

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,**  
**INFORMÁTICA Y MECÁNICA**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL  
LAVADO DE ZANAHORIAS UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA**

Tesis para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Electrónico

Presentado por:

**Br. Rufo Alfredo Maza Quiñones**

Asesor:

**Ing. Roger Jesús Coaquira Castillo**

**Cusco - Perú**  
**2019**

## PRESENTACIÓN

Distinguidos señores miembros del jurado de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, en cumplimiento con el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad, con el fin de optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, pongo a vuestra consideración la presente tesis intitulada *“Diseño e Implementación de un Prototipo para el Lavado de Zanahorias Utilizando Lógica Difusa”*, con la seguridad de que la tesis, servirá como referencia y aporte a futuras investigaciones sobre el tema, si hubiera alguna observación estaré atento a sus sugerencias.

Atentamente,

*Bach. Alfredo Maza Quiñones*

## DEDICATORIA

*A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por verme, guiarme, fortalecerme con su espiritualidad, y por haber puesto en mi camino personas que han sido mi soporte y compañía en este objetivo de mi vida.*

*A mis padres Aurelio Maza (+) y Fortunata Quiñones, que gracias a sus valores, esfuerzo, dedicación, sacrificio, compañía, comprensión y su amor ilimitado hicieron que siga adelante sin rendirme, ya que son mi soporte para lograr mis objetivos trazados.*

*A mis hermanos Nieves, Hilaria, Willy, Corina, Nestor y Deyvis, que han sido la motivación para concretizar mis metas, apoyo incondicional de mi vida, y a mis ángeles guardianes, que aunque hayan partido, nunca dejan de protegerme e iluminarme desde el cielo.*

*¡Seres que siempre llevaré en mi corazón!*

*Alfredo Maza Quiñones*

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecer con absoluto sentimiento a Dios, mis padres y hermanos por todo su apoyo incondicional.*

*A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, a los docentes por la gran labor que desempeñaron en mi formación profesional, por su apoyo, motivación y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional e integral.*

*Agradecer a mi docente asesor, Ing. Roger Jesús Coaquira Castillo, por todo su apoyo por llevar a la conclusión del presente trabajo de tesis. Finalmente agradezco mis compañeros de clase en especial al código 2006 - I, por todo los aprendizajes, anécdotas, experiencias compartidas dentro y fuera de la Universidad.*

*Alfredo Maza Quiñones*

## INTRODUCCIÓN

En sistemas de lavado de zanahorias por lo general se habla del lavado con el método manual. Las zanahorias se lavan con agua utilizando las manos o pies durante 20 a 30 minutos aproximadamente para 10Kg. de zanahoria, la diferencia radica en la aplicación el método.

El agua hace que las zanahorias se encuentren libres de materiales orgánicos y pesticidas, siendo este aspecto muy importante para el consumo y comercialización. Para poder llegar a la limpieza adecuada debemos conocer el estado en que se encuentra, a través del análisis del mismo.

La mayoría de pobladores que realizan el lavado recomiendan que necesitan un proceso de lavado adecuado para conocer los índices de limpieza y contaminación. El proceso, consiste en tener un prototipo de lavado que este dentro de los parámetros de la OMS (Organización Mundial de la Salud) para garantizar el consumo e industrialización de las zanahorias.

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis trata sobre el desarrollo de un diseño e implementación de un prototipo para el lavado de zanahorias con plataforma de control difuso, buscando dar una solución efectiva a la problemática que se presenta dentro del proceso de lavado manual.

Para lograr el objetivo, se ha realizado procedimientos técnicos y prácticos, dándole solución al problema, la falta de un prototipo de lavado y su respectivo control.

El procedimiento empieza después de la construcción e implementación al prototipo de lavado, identificando las variables de entrada y salida de la planta, una vez identificado, se procede con el diseño del controlador difuso obteniendo algunos resultados inadecuados en la primera implementación del sistema de control que posteriormente es ajustado hasta obtener resultados satisfactorios para los usuarios. También se implementó una interfaz gráfica en Qt para el control y visualización del proceso en tiempo real.

Los resultados que se obtuvieron permiten que los productores de zanahorias puedan vender sus productos con total confianza debido a que la automatización se basó según el parámetro de la OMS.

Con este proyecto de automatización lograremos reducir los tiempos de lavado, reducir cantidades de agua y reducir costos, ya que por el método tradicional añade un gasto incontrolado de agua.

## **ABSTRACT**

This thesis work deals with the development of a design and implementation of a prototype for washing carrots with diffuse control platform, seeking to provide an effective solution to the problem that arises within the process of manual washing.

To achieve the objective, technical and practical procedures have been carried out, giving solution to the problem, the lack of a washing prototype and its respective control.

The procedure begins after the construction and implementation of the washing prototype, identifying the variables of entry and exit of the plant, once identified, proceed with the design of the diffuse controller obtaining some inadequate results in the first implementation of the control system that later it is adjusted until obtaining satisfactory results for the users. A graphical interface was also implemented in Qt for the control and visualization of the process in real time.

The results obtained allow carrot growers to sell their products with complete confidence because automation was based on the MSO parameter.

With this automation project we will be able to reduce washing times, reduce water quantities and reduce costs, since by the traditional method it adds uncontrolled water expenditure.

# ÍNDICE

<b>Presentación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>iii</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>v</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>vi</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>vii</b>

## CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

1.1.  Ámbito geográfico.....	1
1.2.  Descripción del problema.....	1
1.3.  Formulación del problema.....	2
1.4.  Objetivos.....	2
1.4.1.  Objetivo general.....	2
1.4.2.  Objetivos específicos.....	2
1.5.  Justificación del estudio.....	3
1.6.  Alcances del estudio.....	3
1.7.  Limitaciones.....	4
1.8.  Variables e indicadores.....	4
1.8.1.  Variables independientes.....	4
1.8.2.  Variables intervinientes.....	4
1.8.3.  Variable dependiente.....	4
1.8.4.  Indicadores.....	5
1.9.  Metodología.....	5
1.9.1.  Pasos para cumplir el objetivo.....	5

## CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1.  Antecedentes.....	7
2.2.  Bases teoricas.....	12
2.2.1.  Agua.....	12
2.2.2.  Análisis del agua.....	12
2.2.3.  La zanahoria.....	12
2.2.4.  Lavado de zanahorias.....	13
2.2.5.  Procesos de lavado.....	14
2.2.6.  Lavado húmedo.....	14

2.2.7.	Turbidez o turbiedad.....	16
2.2.8.	Lógica difusa .....	18
2.2.9.	Conjuntos difusos .....	20
2.2.10.	Funciones de pertenencia .....	22
2.2.11.	Controlador de lógica difusa.....	25
2.2.12.	Dispositivos en base a microcontroladores .....	29
2.2.13.	Programacion orientada a objetos.....	30
2.2.14.	Sensores.....	32
2.2.15.	Generador de campo magnético (imán).....	37
2.2.16.	Actuadores.....	38
2.2.17.	Actuador acoplado a la válvula con motor paso a paso.....	39
2.2.18.	Optoacoplador en la etapa del control de potencia.....	40
2.2.19.	Motor eléctrico .....	41
2.2.20.	Diferencias del motor monofásico y trifásico de inducción.....	42
2.2.21.	Motor reductor (monofásico de inducción) .....	43

### **CAPITULO III**

#### **REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

3.1.	Proceso de automatización.....	45
3.1.1.	Selección de componentes para la planta de lavado.....	45
3.1.2.	Selección de sensores de flujo de agua.....	46
3.1.3.	Selección de sensores de efecto hall para el tambor .....	48
3.1.4.	Selección del sensor de turbidez .....	50
3.1.5.	Selección del motor paso a paso para acoplar a la válvula de compuerta .....	52
3.1.6.	Selección del motor eléctrico .....	54
3.1.7.	Selección de microcontroladores .....	56
3.1.8.	Selección de un generador de campo magnético para el sensor de efecto hall .. .....	58
3.1.9.	Selección del conductor eléctrico.....	58
3.1.10.	Selección de una válvula de compuerta .....	59
3.1.11.	Tubería de conducción.....	60
3.1.12.	Acondicionamiento de componentes de conducción del agua potable hacia la planta de lavado.....	60
3.1.13.	Emisores de agua a presión o aspersores a presión.....	62

### **CAPITULO IV**

#### **DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL**

4.1.	Diseño del sistema .....	63
4.1.1.	Diagrama de bloques del sistema automatizado.....	63
4.1.2.	Plan de operaciones para la automatización .....	64

4.1.3.	Funcionamiento automático de la planta de lavado .....	65
4.1.4.	Pasos para el modelamiento del sistema difuso .....	65
4.2.	Sistema de control difuso.....	66
4.2.1.	Definir las variables de entrada y de control .....	66
4.2.2.	Difusificación (creación de conjuntos difusos).....	66
4.2.3.	Creación de reglas.....	75
4.2.4.	Operador difuso.....	77
4.2.5.	Desdifusificación.....	78
4.2.6.	Diagrama de flujo .....	79
4.2.7.	Sistema de control del lavador de zanahorias.....	83
4.2.8.	Desarrollo del sistema de control del lavador de zanahoria .....	84
4.2.9.	Estructura del sistema de lavado de zanahorias .....	84
4.2.10.	Etapa de potencia .....	98
4.2.11.	Implementación y diseño del circuito.....	99
4.3.	Integración de componentes.....	101

## **CAPITULO V RESULTADOS DEL SISTEMA**

5.1.	Resultados del lavado de zanahorias con 3 kg, 5 kg y 10kg .....	127
5.1.1.	Resultados obtenidos del proceso de lavado manual - método de lavado de los productores de zanahoria .....	128
5.1.2.	Resultados obtenidos del proceso de lavado con el prototipo - método de lavado de las zanahorias a presión y a tambor giratorio en la escuela profesional ing. Electrónica.....	133
5.1.3.	Comparación de resultados entre el lavado manual y el lavado con el prototipo – escuela profesional ing. Electrónica.....	143
5.1.4.	Resumen de resultados entre los lavado realizados .....	145

## **CAPITULO VI COSTOS Y PRESUPUESTOS**

6.1.	Metodología de la propuesta económica .....	146
6.2.	Listado de los equipos .....	146
6.2.1.	Prototipo de lavado .....	146
6.2.2.	Instrumentos para la lectura de datos .....	147
6.2.3.	Sistema de adquisición de datos .....	147
6.2.4.	Software del sistema .....	147
6.3.	Presupuesto de la construcción de la planta de lavado .....	147
<b>Conclusiones .....</b>		<b>149</b>
<b>Recomendaciones .....</b>		<b>150</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>		<b>151</b>

<b>Anexos .....</b>	<b>153</b>
Anexo A: Estructura del prototipo de lavado.....	153
Anexo B: Panel fotográfico.....	158
Anexo C: Datasheet .....	165
Anexo D: Código del programa.Py .....	172
Anexo E: Placas circuitales para la planta de lavado.....	182
Anexo F: Artículo OMS (Organización Mundial de la Salud).....	184

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Análisis del agua .....	12
<b>Tabla 2.</b> Variedad de la zanahoria .....	13
<b>Tabla 3.</b> Contaminantes en zanahorias cosechadas .....	13
<b>Tabla 4.</b> Conversión de unidades .....	18
<b>Tabla 5.</b> Características del arduino uno .....	29
<b>Tabla 6.</b> Características del sensor de efecto hall .....	35
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de actuadores .....	38
<b>Tabla 8.</b> Requerimientos del sensor de flujo .....	46
<b>Tabla 9.</b> Posibles sensores de flujo .....	47
<b>Tabla 10.</b> Características técnicas del sensor yf-s201 .....	47
<b>Tabla 11.</b> Requerimientos del sensor de efecto hall .....	49
<b>Tabla 12.</b> Posibles sensores de efecto hall .....	49
<b>Tabla 13.</b> Características técnicas del sensor s49e .....	50
<b>Tabla 14.</b> Requerimientos del sensor de turbidez .....	51
<b>Tabla 15.</b> Posibles sensores de turbidez .....	51
<b>Tabla 16.</b> Características técnicas sensor sen0189 .....	52
<b>Tabla 17.</b> Requerimientos del actuador .....	53
<b>Tabla 18.</b> Posibles actuadores .....	53
<b>Tabla 19.</b> Características técnicas del actuador nema phb42s48-402a -17 .....	54
<b>Tabla 20.</b> Requerimientos del motor eléctrico .....	55
<b>Tabla 21.</b> Posibles motores eléctricos .....	55
<b>Tabla 22.</b> Características técnicas del motor reductor mwbc - 8029 .....	55
<b>Tabla 23.</b> Requerimientos del microcontrolador .....	57
<b>Tabla 24.</b> Posibles conductores eléctricos .....	59
<b>Tabla 25.</b> Posibles válvulas de compuerta de agua .....	59
<b>Tabla 26.</b> Características técnicas del aspersor .....	62
<b>Tabla 27.</b> Componentes del prototipo de lavado de acero inoxidable .....	64
<b>Tabla 28.</b> Conjuntos lingüísticos de la variable de entrada turbidez .....	67
<b>Tabla 29.</b> Conjuntos lingüísticos de la variable de entrada caudal .....	68
<b>Tabla 30.</b> Conjuntos lingüísticos de la variable de salida apertura de válvula .....	68
<b>Tabla 31.</b> Conjuntos lingüísticos de la variable de entrada y salida del controlador difuso .....	69
<b>Tabla 32.</b> Reglas de acción de la apertura de la válvula .....	75
<b>Tabla 33.</b> Bits disponibles en el buffer de recepción .....	87
<b>Tabla 34.</b> Asignación de los bits .....	90
<b>Tabla 35.</b> Ubicación de los sensores y actuadores .....	101
<b>Tabla 36.</b> Regla de inferencia 1 .....	103
<b>Tabla 37.</b> Regla de inferencia 2 .....	104
<b>Tabla 38.</b> Regla de inferencia 3 .....	105
<b>Tabla 39.</b> Regla de inferencia 4 .....	106
<b>Tabla 40.</b> Regla de inferencia 5 .....	107
<b>Tabla 41.</b> Regla de inferencia 6 .....	108
<b>Tabla 42.</b> Regla de inferencia 7 .....	109
<b>Tabla 43.</b> Regla de inferencia 8 .....	110
<b>Tabla 44.</b> Regla de inferencia 9 .....	111
<b>Tabla 45.</b> Regla de inferencia 10 .....	112
<b>Tabla 46.</b> Regla de inferencia 11 .....	113
<b>Tabla 47.</b> Regla de inferencia 12 .....	114
<b>Tabla 48.</b> Regla de inferencia 13 .....	115
<b>Tabla 49.</b> Regla de inferencia 14 .....	116
<b>Tabla 50.</b> Regla de inferencia 15 .....	117
<b>Tabla 51.</b> Regla de inferencia 16 .....	118
<b>Tabla 52.</b> Regla de inferencia 17 .....	119
<b>Tabla 53.</b> Regla de inferencia 18 .....	120
<b>Tabla 54.</b> Regla de inferencia 19 .....	121
<b>Tabla 55.</b> Regla de inferencia 20 .....	122
<b>Tabla 56.</b> Resultado de la regla 16 .....	125
<b>Tabla 57.</b> Datos obtenidos para 3 kg. de zanahoria - lavado manual .....	128

<b>Tabla 58.</b> Datos obtenidos para 5 kg. de zanahoria - lavado manual .....	129
<b>Tabla 59.</b> Datos obtenidos para 10 kg. de zanahoria - lavado manual .....	131
<b>Tabla 60.</b> Datos obtenidos para 3 kg. de zanahoria - lavado en el prototipo .....	133
<b>Tabla 61.</b> Datos obtenidos para 5 kg. de zanahoria - lavado en el prototipo .....	136
<b>Tabla 62.</b> Datos obtenidos para 10 kg. de zanahoria - lavado en el prototipo .....	139
<b>Tabla 63.</b> Resumen de resultados en los lavados de 3 kg., 5kg. Y 10 kg. De zanahoria .....	145

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama del diseño de la planta de lavado de zanahoria para 10 tn/h - José Martín Requena .....	8
<b>Figura 2.</b> Máquina Mep .....	9
<b>Figura 3.</b> Máquina Clamhort .....	10
<b>Figura 4.</b> Máquina Romero .....	11
<b>Figura 5.</b> Zanahoria .....	13
<b>Figura 6.</b> Lavado de zanahorias en el río .....	14
<b>Figura 7.</b> Máquina Mep. ....	15
<b>Figura 8.</b> Proceso de lavado por aspersión y tambor .....	15
<b>Figura 9.</b> Control del lavado por aspersión y tambor .....	16
<b>Figura 10.</b> Turbiedad Del Agua .....	16
<b>Figura 11.</b> Turbidímetro Fotoeléctrico - Medidor de turbidez .....	17
<b>Figura 12.</b> Disco secchi - medidor de turbidez .....	17
<b>Figura 13.</b> Lógica booleana y difusa .....	21
<b>Figura 14.</b> Función de tipo triangular .....	23
<b>Figura 15.</b> Función de tipo trapezoidal .....	23
<b>Figura 16.</b> Características de las variables lingüísticas .....	24
<b>Figura 17.</b> Sistema de inferencia difuso .....	25
<b>Figura 18 -</b> regla e inferencia difusa .....	26
<b>Figura 19.</b> Proceso de desfusificación .....	27
<b>Figura 20.</b> Placa arduino uno .....	30
<b>Figura 21.</b> Logo de c++ .....	31
<b>Figura 22.</b> Logo de python .....	32
<b>Figura 23.</b> Diagrama de funcionamiento del sensor de efecto hall .....	34
<b>Figura 24.</b> Sensor de efecto hall .....	35
<b>Figura 25.</b> Características del sensor de caudal .....	36
<b>Figura 26.</b> Sensor de turbidez .....	36
<b>Figura 27.</b> Funcionamiento del turbidímetro digital y analógico .....	37
<b>Figura 28.</b> Imán .....	37
<b>Figura 29.</b> Campos magnético de un imán .....	37
<b>Figura 30.</b> Partes de un imán .....	38
<b>Figura 31.</b> Motor paso a paso .....	39
<b>Figura 32.</b> Optoacoplador .....	40
<b>Figura 33.</b> Optoacoplador con fototransistor y fototriac .....	41
<b>Figura 34.</b> Motor eléctrico .....	41
<b>Figura 35.</b> Motor reductor eléctrico .....	44
<b>Figura 36.</b> Planta de lavado .....	45
<b>Figura 37.</b> Tipos de sensores de flujo .....	46
<b>Figura 38.</b> Sensor de flujo yf-s201 .....	48
<b>Figura 39.</b> Tipos de sensores de efecto hall .....	49
<b>Figura 40.</b> Sensor s49e .....	50
<b>Figura 41.</b> Tipos de sensor de turbidez .....	51
<b>Figura 42.</b> Sensor sen 0189 .....	52
<b>Figura 43.</b> Tipos de actuadores para adaptar a la válvula compuerta .....	53
<b>Figura 44.</b> Actuador nema phb42s48-402a -17 para adaptar a la válvula de compuerta .....	54
<b>Figura 45.</b> Tipos de motores eléctricos - monofásico .....	55
<b>Figura 46.</b> Motor reductor - monofásico mwbc - 8029 .....	56
<b>Figura 47.</b> Selección del microcontrolador .....	56
<b>Figura 48.</b> Arduino uno .....	58
<b>Figura 49.</b> Generador magnético (imán) .....	58
<b>Figura 50.</b> Conductores eléctricos .....	58
<b>Figura 51.</b> Tipos de válvulas de compuertas de agua .....	59
<b>Figura 52.</b> Tubería de conducción de agua potable .....	60
<b>Figura 53.</b> Diagrama para el cálculo de las presiones en la tubería de conducción .....	61
<b>Figura 54.</b> Aspersor autocompensado .....	62
<b>Figura 55.</b> Diagrama general del sistema de automatización .....	63
<b>Figura 56.</b> Diagrama de bloques del sistema de automatización propuesto .....	63
<b>Figura 57.</b> Controlador difuso para la válvula compuerta .....	66

<b>Figura 58.</b> Conjuntos difusos de la variable de entrada turbidez.....	67
<b>Figura 59.</b> Conjuntos difusos de la variable de entrada caudal.....	67
<b>Figura 60.</b> Conjunto difuso de la variable de salida de apertura de válvula .....	68
<b>Figura 61.</b> Función de pertenencia de la variable de entrada turbidez .....	70
<b>Figura 62.</b> Función de pertenencia de la variable de entrada caudal .....	71
<b>Figura 63.</b> Función de pertenencia de variable de salida de apertura de válvula .....	72
<b>Figura 64.</b> Reglas difusas .....	77
<b>Figura 65.</b> Unidad de procesamiento difuso .....	78
<b>Figura 66.</b> Desdifusificación de la variable de salida .....	78
<b>Figura 67.</b> Diseño del diagrama de flujo para iniciar el sistema .....	79
<b>Figura 68.</b> Diagrama de flujo para comenzar comunicación serial .....	80
<b>Figura 69.</b> Diagrama de flujo para decodificar los mensajes.....	81
<b>Figura 70.</b> Diagrama de flujo para iniciar el controlador.....	82
<b>Figura 71.</b> Diagrama de flujo para enviar el mensajes y hacer el procesamiento difuso .....	83
<b>Figura 72.</b> Diagrama de flujo para la iniciar la funciones que realiza el módulo arduino .....	86
<b>Figura 73.</b> Diagrama de flujo para recepcionar datos del control.....	88
<b>Figura 74.</b> Diagrama de flujo para actualizar el estado de actuadores .....	89
<b>Figura 75.</b> Diagrama de flujo para la lectura del estado de sensores .....	90
<b>Figura 76.</b> Diagrama de flujo para el envío de datos de estados de los sensores y actuadores .....	91
<b>Figura 77.</b> Diagrama de flujo de la función del controlador de interface .....	93
<b>Figura 78.</b> Pantalla principal de lavado .....	96
<b>Figura 79.</b> Visualización de proceso de lavado.....	96
<b>Figura 80.</b> Visualización del estado de sensores y actuadores.....	97
<b>Figura 81.</b> Visualización del estado de sensores, actuadores vs. Comportamiento temporal.....	97
<b>Figura 82.</b> Visualización de botones de control .....	98
<b>Figura 83.</b> Circuito de conmutación con fototriac.....	99
<b>Figura 84.</b> Diseño circuital para la instalación de sensores y actuador .....	100
<b>Figura 85.</b> Diseño circuital de la conmutación - optoacoplador.....	100
<b>Figura 86.</b> Estructura y componentes del prototipo .....	101
<b>Figura 87.</b> Acondicionamiento e instalación de tecnologías al prototipo .....	102
<b>Figura 88.</b> Pruebas para el funcionamiento de la planta .....	102
<b>Figura 89.</b> Activación de una regla difusa - nº 1.....	104
<b>Figura 90.</b> Activación de una regla difusa - nº 2.....	105
<b>Figura 91.</b> Activación de una regla difusa - nº 3.....	106
<b>Figura 92.</b> Activación de una regla difusa - nº 4.....	107
<b>Figura 93.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 5 y 9.....	108
<b>Figura 94.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 6 y 10 .....	109
<b>Figura 95.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 7 y 11 .....	110
<b>Figura 96.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 8 y 12 .....	111
<b>Figura 97.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 9 y 13 .....	112
<b>Figura 98.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 10 y 14 .....	113
<b>Figura 99.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 11 y 15 .....	114
<b>Figura 100.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 12 y 16 .....	115
<b>Figura 101.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 13 y 17 .....	116
<b>Figura 102.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 14 y 18 .....	117
<b>Figura 103.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 15 y 19 .....	118
<b>Figura 104.</b> Activación de dos reglas difusas - nº 16 y 20 .....	119
<b>Figura 105.</b> Activación de una regla difusa - nº 17.....	120
<b>Figura 106.</b> Activación de una regla difusa - nº 18.....	121
<b>Figura 107.</b> Activación de una regla difusa - nº 19.....	122
<b>Figura 108.</b> Activación de una regla difusa - nº 20.....	123
<b>Figura 109.</b> Proceso de difusificación de la variable entrada turbidez .....	123
<b>Figura 110.</b> Proceso de difusificación de la variable entrada caudal .....	124
<b>Figura 111.</b> Proceso de la desdifusificación de variable de salida apertura de la válvula .....	125
<b>Figura 112.</b> Resultado de la desdifusificación mediante el software python.....	126
<b>Figura 113.</b> Lavado de 3 kg. De zanahoria <b>figura 114.</b> Lavado de 5 kg. e zanahoria.....	127
<b>Figura 115.</b> Lavado de 10 kg. De zanahoria <b>figura 116.</b> Lavado manual y en el prototipo.....	127
<b>Figura 117.</b> Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado manual (3 kg.) .....	129
<b>Figura 118.</b> Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado manual (5 kg.) .....	130

<b>Figura 119.</b> Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado manual (10 kg.) .....	132
<b>Figura 120.</b> Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (3 kg.) .....	134
<b>Figura 121.</b> Comportamiento del caudal respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (3 kg.) .....	134
<b>Figura 122.</b> Comportamiento de la apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (3 kg.) .....	135
<b>Figura 123.</b> Comportamiento de la turbidez, caudal y apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (3 kg.) .....	135
<b>Figura 124.</b> Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (5 kg.) .....	137
<b>Figura 125.</b> Comportamiento del caudal respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (5 kg.) .....	137
<b>Figura 126.</b> Comportamiento de la apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (5 kg.) .....	138
<b>Figura 127.</b> Comportamiento de la turbidez, caudal y apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (5 kg.) .....	138
<b>Figura 128.</b> Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (10 kg.) .....	140
<b>Figura 129.</b> Comportamiento del caudal respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (10 kg.) .....	141
<b>Figura 130.</b> Comportamiento de la apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (10 kg.) .....	141
<b>Figura 131.</b> Comportamiento de la turbidez, caudal y apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (10 kg.) .....	142
<b>Figura 132.</b> Comparación de resultados de turbidez (ntu) - lavado manual y dentro del prototipo respecto al tiempo (3 kg.) .....	143
<b>Figura 133.</b> Comparación de resultados de turbidez (ntu) - lavado manual y dentro del prototipo respecto al tiempo (5 kg.) .....	144
<b>Figura 134.</b> Comparación de resultados de turbidez (ntu) - lavado manual y dentro del prototipo respecto al tiempo (10 kg.) .....	144
<b>Figura 135.</b> Presupuesto total de la implementación de la planta de lavado .....	148

# **CAPITULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO**

Los productores de zanahoria de la sierra del Perú realizan actividades para el lavado de zanahoria por medio del método manual, este proyecto de tesis sustituirá al método de lavado manual con un prototipo a escala reducida para 10 Kg. de zanahoria, los cuales se utilizarán una plataforma de control difuso que tiene el objetivo principal de controlar y mostrar interactivamente el sistema lavador de zanahoria según el parámetro de la OMS.

### **1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El problema del lavado de zanahorias en la sierra peruana es que utilizan el método manual, es decir la zanahoria se lava utilizando las manos y pies; por tanto, se tiene como resultado el deterioro de la zanahoria y también se desconoce la calidad de limpieza de la zanahoria para el consumo o para su posterior comercialización, de este modo se deduce que los porcentajes en los resultados posiblemente pueden ser bajos.

En la agricultura, el lavado de las zanahorias se realiza inmediatamente después de la cosecha y antes de la clasificación de las zanahorias para la venta el mercado, este es un proceso de gran importancia ya que es una operación unitaria en la que el alimento se libera de raíces, tierra, sustancias orgánicas, microorganismos y residuos de pesticidas que lo contaminan, dejando su superficie en condiciones inadecuadas para el consumo o para su posterior comercialización alimentaria, esta eliminación en la zanahoria facilitará la reducción de la turbidez.

Tradicionalmente se utiliza de 30 a 300 Ltrs. de agua para una cantidad de 10 Kg. de zanahoria aproximadamente.

El lavado generalmente se realiza desde las 6.00 am hasta 12.00 pm en el río en contra de la corriente de las aguas y en pozas de lavado de 10 x 5 m con fluencia agua, debido a que la producción agrícola de la zanahoria tiene una cantidad considerable de 160 ton/año durante las estaciones de primavera y verano mayormente, lo que hace necesaria el diseño e implementación de un prototipo para el lavado de zanahorias para obtener altos porcentajes en la limpieza y calidad.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El lavado de las zanahorias con método de manual es insuficiente, porque se desconoce la limpieza de la zanahoria, ocasionando gasto excesivo de agua, deterioro de la zanahoria, excesivo tiempo en el proceso de lavado, mayores horas de trabajo del personal operario y bajos precios.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un prototipo de lavado de zanahorias utilizando un sistema de control con lógica difusa.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar y acondicionar un sensor de turbidez para detectar la presencia de las partículas suspendidas en el agua.
- Seleccionar y acondicionar un sensor de flujo para detectar el ingreso del agua en un determinado tiempo al prototipo de lavado de zanahorias.
- Seleccionar y acondicionar una válvula para la apertura, detención o regulación de la circulación del agua al prototipo.
- Diseñar e implementar un controlador difuso para el lavado de las zanahorias
- Implementar el motor monofásico al módulo experimental de lavado de zanahorias.

- Desarrollar el código mediante software para la lectura de los estados de los sensores y control de los actuadores.
- Realizar la comparación de resultados entre el lavado con el método manual y con el prototipo.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

El diseño e implementación de un prototipo para el lavado de zanahorias utilizando lógica difusa será útil para:

- Obtener la limpieza de las zanahorias según el parámetro de la OMS.
- Reducir el deterioro de las zanahorias en el proceso de lavado.
- Disminuir gasto excesivo de agua.
- Reducir las enfermedades respiratorias (resfriado y gripe) de los operarios ocasionados por el agua en el proceso de lavado manual.
- Reducir el tiempo del proceso lavado con el método manual.
- Reducir horas de trabajo del personal operario.

Además, beneficiará directamente a los productores de zanahoria, debido a que es de gran importancia para su comercialización.

### **1.6. ALCANCES DEL ESTUDIO**

El desarrollo del prototipo para el lavado de zanahorias comprende la selección de tecnologías, acondicionamiento, instalación de componentes (sensores y actuadores) al prototipo, su respectiva programación y finalmente su puesta en funcionamiento del sistema.

El trabajo de tesis se centra principalmente en el uso sensores de caudal y de turbidez como también de un motor paso a paso acoplado a una válvula de agua para ser controlado mediante el control difuso y una conmutación ON/OFF para el motor monofásico. El prototipo de lavado también comprende el desarrollo del sistema integral mediante el uso de un módulo Arduino Uno, este procesará los datos emitidos

por los sensores de turbidez y caudal para decidir que actuadores deberán ser activados o apagados en el sistema de lavado y también se utilizará en el módulo de control difuso, el lenguaje de programación Python, este se encargará del control general del sistema de lavado de zanahorias. Este módulo gestionará el conjunto de los datos obtenidos del módulo Arduino para planificar el estado de los actuadores.

## **1.7. LIMITACIONES**

- El desarrollo del lavadero automatizado está orientado a la construcción de un prototipo a escala reducida para 10 Kg. de zanahoria.
- No se realizará los cálculos de diseño estructural del prototipo debido a que corresponde a otra especialidad.

## **1.8. VARIABLES E INDICADORES**

### **1.8.1. VARIABLES INDEPENDIENTES**

- Turbidez del agua del lavado.
- Caudal de agua para el lavado.

### **1.8.2. VARIABLES INTERVINIENTES**

- Cantidad de zanahorias.
- Características físicas de la zanahoria.
- Presión del agua que ingresa al prototipo.
- Velocidad del tambor del prototipo de lavado.

### **1.8.3. VARIABLE DEPENDIENTE**

- Apertura de la válvula de agua expresados en porcentaje.
- Tiempo de lavado.

#### **1.8.4. INDICADORES**

- Desprendimiento del material orgánico adherido a la zanahoria expresados en UNT.
- Volumen de agua por unidad de tiempo expresados en Lt/min.
- Apertura de la válvula de agua expresados en porcentaje.
- Tiempo de lavado.

#### **1.9. METODOLOGÍA**

Se utilizará el método cuantitativo, deductivo y experimental. Cuantitativo, porque las variables independientes y dependientes son representadas en forma numérica representando causa-efecto, porque se toma en cuenta la visualización de los datos como la turbidez, caudal de agua, velocidad del tambor y el tiempo de lavado en función al grado de turbidez para una mejor comprensión de la realidad y en la toma de decisiones. Es deductivo, porque se inicia de la teoría formulada de control difuso y finalmente, experimental, porque el desarrollo de la tesis se basa en un prototipo de lavado para demostrar que la zanahoria este dentro de los índices de limpieza según la OMS y esté libre de un posible deterioro.

##### **1.9.1. PASOS PARA CUMPLIR EL OBJETIVO**

- Construcción de un prototipo con estructura metálica en acero inoxidable para el lavado de zanahorias realizado por un técnico mecánico.
- Seleccionar tecnologías (componentes electrónicos) para la implementación al prototipo.
- Realizar comparaciones de los manuales de los fabricantes para elegir componentes electrónicos apropiados.
- Acondicionar un sensor de turbidez para detectar las partículas suspendidas de la planta de lavado.

- Acondicionar un sensor de flujo para detectar el caudal del agua que ingresa a la planta de lavado.
- Implementar un actuador (motor paso a paso) acoplado a la válvula de control del agua.
- Realizar el software para observar el comportamiento y respuestas del sensor de turbidez y caudal.
- Realizar el software para el control difuso de la válvula de apertura de agua durante el tiempo de lavado de la zanahoria.
- Realizar pruebas de los sensores de turbidez, caudal y del actuador en el prototipo de lavado de zanahorias.
- Comprobación de las reglas del control difuso propuestos.
- Acondicionar el motor monofásico al prototipo de lavado de zanahorias.
- Realizar el lavado de zanahorias con el método manual y con el prototipo para 3 Kg, 5 Kg y 10 Kg. en función al tiempo real.
- Formular y realizar cuadros, tablas y gráficas estadísticas en función de la turbidez, caudal de agua y porcentaje de apertura de válvula versus el tiempo para la evaluación y el análisis de los resultados.
- Comparación de resultados entre el lavado con el método manual y con el prototipo.
- Redactar y documentar la tesis.
- Utilizar distintos medios para la redacción, corrección ortográfica y documentación hasta la culminación de la tesis.
- Presentación del volumen de tesis.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES

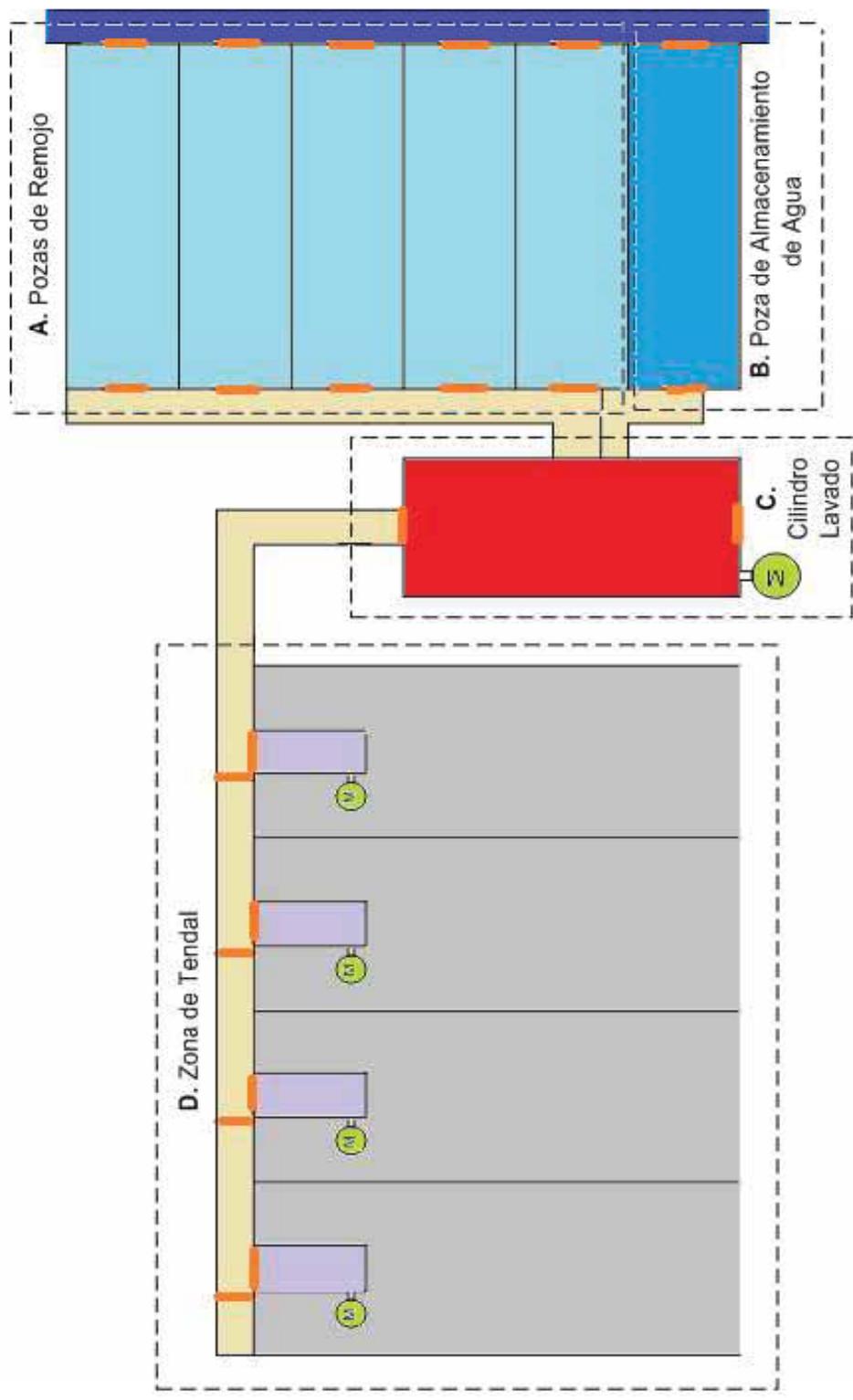
Tesis: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIA DE 10 t/h”** (Requena Torpoco, 2011)

En la tesis planteada por el autor se realizó la simulación del diseño de un sistema de automatización de una planta de lavado de zanahoria de 10 t/h, empleando un sistema electroneumático y un sistema de control con PLC, para el funcionamiento automático en los procesos de lavado de zanahorias como en el remojo, lavado y direccionamiento a la zona de tendido.

El diseño del sistema de automatización consta de un sistema electroneumático para el accionamiento (apertura y cerrado) de las compuertas que se realiza en los procesos de lavado. El diseño del sistema de control con PLC procesa la información proveniente de los sensores y según la programación realiza los el funcionamiento de los actuadores.

El autor de la tesis muestra un control de cada etapa de lavado en 55 minutos, reduciendo de tiempo de lavado real y dando posibilidad que la planta pueda operar más veces al día.

El sistema electroneumático le permitió al autor realizar de forma más simple accionar los movimientos lineales.



**Figura 1.** Diagrama del diseño de la planta de lavado de zanahoria para 10 tn/h - José Martín Requena  
**Fuente:** "Diseño de un sistema de automatización de una planta de lavado de zanahoria de 10 tn/h - José Martín Requena

**MÁQUINA MEP - “EL PATO” MÁQUINAS AGRICOLAS SRL, Argentina -  
Provincia de Buenos Aires, Pedro Luro, Ruta 3 Km. 806,5 - (8148) (Luro, 2011).**

Es una máquina lavadora de zanahorias de la empresa “El Pato Máquinas Agrícolas”, la máquina está compuesta por un cilindro que gira por medio de un motor eléctrico monofásico, al interior del cilindro se realiza el lavado de las zanahorias y se aplica agua a presión a través de una bomba. Después del lavado se regula manualmente la compuerta de salida de la máquina con una regulación variable, posteriormente cae en una mesa de inspección para que sea clasificada y embolsada. La capacidad de lavado de la máquina es de 0.8 - 1 tn/h, con diámetro 0.9 m y largo de 3 m y 1.2 m x 2.5 m para la mesa de selección.



**Figura 2.** Máquina MEP

**Fuente:** El pato - Máquinas agrícolas S.R.L.

**MÁQUINA CLAMAHORT - “EMPRESA CLAMAHORT S.L.”, España - Valencia, (Masalavés 46292), Cdra. Garrofera d’Alzira s/n (CLAMAHORT, 2011).**

Máquina Clamahort es una máquina lavadora de zanahorias, el lavado se realiza al interior del tambor, este se encuentra parcialmente sumergido y gira en un sentido mediante una transmisión de correas conectadas a un motor reductor.

Las zanahorias son agitadas dentro del tambor mediante unas gomas en forma de espiral, haciendo que las zanahorias se limpien al contacto con el agua. Al finalizar el lavado se procede a abrir las compuertas que retienen las zanahorias dentro del tambor para que pasen a un elevador con duchas.

Esta máquina tiene una capacidad de lavado de 5 - 30 tn/h y para ello emplea un sistema neumático para la apertura de sus compuertas y para el control del agua emplea válvulas de 200 mm de diámetro. En la figura 3 se muestra la máquina Clamahort.



**Figura 3.** Máquina clamahort  
**Fuente:** Empresa clamahort S.L.

**MÁQUINA ROMERO - EMPRESA ROMERO S.A. MÉXICO, PUEBLA, (Calle constitución de 1917), Av. 37 Pte. (ROMERO, 2011).**

Máquina Romero es una máquina lavadora de zanahorias está compuesta por un cilindro en donde giran engranajes que lavan las zanahorias, asimismo un canal de trayectoria circular que se encuentra en la parte superior del cilindro y es en donde se descargan las zanahorias para que sean lavadas, también tiene una bomba para verter agua a presión. La capacidad de lavado de esta máquina es de 15 tn/h y tiene unas dimensiones de 3m x 4m x 3m y la bomba que emplea es de 6 pulgadas de diámetro. para el funcionamiento requiere de combustible diésel con consumo de 1 galón x hora.



***Figura 4. Máquina Romero***  
***Fuente: Empresa romero S.A.***

## 2.2. BASES TEORICAS

### 2.2.1. AGUA

El agua es un recurso natural básico para la vida de los seres bióticos; puede generar múltiples beneficios que dependerán de una planificación, uso, manejo y control racional. (Gallardo, 2007).

El agua es un compuesto químico muy estable, formado por átomos de hidrogeno y oxígeno, de formula H<sub>2</sub>O, que a su vez es inodora, insípida e incolora. (monografías, 2018)

El agua por su naturaleza se encuentra en tres estados físicos: sólido líquido y gaseoso.

### 2.2.2. ANÁLISIS DEL AGUA

Los Análisis de agua en el estudio de los componentes de muestras que se toman del agua para un uso específico.

*Tabla 1. Análisis del agua*

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
Temperatura	°C	12.3
Ph	Unidad estándar	7.2
Color	UC	5
Conductividad eléctrica	µS/cm	91.2
Oxígeno disuelto	mg/L	7.4
Turbidez	UNT	4
Aceites y grasas	mg/L	< 0.5

*Fuente: Hamek ingenieros asociados - 2015*

### 2.2.3. LA ZANAHORIA

La zanahoria es una planta de clima frío, cultivada también en regiones tropicales y subtropicales, especialmente superiores a 3000 msnm.

La parte comestible es la raíz que presenta una función almacenadora de grandes cantidades de azúcares. La forma de la zanahoria es gruesa y alargada (similar a un cono) con longitud que puede cambiar dependiendo de la variedad,

aunque generalmente oscila entre los 15 - 17 cm, pudiendo llegar a los 20 cm. Las variedades más representativas de zanahorias en la actualidad son de color naranja. Su sabor mientras están tiernas y frescas es dulce.



**Figura 5.** Zanahoria

*Fuente:* [www.regmurcia.com](http://www.regmurcia.com)

## VARIEDADES

La clasificación más generalizada de las zanahorias está en función a su forma y tamaño, se puede encontrar de las siguientes variedades:

**Tabla 2.** Variedad de la zanahoria

VARIETADES	CULTIVO	FORMA	DIMENSIÓN
<b>CORTAS</b>	Temprano	Redondeadas	Menor de 10 cm
<b>INTERMEDIAS</b>	Intermedio	Cilíndrica y gruesa - lisos	Entre 10-20 cm
<b>LARGAS</b>	Para comercialización	Cónicas y gruesas	Superan los 20 cm

*Fuente:* [www.regmurcia.com](http://www.regmurcia.com)

### 2.2.4. LAVADO DE ZANAHORIAS

Se realiza después de la cosecha y antes de la clasificación. El lavado es aquella operación unitaria donde el alimento se libera de sustancias diversas que lo contaminan, dejando su superficie en condiciones adecuadas. El lavado para 10Kg. de zanahoria necesita de 30 a 60 ltr. de agua.

En la siguiente tabla se incluye una clasificación de los diversos tipos de contaminantes eventualmente presentes en los alimentos antes del lavado (Brennan, 1976).

**Tabla 3.** Contaminantes en zanahorias cosechadas

TIPO DE CONTAMINANTE	EJEMPLOS
Metales	Ferrosos y no ferrosos, tornillos, virutas
Minerales	Tierra, aceites minerales, grasa, piedras
Plantas	Hojas, tallos, semillas, corteza

Animales	Pelo, huesos, excrementos, sangre, Insectos, larvas
Químicos*	Fertilizante, pesticidas, herbicidas
Células microbianas	Mohos, levaduras
Productos microbianos	Colores, aromas, toxinas
*No deben confundirse con sustancias adulterantes (prohibidas por ley pero añadidas intencionalmente) o con los aditivos (adicionados para mejorar la conservabilidad o el valor nutritivo).	

*Fuente: Brennan y col. 1976*

### 2.2.5. PROCESOS DE LAVADO

Antes del lavado se libera de elementos (piedras, huesos u objetos metálicos) que maltratan la superficie de la zanahoria, este proceso previo facilita la reducción de la turbidez del agua en el lavado.

El lavado es por tanto un método muy eficaz para reducir la turbidez del agua y la contaminación de la zanahoria.

El lavado en la zanahoria es un método húmedo.



*Figura 6. Lavado de zanahorias en el río*

*Fuente: Propia*

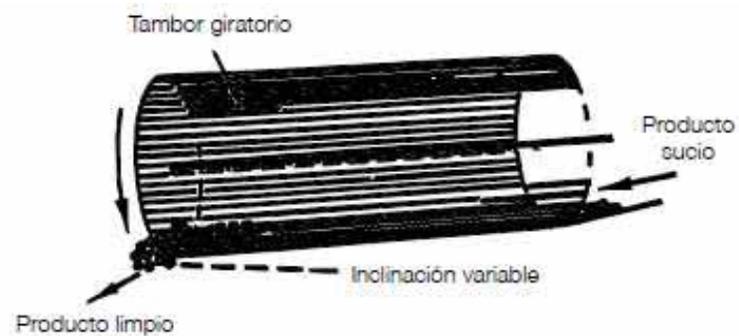
### 2.2.6. LAVADO HÚMEDO

Este lavado se realiza en contra de la corriente del agua eliminando tierra, raíces, polvo, sustancias orgánicas, residuos de pesticidas de la superficie de las zanahorias, la limpieza húmeda resulta más eficaz que el lavado seco, debido a que este lavado no origina polvo, ni deteriora al alimento y además controla los tiempos

de lavado. Esta operación resulta mejor si se combina con la utilización de detergentes y sustancias esterilizantes a diversas temperaturas.

El lavado húmedo se puede utilizar de diferentes maneras como:

- Lavado por ducha
- Lavadores de cepillo
- Lavadores de tambor
- Lavadores de dedos



**Figura 7.** Máquina MEP.

**Fuente:** Máquinas agrícolas S.R.L.



**Figura 8.** Proceso de lavado por aspersión y tambor

**Fuente:** El pato" Máquinas Agrícolas S.R.L



**Figura 9.** Control del lavado por aspersión y tambor  
**Fuente:** El Pato - Máquinas Agrícolas S.R.L.

### 2.2.7. TURBIDEZ O TURBIEDAD

- I. La turbidez mide la claridad del agua, es una medida del grado de pérdida de transparencia del agua debido a coloides bióticas, abióticas o a partículas en suspensión así como limos, arcillas, arena, y otras partículas finas de materia orgánica e inorgánica, desde tamaños coloidales hasta partículas macroscópicas y que causan que el agua se presente como agua nebulosa o no cristalina.
- II. Es el efecto óptico que traspasa las partículas suspendidas del líquido. Las partículas interfieren o absorben los rayos de luz en lugar de que pase en línea recta.
- III. Su unidad de la turbiedad fue definida como "obstrucción óptica de la luz causada por partes por millón de sílice en agua destilada".



**Figura 10.** Turbiedad del agua  
**Fuente:** (Quiroz Corrales, 2009)

Mientras mayor sea la concentración de estas partículas en el agua, mayor será la turbiedad como también menor será la calidad del agua (Johnson, 1997).

## **MEDICIÓN DE LA TURBIDEZ**

Anteriormente se empleaban diferentes unidades como UJT (unidades de turbidez Jackson), pero actualmente ya no está en uso estándar, se encuentra cada vez más extinguida.

Actualmente se mide en UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez), la forma de medir la turbidez es con un turbidímetro por su mayor precisión.

El nefelómetro o turbidímetro mide la intensidad de la luz dispersada a  $90^\circ$  cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. A mayor valor de UNT mayor es la presencia de materia coloidal.



**Figura 11.** Turbidímetro fotoeléctrico - medidor de turbidez  
**Fuente:** Paper, FCQ-UACH

El disco secchi mide la turbidez en depósitos de gran profundidad su principal característica es un disco blanco y negro que se deja caer en el agua atado a una cuerda.



**Figura 12.** Disco secchi - medidor de turbidez  
**Fuente:** Artículo, FCQ-UACH

La medición de la turbidez es para proporcionar una estimación de la concentración de TSS (Sólidos Totales en Suspensión) lo que de otra forma es un parámetro tedioso y difícil de medir (Enciclopedia, 2019).

La unidad de turbidez equivale a:

$$1 \text{ (UNT)} = 1 \text{ PPM (partes por millón) de formazina estándar de Si}$$

La turbidez varía desde cero hasta varios miles de unidades de UNT en aguas altamente turbias.

Existen tres métodos comúnmente empleados.

- Método del turbidímetro Hellige
- Método del nefelómetro Fotoeléctrico
- Método turbidimétrico de Bujía de Jackson

La unidad utilizada normalmente es UNT, otras unidades que se usan se pueden transformar utilizando la siguiente tabla:

**Tabla 4. Conversión de unidades**

UNIDAD	UJT	UNT
UJT	1.0	19
UNT	0.053	1.0

*Fuente: Brennan y col. 1976*

## ¿CUÁL ES LA MÁXIMA TURBIEDAD PERMITIDA EN EL AGUA?

Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), indica que la turbidez no debe ser superior a 5 UNT. La turbidez debe ser baja para que la desinfección sea eficaz (OMS, 1998) y que bajen los riesgos de que el agua potable vehiculice tóxicos que se manifiesten en diversas enfermedades crónicas(...)

### 2.2.8. LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa es una extensión de la lógica booleana, introducida por el Dr. Lofti Zadeh de la Universidad de California (Berkeley) en el año 1965. Fue

desarrollado para expresar el concepto de verdad parcial, de manera que se puedan determinar valores entre el límite “completamente verdadero” y “completamente falso”. Esto significa que un valor lógico difuso es un valor cualquiera en el intervalo de 0 a 1. La lógica difusa se tornó importante en la medida en que el mundo en que vivimos no está constituido por formas absolutamente verdaderas o falsas (Benitez, 2014).

Actualmente las técnicas de control pueden ser implementadas por modelos matemáticos determinísticos, las implementaciones basadas en la lógica difusa frecuentemente tienen un mejor desempeño, por los siguientes 5 puntos:

1. Las estrategias de control difuso imitan un comportamiento basado en reglas obtenidas de la experiencia del especialista, en lugar de un control explícitamente estricto a modelos matemáticos como ecuaciones diferenciales. Por lo tanto, es robusto en sistemas no lineales sin necesidad de un modelo matemático.
2. La lógica difusa tiene la capacidad de incorporar la forma humana de pensar en sistemas de control. De esta manera, el controlador difuso se comporta conforme al raciocinio que el especialista utiliza para inferir las reglas, basadas en la información que el ya conoce producto de la experiencia.
3. El control difuso abarca un gran número de entradas, muchas de las cuales son apenas para condiciones especiales. Por lo tanto, algunas condiciones excepcionales (tales como alarmas) pueden ser implementadas con un menor esfuerzo computacional y flexible a modificaciones.
4. La lógica difusa es una variación de la lógica booleana, que solo presenta los valores de “0” y “1”, sin ningún término medio. Mientras, que en la lógica difusa, una premisa puede asumir valores de pertenencia (grado de verdad o pertenencia) intermediarios. Permitiendo describir grandezas imprecisas como: altura (muy alto, alto, mediano, bajo, muy bajo), cantidad (mucho, razonable, poco), edad (muy joven, joven, viejo, muy viejo), etc. En el sentido más amplio, la lógica difusa es casi

sinónimo de la teoría de conjuntos difusos, una teoría en la cual los elementos tienen un grado parcial de pertenencia.

5. La implementación de productos comerciales basados en estrategias de control difuso destinados al mercado tienen un menor costo, frecuentemente son más eficiente y fácilmente implementable en microprocesadores en comparación a estrategias de control convencionales, debido a una menor codificación y tiempo computacional de ejecución.

### 2.2.9. CONJUNTOS DIFUSOS

En la teoría clásica de conjuntos, el concepto de pertenencia de un elemento a un conjunto es bien definido, de manera que para un conjunto “A” en un universo U, el elemento simplemente pertenece o no pertenece (Ponce cruz , 2010).

$$f_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si y solamente si } x \in A \\ 0 & \text{si y solamente si } x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

En un sentido más amplio, Zadeh propone la generalización de la función característica, de modo que ella pueda asumir infinitos valores en el intervalo [0,1] y es representado por pares ordenados.

$$A = \{ \mu_A(x) / x \} \quad x \in U \quad (2.2)$$

Donde

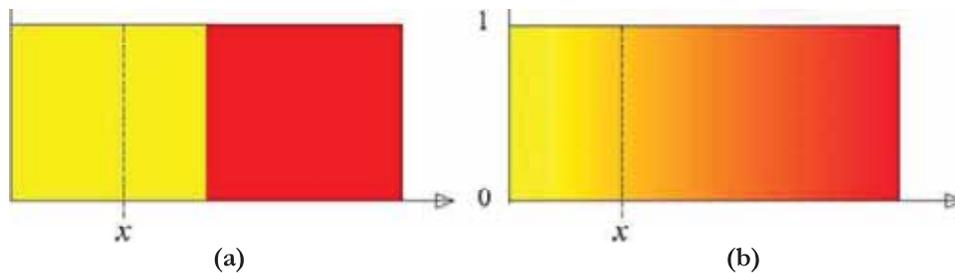
$\mu_A(x)$	:	Representa el grado de pertenencia de $x$ en el conjunto A
$A$	:	Conjunto difuso
$x$	:	Variable de interés (elemento del universo U)
$U$	:	Universo de discurso

Adicionalmente, un elemento puede pertenecer a más de un conjunto difuso, con diferente grado de pertenencia.

En la figura 13 (a) se puede observar que si un elemento “x” fuera movido en dirección de los límites del conjunto A (color amarillo), en el punto de cruce ocurrirá repentinamente un salto en el comportamiento de su grado de pertenencia,

inicialmente de miembro para no miembro. También, el grado de pertenencia en los límites es indeterminado.

Por otro lado, en la figura 13 (b) la lógica difusa puede percibir las variaciones ocurridas en los puntos de transición de un color para otro. Los conjuntos (rango de colores) son fácilmente representables por medio de un lenguaje difuso. Las funciones de pertenencia pueden representar la variación gradual en las tonalidades. Por ejemplo, el mismo elemento “x” posee un grado de pertenencia 0,8 en la función de pertenencia de color amarillo y grado de pertenencia 0,2 en la función de pertenencia de color rojo. En la figura 13 (b), el eje “ X ” representa el universo de discurso del elemento “x” y el eje “ Y ” representa el grado de pertenencia definido entre 0 y 1.



**Figura 13.** Lógica booleana y difusa  
**Fuente:** Inteligencia artificial - Pedro Ponce

En este momento, es importante definir el concepto de grado de pertenencia. El cual es definido por un número en el intervalo de [0,1] que determina “cuanto” una variable pertenece a un determinado conjunto. En la lógica booleana, solamente existen dos grados de pertenencia: 0% si no pertenece y 100% si pertenece al conjunto. Por otro lado, en la lógica difusa existe un rango de valores entre 0% y 100%. El grado de pertenencia es descrito por la ecuación 2.2

## OPERACIONES SOBRE CONJUNTOS DIFUSOS

1. **INCLUSIÓN O SUBCONJUNTO:** A es un subconjunto de B:  $\mu_{A(x)} \leq \mu_{B(x)} \forall x$
2. **UNIÓN:** La unión de los conjuntos difusos A y B es el conjunto difuso C y se escribe como C= A OR B; su función de pertenencia está dada por:

$$\mu_{C(x)} = \max(\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}) = \mu_{A(x)} \cup \mu_{B(x)}$$

- 3. INTERSECCIÓN:** La intersección de los conjuntos difusos A y B es el conjunto difuso C y se escribe como C= A AND B; su función de pertenencia está dada por:

$$\mu_{C(x)} = \min(\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}) = \mu_{A(x)} \cap \mu_{B(x)}$$

- 4. NEGACIÓN O COMPLEMENTO:** El complemento del conjunto difuso A, denotado por  $\bar{A}$  o NOT(A), se define como:  $\mu_{\bar{A}(x)} = 1 - \mu_{A(x)}$

- 5. PRODUCTO CARTESIANO:** Si A y B son conjuntos difusos en X e Y, el producto cartesiano de los conjuntos A y B en el espacio X x Y tiene la función de pertenencia:  $\mu_{A \times B(x, y)} = \min(\mu_{A(x)}, \mu_{B(y)})$

- 6. CO-PRODUCTO CARTESIANO:** A + B en el espacio X x Y tiene la función de pertenencia:  $\mu_{A \times B(x, y)} = \max(\mu_{A(x)}, \mu_{B(y)})$

## 2.2.10. FUNCIONES DE PERTENENCIA

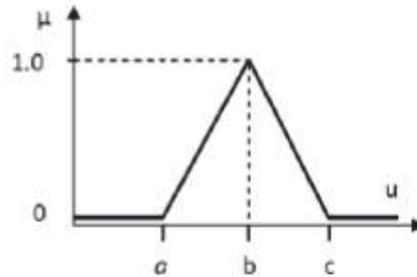
Un conjunto difuso es asociado a una variable lingüística definido por una palabra o un adjetivo que da un intervalo de opciones bastante amplio, a diferencia de los conjuntos clásicos que se limitan a dos alternativas (0,1) o (Falso - Verdadero).

La principal característica para definir conjuntos difusos es la función de pertenencia que varía siempre entre un rango mínimo y máximo de un intervalo previamente determinado, dando lugar a que existan varias funciones de pertenencia tales como la función de pertenencia de tipo triangular, singleton, exponencial, gamma y tipo trapezoidal.

Las funciones de pertenencia que se utilizan en el desarrollo del control difuso son de tipo trapezoidal y de tipo triangular.

## FUNCIÓN TRIANGULAR

Se determinan con 3 variables. Se define por tres puntos a, b, c. Esta función es cero para valores menores de a y mayores de c, toma valores entre [0,1] entre a y b, y entre b y c.



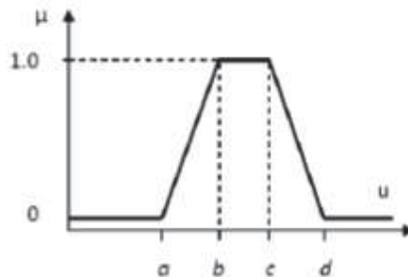
**Figura 14.** Función de tipo triangular  
**Fuente:** Lara Lozano, 2009

Usando operadores min. y max. la expresión obtenida para la función triangular se puede expresar como:

$$\text{Triángulo}(x, a, b, c) = \max \left[ \min \left( \frac{x-a}{b-a}, \frac{x-c}{b-c} \right), 0 \right]$$

## FUNCIÓN TRAPEZOIDAL

Se determinan con 4 variables. Se define por cuatro puntos a, b, c, d. Esta función es cero para valores menores de a y mayores de d, valen uno entre b y c, y toma valores en [0,1] entre a y b, y entre c y d.



**Figura 15.** Función de Tipo Trapezoidal  
**Fuente:** Lara lozano, 2009

$$f(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{x-d}{c-d} & c \leq x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases}$$

Usando operadores min. y max. la expresión obtenida para la función trapezoidal se puede expresar como:

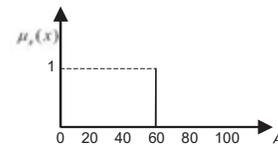
$$\text{Trapezoidal}(x, a, b, c, d) = \max \left[ \min \left( \frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{x-d}{c-d} \right), 0 \right]$$

### FUNCIÓN SINGLETON

Un conjunto definido que contiene un único elemento  $x_0$  es denominado una singularidad difusa, es uso de singleton. Simplifica considerablemente el proceso de inferencia y posibilita la implementación electrónica eficiente de los sistemas de inferencia difusas.

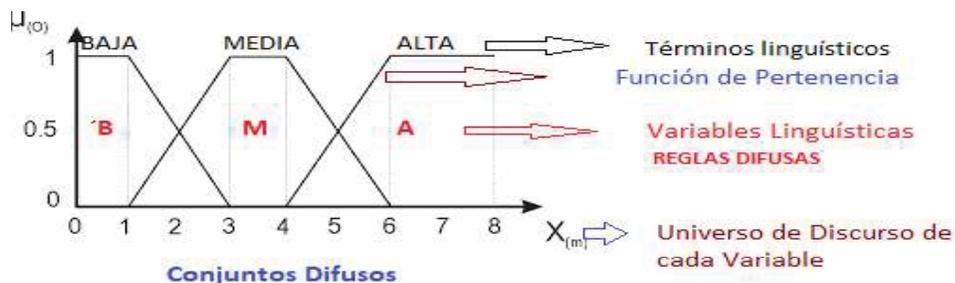
$$\mu_s(x, A) = \begin{cases} 0 & ; x \neq x_0 \\ 1 & ; x = x_0 \end{cases}$$

Ejemplo:  $\mu_s(x, 60)$



### VARIABLES LINGÜÍSTICAS

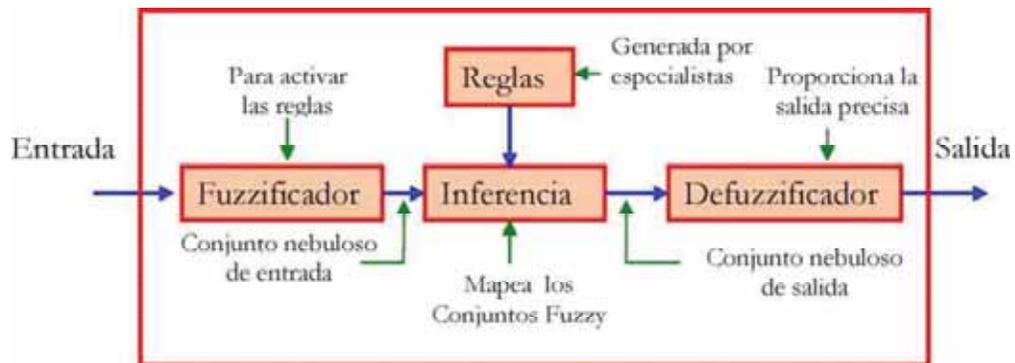
Son variables cuyos valores representan a los elementos de los conjuntos difusos.



**Figura 16.** Características de las variables lingüísticas  
Fuente: Propia

### 2.2.11. CONTROLADOR DE LÓGICA DIFUSA

El sistema difuso es un modelo general que permite la identificación de los módulos que componen tal sistema, proporcionando así la idea del flujo de información dentro del mismo. Básicamente está constituido por 3 etapas, como es mostrado en la figura 17, donde están definidas las funciones de cada una de estas etapas (Ponce cruz , 2010).



**Figura 17.** Sistema de inferencia difuso  
**Fuente:** Inteligencia artificial - Pedro Ponce

En la figura 17, se considera a la entrada como no difusa, debido a que en la mayoría de las aplicaciones prácticas es el resultado de mediciones. Por lo tanto, es necesario efectuarse la conversión de las entradas en una representación conocida como conjuntos difusos y a esto se le denomina la difusificación. Además de eso, en esta etapa se determinan los grados de pertenencia de las reglas para las diferentes situaciones.

En la segunda etapa, se establece el conjunto de reglas, como la relación de las variables de entrada y salida, las cuales son obtenidas por el conocimiento y por la experiencia del especialista en la aplicación. Una vez obtenido el conjunto difuso de salida resultante del proceso de inferencia, es necesario efectuar la interpretación de esa información, pues en las aplicaciones prácticas son requeridas salidas precisas, el cual es realizado en la etapa de desdifusificación.

- **DIFUSIFICACIÓN**

La difusificación es la conversión de las entradas exactas (número reales) para el dominio difuso. El difusificador atribuye valores lingüísticos (grados de pertenencia) empleando funciones de pertenencia a las variables de entrada. Esto se considera como una etapa de preprocesamiento de las señales de entrada, reduciendo el número de valores a ser procesado lo que significa un menor esfuerzo computacional.

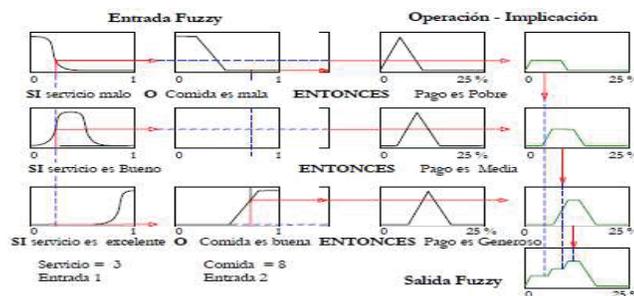
- **REGLAS E INFERENCIA DIFUSA**

Las reglas difusas son implicaciones lógicas que relacionan los conjuntos difusos de entrada con los de salida. Generalmente son proporcionadas por un especialista, en forma de sentencias lingüísticas, constituyendo un aspecto fundamental en el desempeño de un sistema de inferencia difusa, como muestra abajo.

Si "x" es A y B , entonces z es C.

Donde, A y B son los conjuntos difusos de entrada, relativos a la parte conocida como antecedentes o premisas, mientras C es el conjunto difuso de salida, relativo a la parte conocida como consecuente o conclusión.

Estas reglas poden ser definidas previamente o alternativamente generadas automáticamente a partir de una base de datos. En la etapa de inferencia, ocurren las operaciones de los conjuntos propiamente dichas, como la combinación de los antecedentes de las reglas del tipo SI - ENTONCES, generando el conjunto de salida difusa. En la figura 18, se presenta el proceso de inferencia.



**Figura 18 - Regla e inferencia difusa**

**Fuente: Propia**

En la figura 18, se muestra como ocurren las operaciones en la etapa de inferencia; la entrada exacta es transformada en entradas difusas, y con esos valores se calculan las operaciones - implicación y finalmente se obtiene la salida difusa.

- **DESDIFUSIFICACIÓN**

En el proceso de desdifusificación, es efectuada la interpretación del conjunto difuso de salida inferida por las reglas, con el objetivo de obtener un valor numérico. Esto se hace necesario porque en aplicaciones prácticas son requeridas salidas precisas con algún significado físico.

Para generar una desdifusificación se pueden utilizar distintos métodos como:

- Máximo de centros
- Media de centros
- Centro de área (Centroide) o gravedad

El método de desdifusificación que se pretende implementar es el de centro de área ya que con este se realiza un cálculo simplificado, si consideramos un universo finito y así,  $Z^*$  será una función de membresía discreta y R el número de reglas.

$$Z^* = \frac{\int_0^R \mu_R(z) \cdot z \, d_z}{\int_0^R \mu_R(z) \, d_z}$$



**Figura 19.** Proceso de desdifusificación  
**Fuente:** Propia

## TIPOS DE SISTEMAS DIFUSO

En la literatura existen varios modelos de sistemas difusos, en los cuales generalmente los antecedentes de las reglas están formados por conjuntos difusos (proposiciones lingüísticas), y la diferencia entre los modelos se da en el “consecuente” de las reglas. Alguno de los modelos más conocidos son el modelo de Mamdani.

### MODELO DE MAMDANI

El modelo de Mamdani utiliza conjuntos difusos en los “consecuentes” de las reglas difusa. En este modelo, la salida de la etapa de inferencia es representada por un conjunto difuso, que es el resultado de la agregación de las salidas inferida por cada una de las reglas, la cual en la siguiente etapa genera una salida exacta utilizando uno de los métodos de desdifusificación ya mencionados (S. Assilian, 1975).

La característica básica del modelo tipo Mamdani es el hecho que tanto los antecedentes como los consecuentes son mapeados con conjuntos difusos. Por ejemplo, una regla típica en un modelo Mamdani es de la siguiente forma:

**Si** Error es "Grande" **y** la Derivada de Error es " Pequeña" **entonces** Torque es " Alto".

En el caso en que cada una de las reglas de inferencia tenga más de una variable de entrada, es necesario aplicar una técnica de agregación de los conjuntos antecedentes, que en este caso generalmente es dada por la t- norma (min y producto). Además, en las aplicaciones prácticas se tiene N reglas en la etapa de inferencia, de las cuales son generados N conjuntos consecuentes, una por cada regla. Para obtener el conjunto final de salida de la etapa de inferencia, es hecha la composición de los N conjuntos consecuentes utilizando la s-norma (Max).

## 2.2.12. DISPOSITIVOS EN BASE A MICROCONTROLADORES

Entre los dispositivos en base a microcontroladores que pueden ser utilizados los sensores y actuadores puede ser:

### ARDUINO UNO

Arduino es una de las plataformas más populares en el mundo de la electrónica, esta plataforma es ampliamente utilizada ya que engloba tres aspectos principales:

1. Es una placa de hardware libre la cual lleva un micro-controlador ATMEGA328 en su versión básica con un programador incorporado que permite no tener que adicionar más hardware para ser reprogramado y que posee todo lo necesario para conectarlo a una PC, y empezar a programarlo de forma fácil y rápida.
2. Un entorno de programación libre, gratis y multiplataforma que puede ser instalado o ejecutado directamente que sirve para programar la placa Arduino conectada a través de un cable USB.
3. Un lenguaje de programación libre, similar al lenguaje processing pero basado en C/C++ con todas las librerías necesarias para usar las diferentes funciones del micro controlador y de los “shields” del Arduino. (Torrente, 2013)

### CARACTERÍSTICAS DEL ARDUINO

Las principales características del arduino son:

*Tabla 5. Características del arduino uno*

	ATMEGA168	ATMEGA328P	ATMEGA1280
VOLTAJE OPERATIVO	5 v	5 v	5 v
VOLTAJE DE ENTRADA RECOMENDADO	7 - 12 v	7 - 12 v	7 - 12 v
VOLTAJE DE ENTRADA LÍMITE	6 - 20 v	6 - 20 v	6 - 20 v
PINES DE ENTRADA Y SALIDA DIGITAL	14 (6 proporcionan pwm)	14 (6 proporcionan pwm)	54 (14 proporcionan pwm)
PINES DE ENTRADA ANALÓGICA	6	6	16
INTENSIDAD DE CORRIENTE	40 ma	40 ma	40 ma

<b>MEMORIA FLASH</b>	16kb (2kb reservados para el bootloader)	32kb (2kb reservados para el bootloader)	128kb (4kb reservados para el bootloader)
<b>SRAM</b>	1 kb	2 kb	8 kb
<b>EEPROM</b>	512 bytes	1 kb	4 kb
<b>FRECUENCIA DE RELOJ</b>	16 mhz	16 mhz	16 mhz

*Fuente: Arduino.cc*



*Figura 20. Placa arduino uno*

*Fuente: Arduino.cc*

### **2.2.13. PROGRAMACION ORIENTADA A OBJETOS**

Se entiende por programa a una serie de instrucciones escritas y compiladas en un determinado lenguaje de programación el cual es ejecutado mediante una secuencia lógica para realizar las acciones para el cual ha sido programado (Velarde, 2006). Dentro de ello, un lenguaje de programación es una secuencia de instrucciones escritas con una determinada semántica y sintaxis.

Usualmente para la programación de tareas sencillas se usa la programación estructurada descomponiendo a los programas en funciones o procedimientos individuales. Sin embargo, el principal inconveniente de este tipo de programación es que el código trabaja de manera independiente sin tener relación alguna con las variables con las que trabajan, por ello es necesaria la incorporación de un nuevo concepto: el objeto.

El objeto viene a ser una abstracción mediante la cual se escribe el código que debe trabajar solo para él, usando de esta forma, la programación orientada a objetos o comúnmente llamada POO (Ceballos, 2007).

La POO es definida como una técnica de programación que utiliza objetos, mensajes, métodos y clases como bloques esenciales de construcción del código, dentro de los cuales, los objetos son los elementos principales de construcción.

Existen numerosos lenguajes de programación que permiten la POO, de los cuales solo se mencionará los más utilizados.

### **C/C++**

Este lenguaje de programación es una extensión del lenguaje C, conocida en un principio como “C con clases”, su gran característica es que proporciona fácilmente las capacidades de una POO. (Deitel, 2004)

Los programas escritos con C++ están estructurados con procedimientos llamados clases y funciones contenidos dentro de la Biblioteca estándar de C++, así mismo se pueden crear y construir nuevas clases y nuevas funciones de acuerdo a las necesidades del programa que pueden ser adicionadas a estas bibliotecas.



**Figura 21.** Logo de C++  
**Fuente:** Cplusplus.com

## PyTHON

Creado a principios de los años 90, Python es un lenguaje de programación de muy alto nivel versátil, fuertemente tipado, imperativo y orientado a objetos, con una sintaxis muy limpia, clara favoreciendo una gran legibilidad del código. (Benitez, 2014)

A diferencia de C o Java, es un lenguaje semi-interpretado pues necesita un intérprete para ser ejecutado en la máquina destino. Sin embargo, como sucede en Java y otros lenguajes el código fuente es compilado en un pseudocódigo máquina intermedio denominado “bytecode optimizado” que es generado la primera vez de la ejecución para luego ser ejecutado en múltiples ocasiones. (Gonzalez, 2009)

### CARACTERÍSTICAS DE PyTHON

Es un lenguaje de programación multiparadigma, soporta la programación orientada a objetos, programación imperativa y en menor medida programación funcional, es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico, es fuertemente tipado y es multiplataforma.



*Figura 22. Logo de Python  
Fuente: Python.org*

#### 2.2.14. SENSORES

Un sensor es un dispositivo eléctrico o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en señales eléctricas. Esto se realiza en tres fases:

1. Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.

2. La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
3. El sensor dispone de una circuitería que transforma y amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta (Ebel, 1993).

## DESCRIPCIÓN DE UN SENSOR

Los descriptores estáticos definen el comportamiento en régimen permanente del sensor:

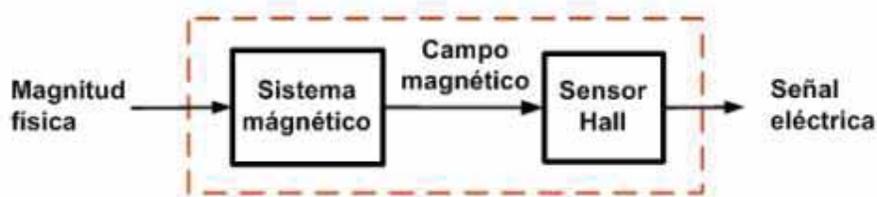
- Rango: valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.
- Exactitud: la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. El mayor error esperado entre las señales medida e ideal.
- Repetitividad: la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.
- Reproducibilidad: tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.
- Resolución: la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar.
- Error: es la diferencia entre el valor medido y el valor real.
- No linealidades: la desviación de la medida de su valor real, supuesto que la respuesta del sensor es lineal. No-linealidades típicas: saturación, zona muerta e histéresis.
- Sensibilidad: es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada:  $s = \partial V / \partial x$
- Excitación: es la cantidad de corriente o voltaje requerida para el funcionamiento del sensor.

- Estabilidad: es una medida de la posibilidad de un sensor de mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.

## TIPOS DE SENSORES

### SENSOR DE EFECTO HALL

El efecto Hall, descubierto por Edwin C. Hall en 1879, consiste en la producción de una caída de voltaje a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo. Para esto es necesario que la dirección del campo magnético sea perpendicular a la dirección de flujo de la corriente.



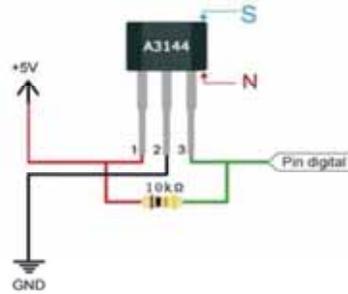
*Figura 23. Diagrama de funcionamiento del sensor de efecto hall*

*Fuente: Arduino.cc*

El campo magnético transversal ejerce una fuerza desviadora (Fuerza de Lorentz) sobre el conductor o semiconductor. Esta fuerza causa la desviación de los portadores de carga que se mueven a través del material. Como resultado, aparece una diferencia de potencial  $V_{xy}$  (denominada voltaje de Hall) entre los extremos del conductor. Este voltaje es proporcional a la intensidad del campo magnético aplicado y su polaridad depende del signo de los portadores de carga.

El efecto Hall se presenta en conductores y en semiconductores. Las diferencias de potencial producidas en tiras metálicas son muy pequeñas, siendo a menudo enmascaradas por el ruido. Por esto, los dispositivos comerciales usan materiales semiconductores especiales, donde el efecto Hall es más notable. En estos casos, el elemento básico es generalmente una tira de arseniuro de galio (GaAs) o de indio (InAs) la cual, cuando se polariza mediante una corriente constante y se sumerge en un campo magnético transversal a su superficie, genera un voltaje proporcional a

la intensidad del campo. Este voltaje es reforzado por un amplificador operacional incorporado en el dispositivo y se procesa para proporcionar una señal de salida útil.



**Figura 24.** Sensor de efecto hall  
Fuente: [www.mlstatic.com](http://www.mlstatic.com)

**Tabla 6.** Características del sensor de efecto hall

Características eléctricas $T_A = +25^\circ\text{C}$ y $V_{CC} = 5\text{V}$					
Características	Símbolo	Min.	Típico	Máx.	Unidades
Tensión de alimentación	$V_{CC}$	4.5	-	6.0	V
Corriente de alimentación	$I_{CC}$	-	9.0	14	mA
Tensión de salida (con $B=0$ )	$V_{OUT}$	2.25	2.5	2.75	V
Sensibilidad	$\Delta V_{OUT}$	0.75	1.3	1.72	mV/G
Ancho de banda (-3dB)	$BW$	-	23	-	KHz
Resistencia de salida	$R_{OUT}$	-	50	-	$\Omega$
Histéresis	$B_{HYS}$	30	52	-	G

Fuente: Universidad Nacional de San Luis - facultad de ingeniería electrónica

## SENSOR DE CAUDAL

Los sensores de caudal recogen las velocidades del flujo de aire o líquidos. Los sensores de caudal usan diferentes principios de medición. Los sensores de caudal para líquidos funcionan por ejemplo sobre la base de ultrasonidos, efecto hall, etc. Sensores de caudal para profesionales para la inspección y control. Esta medición sin contacto tiene la ventaja que los sensores no están expuestos a golpes de ariete y medios sólidos. Por otro lado, los sensores de caudal también son utilizados en el sector de calefacción, ventilación y climatización para el análisis de la velocidad del aire. Mediciones que usan el principio manométrico de una película térmica permiten trabajar en un amplio rango de temperatura y caudal.

Los sensores de caudal son muy usados en varias aplicaciones, puesto que el flujo es parámetro necesario en varios procesos, a nivel doméstico se puede usar para medir el consumo de agua.



**Figura 25.** Características del sensor de caudal  
**Fuente:** [www.burkert.es](http://www.burkert.es)

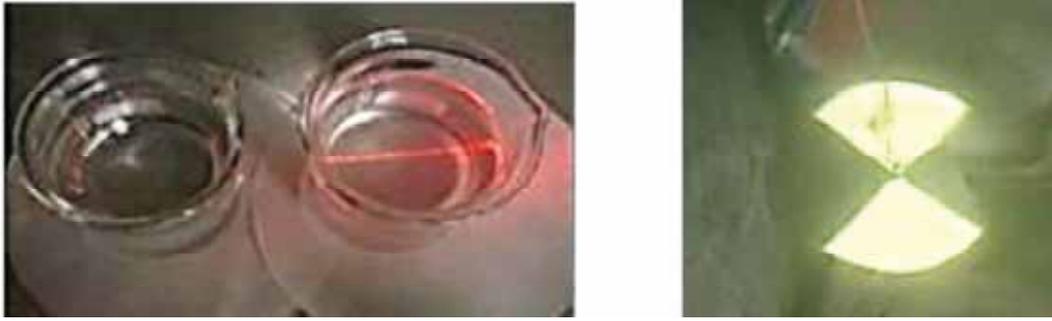
## **SENSOR DE TURBIDEZ**

Los sensores de turbidez se pueden utilizar en la medición de la calidad del agua en ríos, arroyos, aguas residuales y mediciones en afluentes, investigaciones en transporte de sedimentos y mediciones de laboratorio.

El sensor de turbidez detecta la calidad del agua mediante la medición de nivel de turbidez. Es capaz de detectar partículas en suspensión en el agua mediante la medición de la transmitancia de luz y la frecuencia que cambia con la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua. A medida que aumenta la SST, el nivel de turbidez de líquido aumenta.



**Figura 26.** Sensor de turbidez  
**Fuente:** [Arduino.cc](http://Arduino.cc)

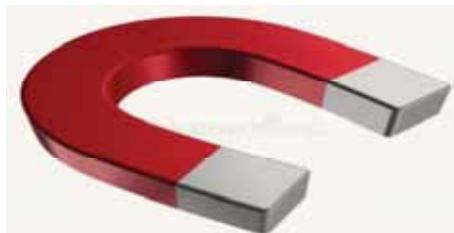


**Figura 27.** Funcionamiento del turbidímetro digital y analógico  
*Fuente: Paper, FCQ-UACH*

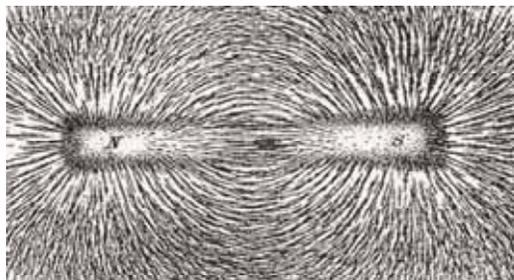
### 2.2.15. GENERADOR DE CAMPO MAGNÉTICO (IMÁN)

El imán es un cuerpo o dispositivo con un magnetismo significativo, de forma que atrae a otros imanes y/o metales ferromagnéticos (por ejemplo, hierro, cobalto, níquel y aleaciones de estos). Puede ser natural o artificial.

Los imanes naturales mantienen su campo magnético continuo, a menos que sufran un golpe de gran magnitud o se les aplique cargas magnéticas opuestas o altas temperaturas.



**Figura 28.** Imán  
*Fuente: www.electrotecnia.com*

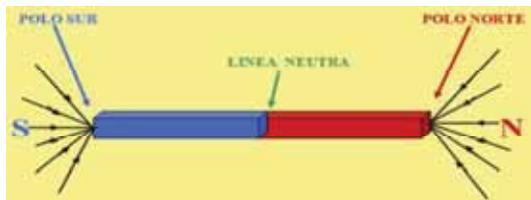


**Figura 29.** Campos magnético de un imán  
*Fuente: www.dreamstime.com*

### PARTES DE UN IMÁN

1. **EJE MAGNÉTICO:** Es una barra de la línea que une los dos polos.

2. **LÍNEA NEUTRAL:** Es una línea de la superficie de la barra que separa las zonas polarizadas, es la zona de mínima atracción de un imán.
3. **POLOS:** Vienen a ser los dos extremos del imán donde las fuerzas de atracción son más intensas (zonas de máxima atracción de un imán). Estos polos son el polo norte y el polo sur; (no deben confundirse con positivo y negativo) los polos iguales se repelen y los diferentes se atraen. Por lo tanto, no hay atracción entre negativo y negativo o positivo y positivos, sino que hay atracción de positivo a negativo.



**Figura 30.** Partes de un imán  
**Fuente:** [www.electrotecnia.com](http://www.electrotecnia.com)

### 2.2.16. ACTUADORES

Los actuadores son dispositivos que transforman una señal de entrada que es eléctrica en otro tipo de señal, tales como eléctrica, neumática, hidráulica, etc. Tiene la capacidad de modificar o alterar las condiciones del proceso. Un actuador recibe la orden del controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control (ROMERO, 2011).

**Tabla 7.** Clasificación de actuadores

CATEGORÍAS MÁS UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS DE CONTROL	DISPOSITIVOS
ELÉCTRICOS	Relés, contactores, servomotores y motores DC, de paso, AC.
HIDRAÚLICOS	Válvulas solenoides, servoválvulas.
TÉRMICOS	Hornos y sistemas de enfriamiento.
NEUMÁTICOS	Cilindros, ventosas de sujeción por vacío y bombas centrífugas.

**Fuente:** Propia

## 2.2.17. ACTUADOR ACOPLADO A LA VÁLVULA CON MOTOR PASO A PASO

Un motor paso a paso (también llamado stepper) es un dispositivo electromagnético que convierte pulsos eléctricos en movimientos mecánicos de rotación, estos pueden acondicionarse a una válvula de compuerta de tubería. La principal característica de estos motores es que se mueven un paso por cada impulso que reciben. Normalmente los pasos pueden ser de 1,8° a 90° por paso, dependiendo del motor (PrimoPal, 2015).

Son motores con mucha precisión, que permiten quedar fijos en una posición (como un servomotor) y también son capaces de girar libremente en un sentido u otro (como un motor DC).

Hay tres tipos de motores paso a paso:

- Motor paso a paso de imán permanente
- Motor paso a paso de reluctancia variable.
- Motor paso a paso híbrido.

Los Motores paso a paso están formados por dos partes:

El estator es la parte fija del motor donde sus cavidades van depositadas las bobinas. El rotor es la parte móvil del motor construido por un imán permanente. Estas dos partes van montadas sobre un eje.



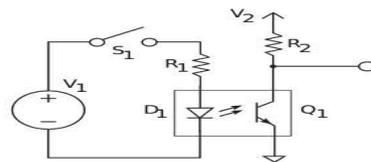
**Figura 31.** Motor paso a paso  
**Fuente:** [www.diy-makers.es](http://www.diy-makers.es)

## 2.2.18. OPTOACOPLADOR EN LA ETAPA DEL CONTROL DE POTENCIA

Un optoacoplador, también llamado optoaislador o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo led que satura un componente optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica (Bustinza Macedo & Hurtado Arenas, 2018).

### FUNCIONAMIENTO

La figura muestra un optoacoplador 4N35 formado por un led y un fototransistor. La tensión de la fuente y la resistencia en serie establecen una corriente en el led emisor cuando se cierra el interruptor S1. Si dicha corriente proporciona un nivel de luz adecuado, al incidir sobre el fototransistor lo saturará, generando una corriente en R2. De este modo la tensión de salida será igual a cero con S1 abierto y a V2 con S1 cerrado.



**Figura 32.** Optoacoplador

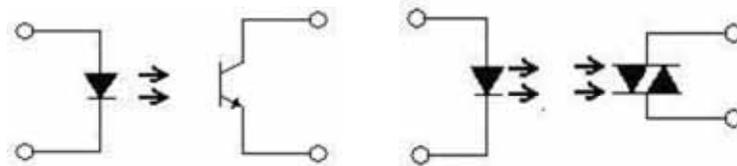
**Fuente:** [www.wikipedia.com.pe](http://www.wikipedia.com.pe)

La ventaja fundamental de un optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida.

Mediante el optoacoplador, el único contacto entre ambos circuitos es un haz de luz. Esto se traduce en una resistencia de aislamiento entre los dos circuitos del orden de MΩ. Estos aislamientos son útiles en aplicaciones de alta tensión en las que los potenciales de los dos circuitos pueden diferir en varios miles de voltios.

## TIPOS

En general, los diferentes tipos de optoacopladores se distinguen por su diferente etapa de salida. Entre los principales caben destacar el fototransistor, ya mencionado, el fotodiodo y el fototriac de paso por cero. En este último, su etapa de salida es un triac de cruce por cero, que posee un circuito interno que conmuta al triac sólo en los cruces por cero de la fuente:



**Figura 33.** Optoacoplador con fototransistor y fototriac

**Fuente:** [www.wikipedia.com.pe](http://www.wikipedia.com.pe)

### 2.2.19. MOTOR ELÉCTRICO

Es un máquina eléctrica rotatoria responsable de convertir la energía eléctrica en energía mecánica.

Los motores se utilizan principalmente como actuadores y como dispositivos de corrección final (manejo de servomecanismos y posicionamiento de objetos, etc.). Los motores son ampliamente usados en la industria, son de fácil mantenimiento y construcción. (Coaquira Castillo & Palomino Quispe, 2013)



**Figura 34.** Motor eléctrico

**Fuente:** [www.motorex.com.pe](http://www.motorex.com.pe)

## **PARTES DE UN MOTOR ELÉCTRICO**

- Carcasa
- Estator
- Rotor
- Rodamientos
- Ventilador
- Bobinado
- Devanado
- Placa de bornes
- Escobillas
- Anillos

Existen dos tipos muy comunes de motores: motores monofásicos y trifásicos (motores - electrotecnia, 2007) y (Coaquira Castillo & Palomino Quispe, 2013).

### **2.2.20. DIFERENCIAS DEL MOTOR MONOFÁSICO Y TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN**

#### **MOTOR MONOFÁSICO DE INDUCCIÓN**

- Ofrecen una velocidad constante y de torque bajo
- Posee dos devanados en el estator uno principal o de macha y otro de arranque
- Poseen una potencia de hasta 3KW.
- Pueden alimentarse entre una fase y el neutro.
- Se usa en ventiladores compresores de aire, bombas de agua, calefacción, ventilación, lavadoras, taladros, refrigeración comercial y doméstica, y todo lo que tenga que ver con el movimiento del aire.
- No produce un campo magnético rotatorio, solo pueden crear un campo alterno. Esto significa que primero tiran en una dirección y luego de manera contraria. Asimismo, al no generar un campo rotatorio no puede arrancar por sí solo. Necesita de un condensador para el arranque.
- Consta de una parte fija (estator) y otra móvil (rotor).
- Fáciles de reparar y cuidar.

- Precio más asequible.

### **MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN**

- Es robusto y de poco mantenimiento.
- El motor de inducción es económico debido a su construcción sencilla.
- Muy usado en el sector industrial ya que posee una potencia mayor de 150% que un motor monofásico.
- Poseen una potencia de hasta 300KW y velocidades entre 900 y 3600 RPM.
- Es más económica ya que usa menos material conductor para transmitir energía. Es decir, disminuye el consumo de energía.
- Consta de una parte fija (estator) y otra móvil (rotor).
- Tiene una marcha más pareja que el motor monofásico.
- Su costo es un poco más elevado.

### **2.2.21. MOTOR REDUCTOR (MONOFÁSICO DE INDUCCIÓN)**

Los reductores de velocidad con sistemas formados por engranajes que hacen que los motores eléctricos funcionen a distintas velocidades.

Los reductores o motor reductores son necesarios para toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial que precisan reducir de forma segura su velocidad. Los reductores de velocidad son creados a base de engranajes, mecanismos circulares o cerrados con geometría diferentes, según su tamaño y la función en cada motor eléctrico.

El mal funcionamiento de los motores reductores pueden llegar a presentar ruidos y recalentamientos, de aquí la importancia de los motores reductores que les permite a las empresas ser aun competitivas.

### **VENTAJAS AL USAR UN MOTOR REDUCTOR**

- Se consigue un equilibrio perfecto entre la velocidad y la potencia transmitida.

- Se logra una eficacia en la transmisión de la potencia prestada por el motor eléctrico.
- Aumenta la seguridad en la transmisión, reduciendo tanto gastos como mantenimientos.
- Requiere menos espacio y mejor rigidez para el montaje.
- Se minimiza el tiempo de su instalación.



**Figura 35.** Motor reductor eléctrico  
**Fuente:** [www.tercesa.com.com.pe](http://www.tercesa.com.com.pe)

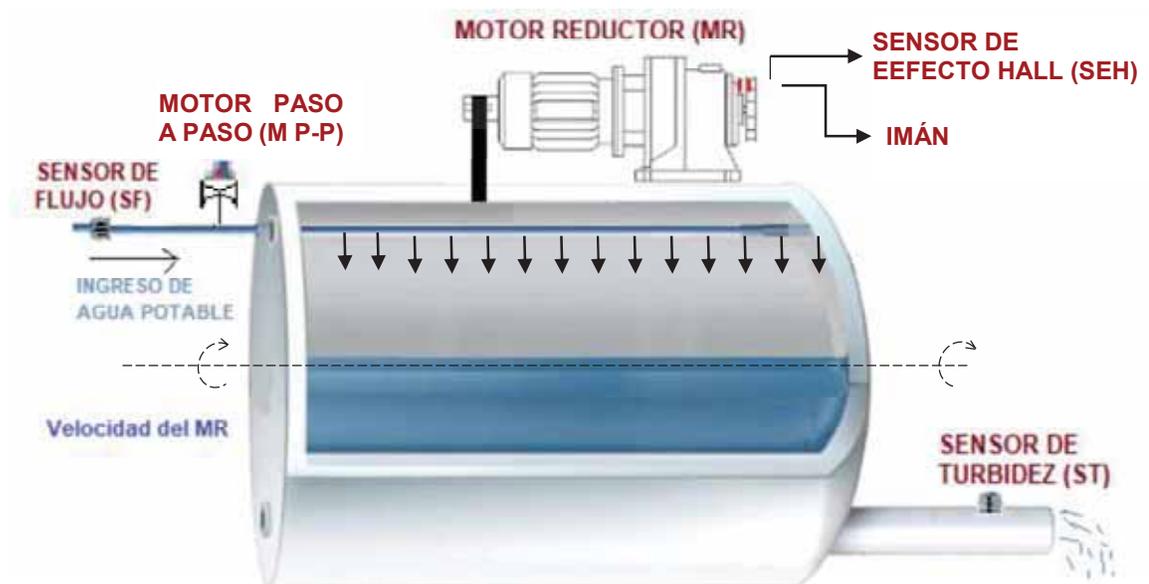
## CAPITULO III

### REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### 3.1. PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN

La propuesta tiene como alcance implementar al prototipo la técnica de control difuso de modo que el funcionamiento sea automático y cumpla con el parámetro de la OMS.

A continuación se muestra la figura del modelamiento de la planta de lavado.



*Figura 36. Planta de lavado*

*Fuente: Propia*

#### 3.1.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA LA PLANTA DE LAVADO

Después de construir el prototipo, se realiza la selección de las tecnologías para la implementación del sistema de lavado.

Se procede la elección de componentes para el diseño del sistema, se identificaron 5 componentes, los cuales son:

- Sensores: de flujo (SF), de efecto hall (SEH) y de turbidez (ST).
- Actuadores: motor paso a paso (M P-P), motor reductor (MR).

- Microcontroladores: pic32, spinneret o Arduino uno
- Técnica: control difuso
- Conductores eléctricos, válvulas compuerta, tubería de conducción, aspersor

### 3.1.2. SELECCIÓN DE SENSORES DE FLUJO DE AGUA

Se desea saber cuántos litros de agua se utilizará, el sensor de flujo permite determinar si hay circulación de fluido en una tubería, este sensor verifica la presencia o ausencia de flujo, mide el caudal.

#### FUNCIONAMIENTO

El sensor de flujo internamente tiene un rotor con elise, el imán se encuentra acoplado en la elise, la cámara donde se encuentra el rotor es totalmente cerrada y aislada del circuito evitando fugas de agua al exterior. Dentro de la cámara hay un sensor de efecto hall que detecta campos magnéticos que origina el imán, el sensor de efecto hall envía los pulsos por uno de los cables del sensor, los pulsos deberán ser convertidos a caudal mediante el factor de conversión.

Se plantean los requerimientos para la selección.

**Tabla 8.** Requerimientos del sensor de flujo

DESCRIPCIÓN	REQUISITO
Precio	Económico
Temperatura de trabajo	-5 a +35°C
Conexión	Con acoplamiento a tubería comercial mediante nipples
Consumo de energía	La menor posible
Tipo de Salida	Pines

*Fuente: Propia*



**Figura 37.** Tipos de sensores de flujo

**Tabla 9. Posibles sensores de flujo**

Descripción	YF-S201	FS300A	FS400A
Costo s/.	100.00	150.00	200.00
Conexión – rosca externa	1/2"	3/4"	1"
Rango del caudal	1-30 L/min	1-60 L/min	1-60 L/min
Presión máx. del agua	1.75-2MPa (17 bar)	1.2MPa (12bar)	1.2MPa (12bar)
Temperatura de operación	-25 °C – 80 °C	-25 °C – 80 °C	-25 °C – 80 °C
Humedad relativa	25%RH - 95%RH	25%RH - 95%RH	25%RH - 95%RH
Tipo de Salida	Pines	Pines	Pines
Voltaje de Alimentación	3.5VDC – 24VDC	5VDC – 18VDC	5VDC – 18VDC
Corriente de operación	15 mA (5 V)	15 mA (5 V)	15 mA (5 V)
Factor de conversión "K" F(Hz) = K x Q(L/min)	7.0	5.5	3.5
Vol. prom. por pulso (mL)	2.25mL	5.00mL	5.00mL
Sensores necesarios	1	1	1
Durabilidad	300.000 ciclos/min.	300.000 ciclos/min	300.000 ciclos/ min
Disponibilidad en mercado	Sí	Sí	Sí
Documentación	Amplia	Amplia	Amplia

Fuente: Propia

Se elige el modelo YF-S201 por el rango que presenta (1-30 L/min) y por el diámetro de la tubería comercial, el caudal existente en las tuberías de la escuela profesional Ingeniería Electrónica no supera los 14 Lt/min. Por tanto el sensor seleccionado se adecúa con la disposición física del lugar donde se realizará las pruebas e instalación.

Las ventajas del sensor es el menor costo, la disponibilidad en el mercado local, la amplia documentación, las condiciones de temperatura de trabajo, asimismo el bajo consumo de energía que permite mantener un diseño eficiente y efectivo del sistema de automatización.

**Tabla 10. Características técnicas del sensor YF-S201**

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Voltaje de operación	3.5 - 24VDC
Tipo de detección	Campos magnéticos
Precisión de la medida	± 5%
Valor de salida	4 - 20 mA

Fuente: Propia



**Figura 38.** Sensor de flujo YF-S201  
**Fuente:** [www.naylamp.mechatronics.com](http://www.naylamp.mechatronics.com)

### **CARACTERÍSTICAS PARTICULARES**

El sensor de flujo posee tres cables para su conexión, rojo y negro para la alimentación y amarillo para la salida de los pulsos. La salida de pulsos es una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal. El factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (Lt/min) es de  $k=7.0$

#### **3.1.3. SELECCIÓN DE SENSORES DE EFECTO HALL PARA EL TAMBOR**

Del prototipo construido, se debe calibrar la velocidad del tambor para que no deteriore a las zanahorias. Conocer la velocidad del tambor es importante para que no haya maltrato o deterioro y para que haya mejor desprendimiento de las partículas adheridas a la zanahoria.

El tambor del prototipo debe estar conectado mediante una faja de transmisión al motor reductor monofásico, la velocidad del tambor ocasiona un movimiento rotacional y traslacional en la zanahoria.

Para esta labor se evalúa tecnologías de los sensores de efecto hall, este sensor mide campos magnéticos e identifica la frecuencia electromagnética.

## FUNCIONAMIENTO

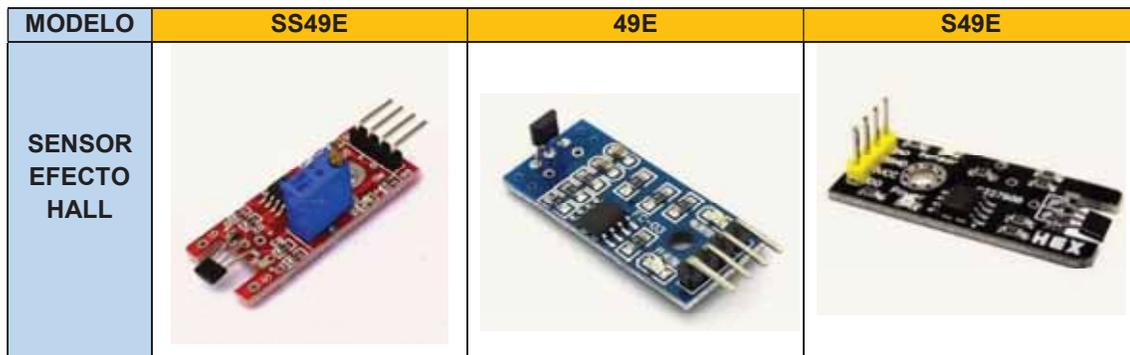
En el motor reductor se coloca el sensor y el imán. El sensor detecta campos magnéticos generados por el imán, posteriormente enviará pulsos, para ser convertidos a velocidad (RPM) mediante el factor de conversión  $k= 6.7$ .

Requerimientos para la selección del sensor.

**Tabla 11.** Requerimientos del sensor de efecto hall

DESCRIPCIÓN	REQUISITO
Precio	Económico
Temperatura de trabajo	-5 a +35°C
Ruido	Bajo
Consumo de energía	La menor posible
Tipo de salida	Digital
Tipo de sensor	Detección de campos magnéticos (efecto hall)

*Fuente: Propia*



**Figura 39.** Tipos de sensores de efecto hall

*Fuente: www.naylamp.mechatronics.com*

**Tabla 12.** Posibles sensores de efecto hall

DESCRIPCIÓN DE MODELO	SS49E	49E	S49E
Costo s/.	90.00	100.00	80.00
Temperatura	-40 °C – +85 °C	-10°C – +50 °C	-40 °C – +85°C
Voltaje de alimentación	3.3VCC – 6VCC	3.3VCC – 5.5VCC	3.3VCC – 6VCC
Corriente de operación	25mA	16mA	25mA
Señal de salida	Analogica - Lineal	Analogica	Digital Do Analógica Ao
Comparador	LM 393	LM 3141	LM 393
Ruido	Bajo	Bajo	Bajo
Precisión de la medida	± 5%	± 5%	± 5%
Disponibilidad en mercado local	Sí	Sí	Sí
Documentación	Amplia	Amplia	Amplia
Trimpot para regular sensibilidad	Sí	No	No

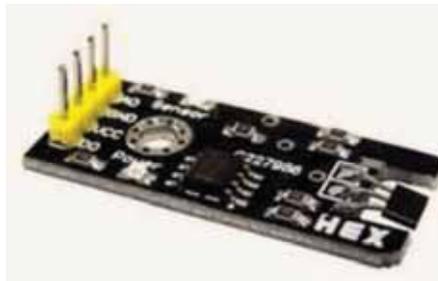
*Fuente: Propia*

Se elige el modelo sensor de efecto hall S49E por los requerimientos necesarios y las ventajas del sensor, el costo, la disponibilidad en el mercado local, la amplia documentación en la web, por las condiciones de trabajo y al bajo consumo de energía porque permitirá mantener un diseño eficiente y efectivo del sistema de automatización.

**Tabla 13.** Características técnicas del sensor S49E

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Voltaje de operación	3.3 VDC – 6.0VDC
Tipo de medición	Campo magnético
Precisión de la medida	± 5%
Valor de salida	4 - 25mA

**Fuente:** Propia



**Figura 40.** Sensor S49E

**Fuente:** [www.naylamp.mechatronics.com](http://www.naylamp.mechatronics.com)

### 3.1.4. SELECCIÓN DEL SENSOR DE TURBIDEZ

Del sistema de lavado nos interesa si las zanahorias están limpias.

Para tal tarea es necesario un sensor de turbidez que pueda detectar la presencia de partículas suspendidas en el agua.

#### **FUNCIONAMIENTO**

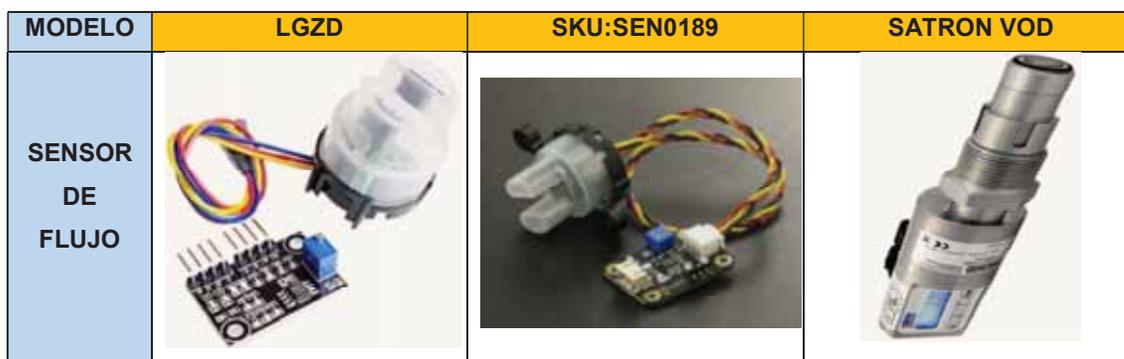
El sensor de turbidez detecta la calidad del agua, es capaz de detectar partículas en suspensión mediante la medición de la transmitancia de luz y la frecuencia que cambia con la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua. A medida que aumenta la SST, el nivel de turbidez de líquido aumenta.

En las siguientes tablas se muestran los requerimientos para la selección del sensor de turbidez disponibles.

**Tabla 14. Requerimientos del sensor de turbidez**

Descripción	Requisito
Precio	Económico
Temperatura de trabajo	-5°C - +35°C
Ruido	Bajo
Consumo de energía	La menor posible
Tipo de Salida	Analógica/Digital
Tipo de Sensor	Que detecte la calidad del agua (turbidez)

*Fuente: Propia*



**Figura 41. Tipos de sensor de turbidez**

*Fuente: www.naylamp.mechatronics.com*

**Tabla 15. Posibles sensores de turbidez**

DESCRIPCIÓN DE MODELO	LGZD	SKU:SEN0189	Satron VOD
Costo s/.	330.00	100.00	800.00
Temperatura de funcionamiento	-30 °C – +80 °C	-10°C – +90 °C	-40 °C – +80°C
Voltaje de Alimentación	5 VDC	5 VDC – 6 VDC	5 VDC - 12VDC
Corriente de operación	30 mA (MAX)	40 mA (MAX)	40 mA (MAX)
Tipo de salida	Analogica Digital	Analogica Digital	Digital
Máxima velocidad de SPI	10Mbit/s	10Mbit/s	100Mbit/s
Trimpot para ajuste de sensibilidad	Sí	Sí	Automático
Ruido	Bajo	Bajo	Muy Bajo
Disponibilidad en mercado	Sí	Sí	Sí
Documentación	Escaso	Amplia	Escaso

*Fuente: www.naylamp.mechatronics.com*

Se considera emplear el sensor de turbidez SEN0189, las ventajas de este tipo de sensor es el tipo de salida, el costo económico, la disponibilidad en el mercado local, al amplia documentación y las condiciones a la zona de trabajo; asimismo el bajo consumo de energía.

**Tabla 16.** Características técnicas sensor sen0189

<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b>	
Voltaje de operación	5 - 6VDC
Tipo de medición	Transmitancia de la luz
Tiempo de respuesta	<500ms
Resistencia de aislamiento	100M (Min)
Precisión de la medida	± 5%
Salida digital	Señal de nivel alto / bajo (puede ajustar el valor umbral ajustando el potenciómetro)
Salida analógica	0 – 1024 UNT
Valor de salida	40mA (max.)

*Fuente: Propia*

### **CARACTERÍSTICAS PARTICULARES**

El sensor de flujo posee tres cables para la conexión, rojo y negro para la alimentación y amarillo para la salida de los pulsos. La salida mide la transmitancia de luz desde 0 - 626 (calibrado), donde en 626 corresponde al paso total de la transmitancia de luz desde el emisor al receptor del sensor, por tanto 626 equivale a 0 UNT. y 0 equivale a 626 UNT.

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

- Dimensiones: 38 mm\*28 mm \* 10 mm / 1.5 pulgadas \* 1.1 pulgadas \* 0.4 pulgadas
- Peso: 30g



**Figura 42.** Sensor sen 0189

*Fuente: [www.naylamp.mechatronics.com](http://www.naylamp.mechatronics.com)*

### **3.1.5. SELECCIÓN DEL MOTOR PASO A PASO PARA ACOPLAR A LA VÁLVULA DE COMPUERTA**

A la planta debe ingresar agua para que las zanahorias sean lavadas, para esta acción es necesario contar con una válvula de compuerta conectada a la red de

abastecimiento; y para que la válvula sea automática se adaptará el motor paso a paso sobre la válvula de compuerta o sino se seleccionará una electroválvula.

Se plantean los requerimientos para la selección de los actuadores en las siguientes tablas.

**Tabla 17. Requerimientos del actuador**

DESCRIPCIÓN	REQUISITO
Precio	Económico
Actuador	Motor paso a paso con driver de operación o electroválvula
Temperatura de trabajo	-5 a +35°C
Tipo	Hibrido
Fases	2
Ángulo de paso	Sí
Consumo de energía	Menor

*Fuente: Propia*

MODELO	PRIMODAL PHB42S34-430A NEMA 17	PRIMODAL PHB42S48-402A NEMA 17	PRIMODAL PHB42S63-430-AD2A NEMA 17
ACTUADORES			

**Figura 43. Tipos de actuadores para adaptar a la válvula compuerta**

*Fuente: www.naylamp.mechatronics.com*

**Tabla 18. Posibles actuadores**

DESCRIPCIÓN DE MODELO	MOTOR PASO A PASO		
	PRIMODAL PHB42S34-430A NEMA 17	PRIMODAL PHB42S48-402A NEMA 17	PRIMODAL PHB42S63-430-AD2A NEMA 17
Costo s/.	70.00	90.00	140.00
Temperatura de funcionamiento	Medio seco -10 °C - 80 °C	Medio seco -10 °C - 80 °C	Medio seco -10 °C - 80 °C
Par de operación	0.28Nm	0.52Nm	0.8Nm
Ángulo de paso	1.8 grados	1.8 grados	1.8 grados
Presición de áng. de paso	+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%
Dimensiones del eje	5mmx34mm	5mmx48mm	5mmx63mm
Corriente de operación	0.4A /fase	1.7A /fase	2.3A /fase
Voltaje de alimentación	12 - 48 Vdc	12 - 48 Vdc	12 - 48 Vdc
Nro. de cables	4	4	4
Peso	220 gr	350 gr	510 gr

Resistencia del devanado por fase	3 ohm	3 ohm	3 ohm
Fases	2 (bipolar)	2 (bipolar)	2 (bipolar)
Tipo	Hibrido	Hibrido	Hibrido
Disponibilidad en Mercado local	SÍ	SÍ	SÍ
Documentación	Amplia	Amplia	Amplia

*Fuente: Propia*

Se elige un motor paso a paso PHB42S48-402A NEMA 17 debido a que tiene ventajas en momento - fuerza de 0.52Nm. para abrir y cerrar la válvula de compuerta de agua potable, las dimensiones del eje 5mm x 48mm para acoplar a la válvula de compuerta, el costo económico, la disponibilidad en el mercado local, la amplia documentación en la web, las condiciones de trabajo, el bajo consumo de potencia.

**Tabla 19.** Características técnicas del actuador nema PHB42S48-402A -17

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Voltaje de operación	12.0 - 48 V DC
Bipolar	con 4 cables
Tiempo de respuesta (giro horario)	≤ 0.15 seg
Tiempo de respuesta (giro antihorario)	≤ 0.15 seg

*Fuente: Propia*



**Figura 44.** Actuador nema PHB42S48-402A -17 para adaptar a la válvula de compuerta

*Fuente: www.mtlab.pe*

### 3.1.6. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Para que accione al tambor del prototipo es necesario contar con un motor eléctrico, se plantean los requerimientos para la selección del motor en la siguiente tabla.

**Tabla 20. Requerimientos del motor eléctrico**

DESCRIPCIÓN	REQUISITO
Precio	Lo más barato posible
Tipo de motor	Monofásico
Lavado para un peso de	10 Kg
Fuente de alimentación	220V

*Fuente: Propia*

MODELO	SOLE 230584.06	LG 60	3MWBC8029
M O T O R  2 $\phi$			

**Figura 45. Tipos de motores eléctricos - monofásico**

*Fuente: www.mechatronics.com*

**Tabla 21. Posibles motores eléctricos**

Descripción de Modelo	SOLE 230584.06	LG 60	MWBC -8029
Costo s/.	250.00	150.00	100.00
Tipo	Monofásico	Monofásico	Monofásico
Lavado para un peso de	20 Kg	10 Kg	10 Kg
Potencia	1.49 Kw (2HP)	1.00 Kw (1.34 HP)	1.00 Kw (1.34 HP)

*Fuente: Propia*

Se escoge el motor MWBC - 8029, porque es un motor de tipo reductor monofásico (asegura la eficacia en la transmisión de la potencia prestada por el motor eléctrico), porque también es la más económica y cumple con la limitación de la tesis, Se tiene las siguientes características específicas.

**Tabla 22. Características técnicas del motor reductor MWBC - 8029**

MWBC – 8029 SAMSUNG – MONOFÁSICO	
Voltaje de operación	220V @ 50/60Hz
Motor	De inducción
Corriente	1.82 Amp.
Velocidad máxima del motor principal	240 rpm
Velocidad máxima del reductor	36 rpm
Motor reductor	Sí

*Fuente: Samsung*



**Figura 46.** Motor reductor - monofásico MWBC - 8029  
**Fuente:** Propia

### 3.1.7. SELECCIÓN DE MICROCONTROLADORES

La válvula de compuerta de la planta de lavado necesita el control para la apertura, detención o regulación de la circulación del agua. Por tal motivo, se vio por conveniente la utilización de un controlador con comunicación USB serie entre la placa y el ordenador (para subir los códigos de programa a la placa).

Dentro del mercado existen diferentes dispositivos que cumplen este tipo de requerimientos, como se mencionó en el capítulo anterior existen dos tipos de tecnología muy utilizada, dispositivos en base a microcontroladores y los dispositivos en base a ARM. A continuación se presenta una tabla comparativa que funcionan en base a un microcontrolador.

MODELO	PIC32	SPINNERET	ARDUINO UNO
M I C R O C O N T R O L A D O R			

**Figura 47.** Selección del microcontrolador  
**Fuente:** [www.mtlab.pe](http://www.mtlab.pe)

**Tabla 23. Requerimientos del microcontrolador**

MODELO	PIC32	Spinneret	Arduino uno
Precio	USD 74.00	USD 45.99	USD 29.90
Memoria Flash	512 K	32 K	32 K
RAM (byte)	128 K x 32	32 K x 32	2K x 8
Velocidad de ejecución	105 MIPS	160 MIPS	16 MIPS
Frecuencia de reloj	80 MHz	80 MHz	16 MHz
Conector usb – estándar B	Si	Si	Si
Código abierto	No	Si	Si
Disponibilidad en mercado local	No	No	Si

**Fuente:** Propia

Se considera emplear arduino uno, porque el software es de licencia libre, de código abierto, está preparado para ser adaptado diseños de circuitos impresos en la parte superior del módulo, ya que los planos de los módulos están publicados libremente, esto amplia y optimiza el uso del módulo Arduino, el lenguaje es compatible con las librerías de C++ en la programación, además el costo es económico, hay disponibilidad en el mercado local y la amplia documentación en la web, asimismo el bajo consumo de energía.

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARTICULARES DE ARDUINO UNO**

Arduino uno es una placa electrónica, completo y amigable, se basa en el microcontrolador ATmega328P. Tiene varias formas para la toma de alimentación de CC y puede alimentarse de la PC mediante un cable USB.

- Microcontrolador: ATmega328P
- Voltage de operación: 5V
- Voltage entrada (recomendado): 7-12V
- Voltage entrada (limites): 6-20V
- Digital I/O Pins: 14 (de los cuales 6 son salida PWM)
- Entradas Analógicas: 6
- DC Corriente por I/O Pin: 40 mA
- DC Corriente limite 3.3V Pin: 50 mA
- Dimensiones: 18,5mm x 43,2mm



**Figura 48.** Arduino uno  
**Fuente:** [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

### 3.1.8. SELECCIÓN DE UN GENERADOR DE CAMPO MAGNÉTICO PARA EL SENSOR DE EFECTO HALL

Es necesario tener un generador magnético (elemento ferromagnético) que suele ser un imán fijo, este debe tener una buena cobertura no menor de 1 cm. ni mayor de 5 cm y de dimensiones de 1cm x 1.5 cm Este generador se coloca fijamente en una de las paletas del motor reductor monofásico, el sensor de efecto hall calibrará la velocidad optima del tambor para que no maltrate a las zanahorias.



**Figura 49.** Generador magnético (imán)  
**Fuente:** [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

### 3.1.9. SELECCIÓN DEL CONDUCTOR ELÉCTRICO

Es necesario la flexibilidad del conductor para trabajar adecuadamente y no tener retrasos en la instalación. Este elemento permite el funcionamiento de la planta de lavado, de los sensores y del motor paso a paso.

Se plantean los tipos de conductores existentes.

TIPO	ALAMBRE O HILO	CABLE	CABLE JUMPER
CONDUCTOR ELÉCTRICO	 <p>Hilo</p>	 <p>Cable</p>	

**Figura 50.** Conductores eléctricos  
**Fuente:** [www.areatecnologia.com/electricidad.es](http://www.areatecnologia.com/electricidad.es)

**Tabla 24. Posibles conductores eléctricos**

DESCRIPCIÓN	ALAMBRE	CABLE	CABLE JUMPER
Costo por metro s/.	2.50	2.50	6.00 (40 cables)
Longitud (m)	1	1	0.1 m
Característica	Duro	Flexible	Flexible
Conductividad	Excelente	Excelente	Excelente

*Fuente: Propia*

Se utilizó 4 metros de cable y 2 unidades de cable jumper para acondicionar el circuito.

### 3.1.10. SELECCIÓN DE UNA VÁLVULA DE COMPUERTA

Las válvulas son muy usadas en sistemas de abastecimiento de agua y en fluidos.

Para la selección se necesita que una llave de la válvula detenga el agua potable con un giro mayor a 2 vueltas para notar que el motor paso a paso este respondiendo al sistema de control.

Se plantean los tipos de válvulas existentes en el mercado local.



**Figura 51. Tipos de válvulas de compuertas de agua**

*Fuente: www.válvula.com*

**Tabla 25. Posibles válvulas de compuerta de agua**

DESCRIPCIÓN	AGUJA	DE GLOBO	DE MARIPOSA
Costo s/.	25.00	25.00	30.00 (40 cables)
Cuerpo y tapa	Hierro nodular ASTM A-536	Hierro nodular ISO 7259	Hierro nodular ISO 7258
Compuerta	Revestida en bronce	Revestida en bronce	Revestida en bronce

Vástago o eje	bronce	pvc	Bronce
Apertura total (vueltas)	3.5	0.25	0.25
Conexión	½"	½"	½"
Rango de temperatura	-15 °C a 80 ° C.	-10 °C a 50 ° C.	-15 °C a 80 ° C.

*Fuente: Propia*

Se seleccionó la válvula tipo aguja debido a que cumple con los requerimientos para el uso en la planta de lavado.

### 3.1.11. TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

Las tuberías de conducción son los elementos que se encargan de abastecer agua al prototipo, el fluido se distribuye a la tina del prototipo y a los aspersores.

Para la selección del diámetro se necesita conocer el caudal y la presión.

Los diámetros comerciales son de ¼", ½", ¾", 1", 2", 3", 4", etc.



*Figura 52. Tubería de conducción de agua potable*

*Fuente: www.maestro.es.com*

### 3.1.12. ACONDICIONAMIENTO DE COMPONENTES DE CONDUCCIÓN DEL AGUA POTABLE HACIA LA PLANTA DE LAVADO

Se acondiciona las tuberías, válvulas y aspersores al prototipo.

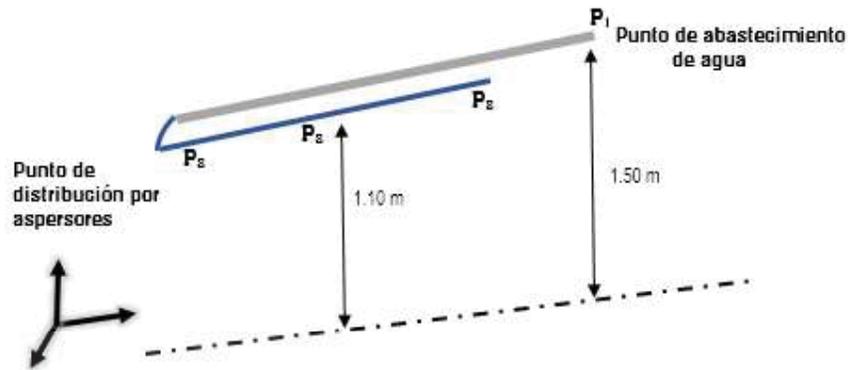
#### RESUMEN DE PROCEDIMIENTO

El abastecimiento del agua potable a la planta de lavado se toma en el cuarto piso de la escuela profesional de Ingeniería Electrónica. Empieza conectando a la

red de agua potable mediante las tuberías de ½" y ¼" llegando a los 12 aspersores de presión en una longitud de 1.10 m.

## CÁLCULO DE PRESIÓN DE DISEÑO

Diagrama referencial con las medidas obtenidas en el área experimental.



**Figura 53.** Diagrama para el cálculo de las presiones en la tubería de conducción  
**Fuente:** Propia

Aplicamos la ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g h_2$$

Dónde:

$P_1$  : Presión del agua en el abastecimiento de agua

$P_2$  : Presión del agua en los aspersores

$\rho$  : Densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : Aceleración de la gravedad

$h_1$  y  $h_2$  : Altura en la dirección de la gravedad desde los pts. 1 y 2

$v_1$  y  $v_2$  : Velocidades en los pts 1 y 2 del fluido

La presión en el punto 1 ( $h_1 = 1.5$  m.) es de 196.13 K pasc. equivale a 20mCA (metros de columna de agua), realizando el cálculo por las fórmulas de caudal  $Q=V/T = A \cdot v$  se obtiene una velocidad de 0.127 m/s. A sí mismo se calculó en la distribución por la tubería de ¼" (tubería que llega a los aspersores), la velocidad por esta es de 8.842 m/s a una altura  $h_2 = 1.10$  m. teniendo estos datos calculamos la presión que sale por los aspersores.

Reemplazando valores obtenemos:

$$196127.6 + \frac{1}{2}(1000)\chi(0.127^2) + 1000\chi(9.81)\chi 1.5 = P_2 + \frac{1}{2}\chi(1000)\chi(8.842^2) + 1000\chi(9.81)\chi 1.1$$

$$P_2 = 160969.183 \text{ N/s}^2 = 160.97 \text{ K Pasc.} \quad P_2 = 1.61 \text{ Bar.}$$

La presión que sale por las boquillas de los aspersores es la adecuada y correcta para realizar el lavado de las zanahorias.

### 3.1.13. EMISORES DE AGUA A PRESIÓN O ASPERSORES A PRESIÓN

Los emisores son los elementos finales del abastecimiento del agua para el prototipo de lavado. Para la selección de este componente debemos conocer la técnica de lavado es a presión para desprender los materiales adheridos a las zanahorias.

Con el dato obtenido de la formula Bernoulli se selecciona el tipo de microaspersor que se encuentra en el mercado.

**Tabla 26.** Características técnicas del aspersor

CARACTERÍSTICAS DEL ASPERSOR	
Diámetro de riego	2.0 m.
Presión de trabajo	1 – 2.0 bar
descarga (l/h)	40-60
material	plástico

**Fuente:** Propia

Para el prototipo de lavado se utiliza los aspersores autocompensados. Este aspersor entrega un caudal de agua uniforme en cualquier dirección.



**Figura 54.** Aspersor autocompensado

**Fuente:** [www.maestro.es.com](http://www.maestro.es.com)

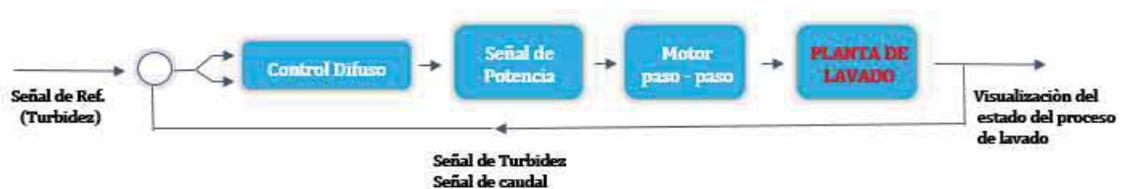
## CAPITULO IV

### DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

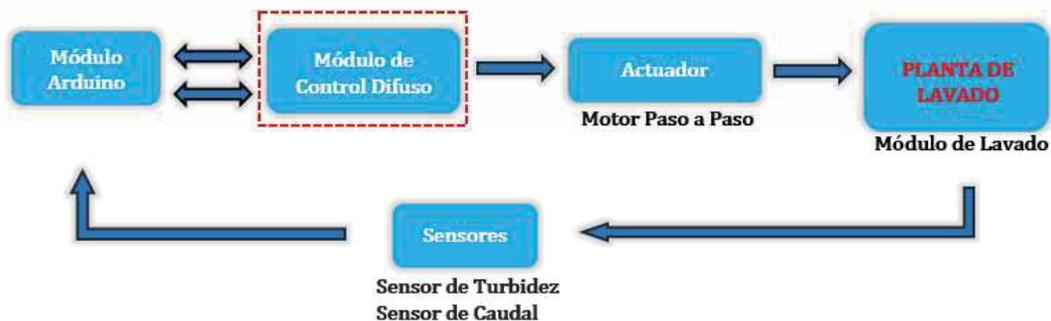
#### 4.1. DISEÑO DEL SISTEMA

##### 4.1.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

Después haber definido las tecnologías y el plan de acciones del sistema de lavado, se determinó el diagrama de bloques del sistema de automatización propuesto.



*Figura 55. Diagrama general del sistema de automatización  
Fuente: Propia*



*Figura 56. Diagrama de bloques del sistema de automatización propuesto  
Fuente: Propia*

Donde:

- **Arduino uno:** Se encarga de la lectura de los sensores de turbidez, caudal, el control del motor paso a paso y el motor reductor. Este módulo se comunica con el módulo de control mediante conexión serial.
- **Controlador difuso:** Se encarga del control general del sistema de lavado de zanahorias. El controlador gestiona las acciones en la interface y en conjunto de

datos obtenidos del módulo Arduino Uno, es decir planifica el estado del motor paso a paso.

- **Actuador:** Está constituido por el motor paso a paso, se encarga de la apertura, regulación y cierre de la válvula; responde a las acciones que realiza el controlador difuso.
- **Planta de lavado (prototipo de lavado):** En la presente tesis se utilizará el lavado con aspersor y tambor semisumergido. La estructura es de acero inoxidable, este no se corroe ante al contacto con el agua es recomendado para el uso de alimentos según la OMS y el Ministerio de salud, el prototipo tiene un diseño totalmente diferente frente a otras lavadoras existentes en el mercado (ANEXO A).

**Tabla 27.** Componentes del prototipo de lavado de acero inoxidable

COMPONENTES	N° DE PIEZAS
Bandeja de entrada de zanahorias	1
Tambor	1
Tina	1
Compuerta de salida	1
Estructura de soporte	1

**Fuente:** Propia (Según el Ministerio de Salud para productos alimenticios)

- **Sensores:** Se encarga de la medición actual de la turbidez (UNT) y del caudal de agua (Lt/min).

#### 4.1.2. PLAN DE OPERACIONES PARA LA AUTOMATIZACIÓN

El plan de automatizaciones para dichas operaciones son las siguientes:

- **CALIBRACIÓN DEL TAMBOR DE LA PLANTA DE LAVADO:** Para realizar el lavado de zanahorias, es necesario calibrar la velocidad del tambor con el sensor de efecto hall para que no lo lastime y conserve su estado físico.
- **ACCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE COMPUERTA DE AGUA:** Para el ingreso del agua al prototipo se ha evaluado trabajar con un motor paso a paso acoplado a la válvula de compuerta de agua.

- **CONTROL ON/OFF DEL MOTOR REDUCTOR:** El arranque y la detención del motor se realizará mediante un optoacoplador (etapa de conmutación) este se enciende para iniciar el lavado y se detiene si las zanahorias se encuentran debajo de las 5 UNT. (según la OMS)
- **MEDICIÓN DEL FLUJO DE AGUA:** Para cuantificar el ingreso de agua al módulo, se utiliza el sensor de flujo YF-S201.
- **MEDICIÓN TURBIDEZ DEL AGUA:** Para alcanzar la limpieza de las zanahorias, se necesita conocer la turbidez del agua durante el lavado. se utiliza el sensor de turbidez SEN0189
- **TIEMPOS DE LAVADO:** Los tiempos de lavado se visualiza en el reloj que se fijará en la interfaz gráfica.

#### **4.1.3. FUNCIONAMIENTO AUTOMÁTICO DE LA PLANTA DE LAVADO**

El diseño propuesto plantea el funcionamiento automático después de realizar todas las conexiones necesarias.

Una vez que las zanahorias son descargadas en la bandeja de entrada, se pulsa el botón de control “star o inico” (de la interfaz gráfica). El módulo de control se activará, hará las lecturas del sensor de turbidez y caudal para que realice acciones en la válvula mediante el motor paso a paso hasta que la turbidez de agua alcance las 5 UNT para que finalmente se apague la planta de lavado.

#### **4.1.4. PASOS PARA EL MODELAMIENTO DEL SISTEMA DIFUSO**

1. Identificar las entradas, los rangos y el nombre de cada una de ellas.
2. Identificar las salidas, los rangos y el nombre de cada una de ellas.
3. Crear el grado de la función de pertenencia (“Membership function”) difusa para cada entrada y salida.
4. Construir la base de reglas bajo el cual el sistema funcionará.

5. Decidir cómo la acción será ejecutada y la forma de asignar las reglas
6. Combine las reglas y las salidas “desdifusificadas”.

## 4.2. SISTEMA DE CONTROL DIFUSO

### 4.2.1. DEFINIR LAS VARIABLES DE ENTRADA Y DE CONTROL

Las variables de entrada en el proceso de lavado son la turbidez y caudal.

La variable de salida o de control es el motor paso a paso acoplado a la válvula de compuerta de agua.

Teniendo ya definidas todas las entradas y salidas del controlador difuso, se puede especificar el sistema, como se muestran en las figuras 61, 62 y 63.



**Figura 57.** Controlador difuso para la válvula compuerta  
Fuente: Propia

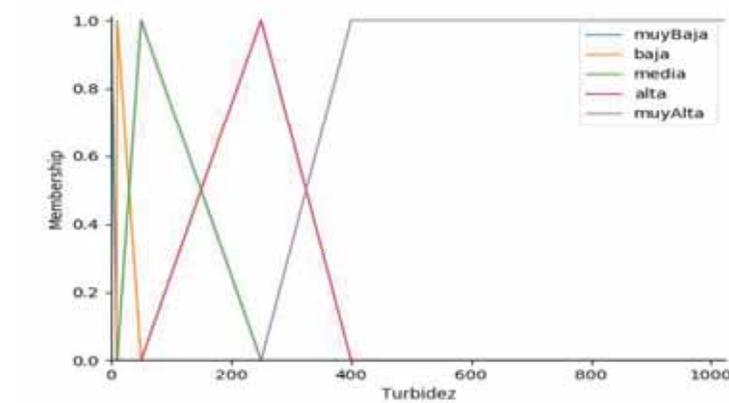
### 4.2.2. DIFUSIFICACIÓN (CREACIÓN DE CONJUNTOS DIFUSOS)

La primera etapa en el diseño del controlador difuso es la interface de difusificación que convierte las entradas del controlador en información para que el mecanismo de inferencia la use fácilmente para activar y aplicar las reglas.

Para difusificar, primero se cuantifica el significado de los valores lingüísticos usando “funciones de membresía o pertenencia” que forman los conjuntos de entrada (turbidez y caudal) y el conjunto de salida (apertura de la válvula de agua).

Como se mencionó anteriormente se crean los conjuntos difusos de las variables de entrada, estos se obtuvieron en la escuela profesional (tablas 28 y 29).

Las figuras 58, 59 y 60 muestran los valores de pertenencia o membresía y los conjuntos difusos de las variables lingüísticas.

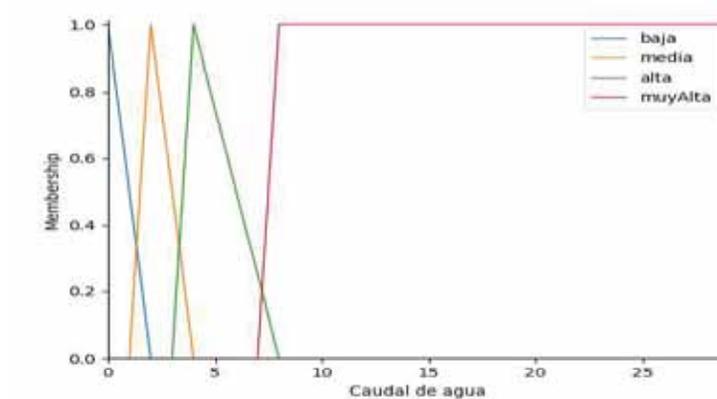


**Figura 58.** Conjuntos difusos de la variable de entrada turbidez  
**Fuente:** Propia

**Tabla 28.** Conjuntos lingüísticos de la variable de entrada turbidez

CONJUNTOS LINGÜÍSTICOS DE LA VARIABLE DE TURBIDEZ	
MUY BAJA	$0 \leq x \leq 10$
BAJA	$9 \leq x \leq 50$
MEDIA	$10 \leq x \leq 250$
ALTA	$50 \leq x \leq 400$
MUY ALTA	$250 \leq x \leq 1024$

**Fuente:** Propia



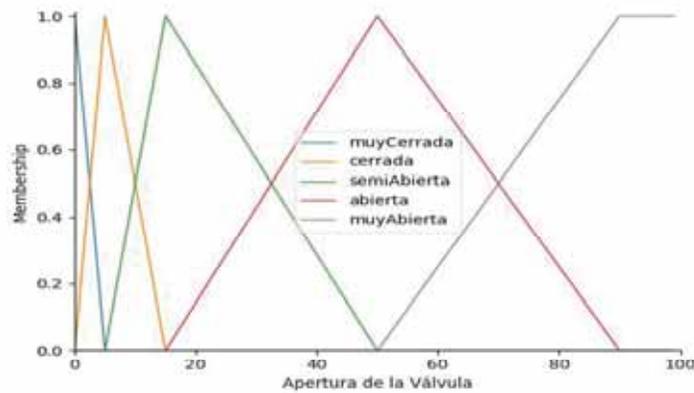
**Figura 59.** Conjuntos difusos de la variable de entrada caudal  
**Fuente:** Propia

**Tabla 29.** Conjuntos lingüísticos de la variable de entrada caudal

CONJUNTOS LINGÜÍSTICOS DE LA VARIABLE DE CAUDAL DE AGUA	
BAJA	$0 \leq x \leq 2$
MEDIA	$1 \leq x \leq 4$
ALTA	$3 \leq x \leq 8$
MUY ALTA	$7 \leq x \leq 30$

*Fuente: Propia*

Después de haber determinado los conjuntos difusos, los rangos de las variables de entrada. De la figura 59 se determina los valores de pertenencia o membresía y los conjuntos difusos de la variable de salida (apertura de válvula), se visualiza en la tabla 30. Es importante aclarar que el valor de salida realiza cambios de turbidez y caudal de agua, debido a que estos están directamente relacionados.



**Figura 60.** Conjunto difuso de la variable de salida de apertura de válvula

*Fuente: Propia*

**Tabla 30.** Conjuntos lingüísticos de la variable de salida apertura de válvula

CONJUNTOS LINGÜÍSTICOS DE LA VARIABLE DE APERTURA DE AGUA	
MUY CERRADA	$0 \leq x \leq 5$
CERRADA	$0 \leq x \leq 15$
SEMI ABIERTA	$5 \leq x \leq 50$
ABIERTA	$15 \leq x \leq 90$
MUY ABIERTA	$50 \leq x \leq 100$

*Fuente: Propia*

Para un mejor entendimiento se representa en el siguiente cuadro resumido, los conjuntos lingüísticos de las variables de entrada y salida del controlador difuso.

**Tabla 31.** Conjuntos lingüísticos de la variable de entrada y salida del controlador difuso

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	VARIABLE LINGÜÍSTICA	SUBCONJUNTOS DIFUSOS	FUNCIONES DE MEMBRESIA O PERTENENCIA	GRADO DE PERTENENCIA O MEMBRESIA	UNIVERSO DE DISCURSO
Turbidez	Entrada 1	T	Muy Baja Baja Media Alta Muy Alta	$\mu(Muy\ Baja(x_1))$ $\mu(Baja(x_1))$ $\mu(Media(x_1))$ $\mu(Alta(x_1))$ $\mu(Muy\ Alta(x_1))$	$0 \leq \mu_T \leq 1$	$[0,1024] T$
Caudal	Entrada 2	Q	Bajo Medio Alto Muy Alto	$\mu(Bajo(x_2))$ $\mu(Medio(x_2))$ $\mu(Alto(x_2))$ $\mu(Muy\ Alto(x_2))$	$0 \leq \mu_Q \leq 1$	$[0,30] Q$
Apertura de Válvula	Salida	AV	Muy Cerrada Cerrada Semi Abierta Abierta Muy Abierta	$\mu(Muy\ Cerrada(x_3))$ $\mu(Cerrada(x_3))$ $\mu(Semi\ Abierta(x_3))$ $\mu(Abierta(x_3))$ $\mu(Muy\ Abierta(x_3))$	$0 \leq \mu_{AV} \leq 1$	$[0,100] AV$

**Fuente:** Propia

Sea T una colección de funciones de membresia, expresados en función de “ $x_1$ ”. Entonces, un conjunto difuso “Muy Baja” en T, se define como un conjunto de pares ordenados.

$$Muy\ Baja = \left\{ (x_1, \mu_{Muy\ Baja(x_1)}) / x_1 \in T \right\}$$

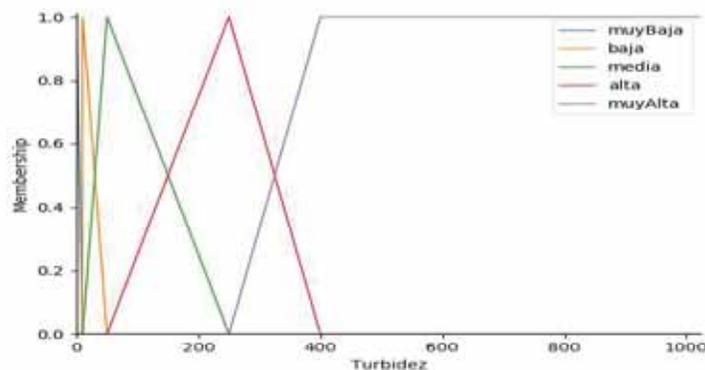
$$Baja = \left\{ (x_1, \mu_{Baja(x_1)}) / x_1 \in T \right\}$$

$$Media = \left\{ (x_1, \mu_{Media(x_1)}) / x_1 \in T \right\}$$

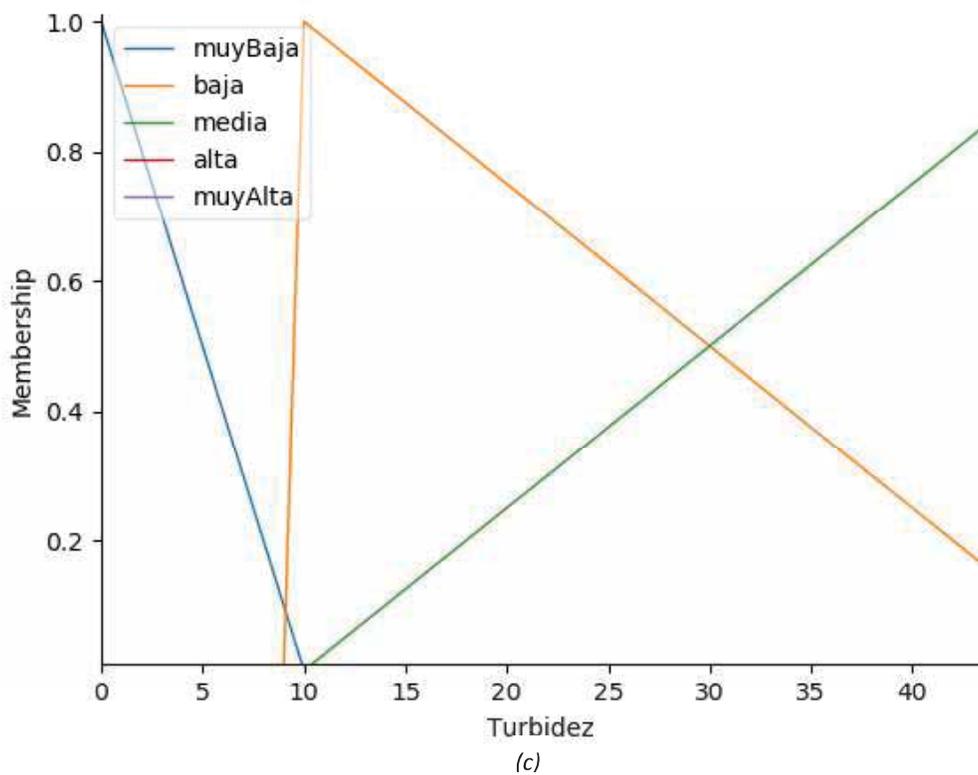
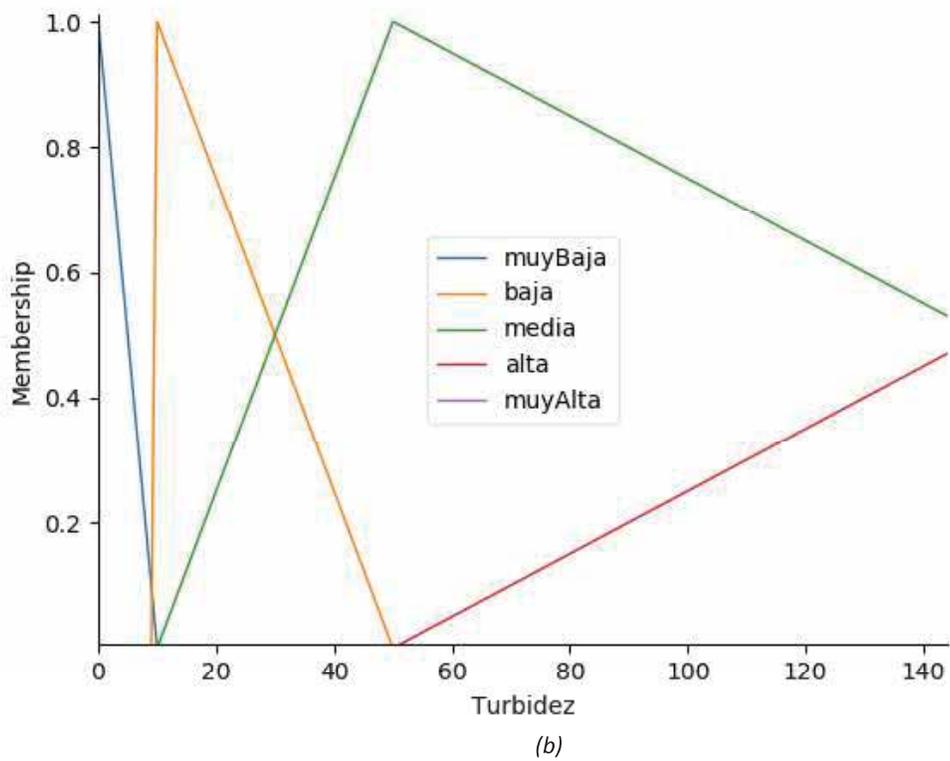
$$Alta = \left\{ (x_1, \mu_{Alta(x_1)}) / x_1 \in T \right\}$$

$$Muy\ Alta = \left\{ (x_1, \mu_{Muy\ Alta(x_1)}) / x_1 \in T \right\}$$

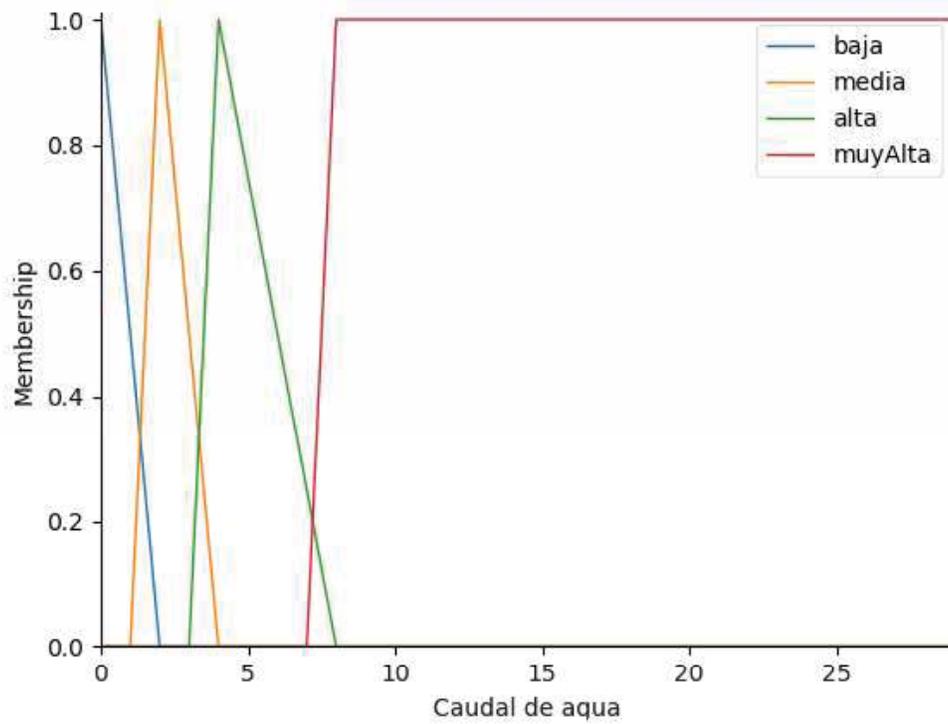
Donde  $\mu(Muy\ Baja(x_1))$  es la función de pertenencia con etiqueta “T” y el dominio es “ $x_1$ ”.



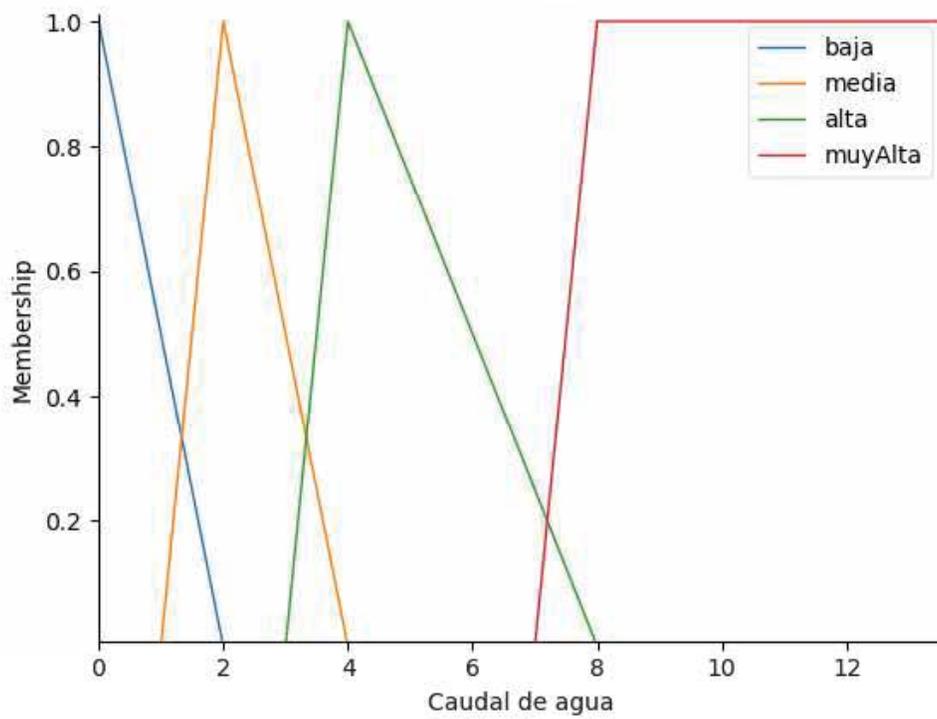
(a)



**Figura 61.** Función de pertenencia de la variable de entrada turbidez  
**Fuente:** Propia

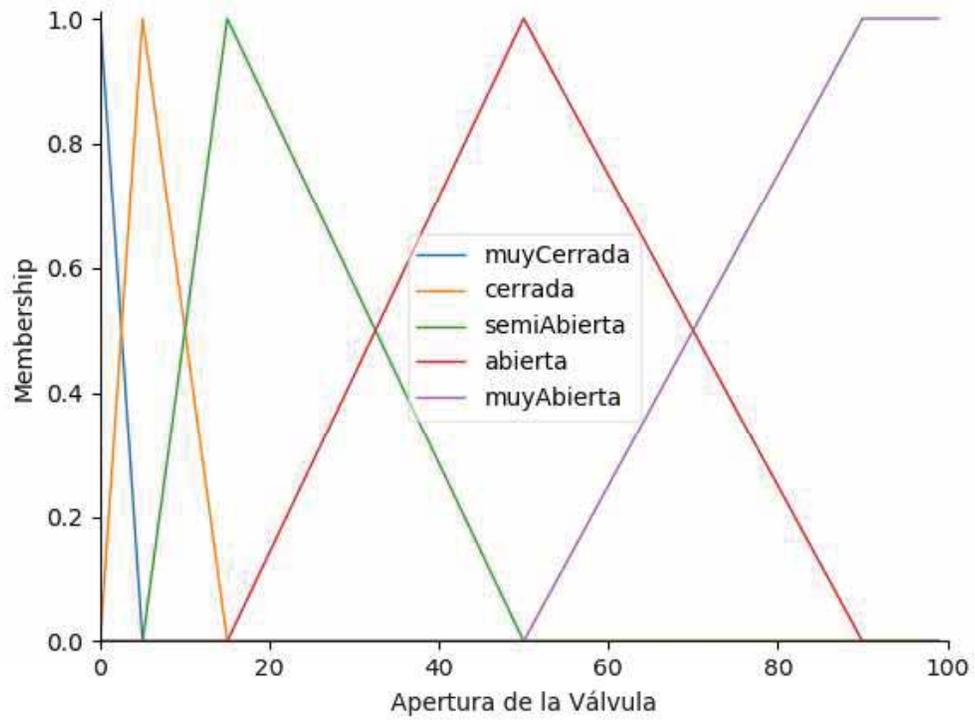


(a)

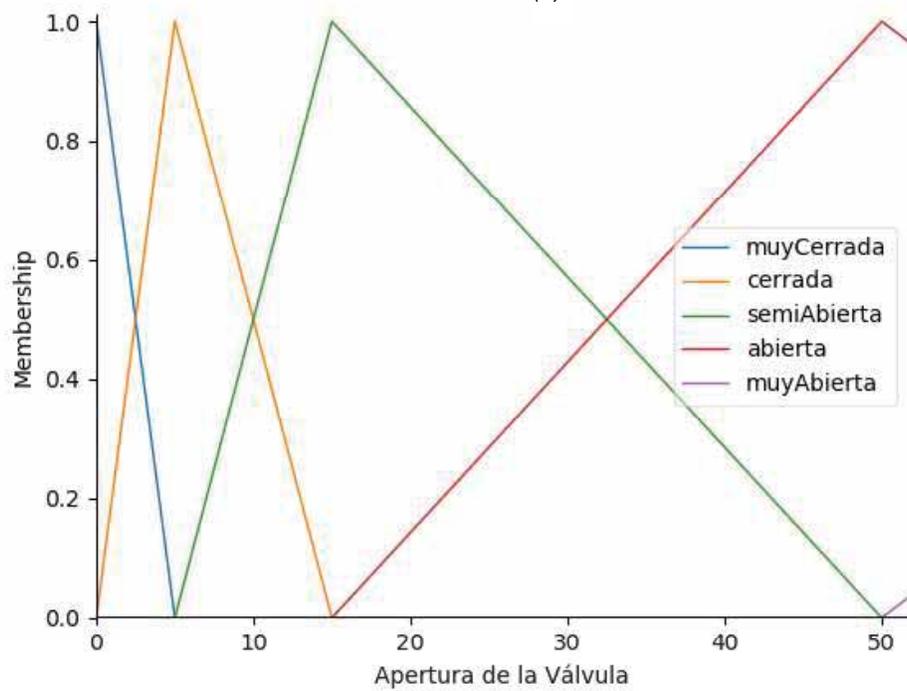


(b)

**Figura 62.** Función de pertenencia de la variable de entrada caudal  
**Fuente:** Propia



(a)



(b)

**Figura 63.** Función de pertenencia de variable de salida de apertura de válvula

**Fuente:** Propia

Representación matemática de las funciones pertenencia de entrada y salida del controlador difuso.

Entradas:

1. Turbidez:  $T = \{Muy Baja, Baja, Media, Alta, Muy Alta\}$

$T(Muy Baja, 0, 0, 10)$

$$\mu_x = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 0 \\ -\frac{x-10}{10} & 0 \leq x \leq 10 \\ 0 & x \geq 10 \end{array} \right\}$$

$T(Baja, 9, 10, 50)$

$$\mu_x = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 9 \\ \frac{x-9}{10} & 9 \leq x \leq 10 \\ -\frac{x-50}{40} & 10 \leq x \leq 50 \\ 0 & x \geq 50 \end{array} \right\}$$

$T(Media, 10, 50, 250)$

$$\mu_x = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 10 \\ \frac{x-10}{40} & 10 \leq x \leq 50 \\ -\frac{x-250}{200} & 50 \leq x \leq 250 \\ 0 & x \geq 250 \end{array} \right\}$$

$T(Alta, 50, 250, 400)$

$$\mu_x = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{200} & 50 \leq x \leq 250 \\ -\frac{x-400}{150} & 250 \leq x \leq 400 \\ 0 & x \geq 400 \end{array} \right\}$$

$T(Muy Alta, 250, 400, 1024, 1024)$

$$\mu_x = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 250 \\ \frac{x-250}{150} & 250 \leq x \leq 400 \\ 1 & 400 \leq x \leq 1024 \\ 0 & x \geq 1024 \end{array} \right\}$$

2. Caudal:  $Q = \{Bajo, Medio, Alto, Muy Alto\}$

$Q(Bajo, 0, 0, 2)$

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ -\frac{x-2}{2} & 0 \leq x \leq 2 \\ 0 & x \geq 2 \end{cases}$$

$Q(Medio, 1, 2, 4)$

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq 1 \\ x-1 & 1 \leq x \leq 2 \\ -\frac{x-4}{2} & 2 \leq x \leq 4 \\ 0 & x \geq 4 \end{cases}$$

$Q(Alto, 3, 4, 8)$

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq 3 \\ x-3 & 3 \leq x \leq 4 \\ -\frac{x-8}{4} & 4 \leq x \leq 8 \\ 0 & x \geq 8 \end{cases}$$

$Q(Muy Alto, 7, 8, 30, 30)$

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq 7 \\ x-7 & 7 \leq x \leq 8 \\ 1 & 8 \leq x \leq 30 \\ 0 & x \geq 30 \end{cases}$$

Salida:

1. Apertura de la Valvula:  $AV = \{Muy Cerrada, Cerrada, Semi Abierta, Abierta, Muy Abierta\}$

$AV(Muy Cerrada, 0, 0, 5)$

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ -\frac{x-5}{5} & 0 \leq x \leq 5 \\ 0 & x \geq 5 \end{cases}$$

$AV(Cerrada, 0, 5, 15)$

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ \frac{x}{5} & 0 \leq x \leq 5 \\ -\frac{x-15}{10} & 5 \leq x \leq 15 \\ 0 & x \geq 15 \end{cases}$$

$AV(\text{Semi Abierta}, 5, 15, 50)$

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq 5 \\ \frac{x-5}{10} & 5 \leq x \leq 15 \\ -\frac{x-50}{35} & 15 \leq x \leq 50 \\ 0 & x \geq 50 \end{cases}$$

$AV(\text{Abierta}, 15, 50, 90)$

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq 15 \\ \frac{x-15}{35} & 15 \leq x \leq 50 \\ -\frac{x-90}{40} & 50 \leq x \leq 90 \\ 0 & x \geq 90 \end{cases}$$

$AV(\text{Muy Abierta}, 50, 90, 100, 100)$

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{40} & 50 \leq x \leq 90 \\ 1 & 90 \leq x \leq 100 \\ 0 & x \geq 100 \end{cases}$$

#### 4.2.3. CREACIÓN DE REGLAS

Después de definir las funciones de pertenencia, se inicia con la creación de las reglas difusas. Las reglas dictan la acción del control que se va tomar, estas se derivan de un experto. Dichas reglas tiene la estructura de relaciones. La lógica difusa se basa en relaciones, las cuales se determinan por medio de cálculo de reglas “SI-ENTONCES” (con las cuales se puede modelar aspectos cualitativos del conocimiento humano, así como los procesos de razonamiento sin la necesidad de un análisis cuantitativo de precisión).

**Tabla 32.** Reglas de acción de la apertura de la válvula

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua						
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta

	<b>ALTO</b>	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	<b>MUY ALTO</b>	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

*Fuente: Propia*

## INFERENCIA DE LAS REGLAS

**SI** "T" es Muy Baja **Y** "Q" es Bajo **ENTONCES** "AV" es Muy Cerrada (REGLA 1)

**SI** "T" es Muy Baja **Y** "Q" es Medio **ENTONCES** "AV" es Muy Cerrada (REGLA 2)

**SI** "T" es Muy Baja **Y** "Q" es Alto **ENTONCES** "AV" es Muy Cerrada (REGLA 3)

**SI** "T" es Muy Baja **Y** "Q" es Muy Alto **ENTONCES** "AV" es Muy Cerrada (REGLA 4)

**SI** "T" es Baja **Y** "Q" es Bajo **ENTONCES** "AV" es Muy Abierta (REGLA 5)

**SI** "T" es Baja **Y** "Q" es Medio **ENTONCES** "AV" es Abierta (REGLA 6)

**SI** "T" es Baja **Y** "Q" es Alto **ENTONCES** "AV" es Semi Abierta (REGLA 7)

**SI** "T" es Baja **Y** "Q" es Muy Alto **ENTONCES** "AV" es Semi Abierta (REGLA 8)

**SI** "T" es Media **Y** "Q" es Bajo **ENTONCES** "AV" es Muy Abierta (REGLA 9)

**SI** "T" es Media **Y** "Q" es Medio **ENTONCES** "AV" es Muy Abierta (REGLA 10)

**SI** "T" es Media **Y** "Q" es Alto **ENTONCES** "AV" es Abierta (REGLA 11)

**SI** "T" es Media **Y** "Q" es Muy Alto **ENTONCES** "AV" es Abierta (REGLA 12)

**SI** "T" es Alta **Y** "Q" es Bajo **ENTONCES** "AV" es Muy Abierta (REGLA 13)

**SI** "T" es Alta **Y** "Q" es Medio **ENTONCES** "AV" es Muy Abierta (REGLA 14)

**SI** "T" es Alta **Y** "Q" es Alto **ENTONCES** "AV" es Muy Abierta (REGLA 15)

**SI** "T" es Alta **Y** "Q" es Muy Alto **ENTONCES** "AV" es Abierta (REGLA 16)

**SI** "T" es Muy Alta **Y** "Q" es Bajo **ENTONCES** "AV" es Muy Abierta (REGLA 17)

SI “T” es Muy Alta Y “Q” es Medio **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta(REGLA 18)

SI “T” es Muy Alta Y “Q” es Alto **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta (REGLA 19)

SI “T” es Muy Alta Y “Q” es Muy Alto **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta (REGLA 20)

La representación de las variables se realizó en el software Python usando la librería SkFuzzy (clase carrotWasherFuzzyProcessor()), la cual la mostramos a continuación.

```
self.rule1 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyBaja'] & self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyCerrada'])
self.rule2 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyBaja'] & self.pipeFlow['media'], self.outputPower['muyCerrada'])
self.rule3 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyBaja'] & self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['muyCerrada'])
self.rule4 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyBaja'] & self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['muyCerrada'])
self.rule5 = ctrl.Rule(self.turbidity['baja'] & self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule6 = ctrl.Rule(self.turbidity['baja'] & self.pipeFlow['media'], self.outputPower['abierta'])
self.rule7 = ctrl.Rule(self.turbidity['baja'] & self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['semiAbierta'])
self.rule8 = ctrl.Rule(self.turbidity['baja'] & self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['semiAbierta'])
self.rule9 = ctrl.Rule(self.turbidity['media'] & self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule10 = ctrl.Rule(self.turbidity['media'] & self.pipeFlow['media'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule11 = ctrl.Rule(self.turbidity['media'] & self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['abierta'])
self.rule12 = ctrl.Rule(self.turbidity['media'] & self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['abierta'])
self.rule13 = ctrl.Rule(self.turbidity['alta'] & self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule14 = ctrl.Rule(self.turbidity['alta'] & self.pipeFlow['media'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule15 = ctrl.Rule(self.turbidity['alta'] & self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule16 = ctrl.Rule(self.turbidity['alta'] & self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['abierta'])
self.rule17 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyAlta'] & self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule18 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyAlta'] & self.pipeFlow['media'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule19 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyAlta'] & self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule20 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyAlta'] & self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['muyAbierta'])
```

**Figura 64.** Reglas difusas

*Fuente: Propia*

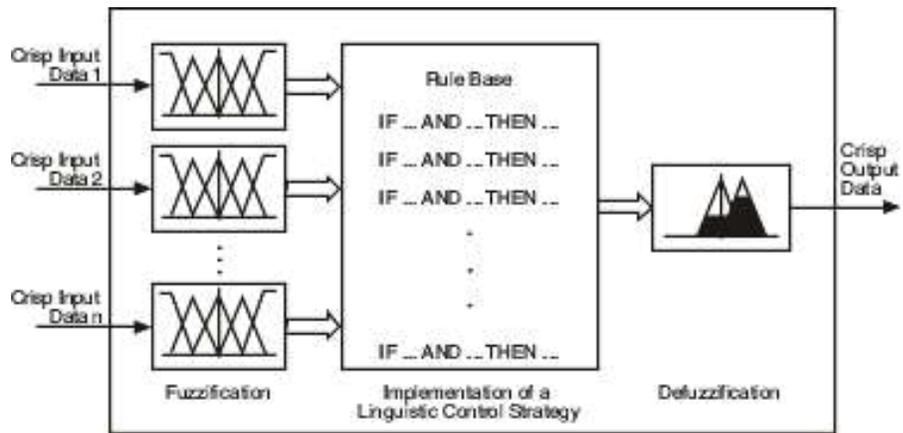
#### 4.2.4. OPERADOR DIFUSO

Para este caso usaremos el operador lógico difuso tipo Mandani de intersección el cual está definido por dos conjuntos en términos y viene representado por:

$$A \cap B \rightarrow \mu_{A(x)} \wedge \mu_{B(x)} = \min[\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}] \forall x \in U$$

#### UNIDAD DE PROCESAMIENTO DIFUSO

El controlador difuso puede tener varias entradas y puede configurarse también con una o varias salidas.



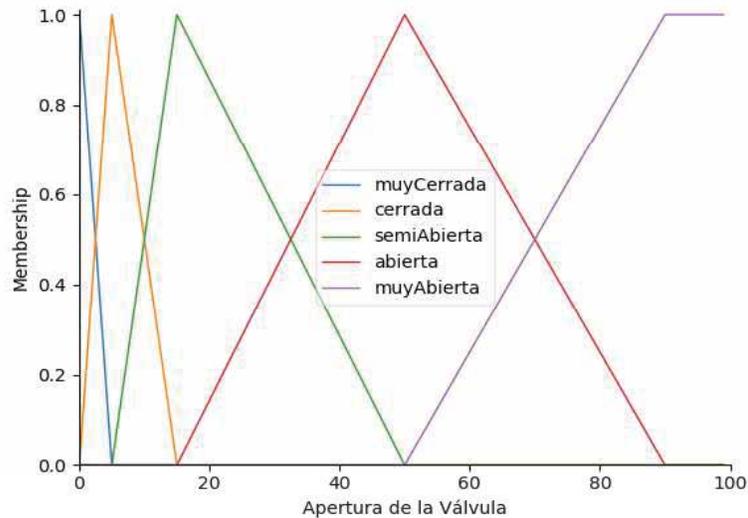
**Figura 65.** Unidad de procesamiento difuso

**Fuente:** National Instruments, 2010

#### 4.2.5. DESDIFUSIFICACIÓN

El proceso de desdifusificación toma un valor difuso de las reglas y genera una salida real, se realiza mediante centros de área o gravedad, la cual se presenta en la

siguiente ecuación: 
$$Z^* = \frac{\int_0^R \mu_R(z) \cdot z \, dz}{\int_0^R \mu_R(z) \, dz}$$

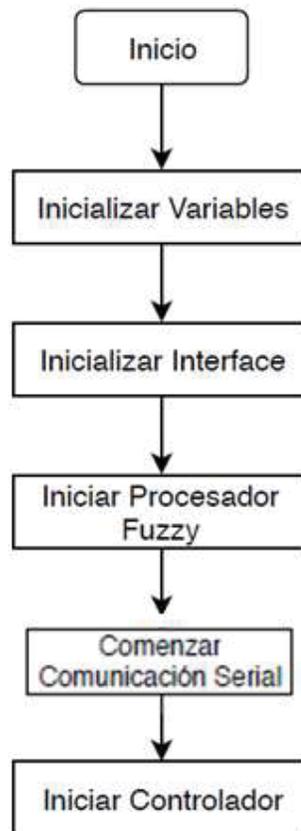


**Figura 66.** Desdifusificación de la variable de salida

**Fuente:** Propia

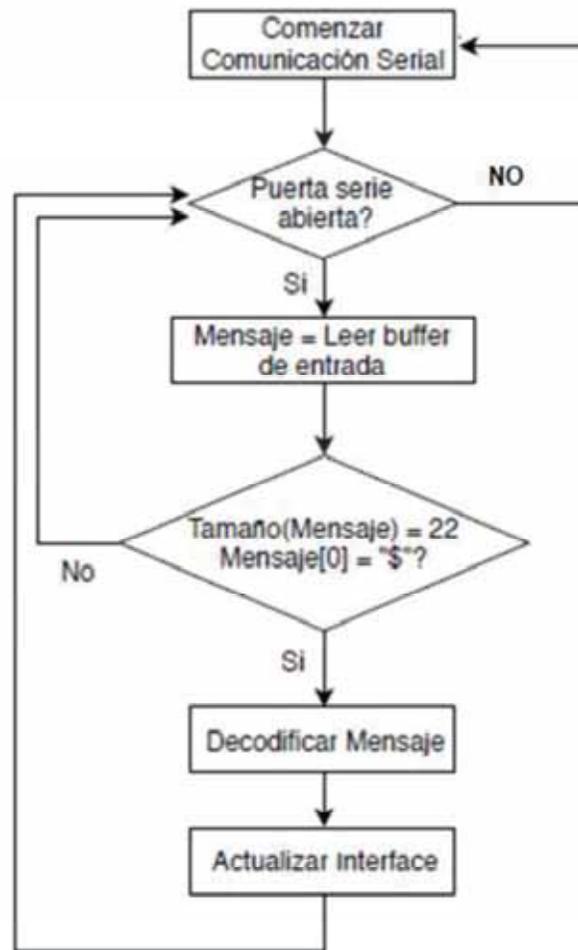
#### 4.2.6. DIAGRAMA DE FLUJO

A continuación se muestra el diagrama de flujo del sistema de control de lavado.

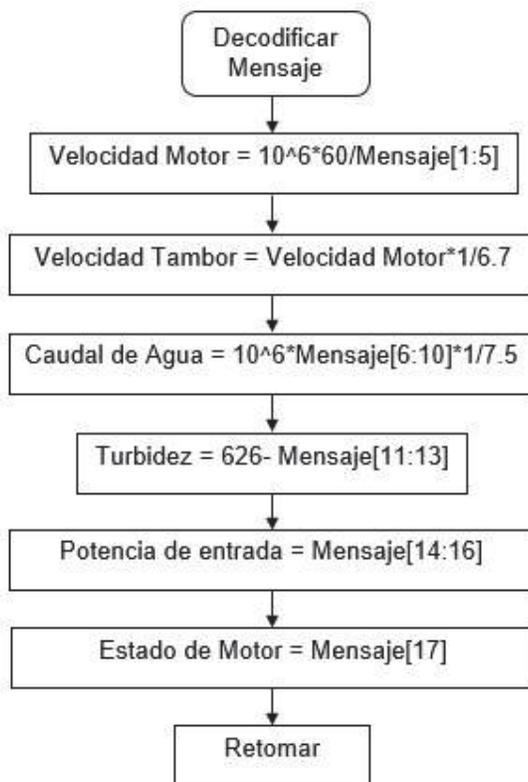


*Figura 67. Diseño del diagrama de flujo para iniciar el sistema*

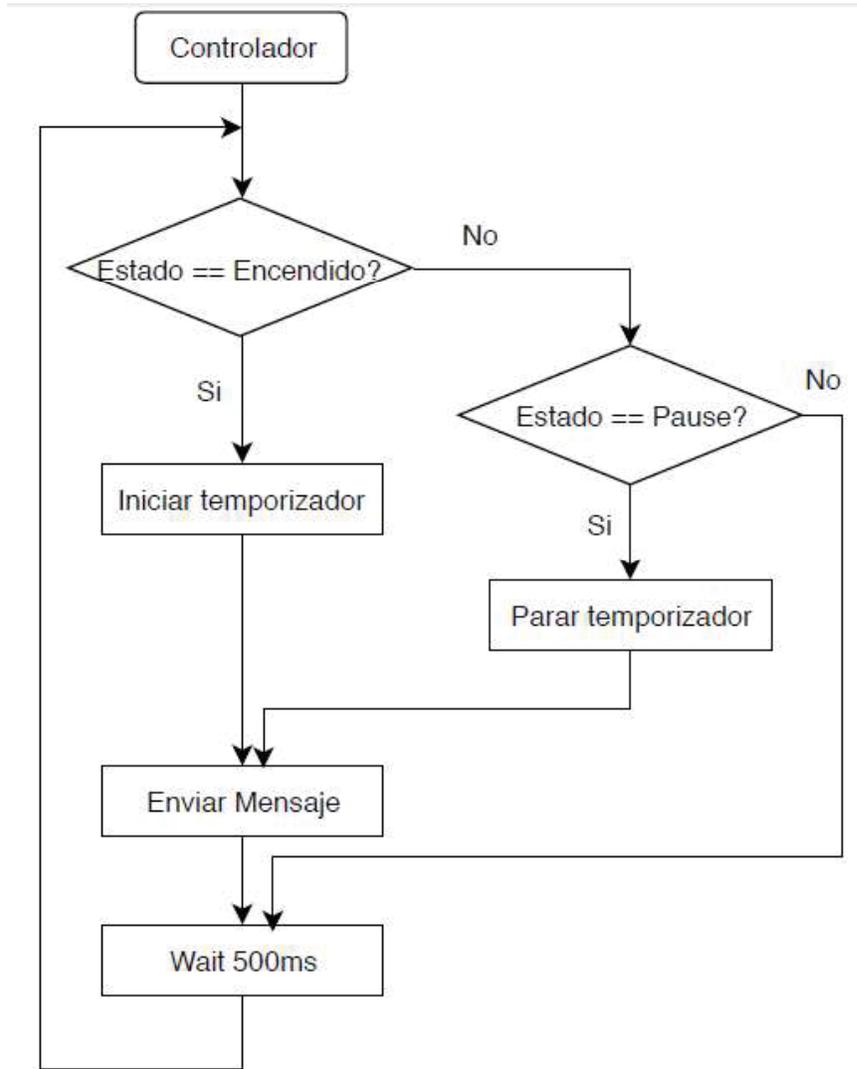
*Fuente: Propia*



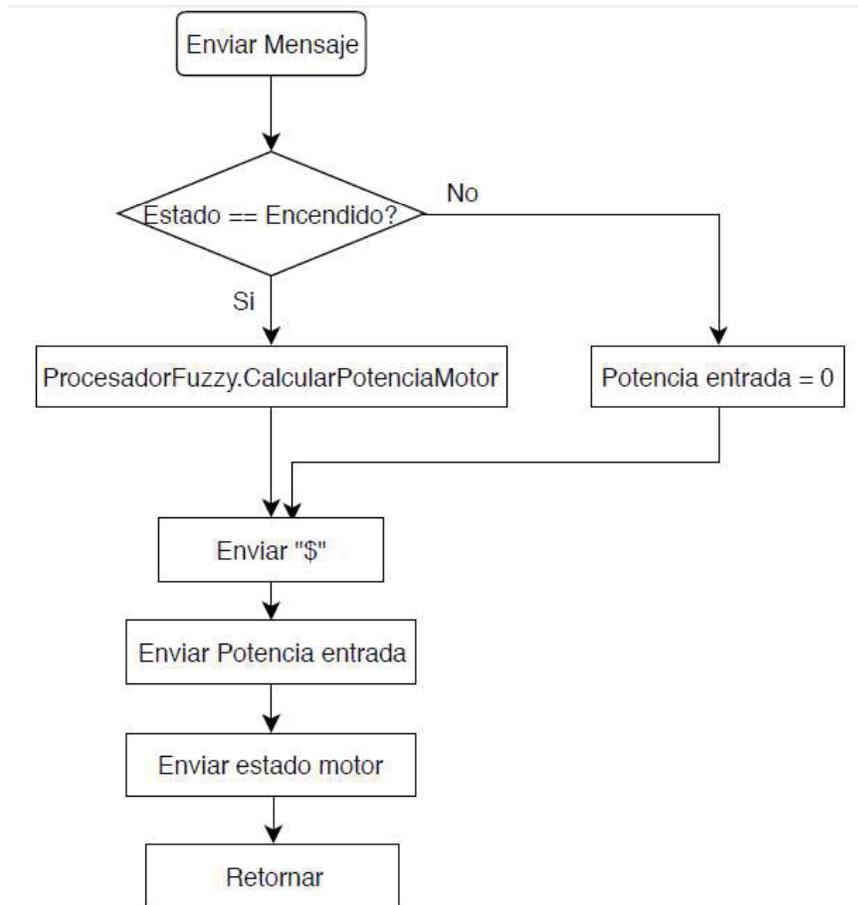
**Figura 68.** Diagrama de flujo para comenzar comunicación serial  
**Fuente:** Propia



**Figura 69.** Diagrama de flujo para decodificar los mensajes  
**Fuente:** Propia



**Figura 70.** Diagrama de flujo para iniciar el controlador  
**Fuente:** Propia



**Figura 71.** Diagrama de flujo para enviar el mensajes y hacer el procesamiento difuso  
**Fuente:** Propia

#### 4.2.7. SISTEMA DE CONTROL DEL LAVADOR DE ZANAHORIAS

El sistema de control desarrollado tiene el objetivo principal de controlar, gerenciar y mostrar interactivamente el estado de tanto los sensores como los actuadores que conforman el sistema lavador de zanahoria.

El sistema de control fue implementado usando dos lenguajes de programación:

- Python para el módulo de control y para el módulo de gerenciamiento de interface.
- C++ para el módulo arduino de control de sensores y actuadores.

Los programas utilizados para desarrollar el sistema de control son:

- Pycharm para los módulos de control y gerenciamiento de interface.

- PyQt para el desarrollo de la interface.
- ArduinoIDE para la programación del sistema Arduino de control de sensores y actuadores.

#### **4.2.8. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL LAVADOR DE ZANAHORIA**

El sistema de control fue desarrollado utilizando las siguientes librerías:

- SkFuzzy para desarrollar el controlador difuso en el módulo de control.
- Pyuic5 y Qt para el desarrollo de la interface.
- PyQt5 para el módulo de gerenciamento de la interface

Los módulos de control y gerenciamento de interface están desarrollados a través de la programación orientada a objetos.

Las clases construidas para estos módulos son:

- MainWindow: Clase que contiene los métodos de gerenciamento del sistema.
- SerialMonitor: Clase para el gerenciamento de la comunicación computador – Arduino
- CarrotWasherFuzzyProcessor: Clase de implementación para el controlador difuso
- Ui\_MainWindow: Clase de implementación de interface

En su totalidad, el sistema de control tiene 977 líneas de código, sin considerar las librerías externas utilizadas.

#### **4.2.9. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE LAVADO DE ZANAHORIAS**

El sistema de control esta compuesto por 3 módulos:

- I. Módulo arduino**
- II. Módulo de control difuso**

### **III. Módulo de gerenciamiento de interface**

A continuación desalloramos cada uno:

#### **I. FUNCIÓN DEL MÓDULO ARDUINO**

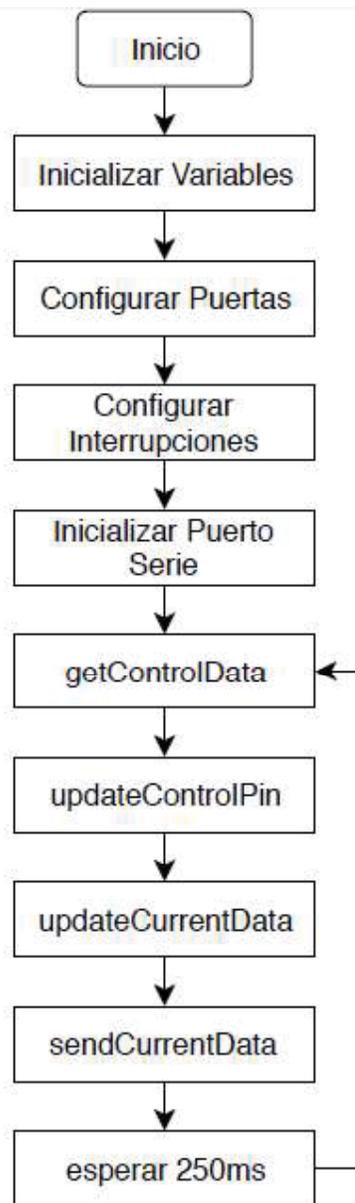
El módulo arduino funciona embebido en la placa arduino uno.

El setup contiene la declaración de las variables lo utilizamos para inicializar los modos de trabajo de los pines (E/S) y la comunicación puerto serie. Mientras que el loop se ejecutará continuamente (lectura de entradas, activación de salidas, etc.) Esta función es el núcleo de todos los programas de arduino, es decir realiza la mayor parte del trabajo

Esté módulo tiene la tarea de realizar cuatro tareas:

1. Recibir el mensaje de control del módulo de control
2. Actualizar el estado de los actuadores
3. Hacer la lectura de estado de los sensores
4. Transmitir los datos del estado actual hacia el módulo de control

El esquema de funcionamiento de este módulo es mostrado a continuación.



**Figura 72.** Diagrama de flujo para la iniciar la funciones que realiza el módulo arduino  
**Fuente:** Propia

Las cuatro tareas se desarrollan consecutivamente dentro de un bucle cada 250 ms.

Dentro del loop implementamos 4 funciones independientes que realizarán sus respectivas tareas:

### 1. FUNCIÓN PARA RECEPCIONAR DATOS DEL CONTROL (getcontroldata)

Esta función se encarga de la recepción de los mensajes provenientes del módulo de control.

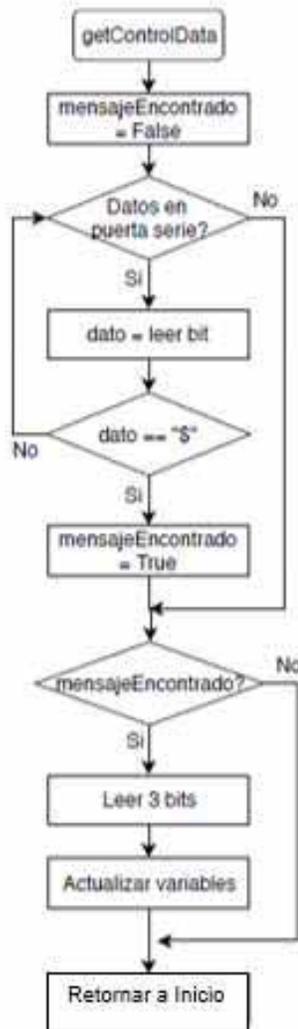
La función inicia preguntando si existen bytes disponibles en el buffer de recepción. En el caso de que existan bytes disponibles, se leen uno por uno hasta encontrar al byte de inicialización de mensaje “\$”. Si el byte \$ es encontrado, se procede a leer los 3 byte siguientes. La convención utilizada para los mensajes del módulo de control es la siguiente:

**Tabla 33.** Bytes disponibles en el buffer de recepción

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3
Byte de inicio (\$)	Potencia válvula		Estado de motor

**Fuente:** Propia

La función termina luego de actualizar las variables de potencia de válvula recibida y estado de motor o si el byte \$ no es encontrado.

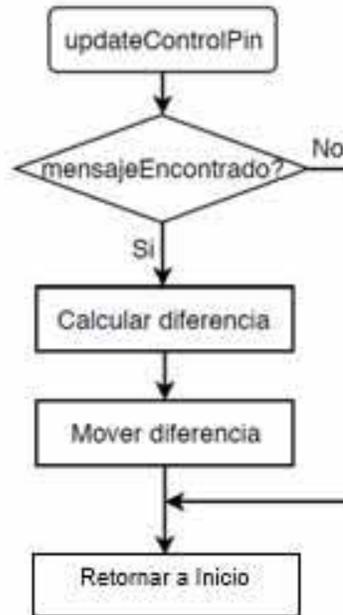


**Figura 73.** Diagrama de flujo para recepcionar datos del control  
**Fuente:** Propia

## 2. FUNCIÓN DE ACTUALIZACIÓN DE ESTADO DE ACTUADORES (updatecontrolpin)

Esta función se encarga de actualizar el estado del actuadores en base al resultado obtenido en la función anterior.

Si existe un mensaje correctamente recibido y los valores recibidos son diferentes a los valores previos, entonces esta función incrementa o decrementa el ángulo de giro del motor paso a paso y/o enciende o apaga al motor de giro del tambor mediante un circuito optoacoplador.



**Figura 74.** Diagrama de flujo para actualizar el estado de actuadores  
**Fuente:** Propia

### 3. FUNCIÓN DE LECTURA DE ESTADO DE SENSORES (updateCurrentData)

Esta función se encarga de leer el valor actual del sensor de turbidez, y actualizar el valor de velocidad de giro del motor paso a paso y del caudalímetro. El sensor de turbidez responde con una señal analógica que varía de acuerdo al grado de turbidez, entonces la lectura de este sensor se realiza simplemente mediante una instrucción `analogRead()` para leer las puestas analógicas. El cálculo de velocidad de giro de motor y caudalímetro se realiza a través de dos interrupciones independientes por flanco de subida. Cada interrupción llama una función adicional, `motorFalling` para el cálculo de giro de motor principal y `waterFlowFalling` para el cálculo de velocidad de giro de caudalímetro.

Cada una de estas dos funciones se encarga de calcular la diferencia de tiempo existente entre el tiempo actual y el tiempo de la llamada anterior. La variación de tiempo resultante representa el periodo de giro del motor principal o del caudalímetro.



**Figura 75.** Diagrama de flujo para la lectura del estado de sensores  
*Fuente: Propia*

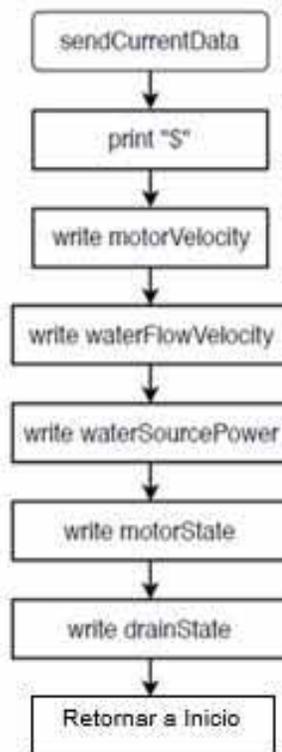
#### 4. FUNCIÓN DE ENVÍO DE DATOS DE ESTADO DE SENSORES Y ACTUADOR (sendCurrentData)

Esta función es utilizada para transferir el periodo de giro del motor principal, velocidad de giro del caudalímetro, valor del sensor de turbidez, porcentaje de giro del motor paso a paso y valor de estado del optoacoplador del motor principal. La convención utilizada para el envío de este mensaje es el siguiente:

**Tabla 34.** Asignación de los bytes

Byte 0	Byte 1 - 4	Byte 5	Byte 6 - 9	Byte 10	Byte 11 - 12
Byte de inicio "s"	Periodo de giro del motor principal	Byte separador "	Periodo de giro caudalímetro	Byte separador "	Turbidez
Byte 13	Byte 14 - 15	Byte 16	Byte 17	Byte 18 - 20	
Byte separador "	Porcentaje de giro del motor paso a paso	Byte Separador "	Estado del optoacoplador del motor principal	Retorno de carro	

*Fuente: Propia*



**Figura 76.** Diagrama de flujo para el envío de datos de estados de los sensores y actuadores

**Fuente:** Propia

## II. FUNCIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL

El módulo de control recibe el mensaje del módulo Arduino y en base a estos datos calcula el estado de los actuadores mediante lógica difusa. Además envía el resultado hallado al módulo Arduino y gerencia el proceso de actualización de datos del módulo de interface. Este módulo esta desarrollado en Python y será ejecutado en el computador principal.

Este módulo de control esta implementado a partir de 3 clases:

1. **MainWindow\_auto.py:** Clase que contiene los métodos de gerenciamiento del sistema y actualización de la interface.
2. **CarrotWasherFuzzyProcessor:** Clase de implementación para el controlador difuso.

**3. Serialmonitor:** Clase para el gerenciamento de la comunicación computador – Arduino.

Se detalla cada una a continuación:

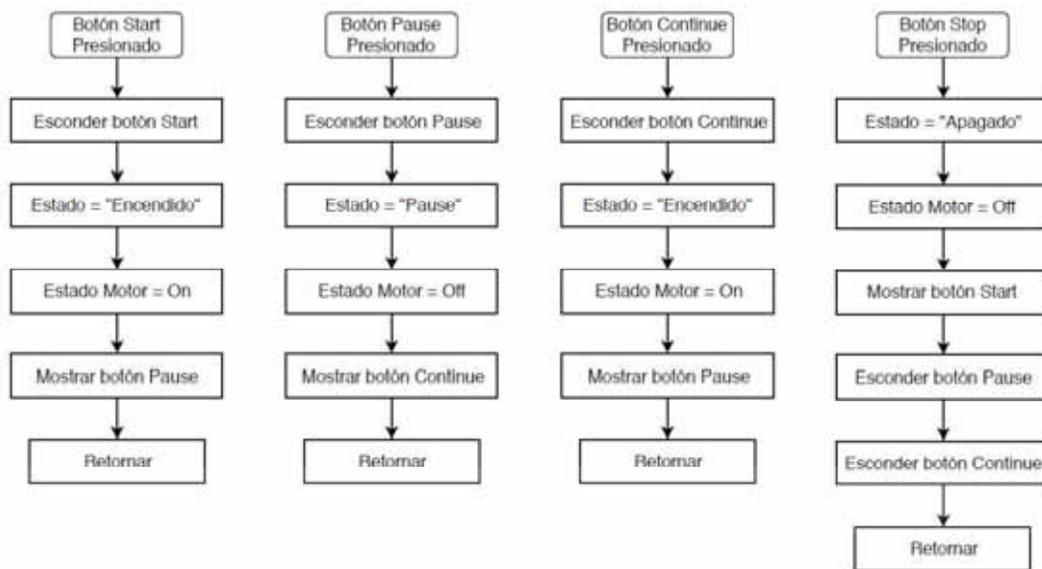
**GERENCIAMIENTO DEL SISTEMA Y ACTUALIZACIÓN DE LA INTERFACE (MainWindow\_auto.py)**

La clase MainWindow es la clase principal. Esta clase realiza el gerenciamento del proceso de funcionamiento del sistema de lavado de zanahorias. Específicamente, esta clase se dedica a la inicialización del sistema, envío y recepción de mensajes, control de inicio y parada del sistema y actualización de la interface.

Esta clase presenta los siguientes métodos:

- Control\_System\_Thread(): Bucle principal del gerenciamento de estado de sistema. Este método analiza y ejecuta procesos según el flag de estado y el flag de recepción de nuevo dato. El flag de estado indica el estado del proceso (iniciar, pausar, y terminar). El flag de recepción indica si existe o no un nuevo dato.
- UpDate(), método para actualizar el estado de la interface. Este método es llamado cuando un nuevo mensaje correctamente decodificado.
- Processdata(), método para decodificación de mensajes recibidos.
- GetMotorPower(), método para gerenciamento del procesador difuso.
- PressedStartButton(), este método es ejecutado al presionar el botón start. Se encarga de encender el motor y configurar el flag de estado a estado = ON.
- PressedStopButton(), este método es ejecutado al presionar el botón stop. Se encarga de apagar el sistema y configurar el flag de estado a estado = OFF.
- PressedPauseButton(), este método es ejecutado al presionar el botón pause. Se encarga de encender parar motor principal, cerrar la válvula de ingreso de agua y configurar el flag de estado a estado = PAUSE.

- `PressedContinueButton()`, este método es ejecutado al presionar el botón continue. Se encarga de reinicializar el proceso de lavado y configurar el flag de estado a estado = ON.
- `UpdateSistemPanel()`, método utilizado para actualizar el componente de visualización de proceso de la interface.
- `UpdateBehaviorPanel()`, método utilizado para actualizar el componente de visualización de estado de sensores y actuadores de la interface.
- `UpdateGraphicPanel()`, método utilizado para actualizar el componente gráfico que muestra las curvas de evolución.



**Figura 77.** Diagrama de flujo de la función del controlador de interface

*Fuente: Propia*

## **CONTROLADOR DIFUSO DE LA PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIAS (CarrotWasherFuzzyProcesor)**

Con esta clase se implementó el procesador difuso para control del motor paso a paso que controla la apertura de la válvula de ingreso de agua. El procesador difuso es implementado usando la librería “skFuzzy”.

El sistema procesador difuso utiliza dos variables de entrada, la turbidez de agua y al caudal de agua. La variable de salida el porcentaje de apertura de la válvula de

ingreso de agua. Los conjuntos de pertenencia o membresía de entrada y salida que ya fueron explicados en la etapa del diseño del sistema.

Para la variable de entrada “caudal de agua” fueron creados cuatro conjuntos triangulares difusos distribuidos en “bajo, medio, alto y muy alto”.

Para la variable de entrada “turbidez de agua” fueron establecidos en base a 5 conjuntos difusos distribuidos en “muy baja, baja, media, alta y muy alta”. Se debe destacar que los conjuntos difusos para pequeños grados de turbidez son más selectivos que para los conjuntos difusos de altos grados de turbidez puesto que mientras menor sea la turbidez el sistema deberá responder con mayor selectividad.

La variable controlada de salida es de “apertura de la válvula” de ingreso de agua, se establecieron 5 conjuntos difusos (muy abierta, abierta, semi abierta, cerrada y muy cerrada).

Finalmente las reglas implementadas para el proceso de inferencia obedecen a la lógica de que mientras mayor sea la turbidez del agua mayor debe utilizarse la cantidad de agua para lavar las zanahorias y que mientras mayor sea la cantidad de agua que ingresa para el lavado mayor debería ser la apertura de la válvula de ingreso de caudal. Las reglas generadas son resumidas en la tabla 32 (reglas para la operación de la apertura válvula de agua).

De la tabla 32 se puede ver por ejemplo cuando la turbidez es Baja y el caudal de agua es alto la apertura de la válvula será semi abierta; mientras que cuando la turbidez sea muy alta la apertura de la válvula será siempre la muy abierta.

El proceso de desfusificación es realizado mediante centros de área o gravedad.

## **MONITOREO DE RECEPCIÓN DE DATOS (SerialMonitor)**

Esta clase es ejecutada en paralelo a la clase MainWindow. Se encarga de monitorear la recepción de datos. Contiene los siguientes métodos:

- Start(): Método utilizado para inicializar el proceso de monitoreo de recepción de datos.
- Stop(): Método utilizado para terminar el proceso de monitoreo.
- SerialMonitorThread(): Método principal de monitoreo de datos. Este método es ejecutado indefinidamente y se encarga de llamar al método processData de la clase MainWindow cuando un mensaje es recibido correctamente.
- SerialSend(): Método para envío de mensajes

### **III. MÓDULO DE GERENCIAMIENTO DE INTERFACE**

Este módulo desarrolla la implementación de la interface. La interface fue desarrollada utilizando el programa Qt5 y posteriormente fue traducida a lenguaje Python mediante la librería pyuic5.

El resultado es la clase mainwindows\_auto.py que contiene a todos los componentes creados en Qt5 como objetos Python.

La interface construida cuenta con 3 grupos de componentes principales:

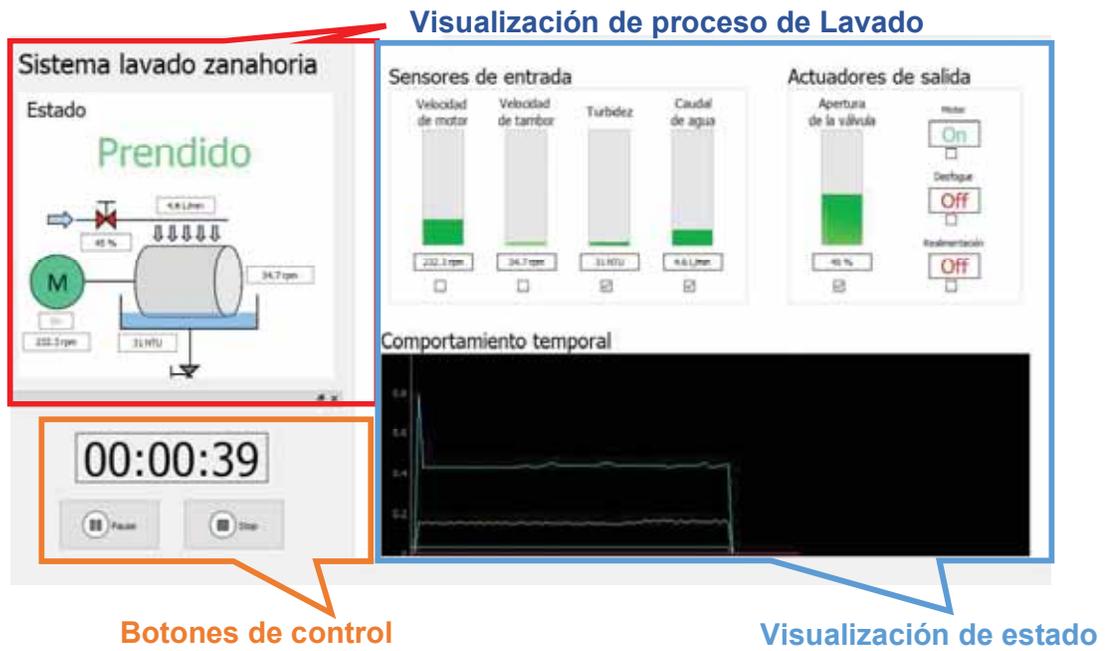
1. Componente de visualización de proceso
2. Componente de visualización de estado de sensores y actuadores
3. Componente de botones de control

Se detalla cada una a continuación:

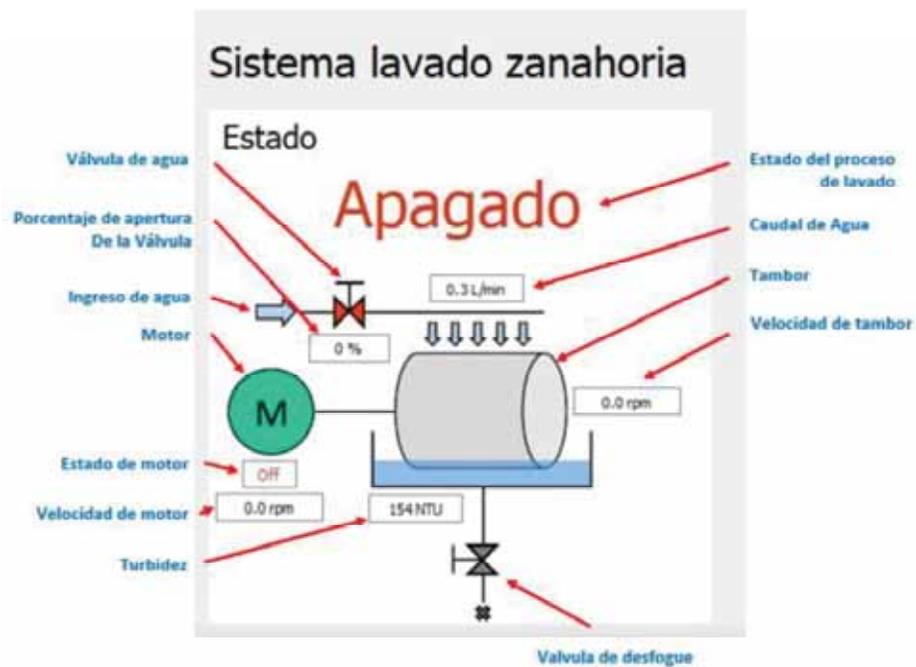
#### **COMPONENTE DE VISUALIZACIÓN**

Se muestra los procesos de la planta de lavado. La componente de visualización de proceso muestra de forma gráfica el estado en general del sistema de lavado de zanahorias, como estado de motor, velocidad del motor, velocidad del tambor,

turbidez, caudal, % de apertura de la válvula de agua y el estado del proceso de lavado.



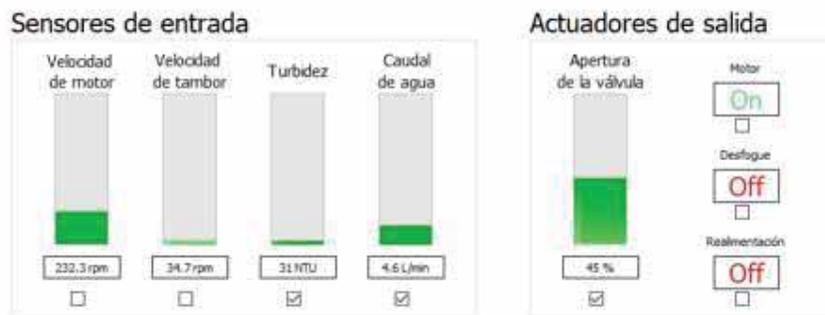
**Figura 78.** Pantalla principal de lavado  
Fuente: Propia



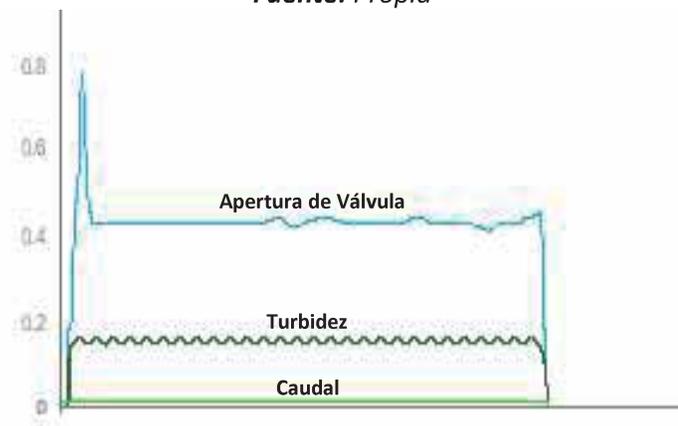
**Figura 79.** Visualización de proceso de lavado  
Fuente: Propia

## COMPONENTE DE VISUALIZACIÓN DE ESTADO DE SENSORES Y ACTUADORES

El componente de visualización de estado muestra el valor de los sensores y actuadores de dos formas: en forma textual y en forma gráfica como barras de progreso. Además, este grupo de componentes presenta un cuadro para graficar las curvas de evolución en tiempo real. Las curvas a graficar pueden ser seleccionadas mediante el checkbox provisto para cada uno de los sensores o actuadores.



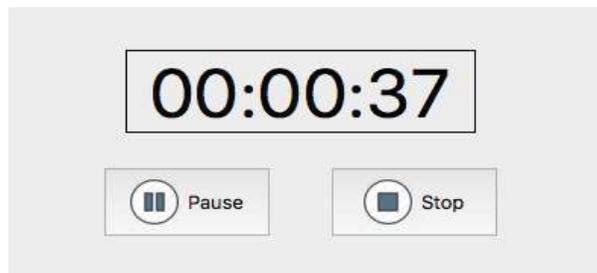
**Figura 80.** Visualización del estado de sensores y actuadores  
*Fuente: Propia*



**Figura 81.** Visualización del estado de sensores, actuadores vs. comportamiento temporal  
*Fuente: Propia*

## COMPONENTE DE BOTONES DE CONTROL

Contiene a los botones de start, stop, pause y continue, y un temporizador que muestra el tiempo de funcionamiento del proceso actual de lavado. Los botones pause y continue están invisibles normalmente, pause aparece luego de dar clic en start y continue luego de dar clic en pause.



**Figura 82.** Visualización de botones de control  
*Fuente: Propia*

#### **4.2.10. ETAPA DE POTENCIA**

##### **MÓDULO DE CONMUTACIÓN**

El módulo de lavado de zanahorias cuenta con 2 tipos de alimentación una que proviene de la red comercial 220VAC y 5-12VDC para la alimentación del módulo arduino uno y el motor paso a paso.

##### **CÁLCULO DE RESISTENCIAS**

Las salidas digitales de arduino uno “S1, S2 y S3” emiten voltaje de 5V a 15 mA, el led interno del MOC 3021, soporta una tensión de caída de 3V a una corriente admisible de 10mA, con este dato se pueden calcular el valor de la resistencia de protección.

$$R = \frac{V \text{ de alimentación} - \text{Caída de tensión}}{I \text{ corriente admisible del led inf rarrojo}}$$

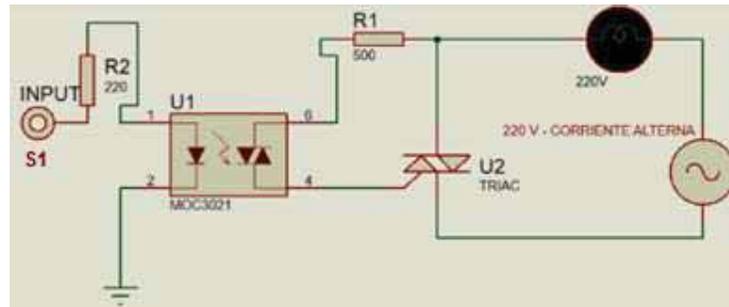
$$R = \frac{5V - 3V}{10mA} = 200 \text{ ohm}$$

Finalmente se usa una resistencia comercial de 220 ohm para cuidar al diodo led interno del MOC 3021. Además el manual recomienda usar una resistencia de 500 ohm en serie con el fototriac interno del MOC 3021.

Para accionar el motor reductor usamos el triac de potencia BT138 que es controlado mediante el optoacoplador MOC 3021 que soporta hasta 500VAC y una

corriente máxima de 8Arms lo cual es suficiente para manejar el motor reductor de 1Kw de potencia.

Con estos dispositivos se evita que haya retornos de la corriente al pin S1 del módulo arduino.



**Figura 83.** Circuito de conmutación con fototriac

**Fuente:** Propia

#### 4.2.11. IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO DEL CIRCUITO

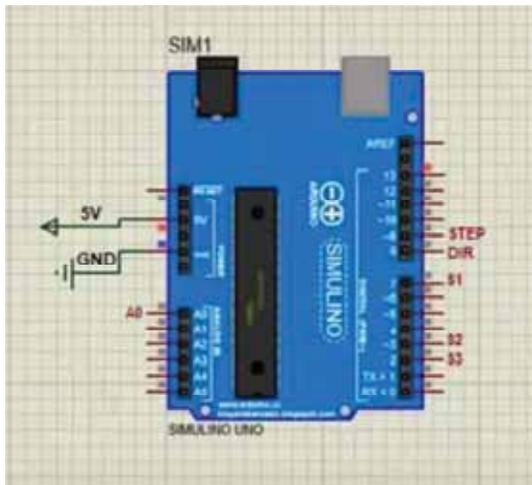
Se realizó dos placas impresas, una para el acondicionamiento de sensores y actuadores acoplado a arduino uno y otra para la etapa de potencia, las salidas que se utilizaron de arduino uno son las siguientes:

**1. SALIDA ANALÓGICA:** A0, para la lectura del sensor de turbidez.

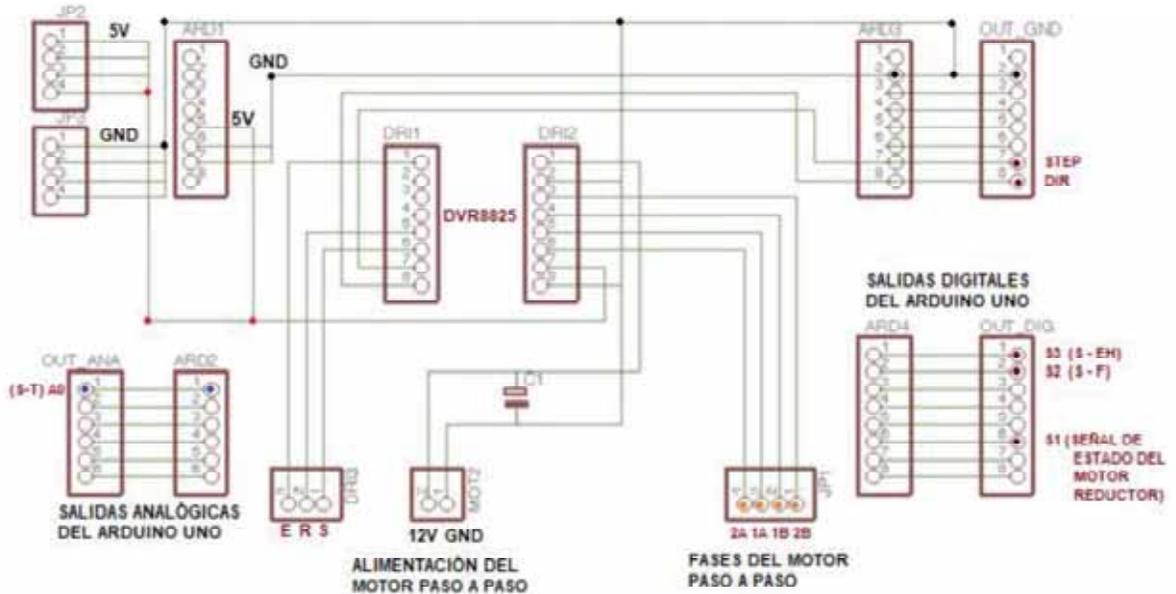
**2. SALIDAS DIGITALES:**

- S1, para activar o desactivar el estado del motor reductor monofásico
- S2, para la lectura del sensor de flujo
- S3, para la lectura del sensor efecto hall (para calibrar la velocidad del motor reductor).
- D8, dirección horaria del motor paso a paso
- D7, dirección antihoraria del motor paso a paso

A continuación se detalla en las figuras.



(a)



(b)

Figura 84. Diseño circuital para la instalación de sensores y actuador  
Fuente: Propia

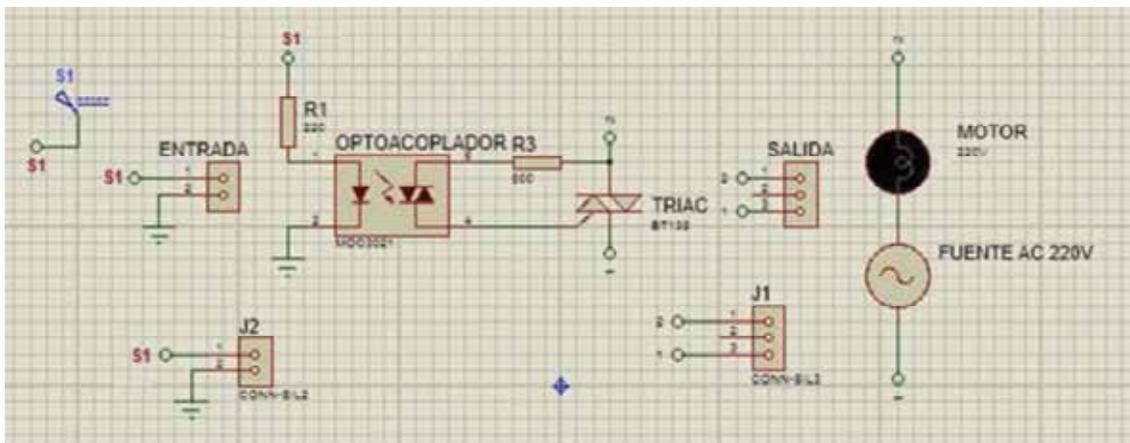


Figura 85. Diseño circuital de la conmutación - optoacoplador  
Fuente: Propia

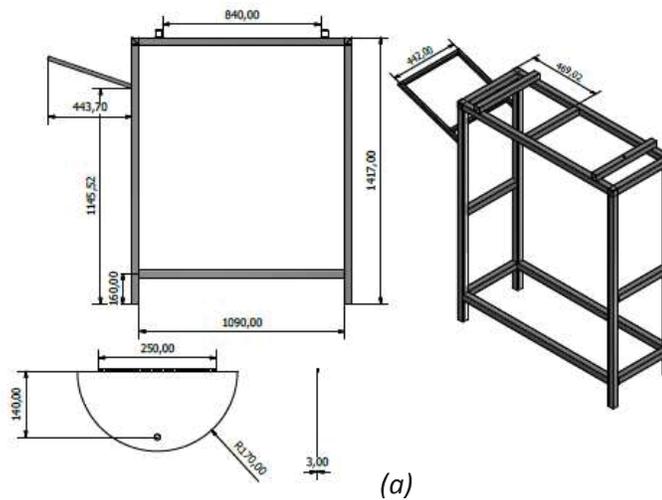
### 4.3. INTEGRACIÓN DE COMPONENTES

Para realizar las pruebas del sistema se procede a la integración de los componentes al prototipo, primero se realizó el diseño y la construcción del prototipo en acero inoxidable, luego se acondicionó e instaló los componentes en las respectivas ubicaciones de la planta.

**Tabla 35.** Ubicación de los sensores y actuadores

SENSORES Y ACTUADORES	UBICACIÓN EN:
Sensor efecto Hall S49E	Motor Monofasico
Sensor de flujo YF-S201	En la tubería de 1/2"
Sensor de turbidez SEN0189	En la tubería de 3/4"
Motor paso a paso PRIMODAL NEMA 17-PHB42S48-402A	En la válvula de compuerta de agua
Optoacoplador (etapa de potencia)	case
Módulo arduino	case

*Fuente: Propia*



(a)



(b)

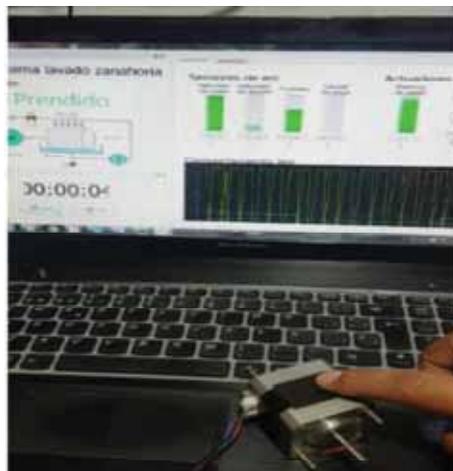
**Figura 86.** Estructura y componentes del prototipo

*Fuente: Propia*



**Figura 87.** Acondicionamiento e instalación de tecnologías al prototipo  
**Fuente:** Propia

Una vez acondicionado los componentes al prototipo se desarrollaron las pruebas necesarias antes de poner en funcionamiento el sistema de lavado de zanahorias.



**Figura 88.** Pruebas para el funcionamiento de la planta  
**Fuente:** Propia

## CAPITULO V

### RESULTADOS DEL SISTEMA

En este capítulo se muestra los resultados que debe realizar el sistema de lógica difusa, estos resultados se realizaron después de la implementación al sistema.

Una vez que el sistema se encuentra activo (prendido) se inicia con las lecturas del sensor de caudal y turbidez, estos ingresan al control difuso.

Para activar las reglas, primero se realiza la difusificación, nexo que representa los valores reales en grados de pertenencia de las variables lingüísticas de los conjuntos difusos, posteriormente estos realizan las reglas de control con el operador mandani (AND), para que finalmente la variable de salida realice la desdifusificación, obtención del valor real de la apertura de la válvula.

Detallaremos las 20 reglas que realiza las variables de entrada y su respectiva desdifusificación en la variable de salida.

#### REGLA 1

SI “T” es Muy Baja y “Q” es Bajo **ENTONCES** “AV” es Muy Cerrada

*Tabla 36. Regla de inferencia 1*

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua							
		TURBIDEZ (T)					
		AND, (Y) , $\cap$	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta	

*Fuente: Propia*

Para esta regla se activa el conjunto de salida “muy cerrada”.



Figura 89. Activación de una regla difusa - N° 1  
Fuente: Propia

## REGLA 2

SI “T” es Muy Baja y “Q” es Medio **ENTONCES** “AV” es Muy Cerrada

Tabla 37. Regla de inferencia 2

		Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua					
		TURBIDEZ (T)					
		AND, (Y) , $\cap$	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO		Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activa el conjunto de salida “muy cerrada”.



Figura 90. Activación de una regla difusa - N° 2

Fuente: Propia

### REGLA 3

SI “T” es Muy Baja y “Q” es Alto **ENTONCES** “AV” es Muy Cerrada

Tabla 38. Regla de inferencia 3

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua						
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	AND, (Y), ∩					
	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta	

Fuente: Propia

Para esta regla se activa el conjunto de salida “muy cerrada”.



Figura 91. Activación de una regla difusa - N° 3  
Fuente: Propia

#### REGLA 4

SI “T” es Muy Baja y “Q” es Muy Alto **ENTONCES** “AV” es Muy Cerrada

Tabla 39. Regla de inferencia 4

		Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua					
		TURBIDEZ (T)					
		AND, (Y) , $\cap$	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO		Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO		Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activa el conjunto de salida “muy cerrada”.



Figura 92. Activación de una regla difusa - N° 4

Fuente: Propia

## REGLA 5

SI “T” es Baja y “Q” es Bajo **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta

Tabla 40. Regla de inferencia 5

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua							
		TURBIDEZ (T)					
		AND, (Y), $\cap$	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO		Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO		Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “muy abierta”.



Figura 93. Activación de dos reglas difusas - Nº 5 y 9  
Fuente: Propia

## REGLA 6

SI “T” es Baja y “Q” es Medio **ENTONCES** “AV” es Abierta

Tabla 41. Regla de inferencia 6

		Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua				
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “abierta” y “muy abierta”.



Figura 94. Activación de dos reglas difusas - N° 6 y 10

Fuente: Propia

## REGLA 7

SI “T” es Baja y “Q” es Alto **ENTONCES** “AV” es Semi Abierta

Tabla 42. Regla de inferencia 7

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua							
		TURBIDEZ (T)					
		AND, (Y), $\cap$	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO		Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO		Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “semi abierta” y “abierta”.



Figura 95. Activación de dos reglas difusas - Nº 7 y 11

Fuente: Propia

## REGLA 8

SI “T” es Baja y “Q” es Muy Alto **ENTONCES** “AV” es Semi Abierta

Tabla 43. Regla de inferencia 8

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua							
		TURBIDEZ (T)					
		AND, (Y), $\cap$	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO		Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO		Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “semi abierta” y “abierta”.



Figura 96. Activación de dos reglas difusas - N° 8 y 12

Fuente: Propia

## REGLA 9

SI “T” es Media y “Q” es Bajo **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta

Tabla 44. Regla de inferencia 9

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua						
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “muy abierta”.

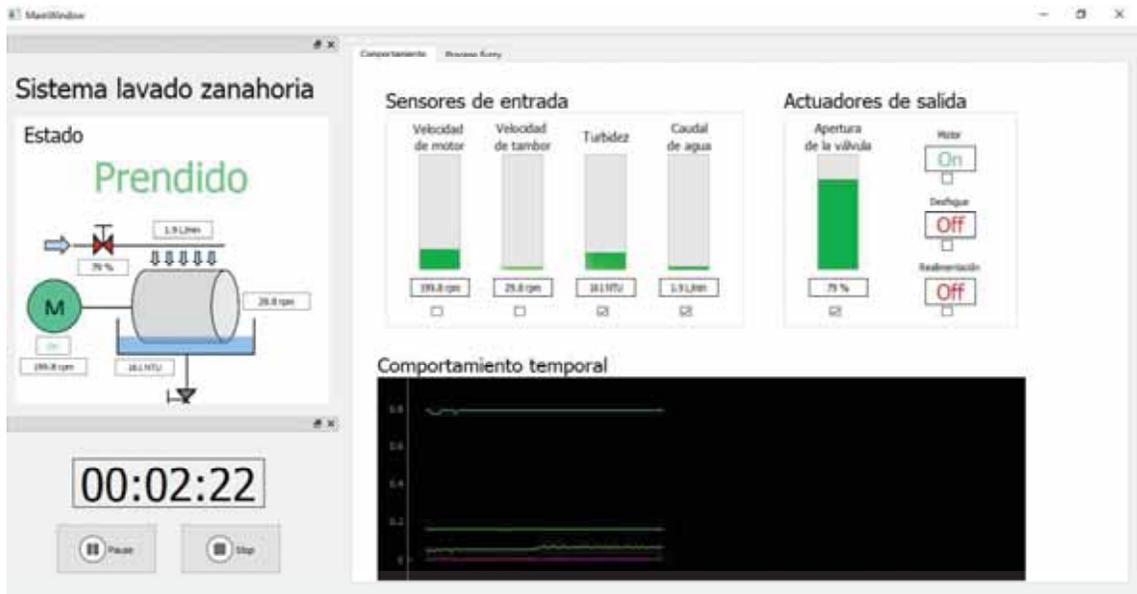


Figura 97. Activación de dos reglas difusas - N° 9 y 13

Fuente: Propia

## REGLA 10

SI “T” es Media y “Q” es Medio **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta

Tabla 45. Regla de inferencia 10

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua						
		TURBIDEZ (T)				
AND, (Y), $\cap$		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “muy abierta”.



Figura 98. Activación de dos reglas difusas - Nº 10 y 14  
Fuente: Propia

## REGLA 11

SI “T” es Media y “Q” es Alto **ENTONCES** “AV” es Abierta

Tabla 46. Regla de inferencia 11

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua							
		TURBIDEZ (T)					
		AND, (Y), $\cap$	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO		Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO		Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “abierta” y “muy abierta”.



Figura 99. Activación de dos reglas difusas - Nº 11 y 15  
Fuente: Propia

## REGLA 12

SI “T” es Media y “Q” es Muy Alto **ENTONCES** “AV” es Abierta

Tabla 47. Regla de inferencia 12

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua						
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “abierta”.



Figura 100. Activación de dos reglas difusas - N° 12 y 16  
Fuente: Propia

## REGLA 13

SI “T” es Alta y “Q” es Bajo **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta

Tabla 48. Regla de inferencia 13

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua							
		TURBIDEZ (T)					
		AND, (Y) , ∩	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO		Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO		Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO		Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “muy abierta”.



Figura 101. Activación de dos reglas difusas - Nº 13 y 17  
Fuente: Propia

## REGLA 14

SI “T” es Alta y “Q” es Medio ENTONCES “AV” es Muy Abierta

Tabla 49. Regla de inferencia 14

		Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua				
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	AND, (Y), ∩					
	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta	

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “muy abierta”.



Figura 102. Activación de dos reglas difusas - Nº 14 y 18  
Fuente: Propia

## REGLA 15

SI “T” es Alta y “Q” es Alto **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta

Tabla 50. Regla de inferencia 15

		Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua				
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “muy abierta”.



**Figura 103.** Activación de dos reglas difusas - Nº 15 y 19  
**Fuente:** Propia

## REGLA 16

SI “T” es Alta y “Q” es Muy Alto **ENTONCES** “AV” es Abierta

**Tabla 51.** Regla de inferencia 16

		Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua				
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

**Fuente:** Propia

Para esta regla se activan los conjuntos de salida “abierta” y “muy abierta”.



Figura 104. Activación de dos reglas difusas - N° 16 y 20  
Fuente: Propia

## REGLA 17

SI “T” es Muy Alta y “Q” es Bajo **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta

Tabla 52. Regla de Inferencia 17

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua						
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activa el conjunto de salida “muy abierta”.



Figura 105. Activación de una regla difusa - Nº 17  
Fuente: Propia

## REGLA 18

SI “T” es Muy Alta y “Q” es Medio **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta

Tabla 53. Regla de inferencia 18

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua						
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activa el conjunto de salida “muy abierta”.



Figura 106. Activación de una regla difusa - N° 18  
Fuente: Propia

## REGLA 19

SI “T” es Muy Alta y “Q” es Alto **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta

Tabla 54. Regla de Inferencia 19

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua						
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta

Fuente: Propia

Para esta regla se activa el conjunto de salida “muy abierta”.



Figura 107. Activación de una regla difusa - N° 19

Fuente: Propia

## REGLA 20

SI “T” es Muy Alta y “Q” es Muy Alto **ENTONCES** “AV” es Muy Abierta

Tabla 55. Regla de inferencia 20

Turbidez y caudal de agua VS. Apertura de válvula de agua						
		TURBIDEZ (T)				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL (Q)	AND, (Y), $\cap$					
	BAJO	Muy Cerrada	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	MEDIO	Muy Cerrada	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
	ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Muy Abierta	Muy Abierta
MUY ALTO	Muy Cerrada	Semi Abierta	Abierta	Abierta	Muy Abierta	

Fuente: Propia

Para esta regla se activa el conjunto de salida “muy abierta”.



Figura 108. Activación de una regla difusa - Nº 20

Fuente: Propia

## DESARROLLO DE LA DESDIFUSIFICACIÓN DE LA REGLA 16

De los datos obtenidos de los sensores de turbidez (T) y caudal (Q)

$$T = 317 \text{ UNT} \quad Q = 9.9 \text{ Lt}/\text{min}$$

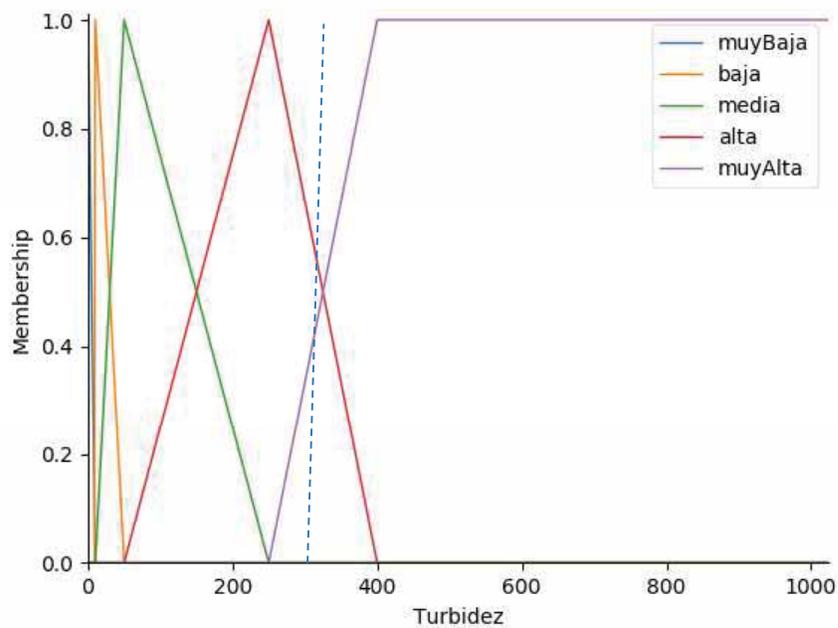
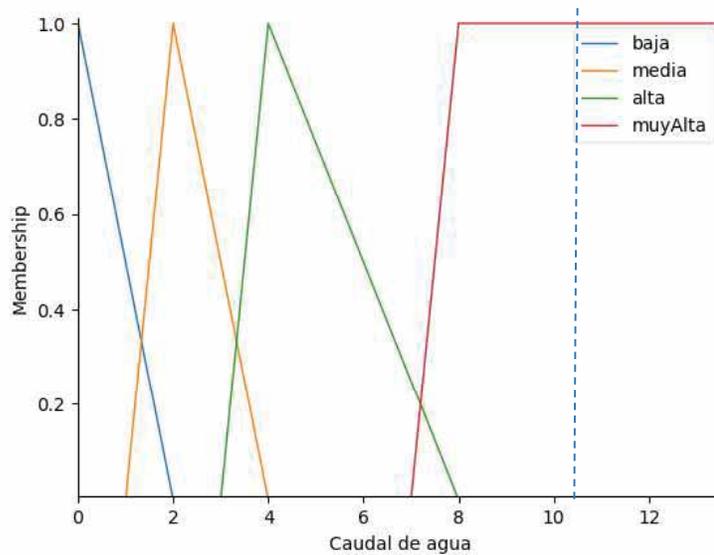


Figura 109. Proceso de defusificación de la variable entrada turbidez

Fuente: Propia



**Figura 110.** Proceso de difusificación de la variable entrada caudal  
**Fuente:** Propia

5. Se realiza la difusificación para  $T = 317$  UNT y  $Q = 9.9$  Lt/min. es decir determinamos los valores de pertenencia o membresía de la función de variable de entrada “turbidez y caudal”.

Para defusificar se usa la ecuación de la recta (determina un punto).

$$y - y_0 = m(x - x_0)$$

Para  $T = 317$ , la función singleton activa a los conjuntos “Alta” y “Muy Alta” de los conjuntos de la función turbidez.

$$\mu_T = \frac{1}{150}(T - 250)$$

$$\mu_T = -\frac{1}{150}(T - 400)$$

$$\mu_T = \frac{1}{150}(317 - 250)$$

$$\mu_T = -\frac{1}{150}(317 - 400)$$

$$\mu_T = 0.45$$

$$\mu_T = 0.55$$

Para  $Q = 9.9$ , la función singleton activa al conjunto “Muy Alta” de los conjuntos de la función de pertenencia caudal.

$$\mu_Q = 1.0$$

6. Las reglas que se activaron son “abierta” y “muy abierta” finalmente se hace inferencia.

**Tabla 56. Resultado de la regla 16**

	TURBIDEZ		
	AND, (Y), $\cap$	ALTA	MUY ALTA
CAUDAL	MUY ALTO	Abierta	Muy Abierta

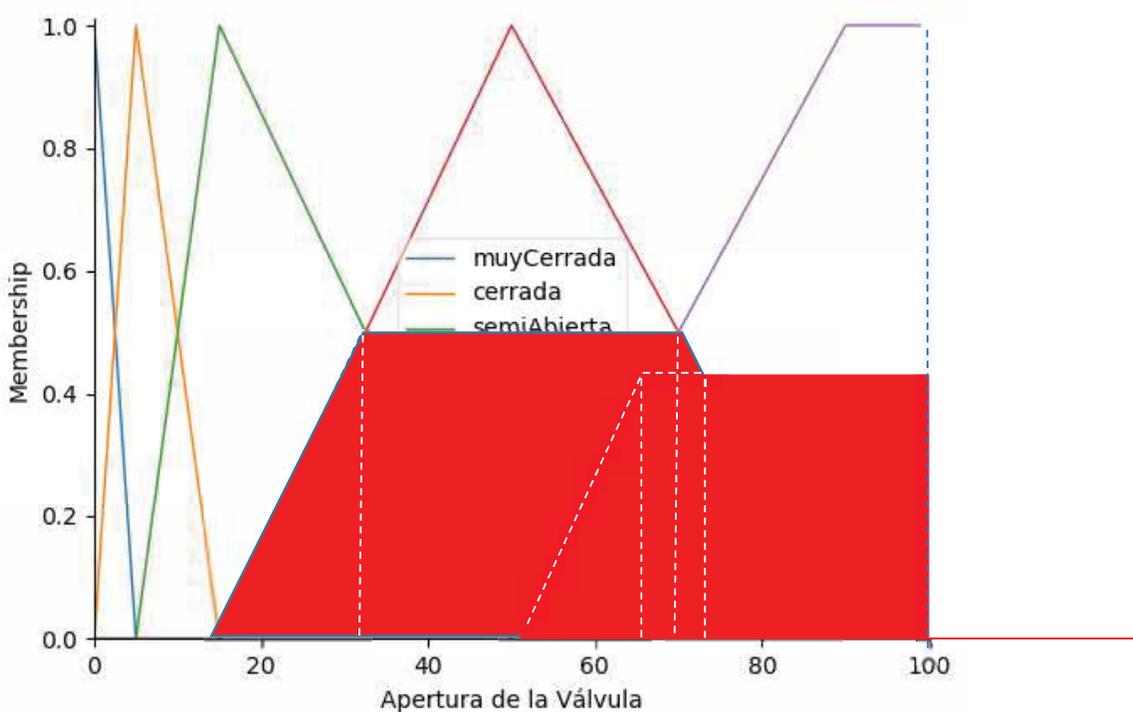
*Fuente: Propia*

**INFERENCIA:**

Si T es ALTA (0.55) y Q es MUY ALTO (1.0) entonces AV es ABIERTA (0.55)

Si T es MUY ALTA (0.45) y Q es MUY ALTO (1.0) entonces AV es MUY ABIERTA (0.45)

- Finalmente se realizó la desfusificación en la función pertenencia apertura de válvula (AV) por centro de áreas o gravedad.



**Figura 111. Proceso de la desfusificación de variable de salida apertura de la válvula**

*Fuente: Propia*

Tenemos las funciones de:

$$\mu_{AV} = \begin{cases} 0 & AV \leq 15 \\ \frac{0.55(AV-15)}{15} & 15 \leq AV \leq 30 \\ 0.55 & 30 \leq AV \leq 70 \\ -\frac{0.55(AV-75)}{5} & 70 \leq AV \leq 75 \\ 0 & AV \geq 90 \end{cases}$$

$$\mu_{AV} = \begin{cases} 0 & AV \leq 50 \\ \frac{0.45(AV-50)}{15} & 50 \leq AV \leq 65 \\ 0.45 & 90 \leq AV \leq 100 \\ 0 & AV \geq 100 \end{cases}$$

Para la desfusificación usamos la ecuación:  $AV^* = \frac{\int_0^R \mu_R(AV) \cdot AV d_{AV}}{\int_0^R \mu_R(AV) d_{AV}}$

$$AV^* = \frac{\int_{15}^{30} 0.55 \left(\frac{AV-15}{15}\right) (AV) d_{AV} + \int_{30}^{70} 0.55 (AV) d_{AV} + \int_{70}^{75} (0.55) \left(\frac{75-AV}{5}\right) (AV) d_{AV} + \int_{75}^{100} 0.45 (AV) d_{AV}}{\int_{15}^{30} 0.55 \left(\frac{AV-15}{15}\right) d_{AV} + \int_{30}^{70} 0.55 d_{AV} + \int_{70}^{75} (0.55) \left(\frac{75-AV}{5}\right) d_{AV} + \int_{75}^{100} 0.45 d_{AV}}$$

$AV^* = 58.68\%$  (valor teórico)



**Figura 112.** Resultado de la desfusificación mediante el software python  
Fuente: Propia

Finalmente se compara el valor teórico y el valor obtenido en el software, se verifica que ¡sí cumple!, ambos valores representan, apertura de la válvula “muy abierta” para las variables de entradas utilizadas.

**5.1. RESULTADOS DEL LAVADO DE ZANAHORIAS CON 3 KG, 5 KG Y 10KG**



**Figura 113.** Lavado de 3 kg. de zanahoria



**Figura 114.** Lavado de 5 kg. de zanahoria

**Fuente:** Propia



**Figura 115.** Lavado de 10 kg. de zanahoria



**Figura 116.** Lavado manual y en el prototipo

**Fuente:** Propia

### 5.1.1. RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE LAVADO MANUAL - MÉTODO DE LAVADO DE LOS PRODUCTORES DE ZANAHORIA

En los primeros minutos, se realiza el remojo para suavizar la tierra adherida a las zanahorias, se realiza en una poza llena de agua limpia de 0.50 x 0.6 x 0.35 m, luego se abre el caño a caudal máximo para realizar el primer, segundo y tercer lavado en forma unitaria con las manos (pasadas de ida y vuelta) después de depurar la suciedad de las zanahorias se realiza el enjuague (las zanahorias solamente las esparcen), después del remojo se abre permanentemente el drenador de la poza permitiendo la salida del agua sucia.

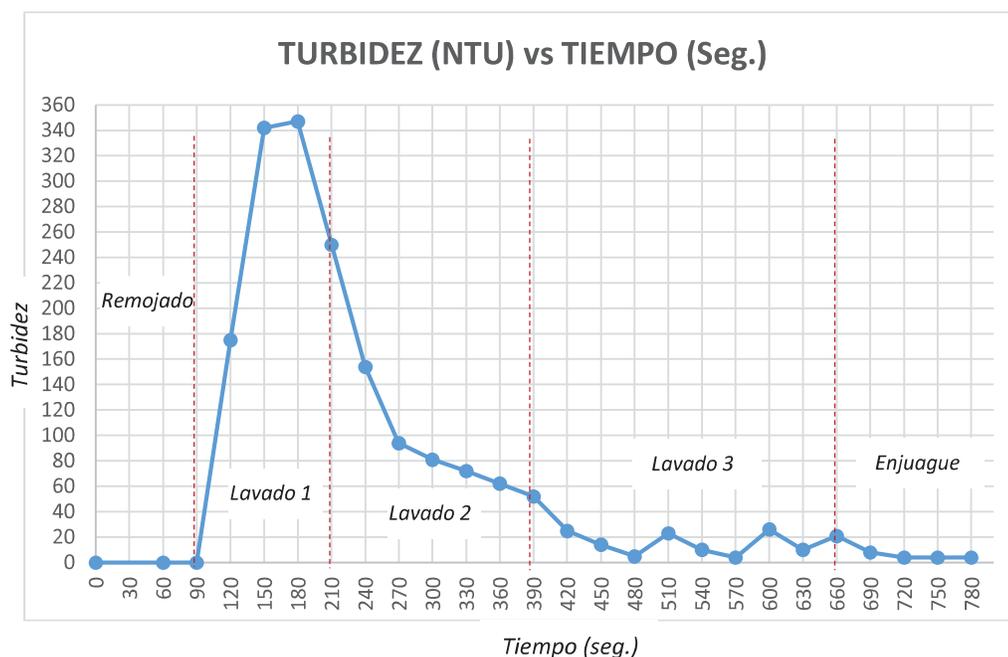
Para obtener los resultados se siguió el mismo método de lavado de los productores, el agua ingresa por una tubería de ½" con un caudal de inicio 10.5 Lt, el lavado se realizó a las 15.00 – 16.00 (tiempo donde existen caudales muy altos).

Se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 57. Datos obtenidos para 3 Kg. de zanahoria - lavado manual**

PROCESO DE LAVADO	TIEMPO		TURBIDEZ (UNT)	CAUDAL (Lt/min)
	Min. y Seg.	Seg.		
REMOJADO	00"	00"	0	10.5
	1' 00"	60"	0	
	1' 30"	90"	0	
LAVADO 1	2' 00"	120"	175	
	2' 30"	150"	342	
	3' 00"	180"	347	
	3' 30"	210"	250	
LAVADO 2	4' 00"	240"	154	
	4' 30"	270"	94	
	5' 00"	300"	81	
	5' 30"	330"	72	
	6' 00"	360"	62	
LAVADO 3	6' 30"	390"	52	
	7' 00"	420"	25	
	7' 30"	450"	14	
	8' 00"	480"	5	
	8' 30"	510"	23	
	9' 00"	540"	10	
	9' 30"	570"	4	
ENJUAGUE	10' 00"	600"	26	
	10' 30"	630"	10	
	11' 00"	660"	21	
	11' 30"	690"	8	
	12' 00"	720"	4	
	12' 30"	750"	4	
	13' 00"	780"	4	

Fuente: Propia



**Figura 117.** Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado manual (3 Kg.)  
**Fuente:** Propia

En las figura 117, se observa que en la etapa de remojado la turbidez empieza a incrementar (menor desprendimiento de los solidos adheridos a la zanahoria), en el lavado 1, 2 y 3 asciende y desciende la turbidez (mayor a menor desprendimiento de los solidos), a partir de 11' 30" hasta los 13' 00" (etapa del enjuague), la turbidez desciende hasta 5 UNT (valor permitido por la OMS).

El caudal que se usó fue de 10.5 Lt/min durante 13 min. ( 10.5 Lt/ min x 13 min. = 136.5 Lt.) tiempo el cual las zanahorias cosechadas se encuentran limpias a nivel de la OMS.

**Tabla 58.** Datos obtenidos para 5 Kg. de zanahoria - lavado manual

PROCESO DE LAVADO	TIEMPO		TURBIDEZ (UNT)	CAUDAL (Lt/min)
	Min. y Seg.	Seg.		
REMOJADO	00"	00"	0	10.5
	1' 00"	60"	0	
	1' 30"	90"	0	
	2' 00"	120"	0	
	2' 30"	150"	0	
	3' 00"	180"	0	
	3' 30"	210"	0	
LAVADO 1	4' 00"	240"	360	
	4' 30"	270"	358	
	5' 00"	300"	347	
	5' 30"	330"	380	
	6' 00"	360"	250	
	6' 30"	390"	320	
	7' 00"	420"	246	

LAVADO 2	7' 30"	450"	162
	8' 00"	480"	120
	8' 30"	510"	118
	9' 00"	540"	93
	9' 30"	570"	82
	10' 00"	600"	54
	10' 30"	630"	25
LAVADO 3	11' 00"	660"	62
	11' 30"	690"	52
	12' 00"	720"	25
	12' 30"	750"	14
	13' 00"	780"	18
	13' 30"	810"	23
ENJUAGUE	14' 00"	840"	10
	14' 30"	870"	4
	15' 00"	900"	5
	15' 30"	930"	8
	16' 00"	960"	3
	16' 30"	990"	3
	17' 00"	1020"	4
	17' 30"	1050"	4
	18' 00"	1080"	4

Fuente: Propia

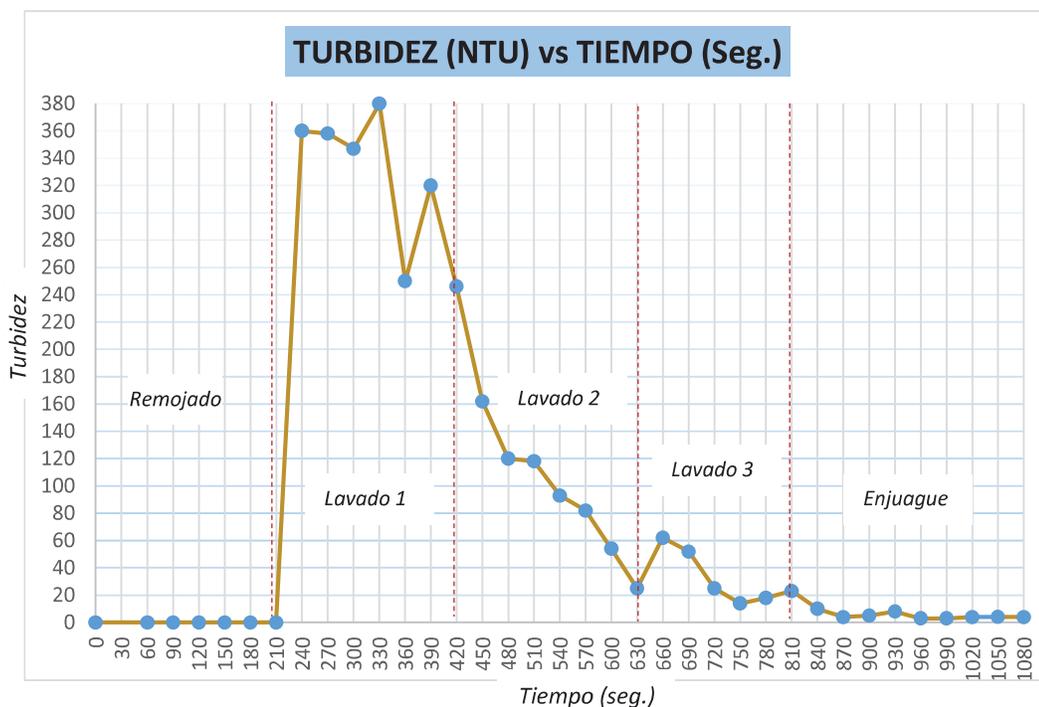


Figura 118. Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado manual (5 Kg.)

Fuente: Propia

En la figura 118, se observa que en la etapa de remojo la turbidez empieza a incrementar (menor desprendimiento de los solidos adheridos a la zanahoria), en el lavado 1, 2 y 3 asciende y desciende la turbidez (mayor a menor desprendimiento de

los solidos), a partir de 14' 00" hasta los 18'00" (etapa del enjuague), la turbidez descende hasta 5 UNT (valor permitido por la OMS).

El caudal que se usó fue de 10.5 Lt/min durante 18 min. ( 10.5 Lt/ min x 18 min. = 189.0 Lt.) tiempo el cual las zanahorias cosechadas se encuentran limpias a nivel de la OMS.

**Tabla 59. Datos obtenidos para 10 Kg. de zanahoria - lavado manual**

PROCESO DE LAVADO	TIEMPO		TURBIDEZ (UNT)	CAUDAL (Lt/min)
	Min. y Seg.	Seg.		
REMOJADO	00"	00"	0	10.5
	1' 00"	60"	0	
	1' 30"	90"	0	
	2' 00"	120"	0	
	2' 30"	150"	0	
	3' 00"	180"	0	
	3' 30"	210"	0	
	4' 00"	240"	0	
	4' 30"	270"	0	
	5' 00"	300"	0	
LAVADO 1	5' 30"	330"	420	
	6' 00"	360"	405	
	6' 30"	390"	393	
	7' 00"	420"	380	
	7' 30"	450"	301	
	8' 00"	480"	320	
	8' 30"	510"	354	
	9' 00"	540"	301	
	9' 30"	570"	295	
	10' 00"	600"	284	
LAVADO 2	10' 30"	630"	290	
	11' 00"	660"	272	
	11' 30"	690"	375	
	12' 00"	720"	351	
	12' 30"	750"	256	
	13' 00"	780"	245	
	13' 30"	810"	251	
	14' 00"	840"	250	
	14' 30"	870"	241	
	15' 00"	900"	246	
LAVADO 3	15' 30"	930"	162	
	16' 00"	960"	145	
	16' 30"	990"	151	
	17' 00"	1020"	124	
	17' 30"	1050"	117	
	18' 00"	1080"	93	
	18' 30"	1110	82	
	19' 00"	1140	54	
19' 30"	1170	29		
LAVADO 3	20' 00"	1200	45	
	20' 30"	1230	52	
	21' 00"	1260	25	
	21' 30"	1290	16	
	22' 00"	1320	17	
	22' 30"	1350"	20	

ENJUAGUE	23' 00"	1380	13
	23' 30"	1410	11
	24' 00"	1440	16
	24' 30"	1470	13
	25' 00"	1500	5
	25' 30"	1530	8
	26' 00"	1560	5
	26' 30"	1530	3
	27' 00"	1620	4
	27' 30"	1650	5
	28' 00"	1680	4

Fuente: Propia

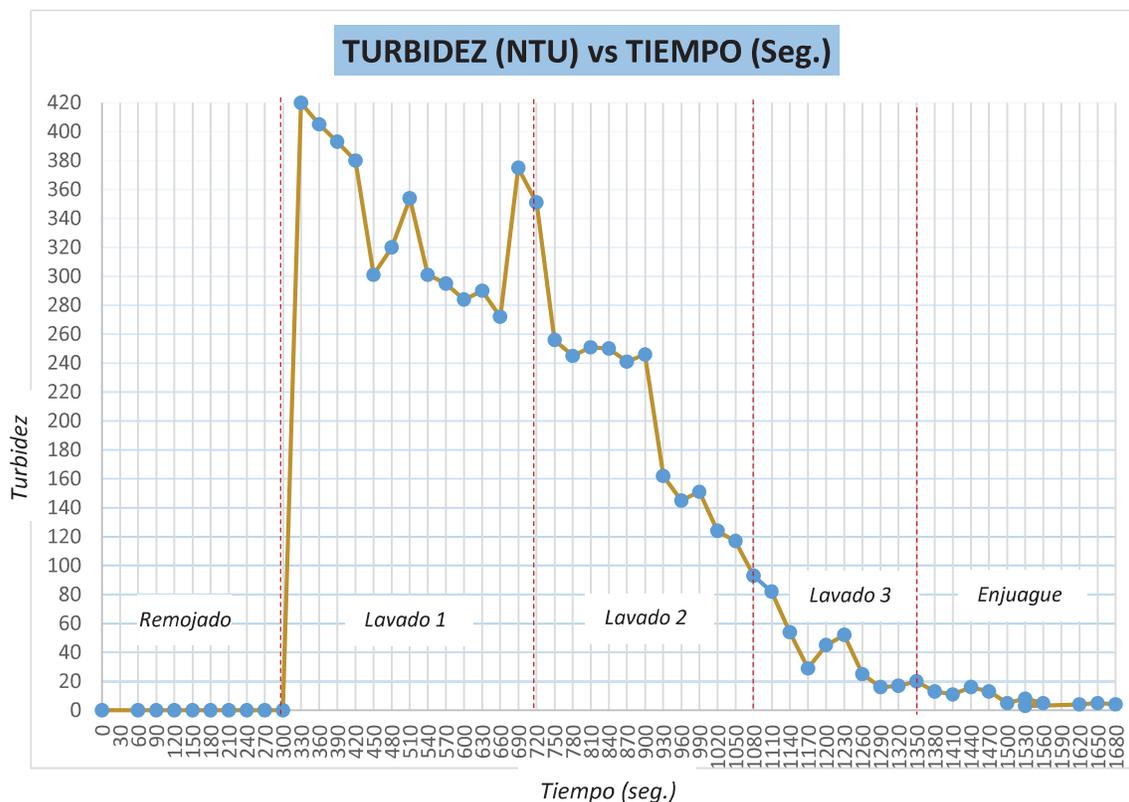


Figura 119. Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado manual (10 Kg.)

Fuente: Propia

En las figura 119, se observa que en la etapa de remojo la turbidez empieza a incrementa (menor desprendimiento de los solidos adheridos a la zanahoria), en el lavado 1, 2 y 3 asciende y descende la turbidez (mayor a menor desprendimiento de los solidos), a partir de 23' 00" hasta los 28'00" (etapa del enjuague), la turbidez descende hasta 5 UNT (valor permitido por la OMS).

El caudal que se usó fue de 10.5 Lt/min durante 28 min. ( 10.5 Lt / min x 28 min. = 294.0 Lt.) tiempo el cual las zanahorias cosechadas se encuentran limpias a nivel de la OMS.

### 5.1.2. RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE LAVADO CON EL PROTOTIPO - MÉTODO DE LAVADO DE LAS ZANAHORIAS A PRESIÓN Y A TAMBOR GIRATORIO EN LA ESCUELA PROFESIONAL ING. ELECTRÓNICA

Con el prototipo de lavado ya no se necesita el remojo de las zanahorias debido a que la planta cuenta con aspersores a presión y tambor giratorio para desprender los solidos adheridos a la zanahoria.

El caudal en la EPIE tiene un flujo permanente de 13.0 Lt/min, caudal que ingresa por una tubería de ½", el lavado se realizó a las 15.00 - 16.00, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 60.** Datos obtenidos para 3 Kg. de zanahoria - lavado en el prototipo

TIEMPO		TURBIDEZ (UNT)	CAUDAL (Lt/min)	APERTURA DE VÁLVULA (%)
Min. y Seg.	Seg.			
00"	00"	0	0	0
10"	10"	121	9.3	53
20"	20"	332	10.5	62
30"	30"	110	8.8	51
40"	40"	63	8.8	51
50"	50"	102	8.8	51
1' 00"	60"	62	8.8	51
1' 10"	70"	54	8.8	51
1' 20"	80"	53	8.8	51
1' 30"	90"	41	8.8	50
1' 40"	100"	48	8.8	51
1' 50"	110"	77	7.3	47
2' 00"	120"	74	7.9	51
2' 10"	130"	22	4.7	28
2' 20"	140"	23	7.2	33
2' 30"	150"	22	8.7	37
2' 40"	160"	13	6.5	40
2' 50"	170"	23	7.1	45
3' 00"	180"	20	7.5	36
3' 10"	190"	4	2	1
3' 20"	200"	27	7.1	32
3' 30"	210"	18	7.3	35
3' 40"	220"	5	4.2	2
3' 50"	230"	0	2	2
4' 00"	240"	40	7.6	48
4' 10"	250"	11	4.6	25

4' 20"	260"	5	3	2
--------	------	---	---	---

Fuente: Propia

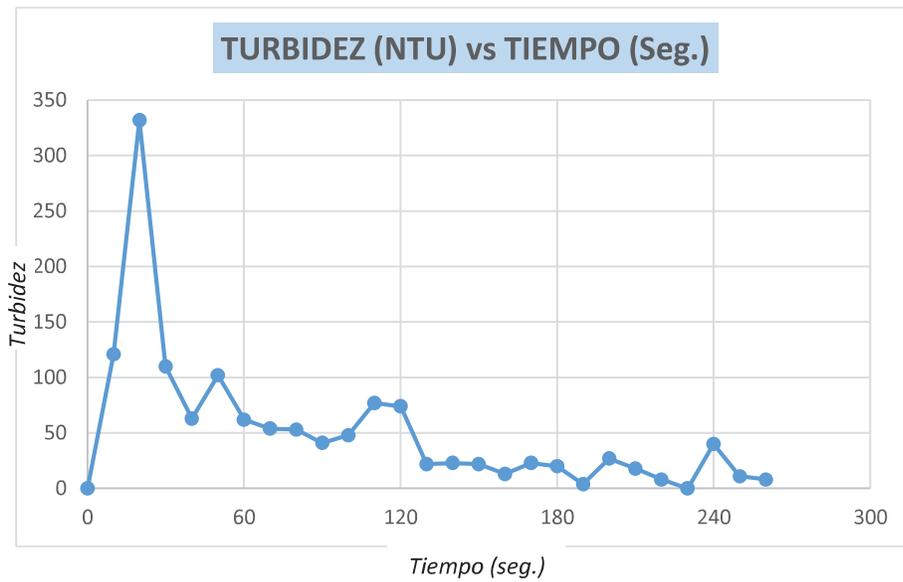


Figura 120. Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (3 Kg.)

Fuente: Propia

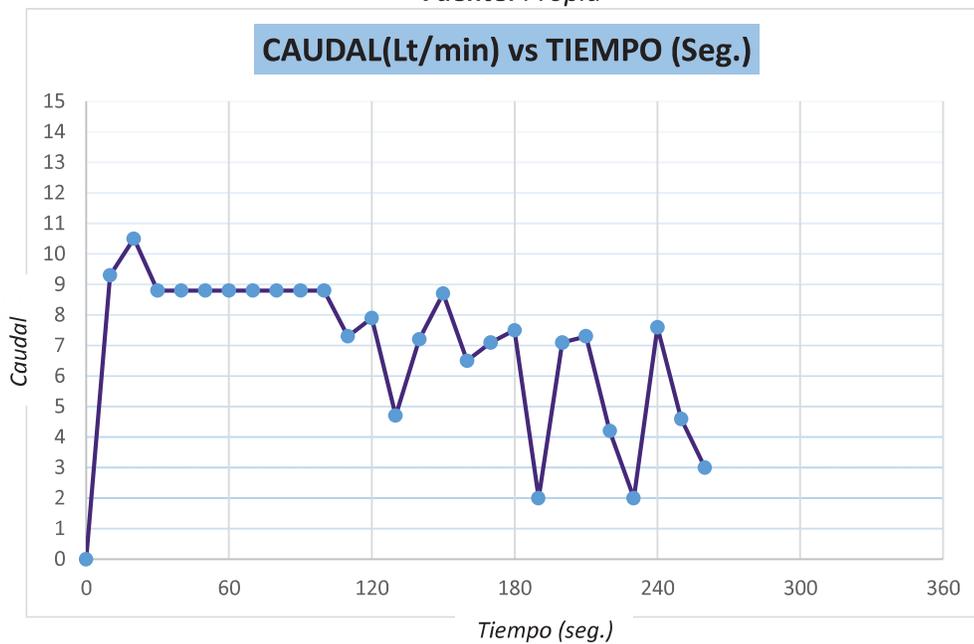
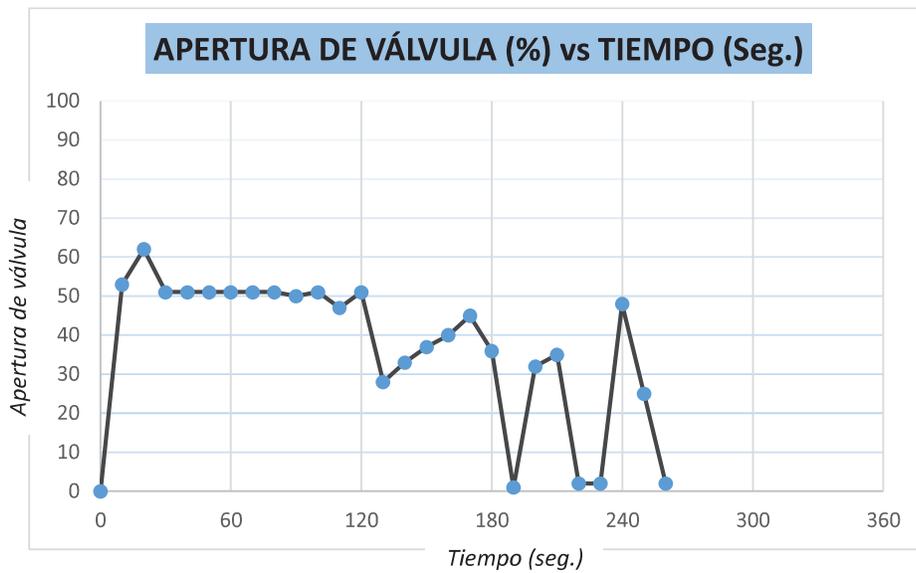
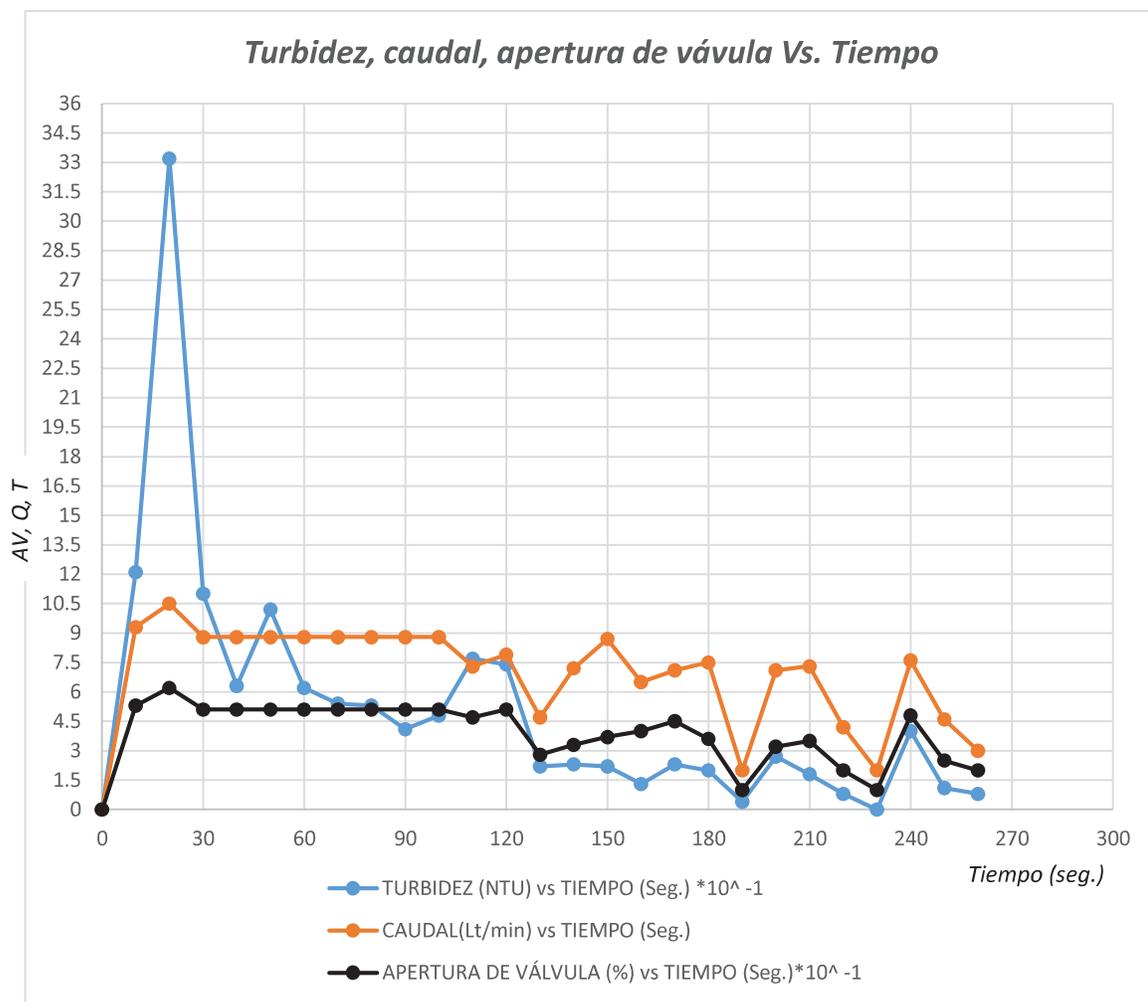


Figura 121. Comportamiento del caudal respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (3 Kg.)

Fuente: Propia



**Figura 122.** Comportamiento de la apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (3 Kg.)  
**Fuente:** Propia



**Figura 123.** Comportamiento de la turbidez, caudal y apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (3 Kg.)  
**Fuente:** Propia

En la figura 123, desde 01" hasta antes de 2' 00" se observa que el comportamiento del lavado es adecuado como se nota la forma descendente que adopta la turbidez, caudal y apertura de la válvula, es decir que a medida que la turbidez desciende, el caudal y la apertura de la válvula también descienden.

En los intervalos de 2' 30" a 2' 50", 3' 00" a 3' 20", 3' 40" a 4' 00" hay un incremento o decremento, este fenómeno se debe a que, la tina del prototipo no tiene inclinación; la tierra que se sedimenta, no se dirige al drenador.

Respecto a 3' 10", 3' 50" y 4' 20" los valores tienden a 0 UNT. se encuentran dentro de las 5 UNT como indica la OMS.

Asi mismo el caudal promedio que se usó fue de 7.15 Lt/min durante 3' 10" tiempo el cual se logró con el objetivo, posteriormente hay por problemas de pendiente en el módulo. Finalmente se puede mencionar que se gastó  $7.15 \text{ Lt/min} \times 3.17 \text{ min.} = 22.66 \text{ Lt.}$  de agua para 3 Kg. de zanahoria cosechada.

**Tabla 61.** Datos obtenidos para 5 Kg. de zanahoria - lavado en el prototipo

TIEMPO (Seg.)		TURBIDEZ (UNT)	CAUDAL (Lt/min)	APERTURA DE VÁLVULA (%)
Min. y Seg.	Seg.			
00"	00"	0	0.0	0
10"	10"	431	12.4	82
20"	20"	388	11.3	77
30"	30"	238	10.5	51
40"	40"	221	10.5	51
50"	50"	168	10.5	51
1' 00"	60"	186	10.5	51
1' 10"	70"	163	10.5	51
1' 20"	80"	121	10.3	51
1' 30"	90"	150	10.3	50
1' 40"	100"	174	10.5	51
1' 50"	110"	54	10.5	51
2' 00"	120"	38	10.2	49
2' 10"	130"	38	10.6	47
2' 20"	140"	28	9.6	42
2' 30"	150"	35	9.9	39
2' 40"	160"	14	7.7	30
2' 50"	170"	16	7.6	32
3' 00"	180"	14	8.5	39
3' 10"	190"	15	4.8	33
3' 20"	200"	16	7.2	45
3' 30"	210"	22	7.3	35
3' 40"	220"	12	6.5	32
3' 50"	230"	12	4.5	28
4' 00"	240"	11	4.5	28
4' 10"	250"	15	5.1	31
4' 20"	260"	8	2.0	2

4' 30"	270"	0	4.1	1
4' 40"	280"	13	5.6	31
4' 50"	290"	8	2.0	1
5' 00"	300"	9	2.0	2
5' 10"	310"	5	2.0	1
5' 20"	320"	5	2.0	1
5' 30"	330"	6	2.0	2
5' 40"	340"	9	2.0	2

Fuente: Propia

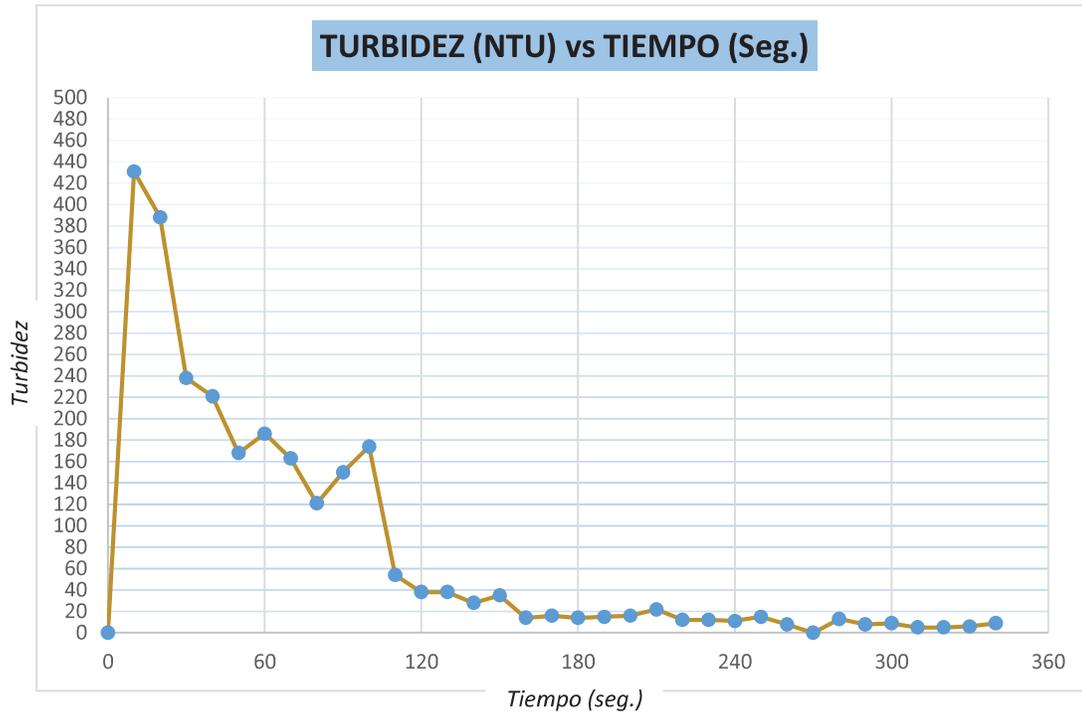


Figura 124. Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (5 Kg.)

Fuente: Propia

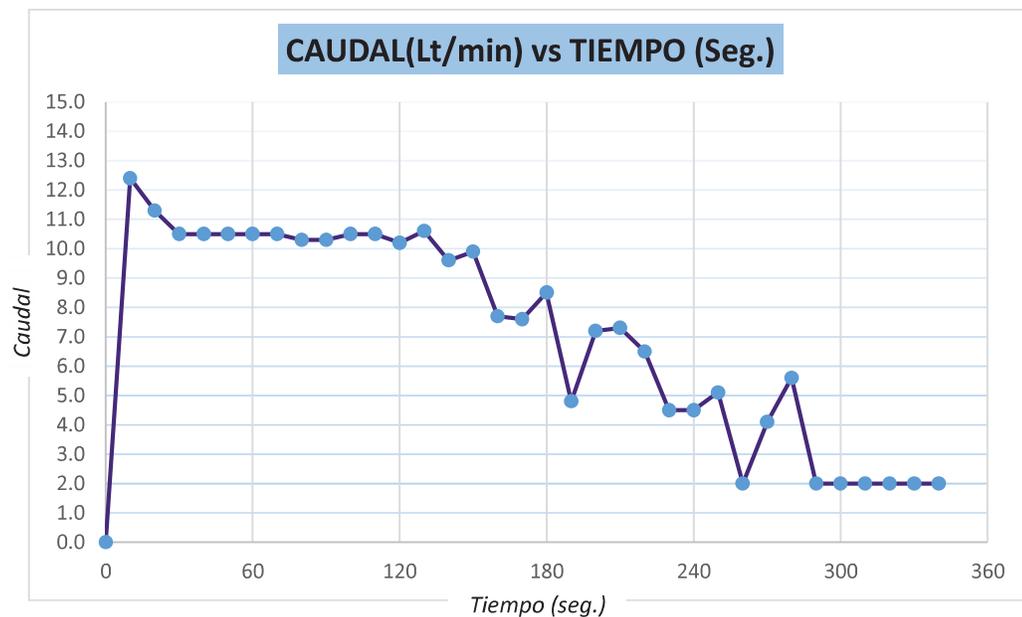


Figura 125. Comportamiento del caudal respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (5 Kg.)

Fuente: Propia

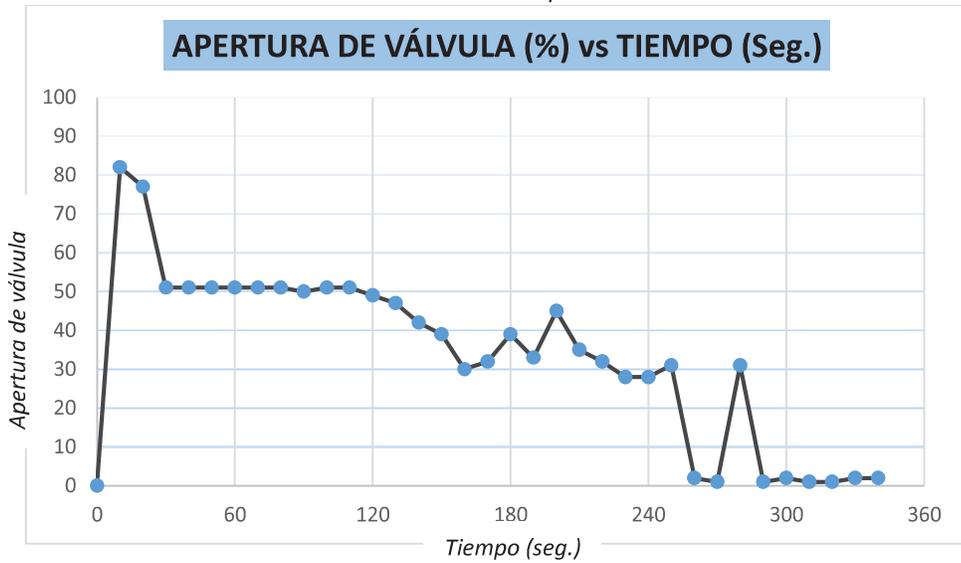


Figura 126. Comportamiento de la apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (5 Kg.)

Fuente: Propia

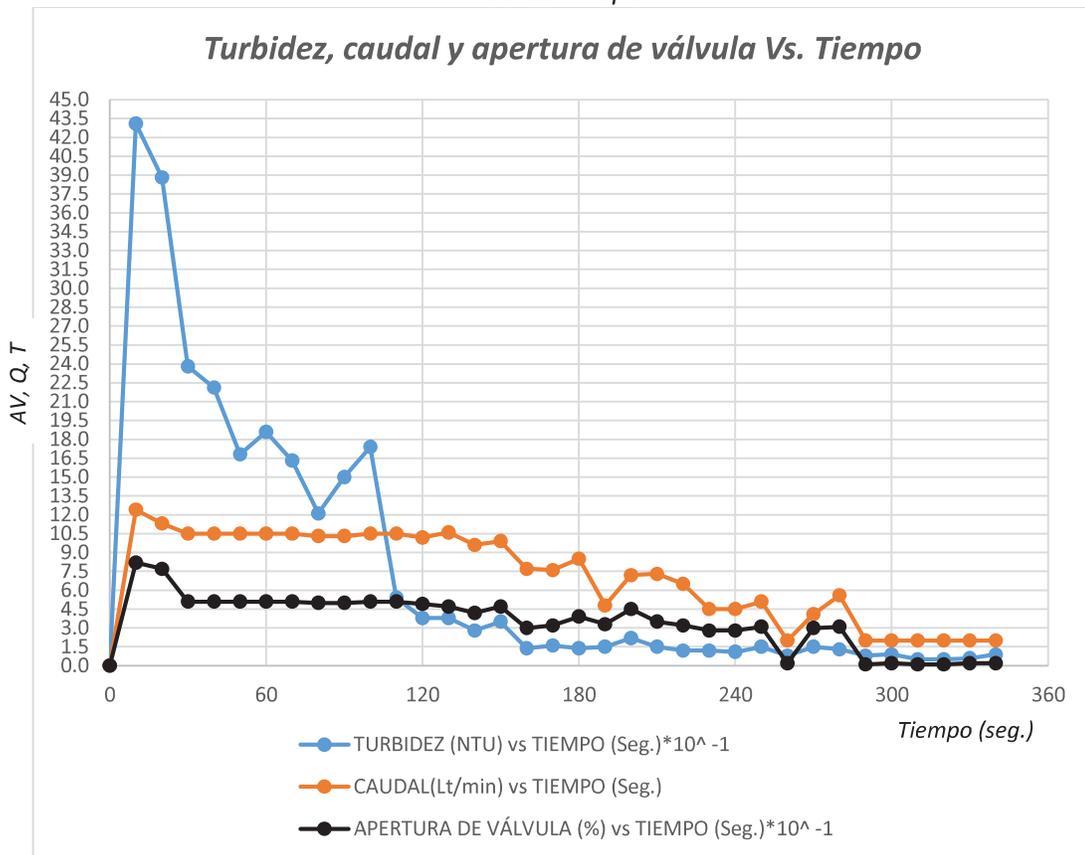


Figura 127. Comportamiento de la turbidez, caudal y apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (5 Kg.)

Fuente: Propia

En la figura 127, sucede el mismo fenómeno en diferentes tiempos. Desde 01" hasta antes de 1' 20" se observa que el comportamiento del lavado es adecuado como se nota la forma descendente que adopta la turbidez, caudal y apertura de la válvula, es decir que a medida que la turbidez desciende, el caudal y la apertura de la válvula también descienden.

En los intervalos de 1' 10" a 1' 40", 2' 10" a 2' 30", 3' 10" a 3' 30" hay un incremento o decremento, este fenómeno se debe a que, la tina del prototipo no tiene inclinación; la tierra que se sedimenta, no se dirige al drenador.

Respecto a 5' 10" y 5' 20" los valores tienden a 0 UNT. se encuentran dentro de las 5 UNT como indica la OMS.

Asi mismo el caudal promedio que se usó fue de 7.22 Lt/min durante 5 min. 10 seg. tiempo el cual se logró con el objetivo, posteriormente hay por problemas de pendiente en el módulo. Finalmente se puede mencionar que se gastó  $7.22 \text{ Lt/min} \times 5.17 \text{ min.} = 37.32 \text{ Lt.}$  de agua para 5 Kg. de zanahoria cosechada.

**Tabla 62.** Datos obtenidos para 10 Kg. de zanahoria - lavado en el prototipo

TIEMPO (Seg.)		TURBIDEZ (UNT)	CAUDAL (Lt/min)	APERTURA DE VÁLVULA (%)
Min. y Seg.	Seg.			
00"	00"	0	0	0
10"	10"	435	11.4	82
20"	20"	389	11.4	81
30"	30"	370	9.3	80
40"	40"	320	9.9	79
50"	50"	221	9.9	78
1' 00"	60"	205	9.1	71
1' 10"	70"	245	9.6	75
1' 20"	80"	248	9.3	76
1' 30"	90"	220	9.1	61
1' 40"	100"	215	9.9	58
1' 50"	110"	203	9.6	53
2' 00"	120"	183	9.5	50
2' 10"	130"	238	9.5	52
2' 20"	140"	160	9	42
2' 30"	150"	153	8.9	40
2' 40"	160"	167	8.5	41
2' 50"	170"	190	8.5	43
3' 00"	180"	87	6.9	39
3' 10"	190"	55	8.8	38
3' 20"	200"	56	8.7	37
3' 30"	210"	57	8.6	38
3' 40"	220"	55	8.8	35
3' 50"	230"	52	8.7	35

4' 00"	240"	47	8.4	30
4' 10"	250"	31	8.3	30
4' 20"	260"	30	7.8	31
4' 30"	270"	30	8.1	31
4' 40"	280"	31	9.9	53
4' 50"	290"	24	7.7	26
5' 00"	300"	24	7.8	25
5' 10"	310"	26	8.9	37
5' 20"	320"	19	8.9	37
5' 30"	330"	19	8.9	37
5' 40"	340	14	8.8	33
5' 50"	350	10	2	23
6' 00"	360	9	5.4	21
6' 10"	370	9	2	19
6' 20"	380	8	2.3	18
6' 30"	390	7	5.1	16
6' 40"	400	6	4.9	4
6' 50"	410	6	4.9	4
7' 00"	420	6	4	3
7' 10"	430	5	2	3
7' 20"	440	5	2	1
7' 30"	450	5	2	1
7' 40"	460	4	2	1
7' 50"	470	4	2	1

Fuente: Propia

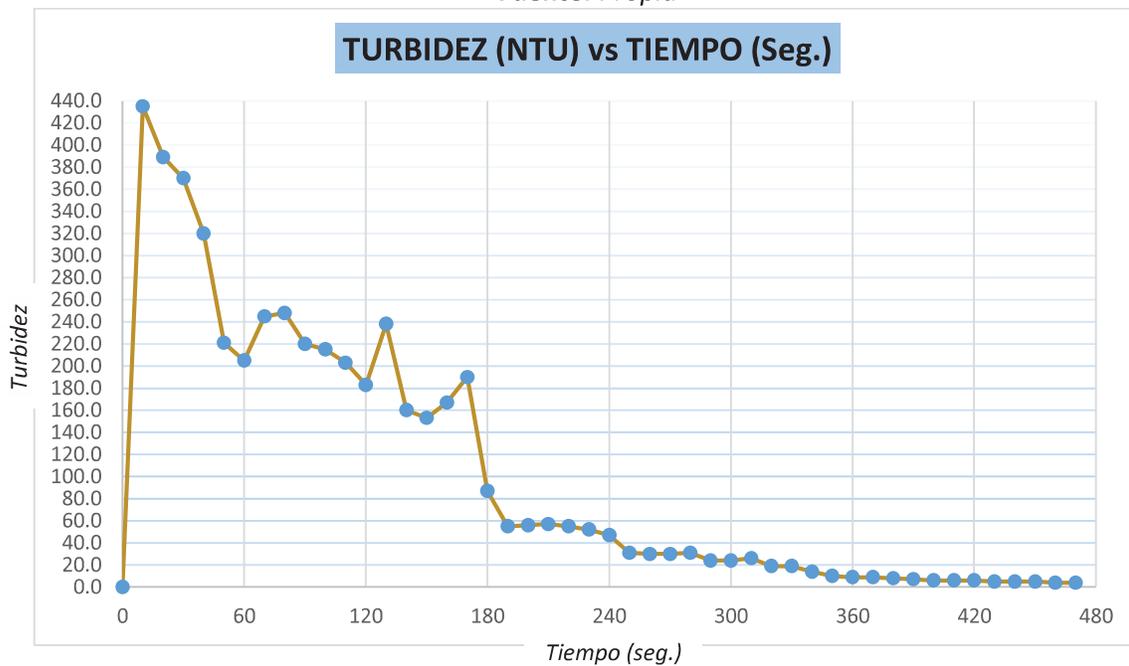
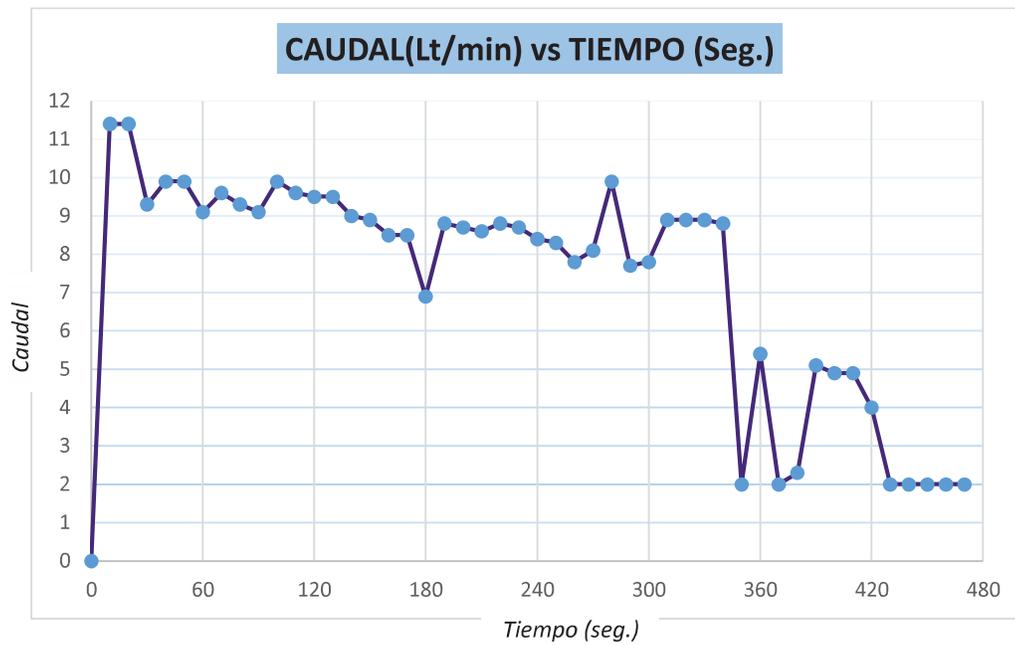
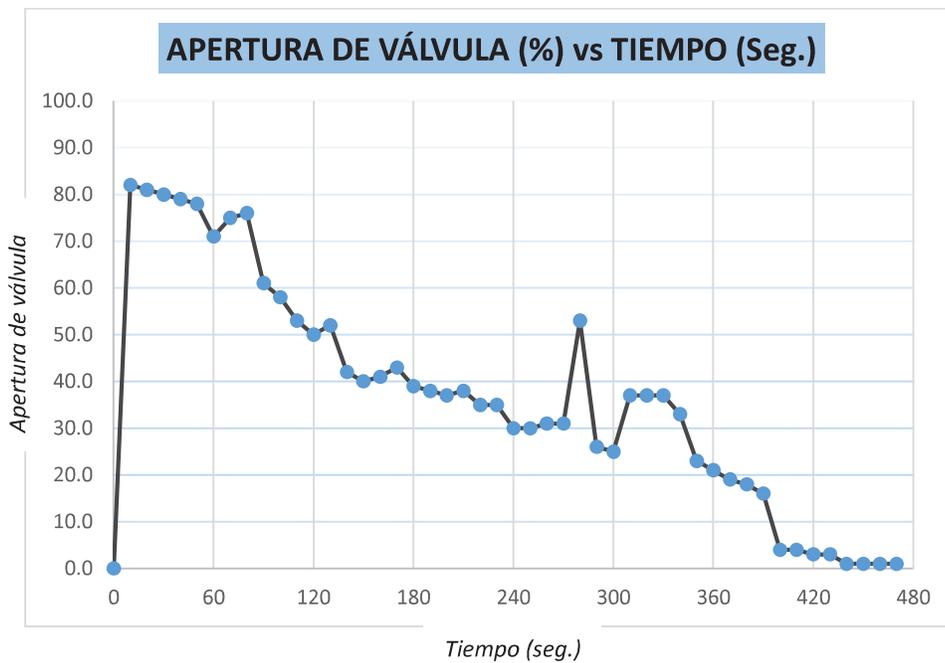


Figura 128. Comportamiento de la turbidez respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (10 Kg.)

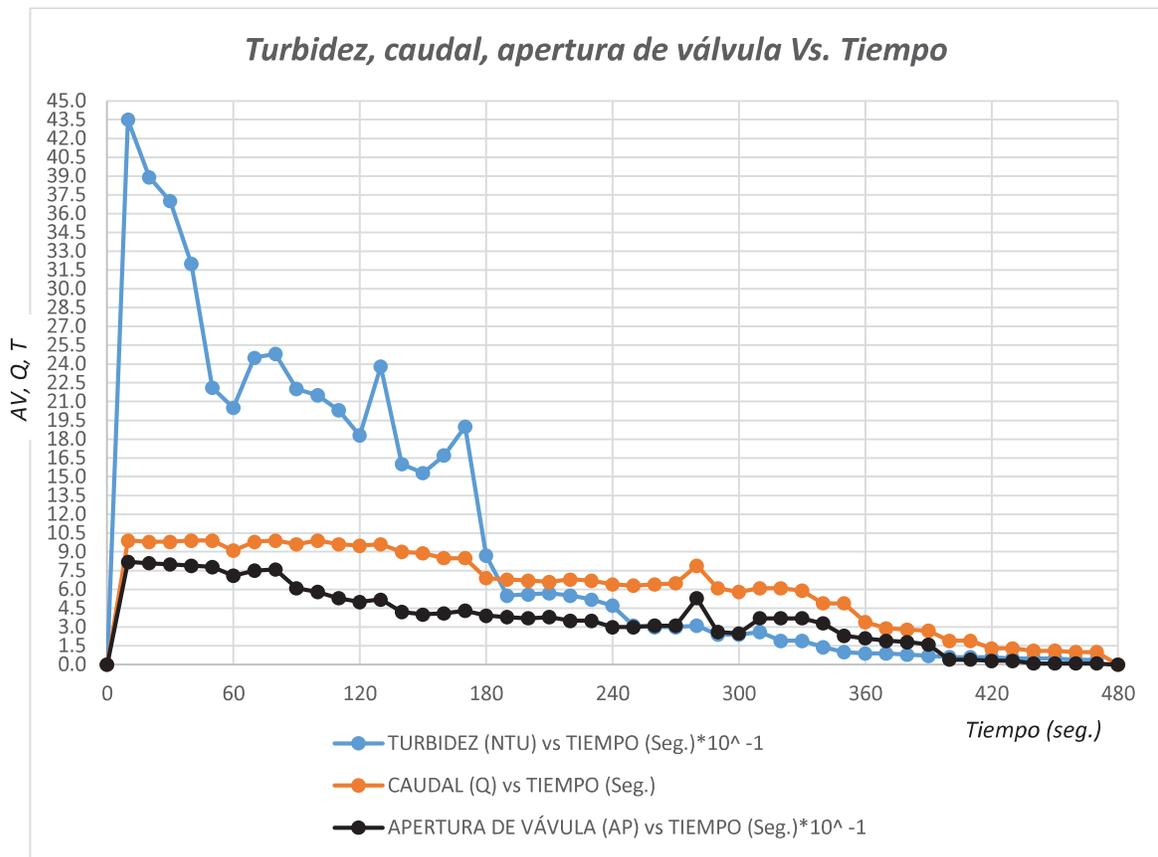
Fuente: Propia



**Figura 129.** Comportamiento del caudal respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (10 Kg.)  
**Fuente:** Propia



**Figura 130.** Comportamiento de la apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (10 Kg.)  
**Fuente:** Propia



**Figura 131.** Comportamiento de la turbidez, caudal y apertura de la válvula respecto al tiempo - lavado dentro del prototipo (10 Kg.)

**Fuente:** Propia

En la figura 131, sucede el mismo fenómeno que los anteriores. Desde 01" hasta antes de 50" se observa que el comportamiento del lavado es adecuado como se nota la forma descendente que adopta la turbidez, caudal y apertura de la válvula, es decir que a medida que la turbidez desciende, el caudal y la apertura de la válvula también descienden.

En los intervalos de 50" a 1' 10", 1' 50" a 2' 10", 2' 20" a 3' 00" hay un incremento y decremento, este fenómeno se debe a que, la tina del prototipo no tiene inclinación; la tierra que se sedimenta, no se dirige al drenador.

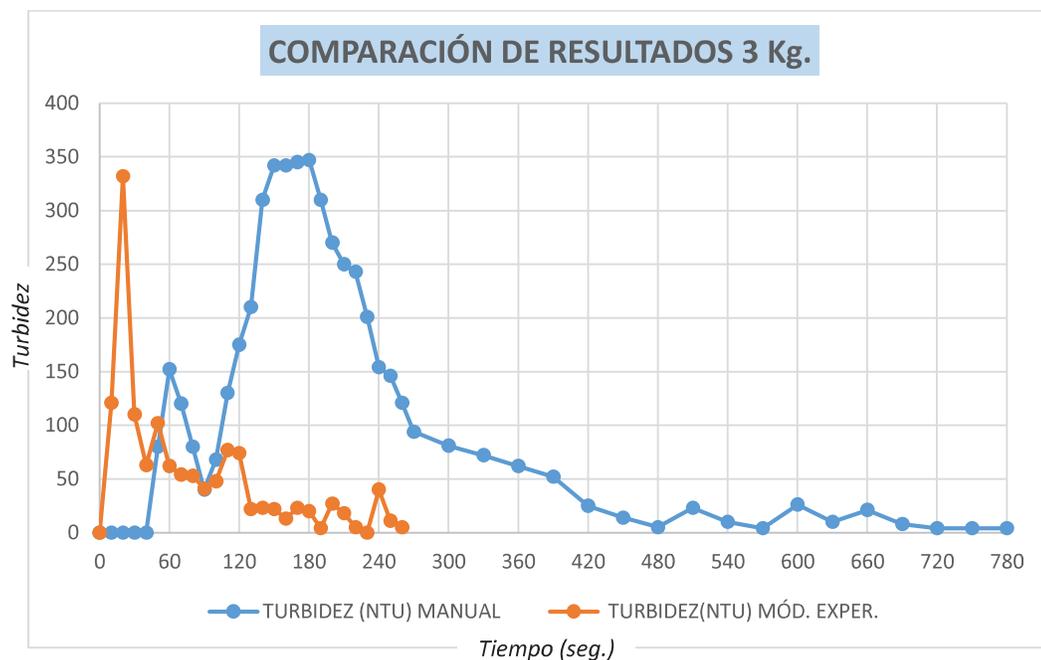
Respecto a 7' 10" y 7' 50" los valores tienden a 0 UNT. se encuentran dentro de las 5 UNT como indica la OMS.

Asi mismo el promedio de caudal que se usó fue de 7.38 Lt/min durante 7.17 min. tiempo el cual se logró con el objetivo. Finalmente se puede mencionar que se

gastó  $7.38 \text{ Lt/min} \times 7.17 \text{ min.} = 52.91 \text{ Lt.}$  de agua para 10 Kg. de zanahoria recién cosechada.

### 5.1.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL LAVADO MANUAL Y EL LAVADO CON EL PROTOTIPO – ESCUELA PROFESIONAL ING. ELECTRÓNICA

En el lavado manual para 3 Kg de zanahoria se consumió 136.5 Lt. en 13 min. en comparación con el lavado en el prototipo se consumió 22.66 Lt. en 3.17 min. Se verifica que hay una diferencia de consumo de agua 113.84 Lt. y también verificamos que, el tiempo de lavado en el prototipo se reduce en 75.62% al tiempo del lavado manual, por tanto decimos que es eficaz en función al consumo de agua y al tiempo.

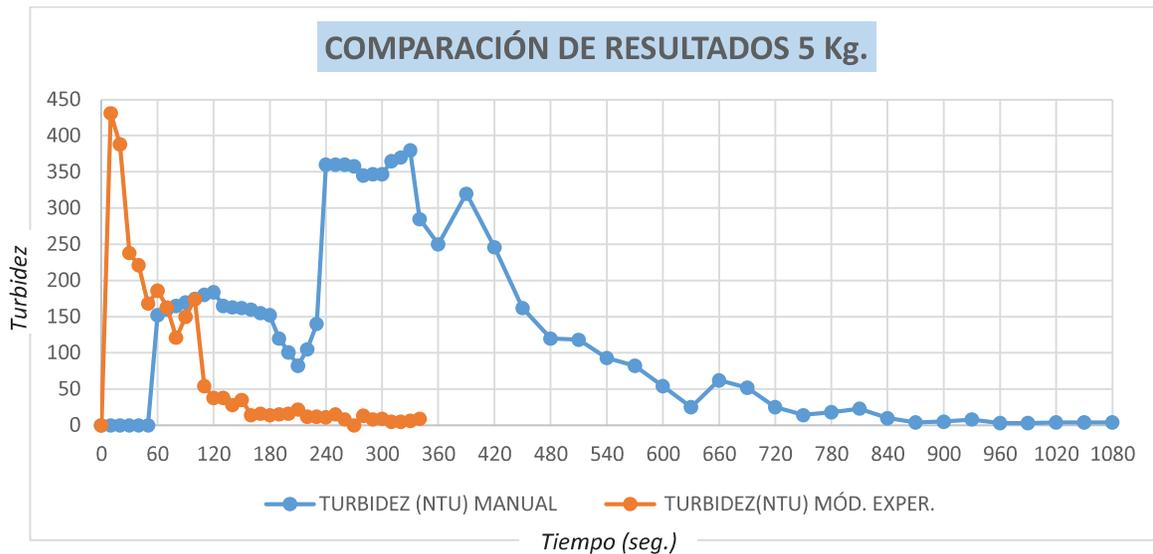


**Figura 132.** Comparación de resultados de turbidez (NTU) - lavado manual y dentro del prototipo respecto al tiempo (3 Kg.)

**Fuente:** Propia

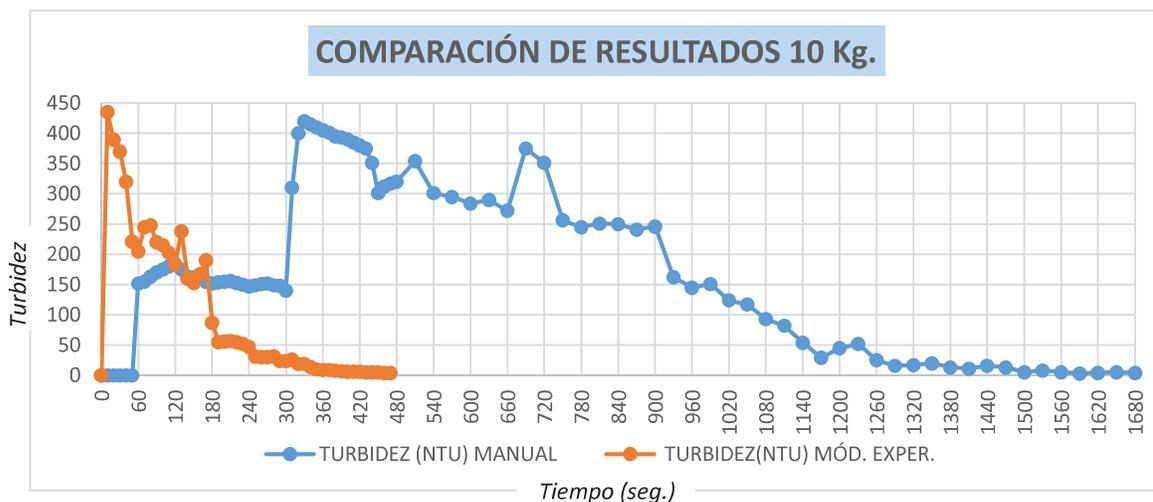
En el lavado manual para 5 Kg. de zanahoria se consumió 189 Lt. en 18 min. en comparación con el lavado en el prototipo se consumió 41.48 Lt. en 5.17 min., se verifica que hay una diferencia de consumo de agua 147.52 Lt. y también verificamos

que, el tiempo de lavado en el prototipo se reduce en 71.28% al tiempo del lavado manual, por tanto decimos que es eficaz en función ahorro de agua y al tiempo.



**Figura 133.** Comparación de resultados de turbidez (NTU) - lavado manual y dentro del prototipo respecto al tiempo (5 Kg.)  
**Fuente:** Propia

En el lavado manual para 10 Kg. de zanahoria se consumió 294 Lt. en 28 min. en comparación con el lavado en el prototipo se consumió 52.91 Lt. en 7.17 min, se verifica que hay una diferencia de ahorro de agua 241.53 Lt. y también verificamos que, el tiempo de lavado en el prototipo se reduce en 74.39% al tiempo del lavado manual, por tanto decimos que es eficaz en función al consumo de agua y al tiempo.



**Figura 134.** Comparación de resultados de turbidez (NTU) - lavado manual y dentro del prototipo respecto al tiempo (10 Kg.)  
**Fuente:** Propia

#### 5.1.4. RESUMEN DE RESULTADOS ENTRE LOS LAVADO REALIZADOS

**Tabla 63.** Resumen de resultados en los lavados de 3 Kg., 5Kg. y 10 Kg. de zanahoria

LAVADO DE ZANAHORIAS	CON EL MÉTODO MANUAL (MM)			CON EL PROTOTIPO EN LA ESCUELA PROFESIONAL (EPIE)			DIFERENCIA DEL LAVADO (MM- EPIE)			Ahorro de Q, t, V respecto al lavado por el MM		
	Q <sub>Prom.</sub>	T <sub>Lav.</sub>	V <sub>Tot.</sub>	Q <sub>Prom.</sub>	T <sub>Lav.</sub>	V <sub>Tot.</sub>	Q <sub>Prom.</sub>	T <sub>Lav.</sub>	V <sub>Tot.</sub>	Q <sub>Prom.</sub>	T <sub>Lav.</sub>	V <sub>Tot.</sub>
Unidad	Lt/min	min	Lt	Lt/min	min	Lt	Lt/min	min	Lt	Lt/min	min	Lt
<b>3 Kg.</b>	10.50	13.00	136.50	7.15	3.17	22.67	3.35	9.83	113.83	31.90%	75.62%	83.40%
<b>5 Kg.</b>	10.50	18.00	189.00	7.22	5.17	37.33	3.28	12.83	151.67	31.24%	71.28%	80.25%
<b>10 Kg.</b>	10.50	28.00	294.00	7.38	7.17	52.91	3.12	20.83	241.09	29.71%	74.39%	82.00%

Fuente: propia

## CAPITULO VI

### COSTOS Y PRESUPUESTOS

Para la propuesta económica se oferta solo los componentes de acuerdo a los requerimientos establecidos en este proyecto de tesis.

#### 6.1. METODOLOGÍA DE LA PROPUESTA ECONÓMICA

De acuerdo a las tablas de selección de componentes expuestos en capítulos III, primero se hace un listado de los instrumentos elegidos, a continuación los precios unitarios y finalmente el presupuesto total del proyecto.

Es necesario recalcar que este propuesto no contará con la oferta de:

- Diseño de la estructura del prototipo.
- Suministro de los circuitos impresos.
- Instalación, configuración de instrumentos y programación del sistema.
- PC para el procesamiento de datos.

#### 6.2. LISTADO DE LOS EQUIPOS

##### 6.2.1. PROTOTIPO DE LAVADO

###### ➤ ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO

El prototipo en acero inoxidable para el lavado de zanahorias contine 1 bandeja entrada, 1 tambor giratorio, 1 tina de lavado, 1 compuerta de salida del lavado y su respectiva estructura de soporte, (Ver ANEXO A).

###### ➤ COMPONENTES PARA EL ABASTECIMIENTO DEL AGUA POTABLE

Se instaló 4 metros de tubería flexible de ½", 2 metros de tubería tipo PVC de ½", 1 codo y 4 Niples tipo PVC de ½" y 1 pegamento, 4 abrazaderas para ½", 1 válvula compuerta de cobre de ½", 1 llave de paso de acero inoxidable de ½" y 1 válvula de paso de pvc de ¾" (Ver ANEXO B).

## **6.2.2. INSTRUMENTOS PARA LA LECTURA DE DATOS**

### **➤ COMPONENTES PARA EL LA MEDICIÓN DEL FLUJO, TURBIDEZ Y VELOCIDAD DEL TAMBOR**

Se instaló 1 sensor de flujo YF-S201, 1 sensor de turbidez SKU: SEN0189, 1 sensor efecto hall S49E, (Véase ANEXO C) y 4 metros de cable tipo flexible y 2 unidades de cable jumper.

### **➤ COMPONENTES PARA EL CONTROL DE LA VÁLVULA**

Se instaló 1 motor paso a paso PRIMODAL PHB42S48-402A NEMA 17 con driver DRV8825 y disipador, (Véase ANEXO C).

### **➤ COMPONENTES PARA EL CONTROL DEL MOTOR REDUCTOR MONOFÁSICO**

Se instaló 1 MOC 3021, 1 BT138, 2 resistencias de 220ohm, 500ohm, 3 zócalos para conexión, 1 placa de cobre para impresión de circuito y 1 motor eléctrico 3MWBC8029 (1.0 HP)

## **6.2.3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

### **➤ EQUIPOS PARA LA LECTURA DE DATOS**

Se instaló 1 microcontrolador ARDUINO UNO R3 (ATMEGA 328) con cable de 150cm. USB R25

## **6.2.4. SOFTWARE DEL SISTEMA**

Se necesitó los programas JetBrains PyCharm Community Edition 2019 V 1.2, PyQt V3.0.1 y ArduinoIDE V 1.8.4

## **6.3. PRESUPUESTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE LAVADO**

En el siguiente cuadro se muestra los costos de los componentes y accesorios utilizados para cumplir con los objetivos de la tesis. No se consideran costos de los trabajos de instalación, programación, armado y montaje.

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO PARCIAL
<b>ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO</b>				
Estructura de soporte	und.	1.00	200.00	200.00
Prototipo de lavado	und.	1.00	2500.00	2500.00
				<b>2700.00</b>
<b>COMPONENTES PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA</b>				
Tubería flexible de 1/2" x 5	m.	1.00	15.00	15.00
Tubería tipo pvc de 1/2" x 5	m.	1.00	15.00	15.00
Codo de tubería pvc para 1/2"	und.	1.00	3.00	3.00
Niple para tubería flexible de 1/2"	und.	4.00	2.50	10.00
Pegamento para tubería flexible de 1/2"	und.	1.00	1.00	1.00
Abrazaderas para tubería flexible de 1/2"	und.	4.00	2.50	10.00
Válvula compuerta de cobre de 1/2"	und.	1.00	25.00	25.00
Llave de paso de acero inoxidable de 1/2"	und.	1.00	30.00	30.00
Válvula de paso de pvc de 3/4"	und.	1.00	25.00	25.00
Emisores de agua a presión (aspersores)	und.	3.00	10.00	30.00
				<b>164.00</b>
<b>INSTRUMENTOS PARA LA LA LECTURA DE DATOS</b>				
<b>COMPONENTES PARA LA MEDICIÓN</b>				
Sensor de flujo YF-S201	und.	1.00	100.00	100.00
Sensor de efecto hall S49E	und.	1.00	80.00	80.00
Sensor de turbidez SKU-SEN0190	und.	1.00	100.00	100.00
Cable tipo flexible de alta conductividad	m.	4.00	2.50	10.00
Cable tipo flexible de alta conductividad	m.	2.00	6.00	12.00
Generador de campo magnético (imán)	und.	1.00	5.00	5.00
				<b>307.00</b>
<b>COMPONENTES PARA EL CONTROL DE LA VÁLVULA</b>				
Motor paso a paso PHB42S48-402A NEMA 17	und.	1.00	90.00	90.00
Driver DRV8825 para motor paso a paso con disipador	und.	1.00	10.00	10.00
				<b>100.00</b>
<b>COMPONENTES PARA EL CONTROL DEL MOTOR REDUCTOR MONOFÁSICO</b>				
MOC 3021	und.	1.00	1.20	1.20
1BT 138	und.	1.00	1.20	1.20
Motor eléctrico 3MWBC8029	und.	1.00	100.00	100.00
Resistencia de 220K y 500K	und.	2.00	0.50	1.00
Zocalos para conexión	und.	3.00	0.50	1.50
Placa de cobre para impresión de circuito	und.	1.00	3.00	3.00
				<b>107.90</b>
<b>SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS</b>				
Microcontrolador ARDUINO UNO R3 (ATMEGA 328)	und.	1.00	100.00	100.00
Cable USB R25 de 150cm	und.	1.00	10.00	10.00
Case para la protección de los circuitos	und.	1.00	20.00	20.00
				<b>130.00</b>
			<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>3508.90</b>

**Figura 135.** Presupuesto total de la implementación de la planta de lavado

Fuente: Propia

## CONCLUSIONES

- El sistema de control difuso implementado a la planta de lavado tiene respuestas satisfactorias, cumple con las reglas establecidas, la respuesta al control es muy rápida.
- Cuando se utilizó optoacopladores para aislar y controlar al circuito de potencia como el fotodiodo, fototransistor o relé, se verificó que hubo retornos de la corriente al microcontrolador arduino uno, ocasionando ruido eléctrico, pero cuando se utilizó el fototriac MOC3021 se verificó que aísla correctamente al circuito de potencia, de esta forma se logró tener una mayor protección al microcontrolador.
- Se cumplió con el objetivo del desarrollo del software (Proteus, ArduinoIDE, PyCharm, PyQt) para la programación, implementación de un sistema de visualización, monitoreo del sistema de control difuso y el comportamiento del proceso en tiempo real, esta información se verifica en la pantalla de la interfaz gráfica.
- De la instalación del sensor del caudal YF - S201, se verifica que los cálculos de caudal y presión obtenidos se encuentran dentro de los parámetros técnicos del sensor.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda calibrar el sensor de turbidez en agua limpia para obtener datos correctos al momento de hacer las pruebas.
- También se recomienda que la tina donde se deposita el agua tenga una pendiente de 2% hacia al drenador, ya que en esta zona se sedimenta tierra y se acumula agua, y esto alarga el proceso de lavado. También se debe colocar un sumidero con rejillas de 1mm para que no se atore en la tubería donde se encuentra el sensor de turbidez.
- Se recomienda revisar los datasheet de los componentes al momento realizar el diseño, acondicionamiento e instalación al prototipo.
- Se recomienda hacer más estudios después del lavado, debido a que también fue diseñado para evacuar el agua contaminada a una etapa de sedimentación y filtración para que reciba el tratamiento y posteriormente sea reutilizada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álamo Cantarero, T. (2015). Diseño del Controlador PID. Sevilla - España: Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.
- Benitez, R. (2014). Inteligencia Artificial Avanzada. Barcelona. UOC.
- Brennan. (1976). Estudio de Tubérculos en Zonas Andinas.
- Bustinza Macedo, F., (2018). Diseño e Implementación de un Sistema de Comunicación y Supervisión Remota Usando la Plataforma Raspberry Pi para el Proyecto de Investigación de Efectividad de la Luz Azul en el Tratamiento de Ictericia Neonatal. Cusco.
- Ceballos, F. (2007). Programación Orientada a Objetos con C++. Ra-M.
- Clamahort, E. (17 de 11 de 2011). Máquina de Lavadora de Tubérculos. Valencia, España.
- Coaquira Castillo, R. J., & Palomino Quispe, F. (2013). Automatización Industrial.
- Deitel. (2004). Cómo Programar C/C++ y Java. México: Prentice-Hall.
- Ebel, F. (1993). Sensores para la Técnica de Procesos y Manipulación. México: S.Nestel.
- Enciclopedia. (2019). Definición de Turbidez y Suelos. España.
- Ferreira A., F. R. (18 de febrero de 2015). Estudio Comparativo entre Control PID y Difuso. Col. Reynosa Tamaulipas: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gallardo, V. M. (2007). Abastecimiento de Agua Potable y Aguas Residuales. Perú.
- Gonzalez, R. (2009). Python para Todos. Barcelona: Creative Commons.
- Ing. J. D. Cova, W. (2005). Control PID. Rioja: Universidad Tecnológica Nacional.
- Johnson, D. S. (1997). Meanings of Environmental Terms. EEUU.
- Lozano Valencia, L. F. (13 de abril de 2012). Diseño, Implementación y Validación de un Controlador PID Autosintonizado. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Luro, P. (2011). Máquinas MEP. Buenos Aires, Argentina.

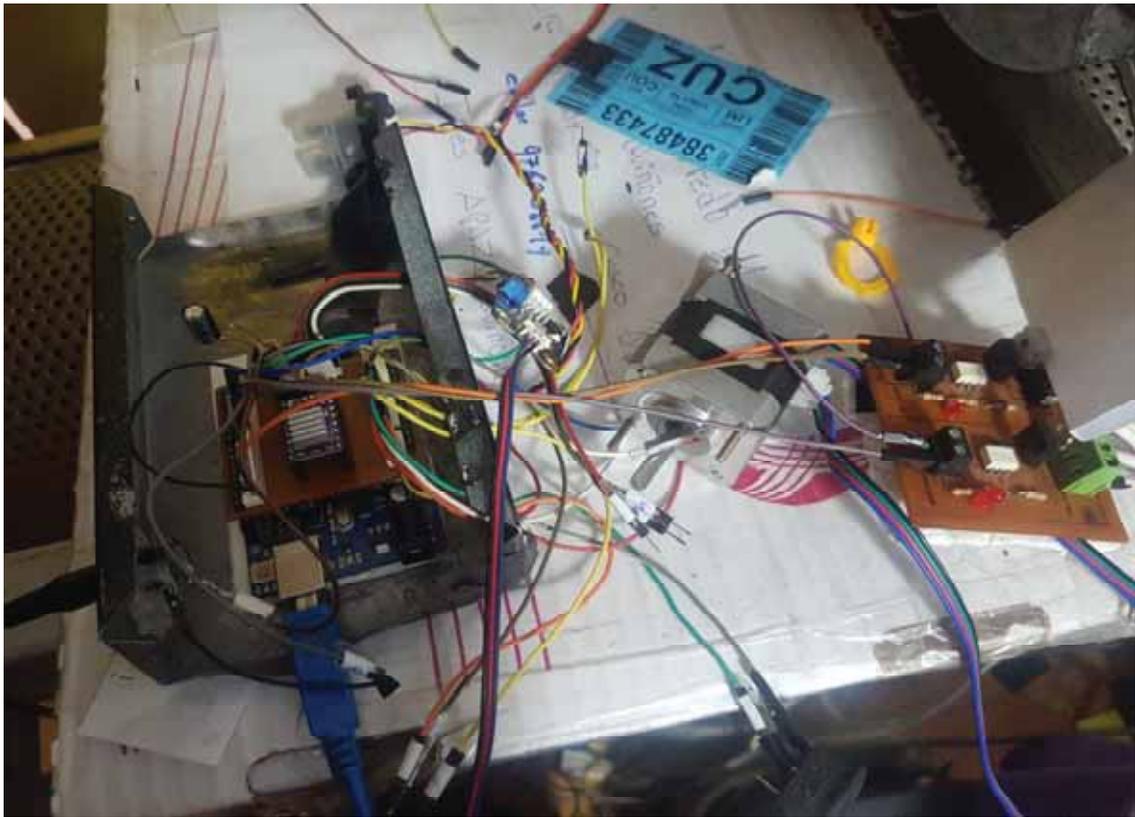
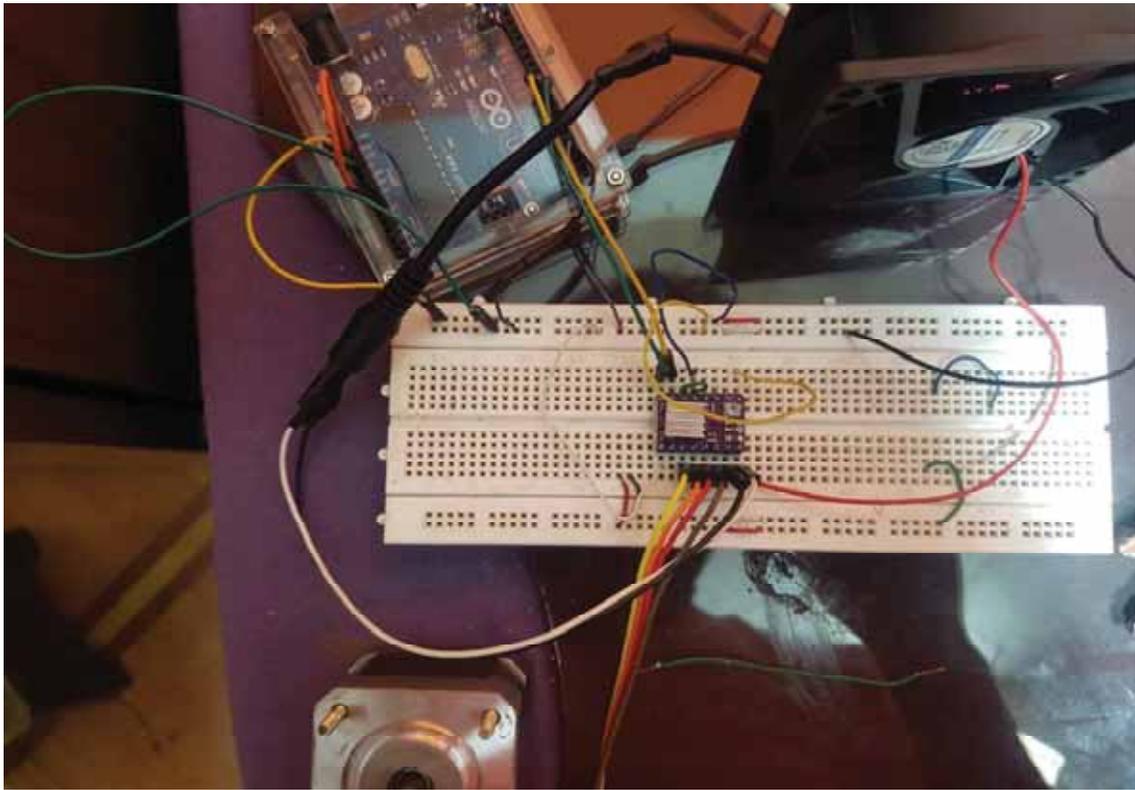
- Masalavés. (s.f.). España - Valencia: Ctra. Garrofera D'alzira s/n. .
- Motores - Electrotecnia. (23 de noviembre de 2007). Imanes y Motores Eléctricos.
- OMS. (1998). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas. Higiene y Sanidad Ambiental, pág. 72.
- Ponce Cruz, Pedro. (2010). Inteligencia Artificial con Aplicaciones a la Ingeniería. México: Primera Ed., Alfaomega.
- Primopal. (2015). Phase Hybrid Stepper Motor.
- Quiroz Corrales, F. (2009). Turbidez en Aguas de Océanos, Lagos y Ríos. Perú
- Requena Torpoco, J. M. (2011). Diseño de un Sistema de Automatización de una Planta de Lavado de Zanahoria de 10 tn/h. Lima: PUCP.
- Romero, M. (2011). (Máquina Lavadora de Zanahoria Romero, Intérprete) Puebla, México.
- S. Assilian, M. (1975). Revista Internacional de Estudios Hombre-Máquina.
- Torrente, O. (2013). Curso práctico de formación. México: Alfaomega.
- Velarde, O. M. (2006). Introducción a la Programación Orientada a Objetos. México.

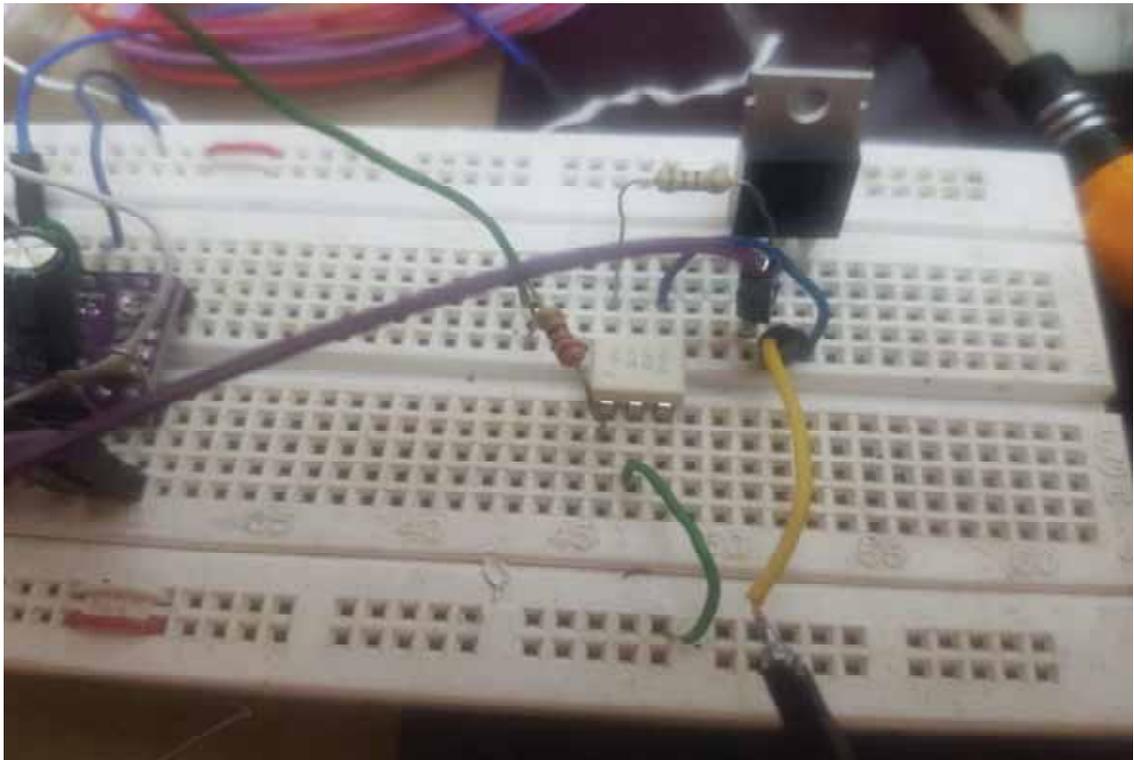
## **ANEXOS**

### **ANEXO A: ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO DE LAVADO**

## **ANEXO B: PANEL FOTOGRÁFICO**













**ANEXO C: DATASHEET**

# SENSOR DE TURBIDEZ SKU SEN0189



## Introduction

The **gravity arduino turbidity sensor** detects water quality by measuring the levels of turbidity. It uses light to detect suspended particles in water by measuring the light transmittance and scattering rate, which changes with the amount of total suspended solids (TSS) in water. As the TSS increases, the liquid turbidity level increases. Turbidity sensors are used to measure water quality in rivers and streams, wastewater and effluent measurements, control instrumentation for settling ponds, sediment transport research and laboratory measurements. This **liquid sensor** provides analog and digital signal output modes. The threshold is adjustable when in digital signal mode. You can select the mode according to your MCU.



**NOTE:** The top of probe is not waterproof. |

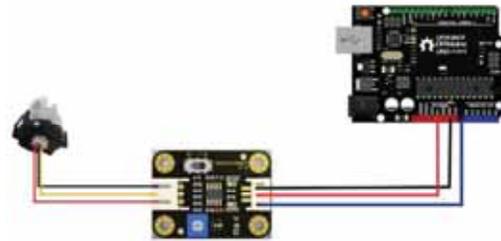
## Specification

- Operating Voltage: 5VDC – 6VDC
- Operating Current: 40mA (MAX)
- Response Time : <500ms
- Insulation Resistance: 100M (Min)
- Output Method:
  - Analog output: 0-1024 NTU
  - Digital Output: High/Low level signal (you can adjust

the threshold value by adjusting the potentiometer)

- Measurement accuracy: +/- 5%
- Operating Temperature: -10°C~90°C
- Storage Temperature: -15°C~95°C
- Weight: 30g
- Adapter Dimensions:  
38mm\*28mm\*10mm/1.5inches  
\*1.1inches\*0.4inches

## Connection Diagram



### Interface Description:

1. "D/A" Output Signal Switch
  - i. "A": Analog Signal Output, the output value will decrease when in liquids with a high turbidity
  - ii. "D": Digital Signal Output, high and low levels, which can be adjusted by the threshold potentiometer
2. Threshold Potentiometer: you can change the trigger condition by adjusting the threshold potentiometer in digital signal mode

## Sensor Efecto Hall S49E

Referencia M30023

Condición: Nuevo producto

El [S49E](#) es un sensor De efecto hall, capaz de medir el campo magnético.



Este de efecto Hall son circuitos integrados monolíticos con especificaciones magnéticos, diseñados para funcionar continuamente durante temperaturas extendidas a + 150 ° C, y son más estables con los dos cambios de voltaje y temperatura de suministro.

La característica de conmutación unipolar hace que estos dispositivos sean ideales para el uso con una barra simple o imán de barra. Los cuatro dispositivos básicos (3141, 3142, 3143 y 3144) son idénticos a excepción de puntos de conmutación magnéticos. Cada dispositivo incluye un regulador de voltaje para el funcionamiento con tensiones de alimentación de 4,5 a 24 voltios, diodo inverso de protección de la batería, generador de Hall-tensión cuadrática, circuitos de compensación de temperatura, amplificador smallsignal, disparador Schmitt, y una salida de colector abierto a hundirse hasta 25 mA .

El sufijo 'E' es para el rango de temperatura de la automoción e industrial de -40 ° C a + 85 ° C. El sufijo 'L'

es para el rango de temperatura de la automoción y militar de -40 ° C a + 150 ° C. Estilos Threepackage proporcionan un paquete magnéticamente optimizada para la mayoría de aplicaciones. El sufijo '-LT' es un paquete miniatura SOT89 / TO-243AA transistor para aplicaciones de montaje en superficie; sufijo '-UA' es una de tres derivaciones ultra-mini-SIP.

### ESPECIFICACIONES:

- Voltaje de alimentación, 3.3VCC – 5.5VCC
- Invierta voltaje de la batería, VRCC -35 V
- Densidad de flujo magnético, B Ilimitado

- Salida OFF Voltaje, VOUT 28 V
- Tensión inversa de salida, VOUT -0,5 V
- Corriente de salida continua, IOUT 25 mA
- Precisión de la medida, +/- 5%
- Rango de temperatura de funcionamiento, TA
- El sufijo 'E' -40 ° C a + 85 ° C
- Temperatura de almacenamiento, TS -65 ° C a + 170 ° C

### Características del módulo:

- Tamaño , 32 mm x 14 mm
- Orificio del tornillo de montaje de 3mm
- Puede utilizar la fuente de alimentación 3 - 6VDC
- Señal de salida de tiempo real Análoga
- Comparando el dispositivo después de haber terminado una señal de salida más estable
- comparador capacidad de salida 16Ma
- Precisión de la medida, +/- 5%
- Led de alimentación.
- salida del comparador con led

### Descripción del Vendedor

- Sensor que detecta campos magnéticos
- Útil en proyectos de electrónica, robótica y automatización por sus aplicaciones como sensor de posición no invasivo, contador de ciclos entre otros.
- Entrega una salida digital para ser utilizado como interruptor, contabilizador o simplemente como señal digital.
- Entrega una salida analógica que puede usarse como medida de la fuerza del campo magnético.

# Tutorial sensor de flujo de agua: YF-S201

[https://naylampmechatronics.com/blog/47\\_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html](https://naylampmechatronics.com/blog/47_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html)

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Modelo: YF-S201
- Voltaje de operación: 3.5V - 24V DC
- Corriente de operación: 15mA (5V)
- Capacidad de carga: 10mA (5 VDC)
- Temperatura de funcionamiento: -25°C a 80°C
- Presión de funcionamiento máximo: 1.75MPa (17 bar)
- Rango de funcionamiento: 1-30L/min
- Precisión de la medida: +/- 5%
- Rosca externa: 1/2" NPS
- Volumen promedio por pulso: 2.25mL

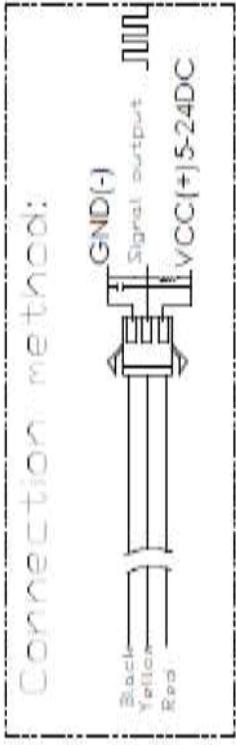
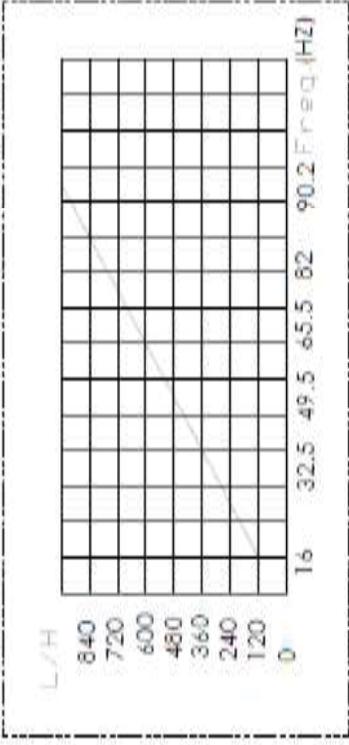


- Los sensores de flujo YF-S201, FS300A, FS400A son muy usados en varias aplicaciones, puesto que el flujo o caudal es parámetro necesario en varios procesos, a nivel doméstico lo podemos usar para medir el consumo de agua.
- El sensor internamente tiene un rotor cuyas paletas tiene un imán, la cámara en donde se encuentra el rotor es totalmente aislado evitando fugas de agua, externamente a la cámara tiene un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético del imán de las paletas y con esto el movimiento del rotor, el sensor de efecto hall envía los pulsos por uno de los cables del sensor, los pulsos deberán ser convertidos posteriormente a flujo pero esto ya es tarea del Arduino o controlador que se desee usar.

Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
------------	------------	-------------------

Flow Range 100L/H-1800H-L/H

Flow (L/H)	Freqzq (HZ)	Error range
120L/H	16	±10
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
600L/H	82	
720L/H	90.2	



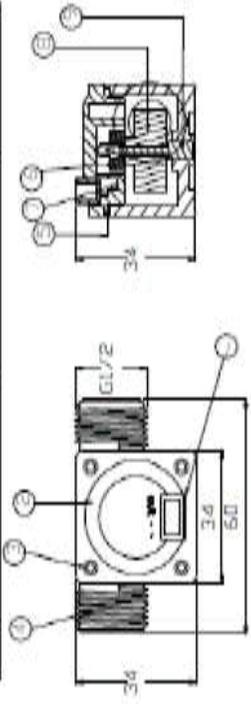
## YIFA the plastics Ltd Product Introduction

1. Model: YF-21
2. Product Name: Hall sensor
3. Flow Range: 1-30L/MIN
4. Connection Method



5. Voltage Range: 3-5-24VDC, Pulse Characteristic: F=70(L/MIN)
6. Extent of error: ±5%
7. Flow-Pulse: 2L/MIN=18HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ
8. Size: 5.8cm

No	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



# PHB42S Series

2 Phase Hybrid Stepper Motors

NEMA 17

1.8°

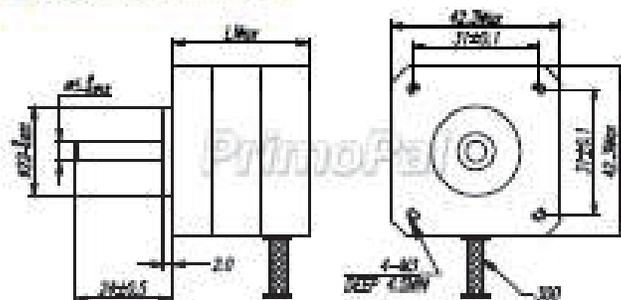
Step Angle	1.8°
Step Angle Accuracy	±5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperature Rise	80 °C Max. (rated current, 2 phase on)
Ambient Temperature	-10 °C ~ +50 °C
Insulation Resistance	100 MΩ Min., 500VDC
Dielectric Strength	500 VAC for one minute
Shaft Radial Play	0.02 Max. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08 Max. (450 g-load)



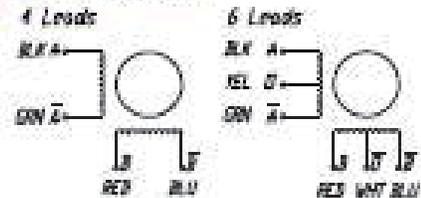
## Specifications

Model	Current A/φ	Resistance Ω/φ	Inductance mH/φ	Holding Torque N.cm	Detent Torque N.cm	Rotor Inertia g.cm <sup>2</sup>	Bi/Unipolar # of Leads	Weight g	Length mm
PHB42S20-410	0.8	3.8	4.5	10	1.0	24	Bi (4)	120	20
PHB42S28-406	0.6	8.0	10	12	1.2	30	Bi (4)	150	28
PHB42S34-401	1.3	2.4	2.8	28	1.6	34	Bi (4)	220	34
PHB42S34-402	1.7	1.2	1.8	28	1.6	34	Bi (4)	220	34
PHB42S34-430	0.4	30	35	28	1.6	34	Bi (4)	220	34
PHB42S34-630	0.4	30	18	21	1.6	34	Uni (6)	220	34
PHB42S40-401	1.3	2.5	5.0	40	2.2	54	Bi (4)	280	40
PHB42S40-402	1.7	1.5	2.8	40	2.2	54	Bi (4)	280	40
PHB42S40-601	1.2	3.2	2.8	28	2.2	54	Uni (6)	280	40
PHB42S40-630	0.4	30	28	28	2.2	54	Uni (6)	280	40
PHB42S48-401	1.3	3.2	5.5	52	2.6	68	Bi (4)	350	48
PHB42S48-402	1.7	1.8	3.2	52	2.6	68	Bi (4)	350	48
PHB42S48-403	2.3	1.2	1.6	46	2.6	68	Bi (4)	350	48
PHB42S48-630	0.4	30	38	34	2.6	68	Uni (6)	350	48
PHB42S60-403	2.3	1.4	2.5	70	3.6	80	Bi (4)	480	60
PHB42S63-403	2.3	1.5	2.2	80	4.0	85	Bi (4)	500	63

## Mechanical Dimension



## Wiring Diagram



**ANEXO D: CÓDIGO DEL PROGRAMA.PY**

## **CODIGO DEL PROGRAMA LAVADERO DE ZANAFORIAS.PY** #!/usr/bin/env python

```
# -*- coding: utf-8 -*-

# always seem to need this
import sys

# This gets the Qt stuff from
PyQt5.QtWidgets import *
from PyQt5.QtCore import QObject, pyqtSignal

# This is our window from QtCreator
import mainWindow auto

# create class for our Raspberry Pi GUI
class MainWindow(QMainWindow, mainWindow auto.Ui_MainWindow):
    # access variables inside of the UI's file STATE
    OFF = '<html><head/><body><p><span style="
color:#c62d22;">Apagado</span></p></body></html>'
    STATE ON = '<html><head/><body><p><span style="
color:#60d888;">Prendido</span></p></body></html>'
    STATE PAUSE = '<html><head/><body><p><span style="
color:#ec8a28;">Pausado</span></p></body></html>'

    TEXT_OFF = '<html><head/><body><p><span style="
color:#c62d22;">Off</span></p></body></html>'
    TEXT ON = '<html><head/><body><p><span style="
color:#60d888;">On</span></p></body></html>'

    sendData = pyqtSignal(bytes)

    def init (self):
        super(self. class , self). init ()

        self.state = self.STATE OFF
        self.data = np.array([0, 0, 0, 0, 0, 0, 0])
        self.graph data = np.zeros((100, 8))
        self.graph_start = 0 self.data number =
0 self.last data = None

        self.motorPower = 0
        self.motorState = False
        self.drain = False
        self.pump = False

        self.counter = 0

        self.setupUi(self) # gets defined in the UI file

        self.buttonStart.clicked.connect(lambda: self.pressedStartButton())
self.buttonStop.clicked.connect(lambda: self.pressedStopButton())
self.buttonPause.clicked.connect(lambda: self.pressedPauseButton())
self.buttonContinue.clicked.connect(lambda: self.pressedContinueButton())

        self.buttonPause.hide()
        self.buttonContinue.hide()

        self.sistemaTextoBomba.hide()
        self.sistemaTextoDesfogue.hide()

        self.monitor = SerialMonitor()
```

```

self.monitor.bufferUpdated.connect(self.update)
self.monitor.start() self.sendData.connect(self.processData)
self.thread = threading.Thread(target=self.control system thread)
self.thread.start()

self.curve0      self.graphicsView.plot(pen=(0,8))
self.curve1      self.graphicsView.plot(pen=(1,8))
self.curve2      self.graphicsView.plot(pen=(2,8))
self.curve3      self.graphicsView.plot(pen=(3,8))
self.curve4      self.graphicsView.plot(pen=(4,8))
self.curve5      self.graphicsView.plot(pen=(5,8))
self.curve6      self.graphicsView.plot(pen=(6,8))
self.curve7      self.graphicsView.plot(pen=(7,8))

self.fuzzyProcessor = carrotWasherFuzzyProcesor()

def control system thread(self):
    started time = time.time()
    prev_time_on = 0 time_on =
    0.0 while True:
        if self.state == self.STATE ON:
            time on = time.time() - started time + prev time on
            hour on = int(time on/3600)
            min on = int((time on % 3600)/60)
            sec on = int((time on % 3600)%60)

self.buttonTexttoClock.setText(str(hour on).zfill(2)+':'+str(min on).zfill(2)
)+':'+str(sec on).zfill(2))

        elif self.state == self.STATE PAUSE:
            prev_time_on = time_on started time
            = time.time()

        else:
            started time = time.time() prev_time_on = 0 time_on =
            0.0

        try:
            self.sendData.emit((1).to bytes(1, 'little')) except
            ValueError:
                print('Wrong data')

            time.sleep(1)

def update(self, msg):
    self.last data = self.decomposeMsg(msg) self.data =
    np.vstack((self.data, self.last data))
    self.updateSistemPanel(self.last data)
    self.updateBehaviorPanel(self.last data)
    self.updateGraphicPanel(self.last data) print(self.last data)

def processData(self, byte):
    if self.state == self.STATE ON:
        motor power = int(self.getMotorPower())

        if motor power <= 300: self.counter += 1
        else:
            self.counter = 0

```

```

        if self.counter >= 300:
            self.pressedStopButton()

    else:
        motor power = int(0)
        self.motorPower = motor power
        self.monitor.serial send((36).to bytes(1,'little'))
        self.monitor.serial send(motor power.to bytes(2,'little'))
        self.monitor.serial send(self.motorState.to bytes(1,'little'))
        self.monitor.serial send(self.drain.to bytes(1,'little'))

        print(self.motorPower, self.motorState, self.drain)

    def getMotorPower(self):
        return self.fuzzyProcessor.computeOutput(self.last data[3],
self.last_data[2])

    def pressedStartButton(self):
        print("Pressed Start!")

        self.buttonStart.hide() self.motorState = True self.drain = True
        self.pump = False self.state = self.STATE ON self.counter = 0
        self.buttonPause.show()

    def pressedStopButton(self):
        print("Pressed Stop!")

        self.buttonPause.hide() self.buttonContinue.hide() self.motorState
        = False self.drain = True self.pump = False self.state =
        self.STATE OFF self.buttonStart.show()

    def pressedPauseButton(self):
        print("Pressed Pause!")

        self.buttonPause.hide() self.motorState = False self.drain = True
        self.pump = False self.state = self.STATE_PAUSE
        self.buttonContinue.show()

    def pressedContinueButton(self):
        print("Pressed Continue!")

        self.buttonContinue.hide() self.motorState = True self.drain =
        True self.pump = False self.state = self.STATE ON
        self.buttonPause.show()

    def updateSistemPanel(self, data):
        self.sistemaTextoEstado.setText(self.state)
        self.sistemaTextoVelocidadMotor.setText(str(data[0]) + ' rpm')
        self.sistemaTextoVelocidadTambor.setText(str(data[1]) + ' rpm')
        self.sistemaTextoPresionAgua.setText(str(data[2]) + ' L/min')
        self.sistemaTextoTurbidez.setText(str(data[3]) + ' NTU')
        self.sistemaTextoPotenciaAgua.setText(str(data[4]) + ' %') if
        data[5] == 1:
            self.sistemaTextoMotorEstado.setText(self.TEXT ON) else:
            self.sistemaTextoMotorEstado.setText(self.TEXT OFF) if
        data[6] == 1:
            self.sistemaTextoDesfogue.setText(self.TEXT ON) else:
            self.sistemaTextoDesfogue.setText(self.TEXT OFF) if
        data[6] == 1:
            self.sistemaTextoBomba.setText(self.TEXT ON) else:
            self.sistemaTextoBomba.setText(self.TEXT OFF)

    def updateBehaviorPanel(self, data):
        self.textMotorVelocity.setText(str(data[0]) + ' rpm')
        self.textDrumVelocity.setText(str(data[1]) + ' rpm')

```

```

self.textWaterPressure.setText(str(data[2]) + ' L/min')
self.textTurbidity.setText(str(data[3]) + ' NTU')
self.textOutputPower.setText(str(data[4]) + ' %') if data[5] == 1:
    self.textMotorState.setText(self.TEXT ON) else:
    self.textMotorState.setText(self.TEXT OFF) if data[6] ==
1:
    self.textDrain.setText(self.TEXT ON) else:
    self.textDrain.setText(self.TEXT OFF) if data[6] == 1:
    self.textWaterPump.setText(self.TEXT ON) else:
    self.textWaterPump.setText(self.TEXT OFF)

def updateGraphicPanel(self, data):

    new data = [0,0,0,0,0,0,0,0]

    if self.checkBoxMotorVelocity.isChecked(): new data[0] =
data[0]/2500 if self.checkBoxDrumVelocity.isChecked(): new
data[1] = data[1]/2500 if
self.checkBoxWaterPressure.isChecked(): new data[2] = data[2]/30
if self.checkBoxTurbidity.isChecked(): new data[3] =
data[3]/1024 if self.checkboxOutputPower.isChecked(): new
data[4] = data[4]/100 if self.checkBoxMotorState.isChecked():
new data[5] = data[5]*0.2 if self.checkBoxDrain.isChecked(): new
data[6] = data[6]*0.4 if self.checkBoxWaterPumb.isChecked(): new
data[7] = data[6]*0.6

    if self.data number<100:
        self.graph data[self.data number] = new data else:
        self.graph start += 1
        self.graph data = np.vstack((self.graph data, new data)) self.data
number += 1

self.curve0.setData(self.graph data[self.graph start:self.graph start+99,
0] )

self.curve1.setData(self.graph data[self.graph start:self.graph start+99,
1] )

self.curve2.setData(self.graph data[self.graph start:self.graph start+99,
2] )

self.curve3.setData(self.graph data[self.graph start:self.graph start+99,
3] )

self.curve4.setData(self.graph data[self.graph start:self.graph start+99,
4] )

self.curve5.setData(self.graph data[self.graph start:self.graph start+99,
5] )

self.curve6.setData(self.graph data[self.graph start:self.graph start+99,
6] )

self.curve7.setData(self.graph data[self.graph start:self.graph start+99,
7] )

def decomposeMsg(self, msg):
    vel = int.from bytes(msg[1:5], byteorder='little') if vel > 1:
        motor velocity = round(1000000.0 * 60.0 / vel, 1)
    else:
        water power = round((int.from bytes(msg[14:16],
byteorder='little')), 2)
        motor state = int(msg[17]) - 48 drain state = int(msg[19]) - 48
        return motor velocity, drum velocity, water flow, turbidity, water

```

power, motor state, drain state

```
class SerialMonitor(QObject):

    bufferUpdated = pyqtSignal(bytes)

    def init (self):
        super(SerialMonitor, self). init () self.running = False

        self.ser = serial.Serial('COM3', 57600)
        self.ser.flushInput()
        self.ser.flushOutput()

        self.thread = threading.Thread(target=self.serial monitor thread)

    def start(self):
        self.running = True self.thread.start()

    def stop(self):
        self.running = False

    def serial monitor thread(self):

        while self.ser.isOpen():
            msg = self.ser.readline()
            if msg[0] == 36 and len(msg) == 22:
                try:
                    self.bufferUpdated.emit(msg)
                except ValueError:
                    print('Wrong data')

            def serial send(self, msg):
                self.ser.write(msg)

class carrotWasherFuzzyProcesor():

    def init (self):
        self.turbidity = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 1024, 1), 'Turbidez')
        self.pipeFlow = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 30, 1), 'Caudal de
agua')
        self.outputPower = ctrl.Consequent(np.arange(0, 100, 1), 'Apertura
de la Válvula')

        self.turbidity['muyBaja'] = fuzz.trimf(self.turbidity.universe, [0,
0, 10])
        self.turbidity['baja'] = fuzz.trimf(self.turbidity.universe, [9,
10, 50])
        self.turbidity['media'] = fuzz.trimf(self.turbidity.universe, [10, 50,
250])
        self.turbidity['alta'] = fuzz.trimf(self.turbidity.universe, [50, 250,
400])
        self.turbidity['muyAlta'] = fuzz.trapmf(self.turbidity.universe,
[250,400,1024,1024])
        self.turbidity.view()

        self.pipeFlow['baja'] = fuzz.trimf(self.pipeFlow.universe, [0, 0,
2])
        self.pipeFlow['media'] = fuzz.trimf(self.pipeFlow.universe, [1, 2,
4])
        self.pipeFlow['alta'] = fuzz.trimf(self.pipeFlow.universe, [3, 4,
8])
        self.pipeFlow['muyAlta'] = fuzz.trapmf(self.pipeFlow.universe, [7,
```

```

8,30,30])
    self.pipeFlow.view()

    self.outputPower['muyCerrada'] = fuzz.trimf(self.outputPower.universe,
[0,
    0, 5])
    self.outputPower['cerrada'] = fuzz.trimf(self.outputPower.universe,
[0, 5, 15])
    self.outputPower['semiAbierta'] =
fuzz.trimf(self.outputPower.universe, [5, 15, 50])
    self.outputPower['abierta'] = fuzz.trimf(self.outputPower.universe,
[15, 50, 90])
    self.outputPower['muyAbierta'] =
fuzz.trapmf(self.outputPower.universe, [50, 90, 100, 100])
self.outputPower.view()

    self.rule1 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyBaja'] &
self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyCerrada'])
    self.rule2 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyBaja'] &
self.pipeFlow['media'], self.outputPower['muyCerrada'])
    self.rule3 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyBaja'] &
self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['muyCerrada'])
    self.rule4 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyBaja'] &
self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['muyCerrada'])
self.rule5 = ctrl.Rule(self.turbidity['baja'] &
self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule6 = ctrl.Rule(self.turbidity['baja'] &
self.pipeFlow['media'], self.outputPower['abierta'])
    self.rule7 = ctrl.Rule(self.turbidity['baja'] &
self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['semiAbierta'])
self.rule8 = ctrl.Rule(self.turbidity['baja'] &
self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['semiAbierta'])
self.rule9 = ctrl.Rule(self.turbidity['media'] &
self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyAbierta'])
    self.rule10 = ctrl.Rule(self.turbidity['media'] &
self.pipeFlow['media'], self.outputPower['muyAbierta'])
    self.rule11 = ctrl.Rule(self.turbidity['media'] &
self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['abierta'])
    self.rule12 = ctrl.Rule(self.turbidity['media'] &
self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['abierta'])
    self.rule13 = ctrl.Rule(self.turbidity['alta'] &
self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyAbierta,])
    self.rule14 = ctrl.Rule(self.turbidity['alta'] &
self.pipeFlow['media'], self.outputPower['muyAbierta'])
self.rule15 = ctrl.Rule(self.turbidity['alta'] &
self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['muyAbierta'])
    self.rule16 = ctrl.Rule(self.turbidity['alta'] &
self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['abierta'])
    self.rule17 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyAlta'] &
self.pipeFlow['baja'], self.outputPower['muyAbierta'])
    self.rule18 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyAlta'] &
self.pipeFlow['media'], self.outputPower['muyAbierta,])
    self.rule19 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyAlta'] &
self.pipeFlow['alta'], self.outputPower['muyAbierta'])
    self.rule20 = ctrl.Rule(self.turbidity['muyAlta'] &
self.pipeFlow['muyAlta'], self.outputPower['muyAbierta,])

    self.motorOutputPower ctrl = ctrl.ControlSystem([self.rule1,
self.rule2, self.rule3, self.rule4, self.rule5, self.rule6
, self.rule7,
self.rule8, self.rule9, self.rule10, self.rule11, self.rule12
, self.rule13,
self.rule14, self.rule15, self.rule16, self.rule17, self.rule18
, self.rule19,

```

```

self.rule2ü])

        self.motorOutputPower =
ctrl.ControlSystemSimulation(self.motorOutputPower ctrl)

# I feel better having one of these def main():
# a new app instance
app = QApplication(sys.argv)
form = MainWindow()
form.show()
# without this, the script exits immediately.
sys.exit(app.exec ())

# python bit to figure how who started This if name == " main ":
main()

PROGRAMA PARA EL ARDUINO

const int WATER_SOURCE_REV = 4.5;

const int MOTOR_VELOCITY_INTERRUPT_INPUT = 0; const int
WATER_FLOW_INTERRUPT_INPUT = 1;
const int TURBIDITY_ANALOG_INPUT = 0;

int m_turbidity = 0; int m_waterFlow =
0;

int m_waterSourcePower = 0; int
m_lastWaterSourcePower = 0; bool
m_motorState = false; bool m_drainState
= false; bool found = false; void
getControlData(){ found = false; while
(Serial.available()){ byte value =
Serial.read(); if (value == '$') {
    // Possible message found
    found = true;
    break;
}
}
if (!found) {
    // No message found, just return return;
}
byte data[3];
int data_lenght = Serial.readBytes(data, 3); if
(data_lenght==0){
    // Insufficient data, return
    found = false;
    return;
}
m_waterSourcePower = data[0] | data[1]<<8;
m_motorState = data[2]; m_drainState = data[3];
}

void updateControlPin(){ if (found){
    if (m_lastWaterSourcePower != m_waterSourcePower){
        int diff = m_waterSourcePower - m_lastWaterSourcePower;
        if (diff > 0){
            digitalWrite(WATER_SOURCE_DIR_OUTPUT, LOW);
        } else {
            digitalWrite(WATER_SOURCE_DIR_OUTPUT, HIGH);
            diff = diff*-1;
        }
    }
    delayMicroseconds(50);
}

```

```

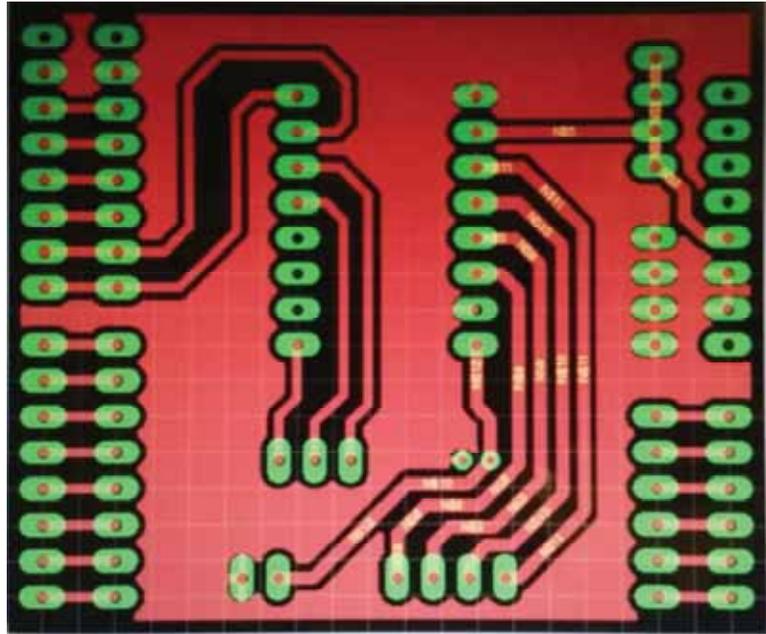
        for (int i = 0; i<diff*WATER_SOURCE_REV; i++){
            digitalWrite(WATER_SOURCE_STEP_OUTPUT, HIGH);
            delayMicroseconds(2000);
            digitalWrite(WATER_SOURCE_STEP_OUTPUT, LOW);
            delayMicroseconds(2000);
        }
        m_lastWaterSourcePower = m_waterSourcePower;
    }
    digitalWrite(MOTOR_STATE_OUTPUT, m_motorState); digitalWrite(DRAIN_DIGITAL_OUTPUT,
    m_drainState);
}
}
void updateCurrentData(){
    m_turbidity = analogRead(TURBIDITY_ANALOG_INPUT);
    unsigned long now = micros();
    m_motorVelocity = now-m_motorPrevFalling;
    if (m_motorVelocityCounter>0){
        m_motorVelocity = m_motorVelocity/m_motorVelocityCounter;
    } else {
        m_motorVelocity = 0;
    }
    m_waterFlowVelocity = now-m_waterFlowPrevFalling;
    if (m_waterFlowVelocityCounter>0){
        m_waterFlowVelocity = m_waterFlowVelocity/m_waterFlowVelocityCounter;
    } else {
        m_waterFlowVelocity = 0;
    }
    m_motorVelocityCounter = 0;
    m_waterFlowVelocityCounter = 0;
    m_motorPrevFalling = now;
    m_waterFlowPrevFalling = now;
}
void motorFalling(){
    m_motorVelocityCounter++;
}
void waterFlowFalling(){
    m_waterFlowVelocityCounter++;
}
void sendCurrentData(){
    Serial.print("$");
    byte *motorVelocity = (byte *) &m_motorVelocity;
    Serial.write(motorVelocity[0]);
    Serial.write(motorVelocity[1]);
    Serial.write(motorVelocity[2]);
    Serial.write(motorVelocity[3]);
    Serial.print(" ");
    byte *waterFlowVelocity = (byte *)
    &m_waterFlowVelocity;
    Serial.print(" ");
    byte *turbidity = (byte *) &m_turbidity;
    Serial.write(turbidity[0]);
    Serial.write(turbidity[1]);
    Serial.print(" ");
    byte *waterSourcePower = (byte *) &m_waterSourcePower;
    Serial.write(waterSourcePower[0]);
    Serial.write(waterSourcePower[1]);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(m_motorState);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(m_drainState);}
void setup()
{

```

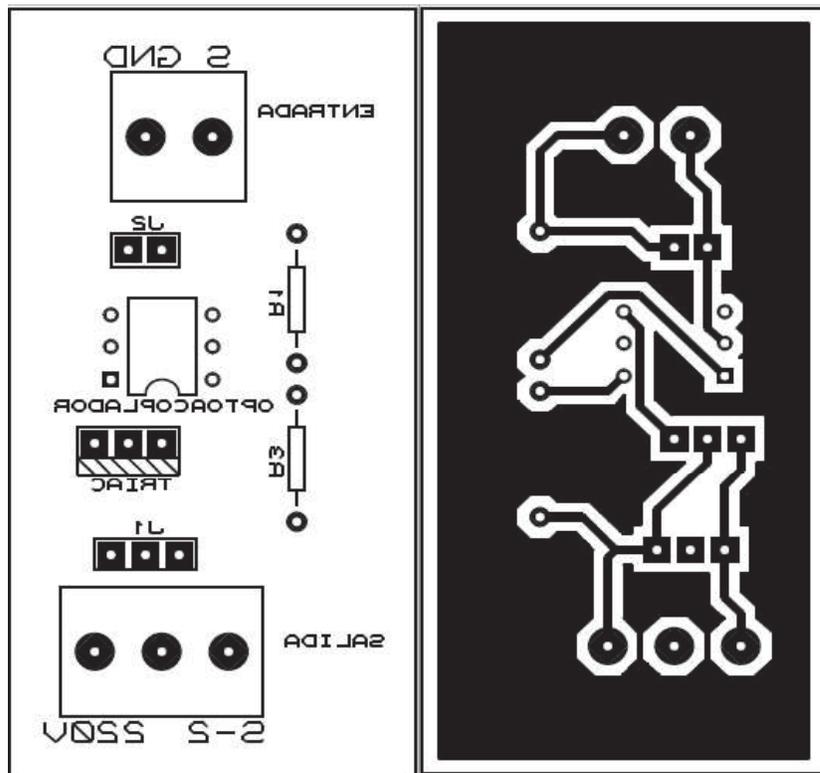
```
Serial.begin(57600);
pinMode(DRAIN_DIGITAL_OUTPUT, OUTPUT);
attachInterrupt(MOTOR_VELOCITY_INTERRUPT_INPUT,
motorFalling, FALLING);
attachInterrupt(WATER_FLOW_INTERRUPT_INPUT,
waterFlowFalling, FALLING);
}
void loop()
{
getControlData();
updateControlPin();
updateCurrentData();
sendCurrentData();
delay(500);
}
```

## **ANEXO E: PLACAS CIRCUITALES PARA LA PLANTA DE LAVADO**

PLACA CIRCUITAL PARA LA LECTURA DE DATOS DEL SENSOR Y CONTROL DE LA VÁLVULA COMPUERTA



PLACAS CIRCUITAL DE LA ETAPA DE POTENCIA



**ANEXO F: ARTÍCULO OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD)**

## La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)

Leandro MARCÓ\*, Ricardo AZARJO\*\*, Celia METZLER\*\* y María del Carmen GARCIA\*\*\*

\* Programa Salud para todos, Cátedra de Salud Pública de la Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Entre Ríos, 9 de julio 500, (3260) Concepción del Uruguay, Argentina. Tel: +54 3442 423267 E-mail: [lmurcol@fics.uner.edu.ar](mailto:lmurcol@fics.uner.edu.ar)

\*\* Laboratorio de Aguas del Programa Salud para todos, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Entre Ríos, 8 de junio 551, (3260) Concepción del Uruguay, Argentina. E-mail: [labagua@fics.uner.edu.ar](mailto:labagua@fics.uner.edu.ar)

\*\*\* Departamento de Materias Básicas, Fac. Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional Ingeniero Pereyra 676, (3260) Concepción del Uruguay, Argentina. E-mail: [garciam@frca.utn.edu.ar](mailto:garciam@frca.utn.edu.ar)

---

### INTRODUCCIÓN

"La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación" (ESPIGARES GARCÍA y FERNÁNDEZ-CREHURT, 1999). La causa de la turbidez del agua de bebida puede deberse a un tratamiento insuficiente en la planta de potabilización o a que el sedimento ha vuelto a quedar en suspensión en el sistema de distribución, así como a la existencia de conexiones cruzadas en el mismo. Elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro. En muchos casos no se logra destruir los patógenos y las bacterias fecales, aglomerados o absorbidos por partículas. También diversas sustancias químicas peligrosas como metales pesados, organoclorados y otros se unen sobre todo a los ácidos húmicos y otras partículas orgánicas. El pH ácido del estómago humano puede acelerar la liberación de iones de

metales y herbicidas, con riesgo aumentado de absorción. Incluso el cloro introducido como parte del tratamiento puede formar trihalometanos y cloraminas. Los hallazgos de radioactividad en aguas también se vincula a los sólidos en suspensión y las materias disueltas, pudiendo ocurrir también que el placton bioconcentre radionúcleos (SETTER, 1999).

Todos estos riesgos se acentúan cuando la turbidez es superior a 5 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), valor que no debe sobrepasar ninguna muestra. Por lo tanto, la turbidez debe ser baja para que la desinfección sea eficaz (OMS, 1998) y que bajen los riesgos de que el agua potable vehiculice tóxicos que se manifiestan en diversas enfermedades catácticas. Debe destacarse además la importancia de la presencia de algas, ruffens y otras especies, como parte de un fito y zooplacton detectable no solo en los cursos de agua superficiales sino también en las redes de distribución como en el caso de la ciudad de Rosario (Argentina), aún con valores de turbidez de 0,5 UNT. Este hecho ha llevado a incorporar normas de calidad protitológicas para el agua de consumo, en aquella