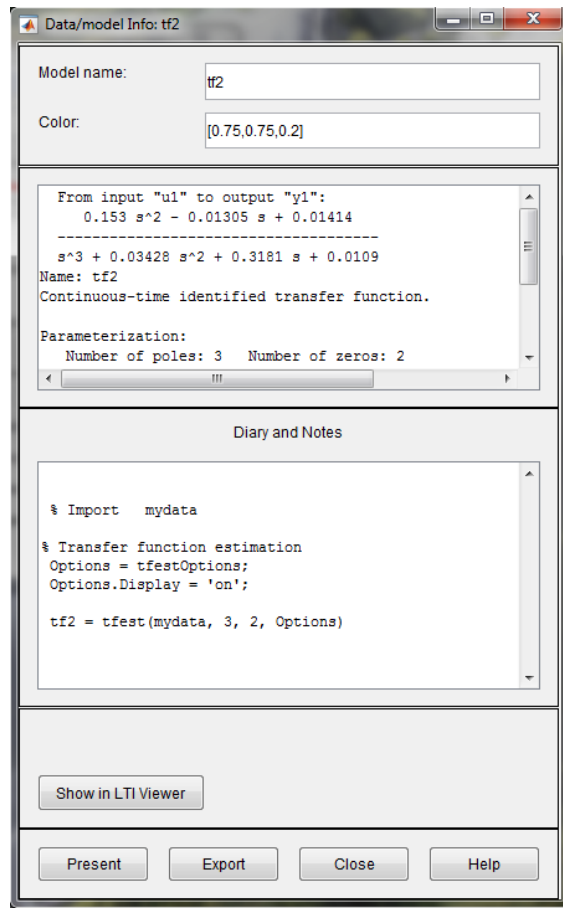


Figura 76. Modelo de función de transferencia de tercer orden.

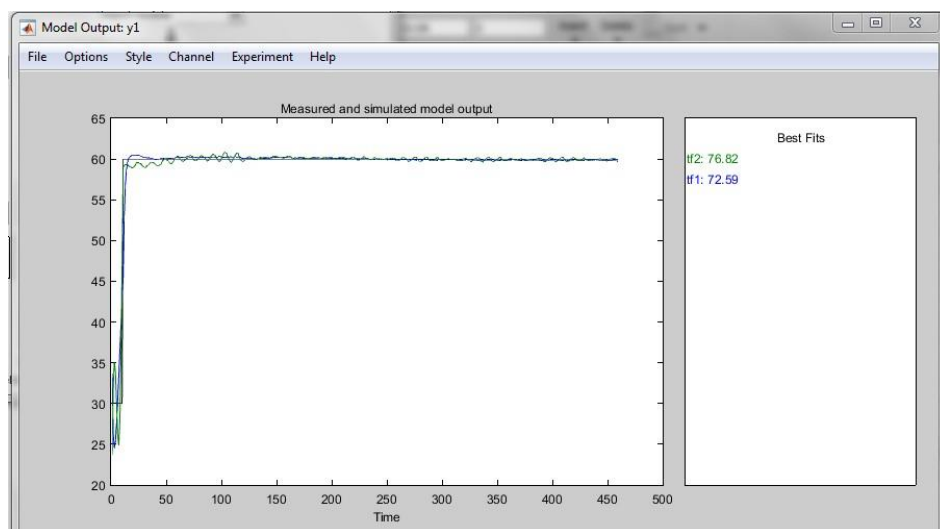


Figura 77. Comparación de las gráficas de los modelos encontrados.

3.2.7. Diseño de red neuronal en MatLab

Se plantea el diseño de una red neuronal artificial en Matlab, para la obtención de los pesos a asignar y la curva de aprendizaje que tendrá esta red se realizaron pruebas en MatLab. En la figura 78 se puede observar el ingreso de las matrices de entrada y objetivos que tendrá la neurona.

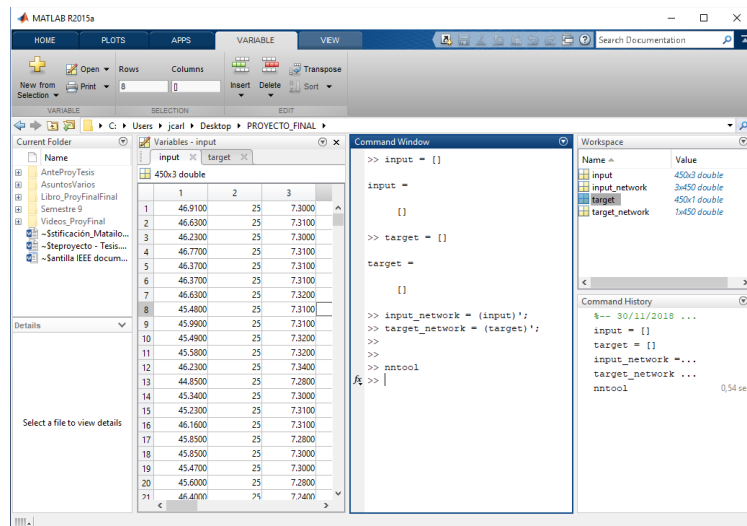


Figura 78. Importación de datos de entrada y objetivo.

El algoritmo utilizado por MatLab en el Neural Network Toolbox, se puede observar en la figura 79; las entradas que ingresan a la red neuronal producen una salida, misma que será compara con el objetivo que se quiere lograr. Si la salida no se asemeja al objetivo, los pesos son ajustados hasta producir la salida deseada.

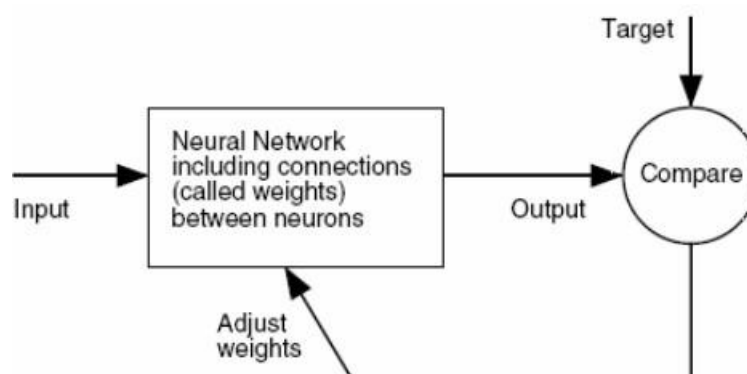


Figura 79. Estructura del entrenamiento de las RNA en MatLab

En la figura 80 se crea la red neuronal, en esta ventana ingresamos las matrices de entradas y objetivos, adicional a esto se añade la función de activación y se escoge el método de aprendizaje de la neurona.

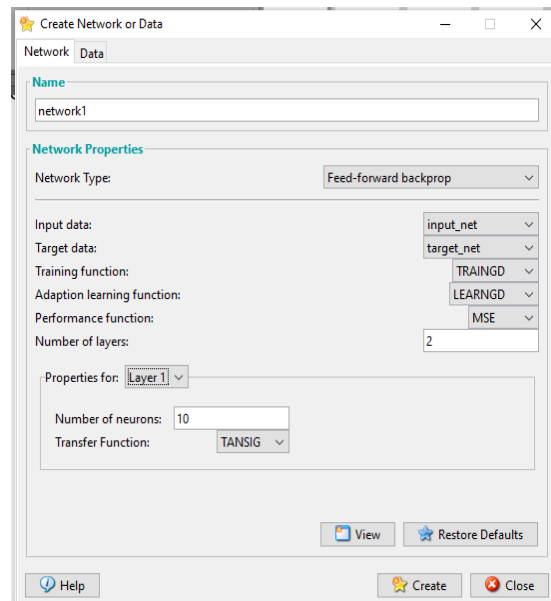


Figura 80. Ventana de creación de la red neuronal.

Se eligió una red neuronal de base radial para el presente estudio, debido a que este tipo de neuronas artificiales calculan la salida de la función en función de la distancia a un punto denominado centro, además de servir como aproximadores lineales.

El algoritmo que se va a utilizar es el aprendizaje por gradiente descendiente junto a la función de activación tangente sigmoideal. Se ingresaron los parámetros a evaluar dentro del Neural Network Toolbox de MatLab, luego de esto, se eligió la topología de la red neuronal para su posterior creación. Desde la figura 81 a la figura 85 se pueden observar los valores que se han tomado para el entrenamiento de la red neuronal.

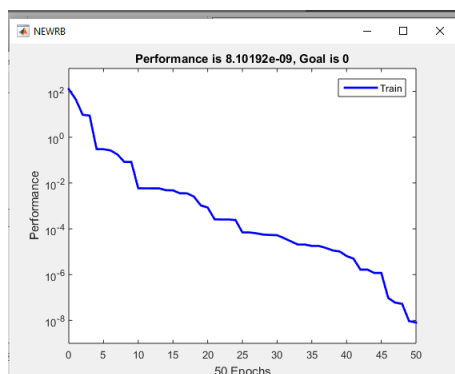


Figura 81. Estimación del primer valor de la red neuronal

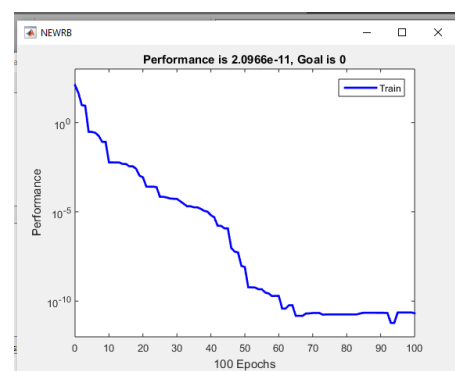


Figura 82. Estimación del segundo valor de la red neuronal

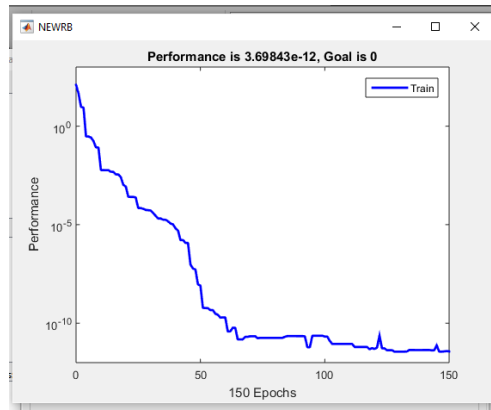


Figura 83. Estimación del tercer valor de la red neuronal.

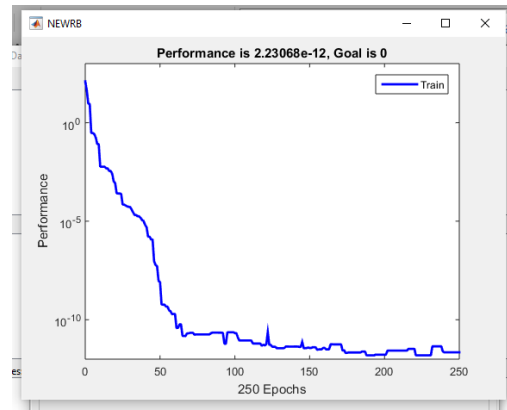


Figura 84. Estimación del cuarto valor de la red neuronal

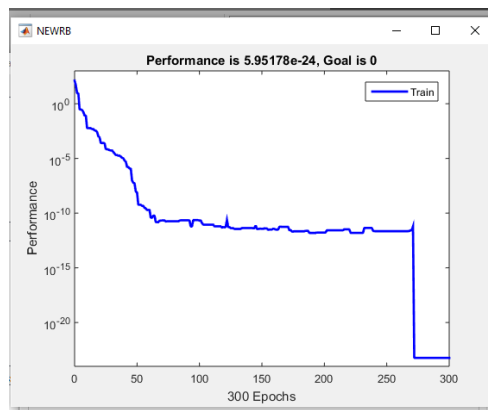


Figura 85. Estimación del quinto valor de la red neuronal.

3.2.8. Diseño e implementación de la red neuronal en LabVIEW

En la figura 86 se observa el esquema de conexión seleccionado para el presente proyecto, junto con los datos que se enviarán desde las tarjetas de adquisición al software LabVIEW.

La topología que se usa en la investigación es una red de base radial, como se puede observar en la figura 87, donde la entrada de mi sistema será el agua no purificada, la salida del sistema será el agua permeada y mi retroalimentación serán los sensores instalados en la planta.

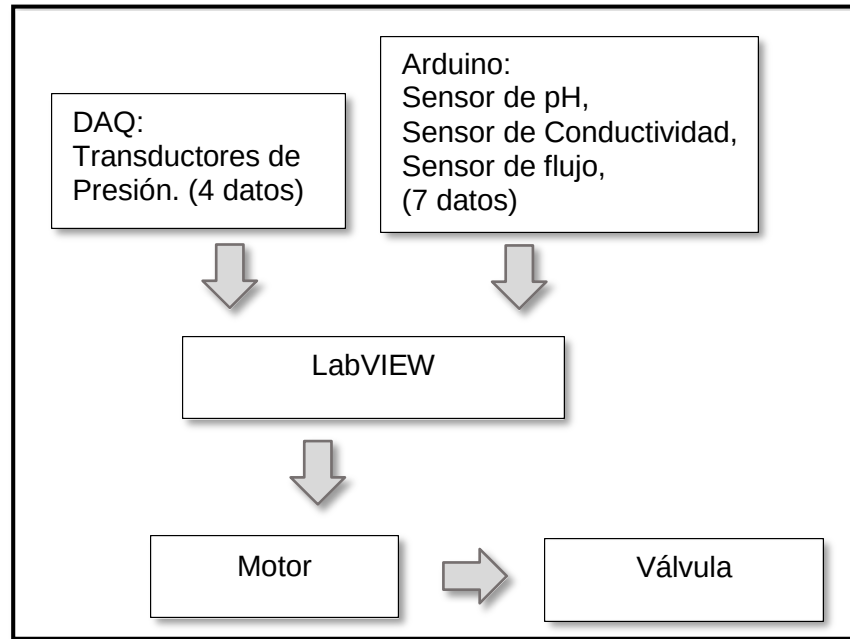


Figura 86. Esquema del sistema de la planta de purificación de agua

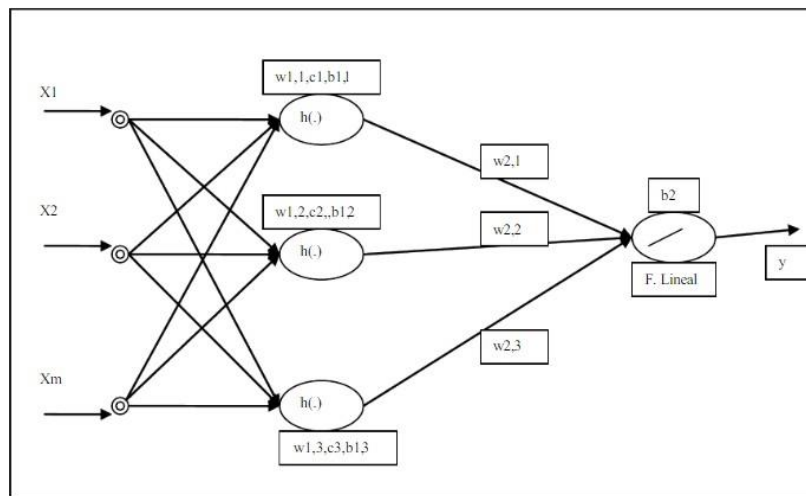


Figura 87. Arquitectura de una Red Neuronal de Base Radial. [37]

Después de obtener las señales correspondientes de los transductores, se procedió a convertir esas señales a un valor de presión; se escaló teniendo en cuenta los que los transductores tienen una salida de 0-10 V y su relación es de 0-150 PSI, esto se puede observar en la figura 88.

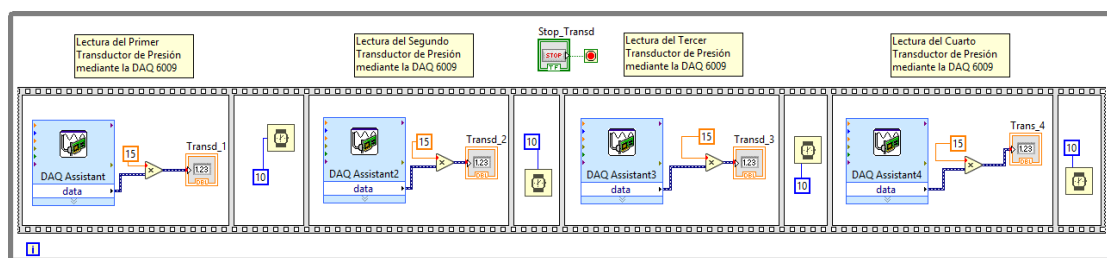


Figura 88. Código para la adquisición de datos de los transductores.

La red neuronal implementada se entrenó con los valores obtenidos en la simulación de la red neuronal en MatLab en el apartado anterior, junto con valores aleatorios de prueba (figura 89).

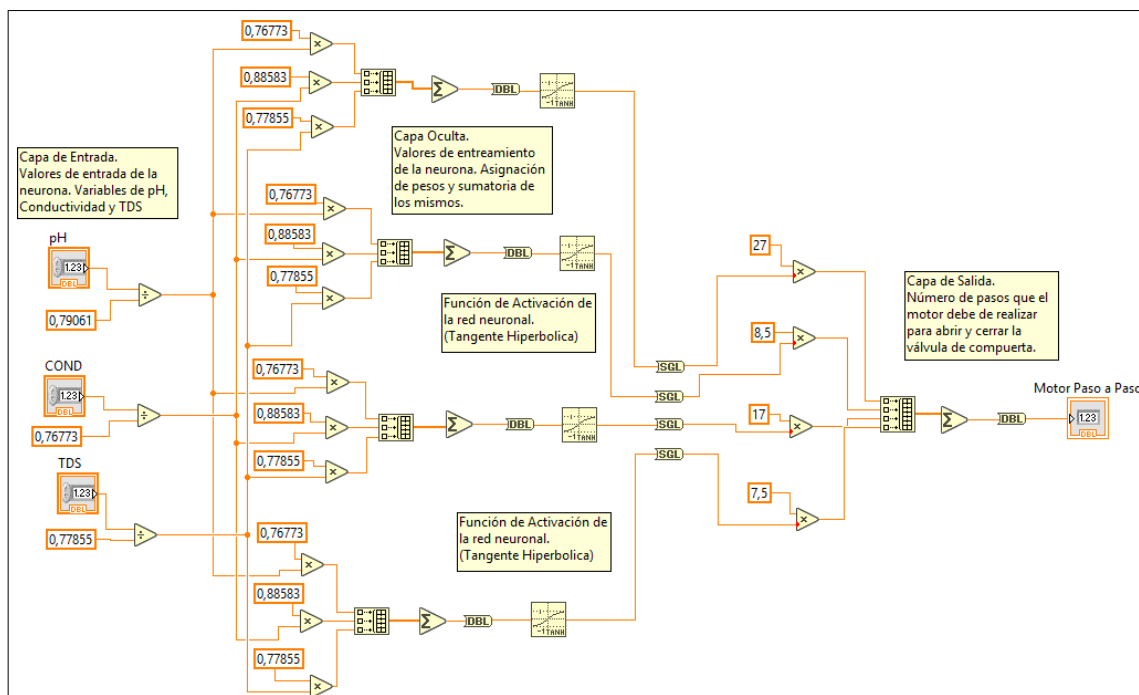


Figura 89. Red Neuronal implementada en la planta de purificación de agua.

Luego de adquirir los datos de los sensores de conductividad, pH y flujo, se elaboró un bloque de programación en LabVIEW para poder mostrarlos en el Panel Frontal, la programación se puede observar en la figura 90.

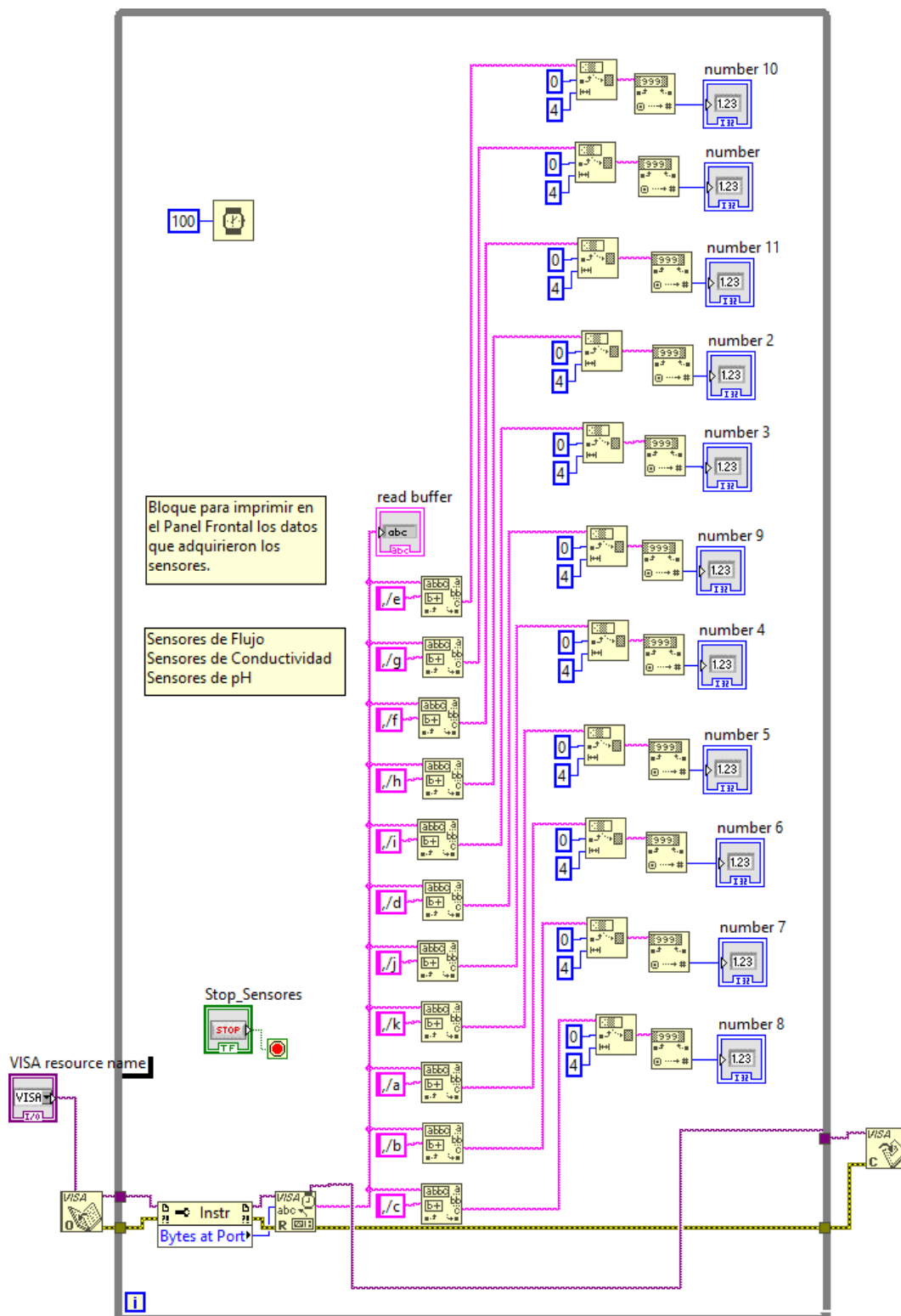


Figura 90. Bloque de lectura de los sensores.

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Al terminar de instalar el controlador, se adquirieron datos de conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y pH antes del ingreso a la planta de purificación, como lo muestra la tabla 8, los valores obtenidos no se encuentran dentro del rango permitido (Norma INEN 2200), por lo tanto, no son aptos para el consumo humano.

Conductividad Inicial	TDS Inicial	pH inicial
126.1	78	6.51
126.2	78	6.56
126.1	78	6.57
126.0	78	6.57
126.0	78	6.60
126.0	78	6.61
126.0	78	6.62
126.1	78	6.64
126.1	78	6.64
125.9	78	6.64

Tabla 8. Valores de los parámetros del agua antes del ingreso de la planta

Después de los lechos se encuentra otro punto de muestra, en el cual podemos apreciar que los valores obtenidos en las pruebas han disminuido, pero lo suficiente para considerar el agua en óptimas condiciones para el consumo humano.

Esto se debe a que los medios filtrantes mejoran el aspecto físico, es decir mejoran la calidad en cuanto a sabor, color y olor, además de que el agua que se está utilizando no es completamente sucia.

En este punto, el agua ha disminuido su turbidez y dureza debido al filtro de zeolita presente en el primer lecho del sistema de medios filtrantes, además junto al carbón activado elimina olor, color y sabor no deseados. En la planta de purificación de agua, además de tener los puntos de muestra donde se ubican las celdas de flujo, se tiene más puntos de muestra entre elementos para poder observar el comportamiento de los lechos y realizar un análisis más detallado.

Mediante las pruebas realizadas, se ha logrado determinar que cuando los medios filtrantes están próximos a saturarse, la presión empieza a subir, para evitar esto es recomendable detener por unos breves minutos la planta y realizar el mantenimiento adecuado.

Conductividad después de los lechos	TDS después de los lechos	pH después de los lechos
105.7	67	8.33
103.9	67	8.21
105.2	67	8.06
105.1	67	8.03
105.3	68	7.90
105.0	67	7.64
105.3	67	7.38
105.4	67	6.94
105.3	67	6.72
105.2	67	6.50

Tabla 9. Valores de los parámetros del agua antes del ingreso de la planta.

Los valores finales adquiridos por medio de los sensores muestran que el proceso después de los medios filtrantes elimina minerales y los microorganismos presentes en el agua. En la tabla 10 se encuentran los valores de los parámetros del agua final, se observa que el nivel de electro conductividad y TDS ha bajado considerablemente.

Conductividad Final	TDS Final	pH Final
46.91	25	7.30
46.63	25	7.31
46.23	25	7.30
46.77	25	7.31
46.37	25	7.31
46.37	25	7.31
46.63	25	7.32
46.48	25	7.31
46.99	25	7.31
46.49	25	7.32

Tabla 10. Valores de los parámetros del agua antes del ingreso de la planta

La válvula de compuerta posee un rol muy importante dentro de este sistema, pues es la válvula que se encarga de proporcionarme el caudal de entrada a la nano membrana, bajo este aspecto podemos controlar la producción y la calidad del agua que se está produciendo.

En la figura 91 se puede observar el motor acoplado a la válvula de compuerta, el control determinará en qué posición debe situarse el motor para cumplir el objetivo.



Figura 91. Motor paso a paso ubicado en la válvula de compuerta.

En las pruebas realizadas junto a la válvula de compuerta, se pudo determinar que la presión que entra a la membrana de nano filtración debe estar dentro del rango de operación especificado en la tabla de datos del elemento, caso contrario el elemento no puede trabajar correctamente.

El control implementado junto con los sensores monitorea constantemente pH, conductividad y TDS; cuando los sensores captan un cambio, en el que los parámetros establecidos se vean comprometidos, el motor se ubica en la posición idónea para que se preserve calidad sobre producción. En el Anexo G se puede observar los análisis del estudio del agua.

5. CRONOGRAMA

Descripción	2017			2018												2019		
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Diseño de la planta de purificación de agua.																		
Selección de los equipos a implementar.																		
Compra y llegada de los equipos a utilizar.																		
Diseño del control de red neuronal.																		
Implementación de la planta de purificación.																		
Implementación electrónica de la planta.																		
Calibración de los sensores a instalar.																		
Implementación del control neuronal.																		
Pruebas de funcionamiento del control.																		
Corrección de errores																		
Entrega de documentos.																		

6. PRESUPUESTO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO (UNID.)	SUBTOTAL
TANQUE DE 1300 LITROS	1	\$ 176 ,00	\$ 176,00
TANQUE DE 500 LITROS	1	\$ 91,37	\$ 91,37
SISTEMA DE PRETRATAMIENTO	1	\$ 1214,60	\$1214,60
- LECHO DE SEDIMENTACION (ZEOLITA)	1		
- LECHO DE CARBON ACTIVADO	1		
SISTEMA DE PURIFICACION	1	\$ 4628,77	\$ 4628,77
- OSMOSIS INVERSA INDUSTRIAL (FILTRO DE POLIPROPILENO Y NANOMEMBRANA)	1		
LÁMPARA GERMICIDA (LUZ UV) 12 GPM	2	\$ 776,96	\$ 1553,92
SISTEMA DE BOMBEO HIDRONEUMATICO	1	\$ 883,39	\$ 883,39
- BOMBA DE 1 HP NORMAL	1		
- TANQUE DE PRESIÓN DE 40G	1		
MANOMETROS	5	\$ 2,00	\$ 10,00
LLAVES DE PASO 1/4"	10	\$ 3,90	\$ 39,00
NATIONAL INSTRUMENTS DAQ 6009	1	\$ 300,00	\$ 300,00
MOTOR ENCODER	1	\$ 80,00	\$ 80,00
BASE DE MOTORES	1	\$ 4,00	\$ 4,00
SENSOR DE PH	3	\$ 35,00	\$ 105,00
SOLUCIONES DE PH	3	\$ 4,00	\$12,00
CONDUCTIVIDAD			
SENSOR DE CONDUCTIVIDAD	3	\$ 139,00	\$ 417,00
CIRCUITO DE CONDUCTIVIDAD EZO	3	\$ 60,00	\$ 180,00
SOLUCIONES DE CONDUCTIVIDAD	2	\$ 6,00	\$ 12,00
TARJETA EZO DE CONDUCTIVIDAD	3	\$ 40,00	\$ 120,00
TRANSDUCTORES DE PRESIÓN	4	\$ 300,00	\$ 1200,00
CAUDALIMETROS	2	\$ 10,50	\$ 21,00
ARDUINO MEGA	1	\$ 25,00	\$ 25,00
TARJETAS ELECTRONICAS	1	\$ 108,75	\$ 108,75
CONSOLA	1	\$ 270,00	\$ 270,00
TOTAL			\$ 11.451,80

7. CONCLUSIONES

- Luego de la implementación de la planta de purificación de agua se adquirieron datos, mediante la tarjeta Arduino y NI DAQ 6009, después de esto se elaboró una tabla comparativa de los datos de entrada y salida, en la que podemos verificar que la planta cumple con el objetivo establecido, al reducir conductividad, TDS y pH.
- La planta de purificación de agua instalada en la Universidad Politécnica Salesiana provee de agua de alta calidad y apta para el consumo humano.
- En base al análisis realizado (capítulo 4) con los sensores y la recopilación de la información, se concluye que el presente trabajo cumple los objetivos especificados, con lo cual se puede garantizar la calidad del agua y la salud de los integrantes de la comunidad salesiana.
- Se desarrolló en su totalidad las etapas del tratamiento del agua residual, analizando e interpretando las diferentes variaciones presentes en cada una de ellas; así mismo se evaluaron los distintos tipos de procesos y equipos involucrados para llevar a buen fin cada etapa del tratamiento.
- El sistema de tratamiento propuesto es completamente natural, no hay ruidos por motores, contaminación del aire, entre otros.
- La planta de purificación de agua instalada en el edificio C de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil sirve para que los integrantes de la comunidad salesiana tengan a su disponibilidad un agua de mejor calidad, libre de contaminantes y/o microorganismos dañinos para su salud.
- Mediante el uso de las Redes Neuronales se estableció un control para una válvula de compuerta, el cual al tener diferentes ubicaciones se puede obtener el flujo de agua permeable y concentrada requeridos; las neuronas aprendían la posición óptima de la válvula de compuerta, para la obtención de la calidad y producción del agua ideal.
- Al realizar los exámenes del agua purificada se demostró que los parámetros bromatológicos cumplen con la Norma NTE INEN 2200:2017.

8. RECOMENDACIONES

- Concienciar a los estudiantes salesianos sobre la importancia del cuidado y empleo del líquido vital.
- Efectuar la limpieza periódica y correcta cada vez que se aprecien sedimentos en el tanque de agua cruda y evitar el crecimiento de bacterias en el mismo.
- Efectuar una revisión exhaustiva de las todas las maniobras de operación del proceso de filtración y disponer de un manual de operación de los filtros.
- Comprobar que la planta funcione adecuadamente, realizando los respectivos análisis con pruebas físicas, químicas y bacteriológicos.
- Tomar en cuenta siempre los protocolos de monitoreo, almacenamiento y análisis de agua, para una correcta información.
- Se recomienda estudios posteriores encaminados a encontrar estrategias que permitan optimizar el funcionamiento de la planta.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] El Comercio, *Muestras de agua de los ríos del país ponen en alerta sobre la contaminación*, 19 marzo 2017.
- [2] El Universo, *INEC midió la calidad de agua que consumen los ecuatorianos*, 16 mayo 2017.
- [3] M. Noriega, C. Quintero, J. Guajardo, J. Morales, M. Compeán y F. Ruiz, «Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. III, pp. 87-100, 2012.
- [4] «GoogleMaps,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps/place/Universidad+Polit%C3%A9cnica+Salesiana+-+Guayaquil/@-2.2201481,-79.8872321,19z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x902d6e4fced73235:0xb76f5008ec6c4345!8m2!3d-2.2201494!4d-79.8866849>. [Último acceso: 20 Febrero 2018].
- [5] «Indeltro,» [En línea]. Available: http://www.indeltro.com/indeltro/producto.asp?id=33&id_tipo=1&navin=1. [Último acceso: agosto 2018].
- [6] «Blog Ventageneradores,» 5 abril 2016. [En línea]. Available: <http://www.ventageneradores.net/blog/funcionamiento-como-funciona-una-bomba-agua-motobomba-electrobomba/>. [Último acceso: 20 diciembre 2018].
- [7] «De máquinas y herramientas,» 12 julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/bombas-de-agua-funcionamiento>. [Último acceso: 9 enero 2019].
- [8] «Full Mecanica,» 9 enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.fullmecanica.com/definiciones/t/1678-tanque-hidroneumatico>. [Último acceso: 9 enero 2019].
- [9] «Bonnett,» 26 junio 2014. [En línea]. Available: <http://grupobonnett.blogspot.com/2014/06/tipos-de-tanques-hidroneumaticos.html>. [Último acceso: 21 diciembre 2018].
- [10] «Carbotecnia,» [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/filtros-de-lecho-profundo/>. [Último acceso: julio 2017].
- [11] «Agua & Ambiente,» [En línea]. Available: <https://aguayambiente.com/2015/07/13/filtracion-eficiente-agua/>. [Último acceso: julio 2015].

- [12] «Aguasistec,» [En línea]. Available: <http://www.aguasistec.com/filtro-de-carbon-activado.php>. [Último acceso: julio 2018].
- [13] «Condorchem envitech,» [En línea]. Available: <http://blog.condorchem.com/adsorcion-en-carbon-activado-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>. [Último acceso: agosto 2018].
- [14] «Carbotecnia,» [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/producto/carbon-activado-para-vapores-de-mercurio/>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [15] «Carbotecnia,» [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/producto/biochar/>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [16] «Carbotecnia,» [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/producto/filtros-de-cartucho-polydepth-pentek-pentair-de-polipropileno/>. [Último acceso: agosto 2018].
- [17] «Lenntech,» [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/nanofiltracion-y-osmosis-inversa.htm>. [Último acceso: julio 2018].
- [18] «Carbotecnia,» [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/nanofiltracion/>. [Último acceso: julio 2018].
- [19] «PanaChlor,» [En línea]. Available: <http://panachlor.com/?p=735>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [20] «EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Luz_ultravioleta. [Último acceso: septiembre 2018].
- [21] «Carbotecnia,» [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/producto/lampara-polaris-uv/>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [22] «e-Gizmo,» [En línea]. Available: <https://www.e-gizmo.net/oc/kits%20documents/PH%20Sensor%20E-201-C/PH%20Sensor%20E-201-C.pdf>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [23] «Omega,» [En línea]. Available: <https://cl.omega.com/prodinfo/medidores-de-pH.html>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [24] «Amperka,» [En línea]. Available: <http://files.amperka.ru/store-media/products/water-flow-sensor/media/YF-S201.pdf>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [25] «Guemisa,» [En línea]. Available: <http://www.guemisa.com/ambien/docus/completo%20conductividad.pdf>. [Último acceso: diciembre 2018].

- [26] «Atlas Scientific,» [En línea]. Available: https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/ec_k1_0_kit.html?. [Último acceso: Agosto 2018].
- [27] «Omega,» [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/transductores-de-presion.html>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [28] «Siemens,» [En línea]. Available: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/50489739/pressure-transmitter-sitrans-p220-\(7mf1567\)?dti=0&lc=en-WW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/50489739/pressure-transmitter-sitrans-p220-(7mf1567)?dti=0&lc=en-WW). [Último acceso: diciembre 2018].
- [29] A. Creus, de *Instrumentación Industrial*, Barcelona, Marcombo, 2005, pp. 144-147.
- [30] «Omega,» [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-de-presion.html>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [31] «MateWiki,» [En línea]. Available: <https://mat.caminos.upm.es/wiki/MATLAB>. [Último acceso: Agosto 2017].
- [32] «National Instruments,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/environment.htm>. [Último acceso: Agosto 2017].
- [33] P. Ponce, de *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*, Mexico, Alfaomega, 2010, pp. 193-207.
- [34] «Wikidot,» [En línea]. Available: <http://redes-neuronales.wikidot.com/definicion-ventajas-desventajas>. [Último acceso: noviembre 2018].
- [35] «Learn OpenCV,» [En línea]. Available: <https://www.learnopencv.com/understanding-feedforward-neural-networks/>. [Último acceso: enero 2019].
- [36] «InnoSupport,» [En línea]. Available: <http://www.innosupport.net/index.php?id=2080&L=6>. [Último acceso: enero 2019].
- [37] J. Cevallos, «Redes Neuronales de Base Radial aplicadas a la mejora de la calidad,» *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, vol. 11, nº 1, pp. 63-72, 2008.
- [38] «Carbotecnia,» [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-carbon-activado/>. [Último acceso: julio 2018].
- [39] «Atlas Scientific,» [En línea]. Available: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/EC_K_1.0_probe.pdf. [Último acceso: diciembre 2018].

- [40] «Atlas Scientific,» [En línea]. Available: https://www.atlas-scientific.com/_files/instructions/bnc_tech_specs.pdf. [Último acceso: 2018 diciembre].
- [41] «Atlas Scientific,» [En línea]. Available: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_circuit/EC_EZO_Datasheet.pdf. [Último acceso: diciembre 2018].
- [42] Universidad Nacional de Colombia, [En línea]. Available: <http://disi.unal.edu.co/~lctorress/RedNeu/LiRna007.pdf>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [43] «National Instruments,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375296c.pdf>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [44] «Arduino,» [En línea]. Available: https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-mega2560_R3-sch.pdf. [Último acceso: diciembre 2018].
- [45] K. Ogata, de *Ingeniería de control moderna*, Madrid, Pearson Education, 2010, pp. 161-164.
- [46] «Arduino,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [47] J. González, «Identificación de la temperatura electrónica de un plasma por medio de redes neuronales artificiales,» Cartago, Costa Rica, 2015.
- [48] «Lenntech,» [En línea]. Available: <https://www.lenntech.com/Data-sheets/Dow-Filmtec-NF270-4040.pdf>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [49] «National Instruments,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>. [Último acceso: septiembre 2017].
- [50] «Atlas Scientific,» [En línea]. Available: https://www.atlas-scientific.com/_files/instructions/conductivity_accuracy_graph.pdf. [Último acceso: 25 enero 2019].
- [51] Carbotecnia, [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/filtros-de-lecho-profundo/>. [Último acceso: Agosto 2018].

ANEXOS

ANEXOS

Anexo A: Planos de la planta de nanofiltración.

Anexo B: Diagrama de Fuerza de la planta de purificación

Anexo C: Diagrama General de las conexiones

Anexo D: Programación en Arduino

Anexo E: Tabla de datos de los componentes

Anexo F: Certificación del Tanque de Entrada y Salida

Anexo G: Estudios Realizados

Anexo A
Diseño 3D de la planta de purificación de agua

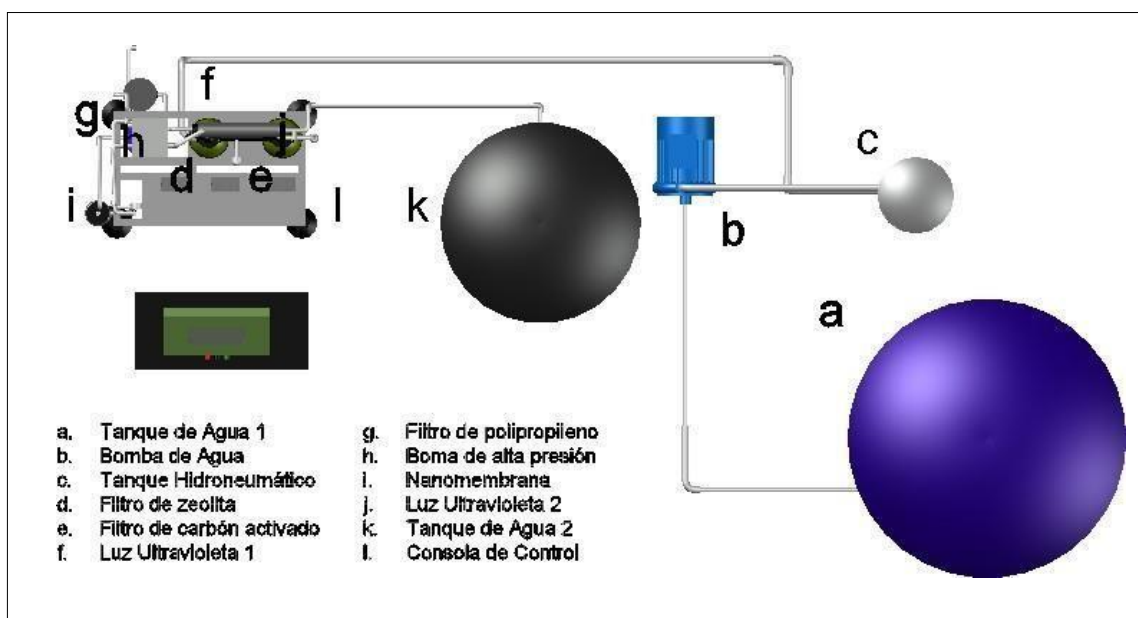


Figura A-1. Vista superior del plano

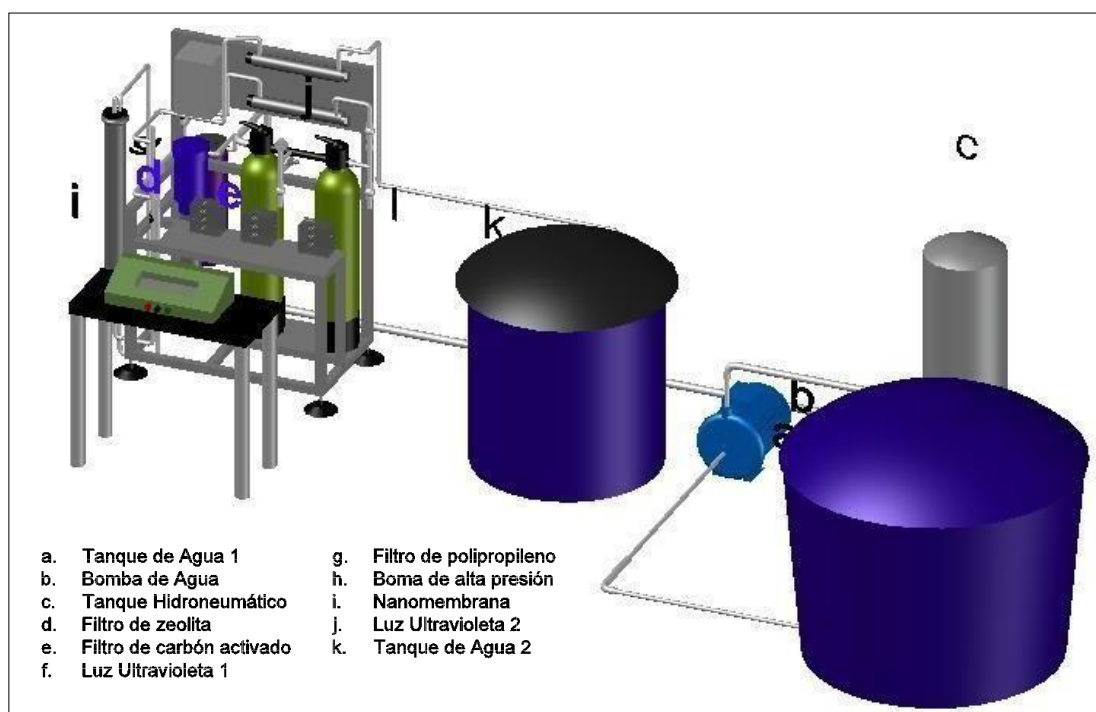


Figura A-2. Vista superior del plano

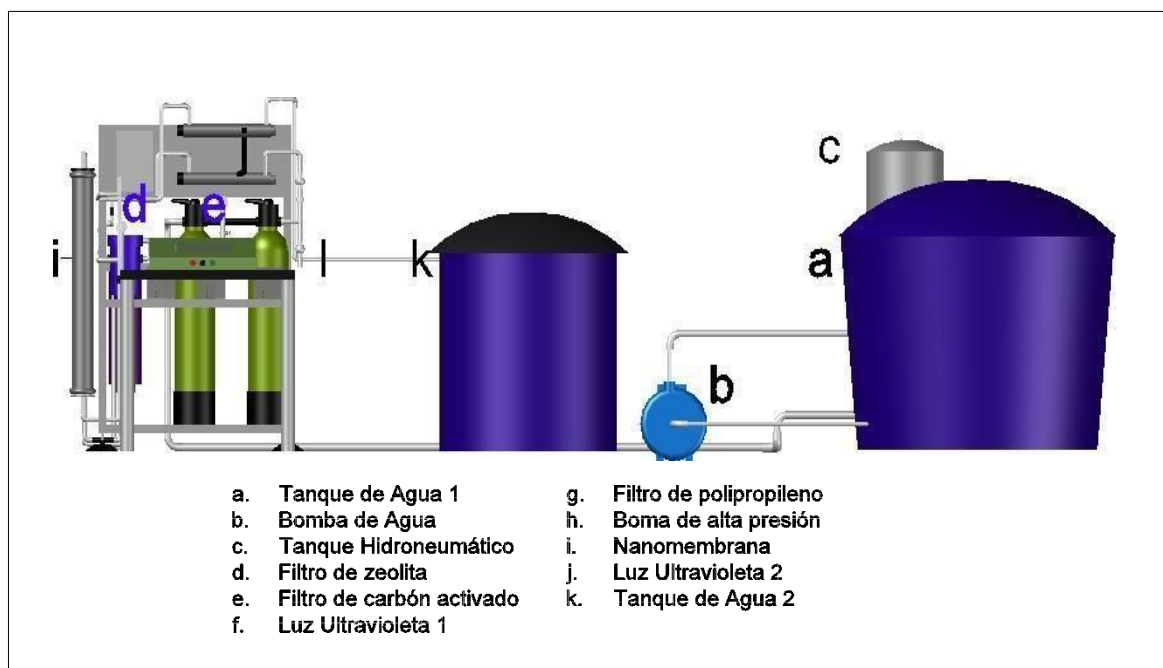


Figura A-3. Vista frontal del plano

Anexo B
Diagrama de Fuerza de la planta de purificación

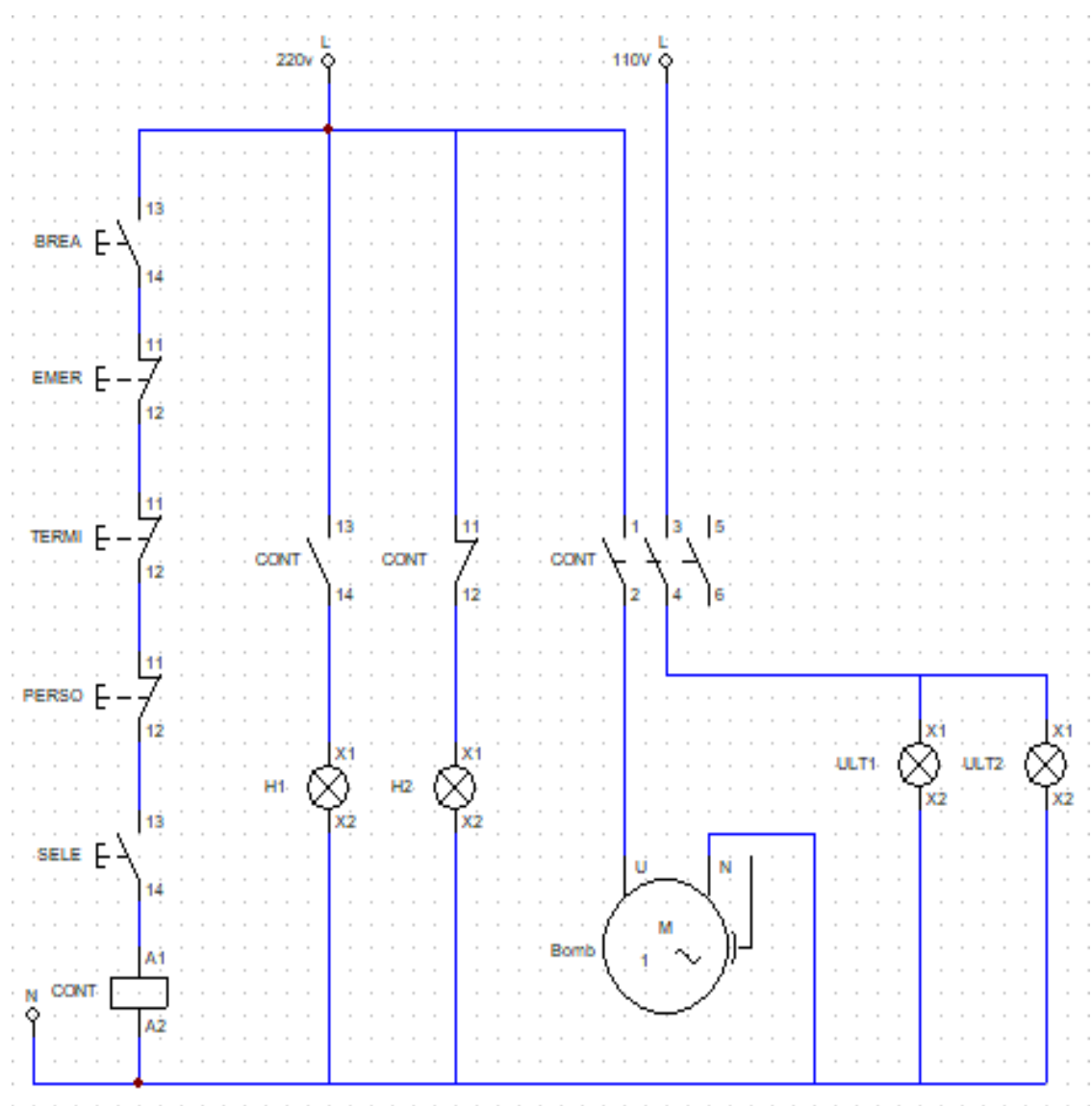


Figura B-1. Diagrama de Fuerza de la planta de purificación

Anexo C
Tarjetas de circuito impreso

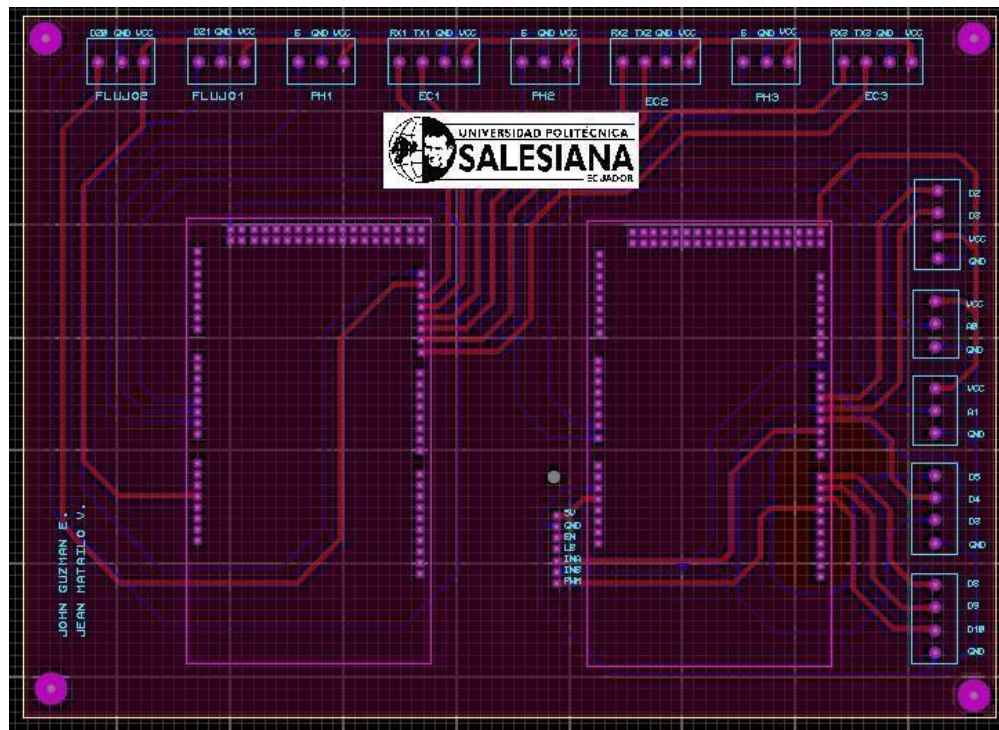


Figura C-1. Tarjeta PCB de sensores

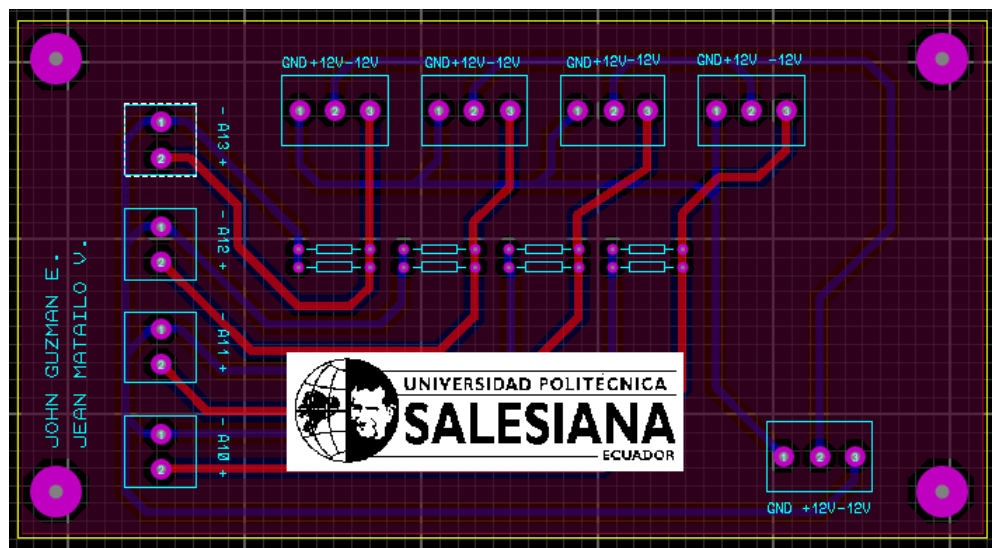


Figura C-2. Tarjeta PCB de transductores de presión

Anexo D
Programación en Arduino


```
// Programa para adquirir datos de: Flujo, Conductividad y pH
// Autores: John Guzman - Jean Carlos Matailo Vélez
```

```
// Variables y Constantes - Sensor de
Flujo volatile int rpm1, rpm2;
double lpm1, lpm2, gpm1,
gpm2; int flujo1=20, flujo2=21;
```

```
// Variables y Constantes - Sensor EC
String inputstring = "";
String sensorstring = "";
boolean input_string_complete = false;
boolean sensor_string_complete =
false;
```

```
String inputstring2 = "";
String sensorstring2 = "";
boolean input_string_complete2 =
false; boolean
sensor_string_complete2 = false;
```

```
String inputstring3 = "";
String sensorstring3 = "";
boolean input_string_complete3 =
false; boolean
sensor_string_complete3 = false;
```

```
// Variables y Constantes - Sensores de
pH #define offset 0.00 // Desviation
Compensate float valorph1; const
byte phpin1 = A1; float valorph2;
const byte phpin2 = A2;
float valorph3; const byte phpin3 = A3;
```

```
// Sensor de Flujo
void frpm1 () { rpm1++; }
void frpm2 () { rpm2++; }
```

```
void setup (){
  Serial.begin(9600);          // Establecer la velocidad en baudios para el puerto
  serie del hardware_0 a 9600.
  // Sensor de Flujo
  pinMode(flujo1,INPUT);       // Declaro el pin 20 como Entrada
  pinMode(flujo2,INPUT);       // Declaro el pin 21 como Entrada
  attachInterrupt(3,frpm1,RISING); // Activamos la Interrupcion en el
  pin 2 attachInterrupt(2,frpm2,RISING); // Activamos la
  Interrupcion en el pin 3
  // Sensor EC
  Serial3.begin(9600);         // Establecer la velocidad en baudios para el puerto
  seriedel software_3 a 9600.
  inputstring.reserve(10);     // Reserva algunos bytes para recibir datos de laPC.
```

```

    sensorstring.reserve(30);          // Reserva algunos bytes para recibir datos del
    producto Atlas Scientific.
    Serial2.begin(9600);               // Establecer la velocidad en baudios para el puerto
    serie del software_2 a 9600.
    inputstring2.reserve(10);          // Reserva algunos bytes para recibir datos de la
    PC. sensorstring2.reserve(30);     // Reserva algunos bytes para recibir datos del
    producto Atlas Scientific.
    Serial1.begin(9600);               // Establecer la velocidad en baudios para el puerto
    seriel del software_1 a 9600.
    inputstring3.reserve(10);          // Reserva algunos bytes para recibir datos de la
    PC. sensorstring3.reserve(30);     // Reserva algunos bytes para recibir datos del
    producto Atlas Scientific.
}

```

```

void serialEvent() {                  // Si el puerto serial del hardware_0 recibe un char.
    inputstring = Serial.readStringUntil(13); // Lee la cadena hasta que veamos un
    <CR>. input_string_complete = true;      // Establece el indicador usado para decir si
    hemos recibido una cadena completa de la PC.
}

```

```

void serialEvent3() {                // Si el puerto serial_3 del hardware recibe un char
    sensorstring = Serial3.readStringUntil(13); // Lee la cadena hasta que veamos un
    <CR>. sensor_string_complete = true;      // Establece el indicador usado para decir
    si hemos recibido una cadena completa de la PC.
}

```

```

void serialEvent2() {                // Si el puerto serial_2 del hardware recibe un
    char sensorstring2 = Serial2.readStringUntil(13); // Lee la cadena hasta
    que veamos un<CR>. sensor_string_complete2 = true; // Establece el
    indicador usado para decir si hemos recibido una cadena completa de la PC.
}

```

```

void serialEvent1() {                // Si el puerto serial_1 del hardware recibe un
    char sensorstring3 = Serial1.readStringUntil(13); // Lee la cadena hasta
    que veamos un<CR>. sensor_string_complete3 = true; // Establece el
    indicador usado para decir si hemos recibido una cadena completa de la PC.
}

```

```

void print_EC_data3(void) {

```

```

    char
    sensorstring_array3[30];
    char *EC;
    char
    *TDS;
    float f_ec;

```

```

    sensorstring3.toCharArray(sensorstring_array3, 30);

```

```

EC = strtok(sensorstring_array3,
","); TDS = strtok(NULL, ",");

Serial.print("Conductividad Inicial:
"); Serial.print(EC);
Serial.println(" uS/cm");

Serial.print("TDS Inicial:
"); Serial.print(TDS);
Serial.println(" ppm");
Serial.println();

}

void print_EC_data2(void) {

char
sensorstring_array2[30];
char *EC;
char
*TDS;
float f_ec;

sensorstring2.toCharArray(sensorstring_array2,
30); EC = strtok(sensorstring_array2, ",");
TDS = strtok(NULL, ",");

Serial.print("Conductividad despues de
lechos: "); Serial.print(EC);
Serial.println(" uS/cm");

Serial.print("TDS despues de lechos:
"); Serial.print(TDS);
Serial.println("
ppm");
Serial.println();
}

void print_EC_data(void) {

char sensorstring_array[30];           // Hacemos una matriz char
char *EC;                             // Puntero de caracteres utilizado en el análisis de
cadenas
char *TDS;                             // Puntero de caracteres utilizado en el análisis de
cadenas
float f_ec;                           // Usado para mantener un número de punto flotante
que es el EC

sensorstring.toCharArray(sensorstring_array, 30); // Convertir la cadena a una matriz de
caracteres
EC = strtok(sensorstring_array, ","); // Analicemos la matriz en cada
coma TDS = strtok(NULL, ","); // Analicemos la matriz en cada coma

```

```

    Serial.print("Conductividad final: ");    // Ahora imprimimos cada valor que
analizamos por separado
    Serial.print(EC);                        // Este es el valor de
    EC Serial.println(" uS/cm");            // Unidad de EC

    Serial.print("TDS final: ");              // Ahora imprimimos cada valor que analizamos
por separado
    Serial.print(TDS);                      // Este es el valor de TDS
    Serial.println(" ppm");                 // Unidad de TDS
    Serial.println();                       // Imprimimos una linea en
    blanco
}

```

```

void sensorflujo1(){
    rpm1=0;                                // Declaro rpm1 como 0
    sei();                                  // Activa Interrupciones
    delay(1000);                            // Retraso de un
    segundo cli();                          // Desactiva Interrupciones
    lpm1=(rpm1/7.5);                        // Conversion a litros por minuto
    gpm1=(lpm1/3.78);                      // Conversion a galones por minuto
    Serial.print("Caudal Permeable: ");    // Imprime el
    mensaje establecido Serial.print(gpm1); // Imprime el
    valor de galones porminuto Serial.println(" GPM"); //
    Imprime el mensaje establecido delay(1000); // Retraso de un segundo
}

```

```

void sensorflujo2(){
    rpm2=0;                                // Declaro rpm1 como 0
    sei();                                  // Activa Interrupciones
    delay(1000);                            // Retraso de un
    segundo cli();                          // Desactiva Interrupciones
    lpm2=(rpm2/7.5);                        // Conversion a litros por minuto
    gpm2=(lpm2/3.78);                      // Conversion a galones por minuto
    Serial.print("Caudal Concentrada: "); // Imprime el mensaje establecido
    Serial.print(gpm2);                    // Imprime el valor de galones por
    minuto Serial.println(" GPM");        // Imprime el mensaje establecido
    Serial.println();
    delay(1000);                          // Retraso de un segundo
}

```

```

void sensorpH1(){
    valorph1=(1023 - analogRead(phpin1)) /
    73.07; valorph1=(valorph1+offset);
    Serial.print("pH inicial:
    ");
    Serial.println(valorph1,
    2); delay(1000);
}

```

```

void sensorpH2(){
  valorph2=(1023 - analogRead(phpin2)) / 73.07;
  valorph2=(valorph2+offset);
  Serial.print("pH despues de los lechos:
  "); Serial.println(valorph2,2);
  delay(1000);
}

```

```

void sensorpH3(){
  valorph3=(1023 - analogRead(phpin3)) / 73.07;
  valorph3=(valorph3+offset);
  Serial.print("pH Final:
  ");
  Serial.println(valorph3,
  2); Serial.println(" ");
  delay(1000);
}

```

```

void loop (){

  sensorflujo1(
  );
  sensorflujo2(
  );
  sensorpH1();           // Llamo a la funcion sensorpH1
  sensorpH2();           // Llamo a la funcion sensorpH2
  sensorpH3();           // Llamo a la funcion sensorpH3

  if (input_string_complete == true) { // Si una cadena de la PC ha sido recibida
  en su totalidad
    Serial3.print(inputstring);      // Enviar esa cadena al producto Atlas
    Scientific Serial3.print("\r"); // Agrega un <CR> al final de la cadena
    inputstring = "";                // Borrar la cadena
    input_string_complete = false;   // Restablecer el indicador utilizado para saber si
  hemos recibido una cadena completa de la PC
  }

  if (sensor_string_complete == true) { // Si una cadena del producto Atlas Scientific
  se ha recibido en su totalidad
    if (isdigit(sensorstring[0]) == false) { // Si el primer caracter en la cadena es
    un digito Serial.println(sensorstring);      // Envia esa cadena al monitor
    serial de la PC
    }
    else
    {
      print_EC_data3();           // Si el primer caracter de la cadena NO es un digito
    entonces llama a esta funcion
    }
    sensorstring = "";           // Borrar la cadena
  }
}

```

```
    sensor_string_complete = false;    // Restablecer la bandera utilizada para
indicar si hemos recibido una cadena completa del producto Atlas Scientific
}
```

```
if (sensor_string_complete2 ==
true) { if (isdigit(sensorstring2[0])
==          false) {
    Serial.println(sensorstring2);
}
else
{
    print_EC_data2();
}
sensorstring2 = "";
sensor_string_complete2 = false;
}
```

```
if (sensor_string_complete3 ==
true) { if (isdigit(sensorstring3[0])
==          false) {
    Serial.println(sensorstring3);
}
else
{
    print_EC_data();
}
sensorstring3 = "";
sensor_string_complete3 = false;
}
}
```

Anexo E
Tabla de datos de los componentes

- E-1. Sensor de Conductividad
- E-2. Transductor de Presión P220 (7MF1567)
- E-3. Membrana de Nano Filtración
- E-4. NI DAQ 6009
- E-5. Arduino Mega

Anexo E

E-1. Sensor de Conductividad



Figura E-1 Hoja de datos del sensor de conductividad. [39]

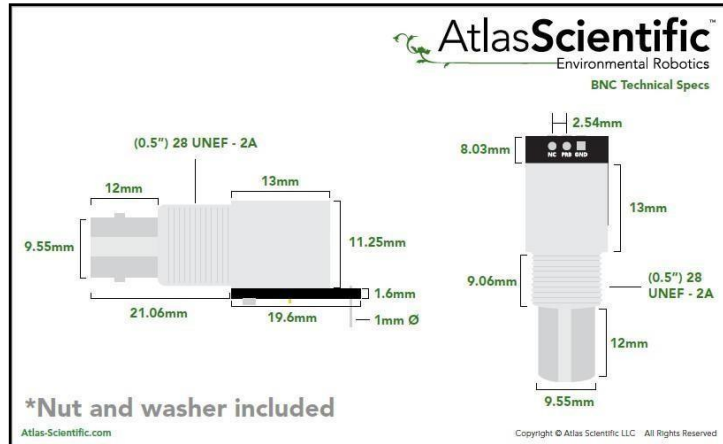


Figura E-2. Especificaciones del conector BNC. [40]

AtlasScientifi[™]
Environmental Robotics
Revised 10/23/18

EZO-EC[™]

Embedded Conductivity Circuit

Reads	Conductivity = $\mu\text{S}/\text{cm}$ Total dissolved solids = ppm Salinity = PSU Specific gravity (sea water only) = 1.00 – 1.300
Range	0.07 – 500,000+ $\mu\text{S}/\text{cm}$
Accuracy	+/- 2%
Response time	1 reading per sec
Supported probes	K 0.1 – K 10 any brand
Calibration	2 or 3 point
Temp compensation	Yes
Data protocol	UART & I ² C
Default I ² C address	100 (0x64)
Operating voltage	3.3V – 5V
Data format	ASCII

Written by Jordan Probst
Designed by Nicole Probst

EC EZO[™] VCC PRB PRB

RoHS

This is an evolving document, check back for updates.

Figura E-3. Módulo EZO para la lectura de Conductividad. [41]

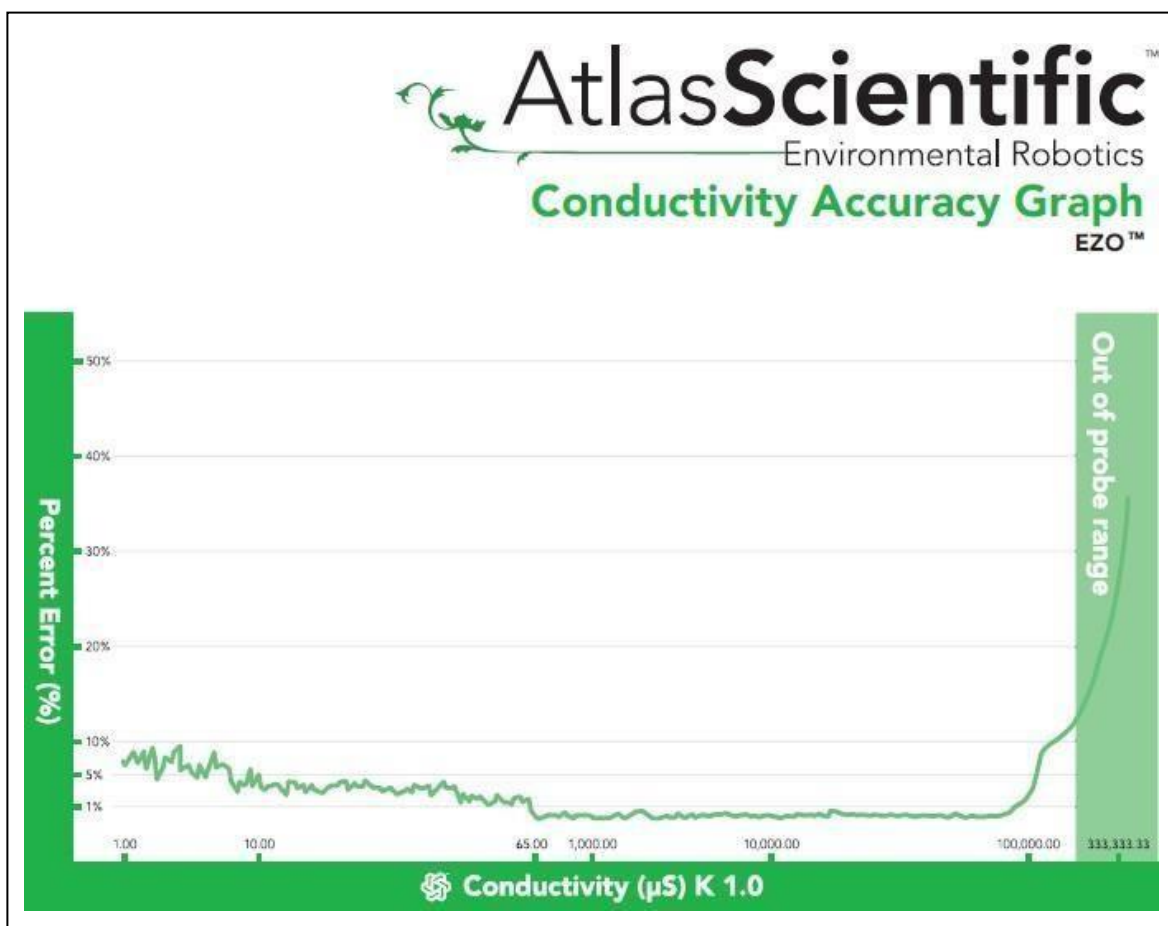


Figura E-4. Gráfico de precisión de conductividad. [50]

Anexo E

E-2. Transductor de Presión P220 (7MF1567)

SIEMENS

Pressure transmitter

SITRANS P220 (7MF1567)

Operating Instructions



7MF1567 with plug complying with EN 175301-803-A

- Type 7MF1567-*****-1**1
- Type 7MF1567-*****-5**1



7MF1567 with plug M12x1

- Type 7MF1567-*****-2**1



7MF1567 with cable (2 m)

- Type 7MF1567-*****-3**1

7MF1567 with fast-fit cable gland

- Type 7MF1567-*****-4**1

Range of application SITRANS P220, type 7MF1567

The pressure transmitter is used to measure relative pressure and absolute pressure of gases and liquids in the following industrial sectors:

- Mechanical engineering
- Power engineering
- Water supply
- Shipbuilding
- Chemicals
- Pharmaceuticals

Device design without explosion protection

The pressure transmitter consists of a piezoresistive measuring cell with a diaphragm, installed in a stainless steel housing. It can be electrically connected using a plug complying with EN 175301-803-A (IP65), a round plug M12 (IP67), a cable (IP67) or a fast-fit cable gland (IP67). The output signal is 4 to 20 mA or 0 to 10 V.

Device design with explosion protection

The pressure transmitter consists of a piezoresistive measuring cell with a diaphragm, installed in a stainless steel housing. It can be electrically connected with a plug complying with EN 175301-803-A (IP65) or a round plug M12 (IP67). The output signal is 4 to 20 mA.

Installation



CAUTION

Direct sunlight
Damage to the device

The effects of UV radiation can cause materials to become brittle.

- Protect the device from direct sunlight

- The location of the device has no influence on the precision of the measurement.
- Before installation, compare the process data with the data of the name plate.
- The medium being measured must be suitable for the parts of the pressure transmitter in contact with the medium.
- The overload limit must not be exceeded.
- Connect the devices to a fixed cable installation.

Grounding for devices

The pressure transmitter must be connected to the equipotential bonding system of the plant via the metal housing (process connection) and the ground conductor of the plug.



Safety instructions

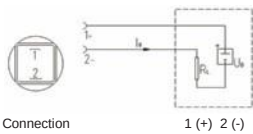
Symbol	Explanation of the warning symbol on the device
	Read the information in the operating instructions

In terms of a safety-instrumented system, this device left the factory in perfect condition. To maintain this status and to ensure safe operation of the device, observe the following notes:

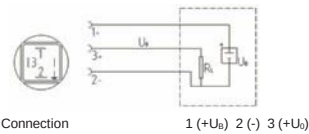
-  The device may only be used for the purposes specified in these instructions.
- When connecting up, installing and operating the device, the directives and laws of your country apply.
- Devices with the type of protection "intrinsic safety", lose their approval, if they are operated on electrical circuits that do not conform to the test certification valid for your country.
- Connect the device to a low voltage power supply with safe separation (SELV).
- The device should only be supplied with limited energy according to UL 61010-1 Second Edition, Section 9.3 or LPS in conformance with UL 60950-1 or class 2 in compliance with UL 1310 or UL 1585.
- The device can be operated both at high pressure and with aggressive and hazardous media. This means that if the device is not used properly, serious bodily injury and/or considerable damage to property cannot be excluded. This should be kept in mind particularly when the device was in use and is replaced.
- The installation, mounting and commissioning of the  devices should be performed only by trained personnel and should comply with the standards EN 60079-14 and EN 61241-14.
- The overload limit should be monitored and kept to at all times.
- The device is maintenance-free

Electrical connections

Connecting with current output and plug complying with EN 175301



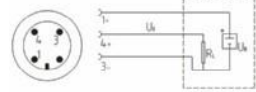
Connecting with voltage output and plug complying with EN 175301



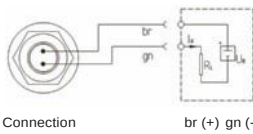
Connecting with current output and plug M12x1
Connection 1 (+) 3 (-)



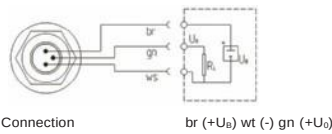
Connecting with voltage output and plug M12x1
Connection 1 (+U_o) 3 (-) 4 (+U_o)



Connecting with current output and cable



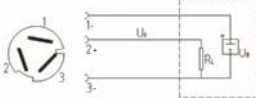
Connecting with voltage output and cable



Connecting with current output and fast-fit cable gland
Connection 1 (+) 2 (-)



Connecting with voltage output and fast-fit cable gland
Connection 1 (+U_o) 3 (-) 2 (+U_o)



Device design with explosion protection: 4 to 20 mA
The grounding connection is conductively connected to the transmitter housing

Connecting with current output and plug complying with EN 175301 (Ex)
Connection 1 (+) 2 (-)



Connecting with current output and plug M12x1 (Ex)
Connection 1 (+) 3 (-) 4 ()



= auxiliary power R_L = burden U_o = output voltage ↓ = grounding

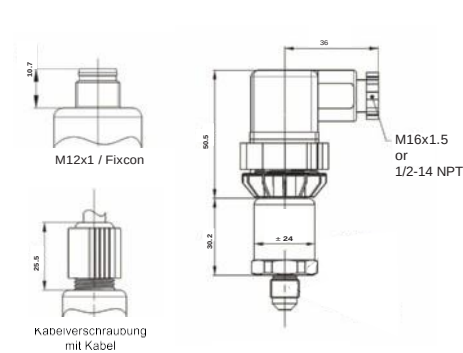
Correction of zero point and span
The transmitter is preset to the specific measuring range at the manufacturer's plant.
An additional setting is not possible.

Maintenance
The transmitter is maintenance-free.
Check the start of scale value of the device from time to time.

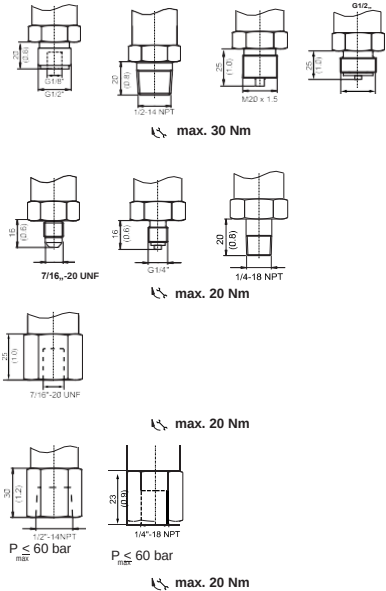
Certificates and approvals	
Classification according to the pressure equipment directive (DGRL 97/23/EC)	For gases of fluid group 1 and liquids of fluid group 1; fulfills the requirements according to article 3, paragraph 3 (good engineering practice)

Protection against explosion 7MF1567-xxxx1-xxxx	
Intrinsic safety "i" (with current output only)	 II 1/2 G Ex ia IIC T4 Ga/Gb  II 1/2 D Ex ia IIC T125AC Da/Db
EC type examination certificate	SEV 10 ATEX 0146
Connection to certified intrinsically safe resistive circuits with maximum values	$U_i \leq 30 \text{ VDC}$; $I_i \leq 100 \text{ mA}$; $P_i \leq 0.75 \text{ W}$
Effective internal inductance and capacitance for versions with plugs complying with EN 175301-803-A and M12	$L = 0 \text{ nH}$; $C = 0 \text{ nF}$

Dimension drawings of the electrical connections



Dimension drawings of the process connections



SITRANS P220, type 7MF1567
Additional notes on installation

The following conditions relating to types
7MF1567-*01-1**1** **7MF1567-***01-2**1** **7MF1567-***01-5**1**
must be met:

Operation is permitted only when connected to certified intrinsically-safe resistive circuits with the following maximum values:

$U_i \leq 30 \text{ V}$
 $I_i \leq 100 \text{ mA}$
 $P_i \leq 750 \text{ mW}$
Internal inductance $L_i = 0 \text{ nH}$
Internal capacitance $C_i = 0 \text{ nF}$

A maximum ambient air temperature T_a of -25 to $+85 \text{ }^\circ\text{C}$ is permitted for the pressure transmitter.

Use as a resource belonging to category 1/2:

The pressure transmitters can be mounted in the wall separating the area with category 1 requirements (zone 0) and the area with category 2 requirements (zone 1). In this case, the process connection must be adequately sealed in compliance with EN 60079-26, clause 4.6, for example by providing degree of protection IP67 in compliance with EN 60529. The supply must be via intrinsically safe circuits with type of protection ia. The measuring cell may only be used for flammable materials to which the diaphragms of the measuring cells are adequately resistant both chemically and in terms of corrosion.



The date of manufacture can be seen on the label of the pressure transmitter, for example: LKK-YMDD-XXX-XX-XXX

Manufacturer's abbreviation _____
Date as "year-month-day," _____
3 digits of the order number _____
Order position _____
Single part number _____
Separator _____

⁽¹⁾ Decoding for year, month and day information

Code ⁽²⁾ A B C D E F H (G) ⁽³⁾ J K L M N P R S T U V W X

Code ⁽²⁾ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 O N D

Code 01 - 31
Day of month 1st to 31st day

Technical support

You can contact Technical Support for all IA and DT products:

- Via the Internet with the support request: www.siemens.com/automation/support-request
- E-mail: support.automation@siemens.com
- Phone: +49 (0) 911 895 7 222
- Fax: +49 (0) 911 895 7 223

Further information about our technical support is available on the Internet at www.siemens.com/automation/csi/service

⁽²⁾ Agreement with DIN EN 60062

⁽³⁾ The letter G is not permitted for new applications since it deviates from DIN EN 60062. It serves only for coding back.

Anexo E

E-3. Membrana de Nano Filtración



FILMTEC™ Membranes

FILMTEC NF270-4040 Nanofiltration Elements for Commercial Systems

Features

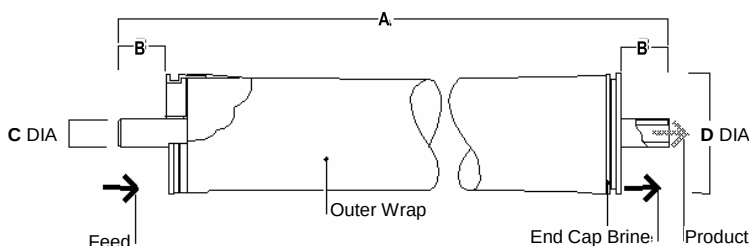
The FILMTEC™ NF270 membrane elements are ideal for removing a high percentage of TOC and THM precursors with medium to high salt passage and medium hardness passage. The FILMTEC NF270 membrane is an ideal choice for surface water and ground water where good organic removal is desired with partial softening.

Product Specifications

Product	Part Number	Active Area ft ² (m ²)	Applied Pressure psig (bar)	Permeate Flow Rate gpd (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection (%)
NF270-2540	149986	28 (2.6)	70 (4.8)	850 (3.2)	>97.0
NF270-4040	149987	82 (7.6)	70 (4.8)	2,500 (9.5)	>97.0

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 2,000 ppm MgSO₄, 77°F (25°C) and 15% recovery at the pressure specified above.
2. Permeate flows for individual NF270-2540 elements may vary by -20% / +30%. NF270-4040 individual elements may vary -15% / +50%.
3. Developmental products available for sale.

Figure 1



FilmTec sells coupler part number 89055 for use in multiple element housings. Each coupler includes two 2-210 EPR o-rings, FilmTec part number 89255.

Product	Dimensions – Inches (mm)			
	A	B	C	D
NF270-2540	40.0 (1,016)	1.19 (30)	0.75 (19)	2.4 (61)
NF270-4040	40.0 (1,016)	1.05 (27)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. Refer to FilmTec Design Guidelines for multiple-element systems.
2. NF270-2540 has a tape outer wrap. NF270-4040 has a fiberglass outer wrap.

1 inch = 25.4 mm

Operating Limits

• Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
• Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)
• Maximum Operating Pressure	600 psi (41 bar)
• Maximum Feed Flow Rate -4040 elements	16 gpm (3.6 m ³ /hr)
• -2540 elements	6 gpm (1.4 m ³ /hr)
• Maximum Pressure Drop - tape wrapped	13 psig (0.9 bar)
• -fiberglassed	15 psig (1.0 bar)
• pH Range, Continuous Operation ^a	2 - 11
• pH Range, Short-Term Cleaning(30 min.) ^b	1 - 12
• Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
• Free Chlorine Tolerance ^c	< 0.1 ppm

^a Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).

^b Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010 for NF90.

^c Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.

Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled "Start-Up Sequence" (Form No. 609-02077) for more information.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- d Fperessure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.
- Permeate obtained from first hour of operation should be discarded.

General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting.
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void.
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements.
- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 30 psi (2.1 bar).
- Avoid static permeate-side backpressure at all times.



Notice: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



Anexo E

E-4. NI DAQ 6009

SPECIFICATIONS

USB-6009

8 AI (14-Bit, 48 kS/s), 2 AO (150 Hz), 13 DIO USB Multifunction I/O Device

Definitions

Warranted specifications describe the performance of a model under stated operating conditions and are covered by the model warranty.

The following characteristic specifications describe values that are relevant to the use of the model under stated operating conditions but are not covered by the model warranty.

- *Typical* specifications describe the performance met by a majority of models.
- *Nominal* specifications describe an attribute that is based on design, conformance testing, or supplemental testing.

Specifications are *Typical* unless otherwise noted.

Conditions

Specifications are valid at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Analog inputs

Differential	4
Single-ended	8, software-selectable
Input resolution	
Differential	14 bits
Single-ended	13 bits
Maximum samplerate (aggregate)	48 kS/s, system dependent
Converter type	Successive approximation
AI FIFO	512 bytes
Timing resolution	41.67 ns (24 MHz timebase)

Timing accuracy	100 ppm of actual samplerate
Input range	
Differential	$\pm 20\text{ V}^1$, $\pm 10\text{ V}$, $\pm 5\text{ V}$, $\pm 4\text{ V}$, $\pm 2.5\text{ V}$, $\pm 2\text{ V}$, $\pm 1.25\text{ V}$, $\pm 1\text{ V}$
Single-ended	$\pm 10\text{ V}$
Working voltage	$\pm 10\text{ V}$
Input impedance	144 k Ω
Overvoltage protection	$\pm 35\text{ V}$
Trigger source	Software or external digital trigger
System noise ²	
Differential	
$\pm 20\text{ V}$ range	5 mV _{rms}
$\pm 1\text{ V}$ range	0.5 mV _{rms}
Single-ended, $\pm 10\text{ V}$ range	5 mV _{rms}

Table 1. Absolute Accuracy at Full Scale, Differential

Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
± 20	14.7	138
± 10	7.73	84.8
± 5	4.28	58.4
± 4	3.59	53.1
± 2.5	2.56	45.1
± 2	2.21	42.5
± 1.25	1.70	38.9
± 1	1.53	37.5



Note Input voltages may not exceed the working voltage range.

¹ $\pm 20\text{ V}$ means that $|AI^+ - (AI^-)| \leq 20\text{ V}$. However, AI^+ and AI^- must both be within $\pm 10\text{ V}$ of GND. Refer to the *Taking Differential Measurements* section of the *NI USB-6008/6009 User Guide* for more information.

² System noise measured at maximum sample rate.

Table 2. Absolute Accuracy at Full Scale, Single-Ended

Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±10	14.7	138

Analog Output

Analog outputs	2
Output resolution	12 bits
Maximum update rate	150 Hz, software-timed
Output range	0 V to +5 V
Output impedance	50 Ω
Output current drive	5 mA
Power-on state	0 V
Slew rate	1 V/μs
Short circuit current	50 mA
Absolute accuracy (no load)	
Typical	7 mV
Maximum at full scale	36.4 mV

Digital I/O

Digital I/O lines	
P0.<0..7>	8 lines
P1.<0..3>	4 lines
Direction control	Each channel individually programmable as input or output
Output driver type ³	Each channel individually programmable as open collector or active drive
Compatibility	TTL, LVTTTL, CMOS
Absolute maximum voltage range	-0.5 V to 5.8 V with respect to GND

³This document uses NI-DAQmx naming conventions. Open-drain is called open collector and push-pull is called active drive.

Pull-up resistor

Power-on state

4.7 kΩ to 5 V

Input

Table 3. Digital Logic Levels

Level	Minimum	Maximum
Input low voltage	-0.3 V	0.8 V
Input high voltage	2.0 V	5.8 V
Input leakage current	—	50 μA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8 V
Output high voltage, active drive (I = -8.5 mA)	2.0 V	3.5 V
Output high voltage, open collector (I = -0.6 mA, nominal)	2.0 V	5.0 V
Output high voltage, open collector (I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0 V	—

External Voltage

+5 V output (200 mA maximum)	
Minimum	+4.85 V
Typical	+5 V
+2.5 V output (1 mA maximum)	+2.5 V
+2.5 V accuracy	0.25% maximum
Reference temperature drift	50 ppm/°C maximum

Event Counter

Number of counters	1
Resolution	32 bits
Counter measurements	Edge counting (falling-edge)
Counter direction	Count up
Pull-up resistor	4.7 kΩ to 5 V
Maximum input frequency	5 MHz
Minimum high pulse width	100 ns
Minimum low pulse width	100 ns

Input high voltage	2.0 V
Input low voltage	0.8 V

Bus Interface

USB specification	USB 2.0 full-speed (12 Mb/s)
-------------------	------------------------------

Power Requirements

USB, 4.10 VDC to 5.25 VDC

Typical	80 mA
Maximum	500 mA

USB suspend

Typical	300 μ A
Maximum	500 μ A

Physical Characteristics

Dimensions

Without connectors	63.5 mm $\times$ 85.1 mm $\times$ 23.2 mm (2.50 in. $\times$ 3.35 in. $\times$ 0.91 in.)
With connectors	81.8 mm $\times$ 85.1 mm $\times$ 23.2 mm (3.22 in. $\times$ 3.35 in. $\times$ 0.91 in.)

Weight

Without connectors	54 g (1.9 oz)
With connectors	84 g (3 oz)

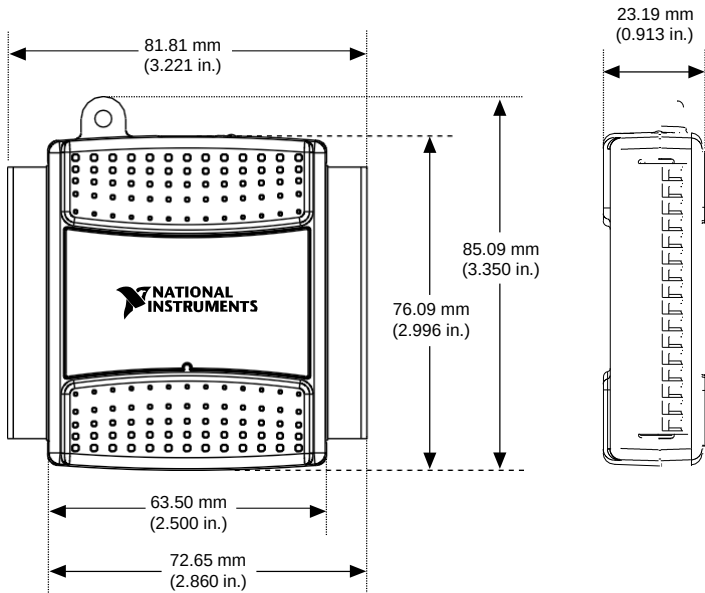
USB connector	USB series B receptacle(1)
---------------	----------------------------

I/O connectors

Type	16-position screw terminal plugs(2)
Screw-terminal wiring	16 AWG to 28 AWG
Torque for screw terminals	0.22 N $\cdot$ m to 0.25 N $\cdot$ m (2.0 lb $\cdot$ in. to 2.2 lb $\cdot$ in.)

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Figure 1. USB-6009 Dimensions



Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

Channel-to-GND ± 30 V max, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics



Caution Do not use this module for connection to signals or measurements within Measurement Categories II, III, or IV



Note Measurement Categories CAT I and CAT O (Other) are equivalent. These test and measurement circuits are not intended for direct connection to the MAINS building installations of Measurement Categories CAT II, CAT III, or CAT IV.

Environmental

Temperature (IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2)

Operating	0 °C to 55 °C
Storage	-40 °C to 85 °C

Humidity (IEC 60068-2-56)

Operating	5% RH to 95% RH, noncondensing
Storage	5% RH to 90% RH, noncondensing

Pollution Degree (IEC 60664)

2

Maximum altitude

2,000 m

Indoor use only.

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following electrical equipment safety standards for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA C22.2 No. 61010-1



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Basic immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- EN 55022 (CISPR 22): Class A emissions
- EN 55024 (CISPR 24): Immunity
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 22: Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note In the United States (per FCC 47 CFR), Class A equipment is intended for use in commercial, light-industrial, and heavy-industrial locations. In Europe, Canada, Australia and New Zealand (per CISPR 11) Class A equipment is intended for use only in heavy-industrial locations.

Anexo E

E-5. Arduino Mega

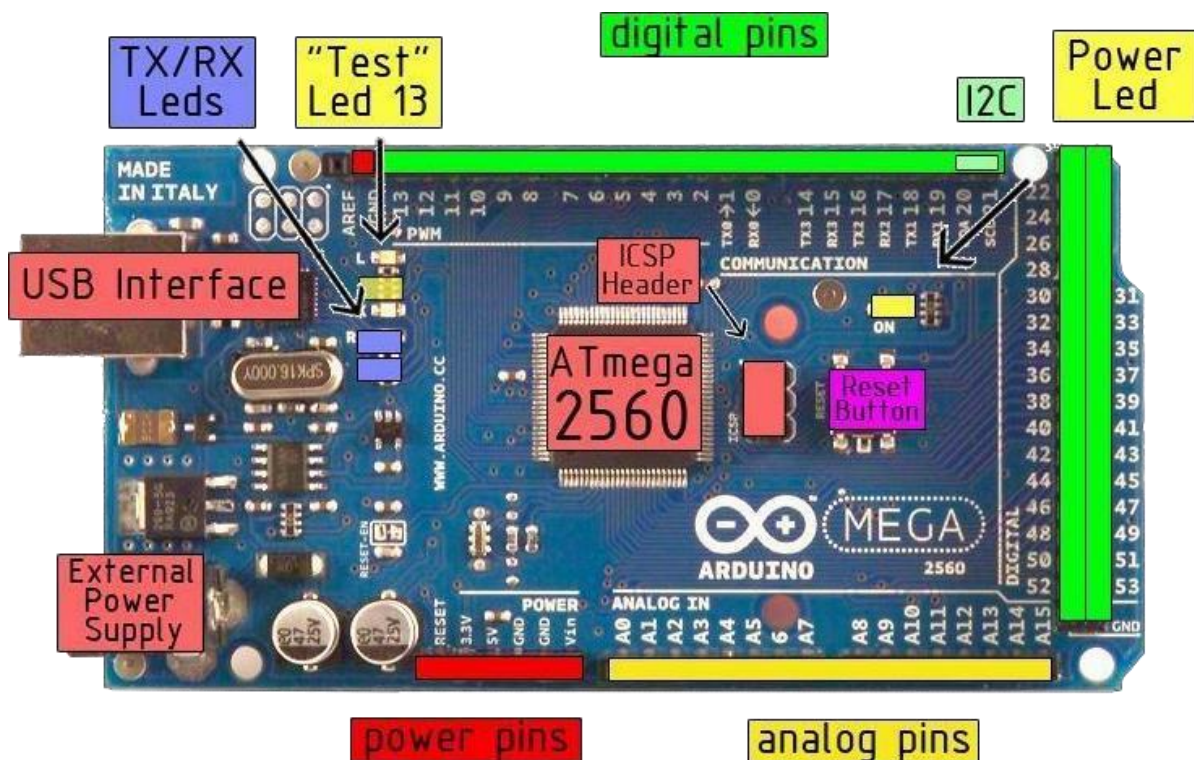
Technical Specification



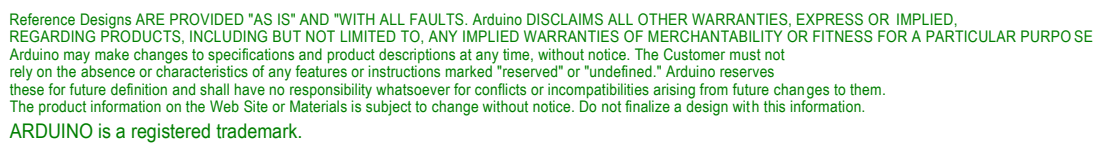
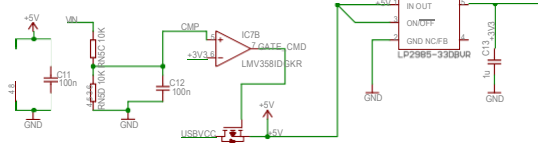
Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



□ □ □ □



Anexo F
Certificaciones de Tanques

F-1. Certificación del Tanque de Entrada

F-2. Certificación del Tanque de Salida

Anexo F

F-1. Certificación del Tanque de Entrada



Km. 12,5 vía a Daule PBX - 2115010
Celular: 0991916905
infoventas@indeltro.com
Guayaquil - Ecuador

Imagínelo, lo hacemos en plástico

A/To: GUZMAN ESCALANTE JOHN GREGORY

De/From: Ing. Wendy Cordova Contreras

Fecha: 28/12/2018



Asunto/Subject: **CERTIFICADO DE GARANTIA TECNICA Y CALIDAD**

INDUSTRIAL DEL TROPICO INDELTRO S. A., CERTIFICA que la materia prima utilizada en la fabricación de sus productos es "Polietileno Lineal", y que nuestra línea de productos cumplen con todos los requisitos, especificaciones y normas internacionales aplicables recogidas a continuación;

- Materia Prima Virgen que cumplen con los requerimientos de la F. D. A.
- Tiene protección UV (contra rayos ultra violeta).
- Garantizados contra defectos de fabricación
- Nuestros procesos son recomendados por la ARM (Association of Rotacional Molders Internacional)

Nuestro Cliente "GUZMAN ESCALANTE JOHN GREGORY" según Factura #18588 28/12/2018, adquirieron 1 TQ.1300 APB AZUL "L" C/SCON TAPA Y VALVULA; el cual fue fabricado con los procesos antes indicados y reúne además los requisitos y especificaciones recomendados por las normas ASTM para productos rotomoldeados y requeridos en la norma 21 CFR 177.1520,

Los productos en mención tienen una garantía de 1 año contra defectos de fabricación o posible degradación a la luz solar. No se garantiza el mal uso por actos vandálicos o maliciosos de los usuarios, la incorrecta instalación de los mismos, roturas o golpes intencionados, exposición al fuego, uso de químicos no compatibles con el polietileno, o el mal uso sobre superficie donde sean trasladados.

p. INDELTRO S. A.

Ing. Wendy Cordova
VENTAS

Ing. Wendy Cordova Contreras.
Coordinadora de Ventas

Anexo F

F-2. Certificación del Tanque de Salida



Km. 12,5 vía a Daule

PBX - 2115010

Celular: 0991057386

infoventas@indeltro.com

Guayaquil - Ecuador

Imagínelo, lo hacemos en plástico

A/To: GUZMAN ESCALANTE JOHN GREGORY.

De/From: ING. MARIA ELENA TROYA

Fecha: 07/08/2018



Asunto/Subject: **CERTIFICADO DE GARANTIA TECNICA Y CALIDAD**

INDUSTRIAL DEL TROPICO INDELTRO S. A., CERTIFICA que la materia prima utilizada en la fabricación de sus productos es "Polietileno Lineal", y que nuestra línea de productos cumplen con todos los requisitos, especificaciones y normas internacionales aplicables recogidas a continuación,

- Materia Prima Virgen que cumplen con los requerimientos de la F. D. A.
- Tiene protección UV (contra rayos ultra violeta).
- Garantizados contra defectos de fabricación
- Nuestros procesos son recomendados por la ARM (Association of Rotacional Molders Internacional)

Entre los productos que fabricamos tenemos : bandejas, gavetas, señaleros, separadores de autoclaves, pallet, tanques y piezas de juegos infantiles los cuales fueron fabricados con los procesos antes indicados y reúne además los requisitos y especificaciones recomendados por las normas ASTM para productos rotomoldeados y requeridos en la norma 21 CFR 177.1520,

Los productos en mención tienen una garantía de 1 año contra defectos de fabricación o posible degradación a la luz solar. No se garantiza el mal uso por actos vandálicos o maliciosos de los usuarios, la incorrecta instalación de los mismos, roturas o golpes intencionados, exposición al fuego, uso de químicos no compatibles con el polietileno, o el mal uso sobre superficie donde sean trasladados.

p. INDELTRO S. A.

INDELTRO S.A.
[Firma]
Ing. Maria Elena Troya
COORDINADORA DE VENTAS

Ing. Maria Elena Troya
Coordinadora de Ventas

Anexo G
Estudios Realizados



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE
con acreditación N° OAE LE 1C 05-003



Informe: 19-02/0014-M001

GCR -4.1-01-00-03

Datos del cliente

Nombre: MATAILO VELEZ JEAN CARLOS	Teléfono: 0939650720
Dirección: COOP. EL CRISOL VIA LA COSTA MZ 412 S 17	

Identificación de la muestra / etiqueta

Nombre: AGUA PURIFICADA	Código muestra: 19-02/0014-M001
Marca comercial: S/M	Lote: N/A
Referencia: Agua Purificada y Envasada	Fecha elaboración: 04/02/2019
Envase: RECIPIENTE ESTÉRIL	Fecha expiración: N/A
Conservación de la muestra: Ambiente Fresco y Seco - Zona Climática IV	Fecha recepción: 05/02/2019
Fecha análisis: 05/02/2019	Vida útil:
Contenido neto declarado: 100 ml	
Contenido neto encontrado: N/A	
Presentaciones: N/A	
Condiciones climáticas del ensayo: Temperatura 22.5 °C ± 2.5 °C Y Humedad Relativa 55% ± 15%	

Análisis Organolépticos

Ensayos realizados	Unidad	Resultado	Requisitos	Métodos/Ref.
Olor *	Característico/Objetable	Característico	Característico	Sensorial *
Sabor *	Característico/Objetable	Característico	Característico	Sensorial *

Análisis Físico - Químicos

Ensayos realizados	Unidad	Resultado	Requisitos	Métodos/Ref.
Cloro Libre Residual *	mg/l	Ausencia**	Ausencia	NTE INEN 0977 *
Color (Hz) *	Hz ~ Pt-Co	<0.2	Max: 5	NTE INEN-ISO 7887 *
Dureza Total como CaCO3	mg/l	17.6 ± 0.32	MAX: 300	Standard Methods 23rd Edition 2340-C (API-5.8-04-01-00B23)
pH a 20°C	---	5.94 ± 0.06	Agua purificada y envasada : Min: 4.5 Max: 9.5 ; Aguas purificadas mineralizadas Min: 3.8 Max: 9.0	Standard Methods 23rd 4500-H+B (API-5.8-04-01-00B12)
Sólidos Totales Disueltos *	mg/l	2.00	Agua purificada y envasada : Max: 500;	Standard Methods 23rd 2540-C *
Turbiedad *	NTU	0.21	Max: 1	NTE INEN-ISO 7027 (Turbidímetro) *

Los resultados emitidos corresponden exclusivamente a la muestra proporcionada por el cliente.

VIGENTE DESDE: 01.07.07

REV. 03

Página 1 de 2



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE
con acreditación N° OAE LE 1C 05-003



Informe: 19-02/0014-M001

GCR -4.1-01-00-03

Las opiniones / interpretaciones / etc. que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

*** Observaciones:**

La muestra analizada SI cumple con los requisitos bromatológicos solicitados por el cliente para AGUA PURIFICADA ENVASADA, según Norma NTE INEN 2200:2017.

Los resultados bromatológicos se encuentran registrados en el cuaderno interno de trabajo de aguas N°41, página 4711.

**Ausencia: Cloro libre residual = 0.0 mg/L

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

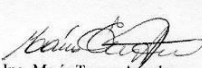
^ Representa el Exponente

° Subcontratado

En microbiología los valores expresados como < 1.8 , < 2 , < 3 , y < 10 se estiman ausencia

Guayaquil, 19 de Febrero del 2019.


Dra. Gloria Bajana de Pacheco
Directora General y Gerente Técnico


Ing. María Teresa Amador
Gerente de Calidad



VIGENTE DESDE: 01.07.07

REV. 03

Página 2 de 2