



Universidad Autónoma de Querétaro

*Sistema de clasificación inteligente de agua residual
basado en turbidez*

TESIS

*Que como parte de los requisitos para obtener el título de
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO*

Línea Terminal en Mecatrónica

Presenta:

Itzel Márquez Argueta

Dirige:

Dr. Miguel Trejo Hernandez

San Juan del Río, Qro. Mayo 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Sistema de clasificación inteligente de agua residual
basado en turbidez

por

Itzel Márquez Argueta

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGLIN-236808



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS SAN JUAN DEL RÍO



Sistema de clasificación inteligente de agua residual basado en turbidez

TESIS

Como parte de los requisitos para obtener el título de

INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

Línea Terminal

MECATRÓNICA

Presenta

ITZEL MÁRQUEZ ARGUETA

Dirigido por:

DR. MIGUEL TREJO HERNÁNDEZ

SINODALES:

Dr. Miguel Trejo Hernández (6443)
Presidente

Dr. Arturo Yosimar Jaen Cuellar (11825)
Secretario

Dr. Jesús Rooney Rivera Guillen (8943)
Vocal

Dr. Juan Primo Benítez Rangel (2088)
Suplente

San Juan del Río, Qro., Mayo 2023

Dedicatoria

A mi familia, amigos
y al amor de mi vida.
Gracias por todo.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi mamá Yunuen Argueta por siempre estar ahí para apoyarme y darme cariño, a mis abuelos Alejandro Argueta y Huitzil Montes de Oca. Gracias abuelo por haberme prestado tus herramientas y por haberme ayudado a construir este proyecto, no lo hubiera podido lograr sin ti. A mi hermana Lizet le agradezco todo el apoyo moral que me ha dado. Sin ninguno de ellos este proyecto no hubiera sido posible.

A toda mi familia gracias por inspirarme a seguir adelante. Le agradezco a mis profesores por haberme enseñado todo lo que se y a la universidad por abrirme tantas oportunidades.

Gracias Dr. Miguel Trejo por todo el apoyo que me dió todo este tiempo, le agradezco su tiempo para aconsejarme y enseñarme lo necesario para llevar a cabo este proyecto.

Gracias miembros del sinodo por haberme apoyado con sus comentarios y revisiones para la finalización de este proyecto.

A mis amigos por escucharme siempre y por darme su apoyo incondicional.

Gracias querido Jesus Alejandro por estar siempre ahí, en los momentos cuando mas necesitaba apoyo moral y ayuda para subirme los ánimos, tampoco lo hubiera logrado sin ti.

Índice

Dedicatoria	1
Agradecimientos	1
Índice de Figuras	2
Índice de Tablas	4
1. Introducción	6
1.1. Introducción	6
1.2. Antecedentes	8
1.3. Objetivo General	10
1.4. Objetivos particulares	10
1.5. Descripción del problema	11
1.6. Justificación	11
1.7. Planteamiento General	12
2. Fundamentación Teórica	13
2.1. Turbidez	13
2.2. Sensor de flujo de agua	15
2.2.1. Funcionamiento	15
2.3. Microcontroladores	16
2.3.1. Arduino Uno	16
2.3.2. Arduino Mega	18
2.4. Impresión 3D	19
2.5. Aguas casa habitación	21
2.5.1. Aguas grises	21
2.6. Válvulas solenoides	23

2.6.1. Descripción	23
2.6.2. Tipos de válvulas	23
2.6.3. Aplicaciones	24
2.7. Relevador	24
2.8. Control difuso	25
2.9. Estándares IPC para el diseño y fabricación de PCB	26
3. Metodología	28
3.1. Metodología	29
3.2. Turbidez	29
3.3. Flujo	30
3.4. Válvula solenoide	31
3.5. Módulo de relevadores	32
3.6. Sistema de clasificación de agua	33
3.7. Diseño y manufactura	39
3.8. Integración del sistema	42
4. Análisis y resultados	46
4.1. Resultados	46
5. Conclusiones	52
6. Prospectivas	54
Bibliografía	54
Apéndice A: Pseudocódigo para un sistema de clasificación de agua	58
Acrónimos	62

Índice de figuras

1.1. Diagrama general del proyecto.	12
2.1. Ejemplo de niveles de turbidez del agua.	14
2.2. Ejemplo ilustrativo de sensor de flujo. (Pablo Piña, 2020)	15
2.3. Arduino UNO. (Arduino Uno Rev3, s.f.)	16
2.4. Arduino MEGA. (Arduino Mega 2560 Rev3, s.f.)	18
2.5. Diagrama de proceso de impresión 3D. (Mecalux, Enero 2020)	20
2.6. Imagen ilustrativa de impresión 3D. (Mecalux, Enero 2020)	21
2.7. Ejemplo de tipos de válvulas. (Válvulas a Solenoide Información de Ingeniería, s.f.)	23
2.8. Imagen ilustrativa de interruptor accionado por un electroimán. (EL RELÉ, s.f.)	25
2.9. Imagen ilustrativa genrica de relevador. (EL RELÉ, s.f.)	25
2.10. Arquitectura de un controlador difuso de bucle cerrado. (Kevin M. Passino Stephen Yurkovich, 1998)	26
3.1. Diagrama de Metodología	29
3.2. Sensor de turbidez.	30
3.3. Sensor de flujo.	31
3.4. Válvula solenoide. (aelectronics, s.f)	32
3.5. Módulo de 4 relevadores. (Tecneu, s.f.)	33
3.6. Gráfica representativa del comportamiento del sensor de turbidez.	34
3.7. Gráfica de rango de voltaje	36
3.8. Gráfica de rango del estado de las válvulas en base al tipo de agua	37
3.9. Gráfica de rango de turbidez.	38
3.10. Estructura de PVC.	40
3.11. Pieza para sostener la estructura.	41
3.12. Medidas de pieza para sostener la estructura.	42
3.13. Diagrama de conexión del circuito.	43
3.14. Diagrama de conexión del circuito en PCB.	44

3.15. Vista frontal completa de la estructura	45
3.16. Vista lateral izquierda completa de la estructura	45
4.1. Primer Ciclo de lavado.	47
4.2. Segundo Ciclo de lavado.	47
4.3. Vista general del dispositivo	48
4.4. Texto en Pantalla LCD mostrado al haber agua sucia	49
4.5. Texto en Pantalla LCD mostrado al haber agua media sucia	49
4.6. Texto en Pantalla LCD mostrado al haber agua limpia	50
4.7. Texto en Pantalla LCD mostrado al no haber flujo de agua	50
4.8. Vista general del dispositivo al haber agua media sucia	51

Índice de tablas

2.1. Tabla de especificaciones de Arduino Uno. (Arduino Uno Rev3, s.f.)	17
2.2. Tabla de especificaciones de Arduino MEGA.	19
3.1. Tabla de especificaciones de Sensor de turbidez. (Vistrónica, s.f.)	30
3.2. Tabla de especificaciones de Sensor de flujo. (Steren, s.f.)	31
3.3. Tabla de especificaciones de Válvula solenoide. (aelectronics, s.f)	32
3.4. Tabla de especificaciones de Módulo de Relevadores. (Tecneu, s.f.)	33
3.5. Base de reglas.	35
3.6. Tabla de elementos.	40

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

A lo largo de los años se han buscado nuevas estrategias para el ahorro del agua debido a la escasez de la misma la cual se presenta en algunos casos debido a cuestiones ambientales, crecimiento de la población, crecimiento de la industria, ganadería, agricultura, etc.

Un ejemplo de ello lo demuestra Japón que a pesar de que se encuentra en una parte del mundo donde las precipitaciones son generalmente abundantes se podría pensar que no sufre de sequía pero a menudo el país puede experimentar periodos de sequías y otras adversidades climáticas, es por ello que los fabricantes de electrodomésticos y los territorios que lo componen están encontrando nuevas maneras de conservar el agua, como ejemplo de ello se tienen los cabezales de ducha los cuales estan diseñados para ahorrar agua, este combina el aire expulsado a base de su empuje con el agua lo que genera una mayor presión de salida de la misma permitiendo que se ahorre en mas de un 35 % de agua, además su uso es placentero y efectivo para su uso.

El diseño del sistema de descarga de los inodoros está orientado a maximizar su eficiencia y reducir el consumo de agua. Algunos modelos han logrado reducir el consumo de agua a tan solo 3,8 litros por descarga, lo cual es una mejora significativa en comparación con otros inodoros disponibles en el mercado. Por otro lado, algunos modelos de lavadoras incorporan sensores que detectan la temperatura, la cantidad de ropa a lavar y el tipo de tejido. Estos dispositivos determinan la cantidad óptima de agua que se debe utilizar durante los ciclos de lavado y enjuague, lo cual contribuye a un uso más eficiente del agua. Además, cuentan con un amortiguador que absorbe las vibraciones, evitando el desequilibrio de la carga durante el ciclo

de centrifugado, lo que garantiza un lavado efectivo y al mismo tiempo ahorra agua.

No solo es posible crear o mejorar dispositivos con el propósito de ahorrar agua, sino que también la comunidad puede unirse para lograr un objetivo común. En 1978, la ciudad de Fukuoka experimentó una sequía que llevó a un racionamiento del suministro de agua durante 287 días. Como resultado de esta experiencia, la ciudad se convirtió en un modelo de conservación del agua. El Centro de Gestión del Agua del municipio monitorea las cantidades de agua utilizadas las 24 horas del día. Además, Fukuoka implementó un programa integral de prevención de fugas, que incluye inspecciones para detectar fugas y reemplazo de tuberías.

Se propuso un programa en el que cada residente reduciría su consumo diario de agua en 10 litros. Después de un año, el agua ahorrada fue equivalente a la cantidad promedio de agua almacenada en un embalse. Este enfoque de participación comunitaria demostró ser efectivo en la conservación del agua y sirvió como ejemplo de éxito en la gestión y uso responsable de este recurso vital.

Otra manera de poder ahorrar agua se encuentra en las aguas grises que se generan en nuestros hogares, las cuales pueden ser utilizadas para otros fines como el riego de jardín, limpieza del patio o banqueta, incluso el lavado de un auto si el agua presenta muy poca turbidez. El proyecto propuesto tiene como principal finalidad aprovechar las aguas grises que se descargan de la lavadora con un sistema de clasificación de agua en base a su nivel de turbidez.

Este proyecto es de gran relevancia e impacto potencial en el desarrollo de herramientas que ayuden en el ahorro de agua. Su aplicación principal es en el hogar, pero también se puede utilizar en otros campos como la industria.

El presente trabajo se enfoca en el diseño e implementación de un sistema que permita reutilizar y ahorrar agua mediante el control difuso y un sistema compuesto por sensores y actuadores. Desde el diseño del circuito propuesto hasta la programación de un sistema de control y el diseño de las piezas para la estructura que resguarda todo el sistema, se aplican conocimientos de distintas áreas de la mecatrónica la cual es un área interdisciplinaria de la ingeniería que combina la mecánica, la electrónica y la informática para el diseño y control de sistemas automatizados.

El objetivo principal del proyecto es proponer una solución innovadora, que en un futuro, permita a cualquier persona utilizar este dispositivo como una herramienta más en su vida cotidiana. Con esto, se espera contribuir al ahorro de agua y al cuidado del medio ambiente.

En este contexto el presente proyecto de tesis se enfoca en el diseño e implementación de un sistema que nos permita reutilizar y ahorrar agua en base al control difuso y a un sistema compuesto con sensores y actuadores. El objetivo es proponer una solución innovadora que permita a cualquier persona utilizar este dispositivo como una herramienta mas en su vida cotidiana.

1.2. Antecedentes

En su proyecto titulado "Sistema de monitoreo de nivel y turbidez del agua en el tanque elevado del CDI dejando huellas del municipio de Planeta Rica", Nieves et al. (2020) implementan tecnología Android y Arduino para controlar el nivel y turbidez del agua de un tanque elevado del CDI. Llevan a cabo un dispositivo que utiliza Arduino y una aplicación móvil que contiene los datos del estado del agua a partir de los sensores del dispositivo. Los datos eran enviados a través de un módulo Bluetooth. Se utilizó un sensor de luz, un sensor ultrasónico y un sensor de temperatura para capturar los datos de interés del tanque de agua.

Un segundo trabajo de Gaeda et. al (2019) implementan una aplicación móvil que permite monitorear la calidad del agua en pozos cerca de la región, para ello obtienen datos de potencial de hidrógeno, temperatura y turbidez, utilizan una tarjeta arduino Mega como microcontrolador y almacenan los datos obtenidos en un servidor.

Por otra parte Valencia et.al (2020) llevan a cabo una red inalámbrica integrada por nodos de muestreo conectados mediante tecnología Zigbee, se mide a partir de sensores turbidez, temperatura, potencial de hidrógeno y oxígeno disuelto, una vez obtenidos los datos éstos pasan a ser procesados para después ser transmitidos por los módulos Zigbee, los datos se almacenan y se visualizan. Lo anterior con el propósito de monitorear el estado del agua en diferentes puntos de una red.

Asi mismo en su trabajo titulado "Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México." Amado-Alvarez et.al (2019) crean un modelo que permite evaluar la calidad del agua a través de la estimación de la turbidez y de imágenes de la región con el propósito de analizar parámetros y determinar el origen de los fenómenos que han influido en el deterioro del agua de los embalses examinados.

El presente trabajo en el que se lleva a cabo un sistema de monitoreo del agua, Mulyana et.al (2018) utilizan Arduino Uno como microcontrolador con el que se obtendrán valores del

nivel del agua y el nivel de turbidez, el sensor de turbidez funciona en base al principio de dispersión de la luz en el agua, lo anterior con el propósito de monitorear el estado de tanques de agua.

Igualmente utilizando un microcontrolador Arduino Mega Ichsan et.al (2016) reciben la señal de un sensor de salinidad y otro de turbidez para el monitoreo y detección de las condiciones del agua seleccionada, los datos obtenidos son monitoreados en una aplicación creada en LabVIEW, además los datos de salinidad y turbidez son procesados con lógica difusa.

A continuación Sigdel et.al (2017) presentan un trabajo en el que crean una estación con tres diferentes sensores, pH, turbidez y temperatura, se utiliza como microcontrolador un Arduino Uno, para la interfaz gráfica utilizaron LabVIEW. El propósito del proyecto es ser de ayuda al desarrollo de aplicaciones para la industria a un menor costo.

Valenzuela et.al (2018) utilizan un sensor de turbidez que se adapta a un sistema de Arduino para la adquisición de datos, el software que proponen es MyOpenLab, obtienen como conclusión que el sistema que crearon es una opción de menor costo y de igual eficiencia que otros productos del mercado, cabe mencionar que para obtener una mayor precisión de las mediciones las representaciones matemáticas fueron de mayor importancia para su trabajo.

En el siguiente trabajo Vishal et.al (2017) crean un sistema de distribución de agua local junto con el monitoreo, control y limpieza de un tanque de agua, el hardware que proponen incluye sensores de flujo, una válvula solenoide, un sensor de turbidez, un sensor de nivel, etc. Como microcontrolador utilizan un Arduino Uno y el software LabVIEW para la interpretación de sus datos obtenidos a través de los sensores, estos datos interactúan con una bomba de drenado, una válvula solenoide y una bomba de suministro.

Como principal objetivo Katole et.al (2019) proponen un método de inspección de la calidad del agua, para conseguirlo crean un sistema compuesto por un sensor de temperatura, turbidez, pH, sensor ultrasónico en el que un Arduino Mega lleve a cabo el monitoreo, detección y notificación del estado del agua. Los datos obtenidos de los sensores e interpretados por Arduino son enviados a un módulo GSM, además estos datos son mostrados en una pantalla LCD donde se muestra el estado del agua.

Singh et.al (2017) proponen un proyecto con un sistema de detección inteligente del agua, el cual mantiene un monitoreo eficiente del estado de la misma, utilizan un sensor de pH, turbidez, temperatura y flujo, como microcontrolador utilizan un Arduino Uno, el sistema resulta ser de bajo costo, económico y de monitoreo eficiente, este puede ser utilizado en áreas de monitoreo

industrial, agrícola, etc.

El simple acto de abrir un grifo y tener agua limpia y potable es un privilegio que lamentablemente algunos nos gozan y es una realidad que hay que afrontar día con día, es por eso que pequeños cambios en nuestras rutinas diarias pueden tener un impacto significativo y ese es el propósito principal de este proyecto.

Lavar prendas de vestir, edredones, toallas, etc, con una lavadora es una acción cotidiana que todos hacemos aproximadamente una vez por semana y que requiere de un gasto de agua mayor a otros, que mejor forma de aprovechar esta agua para ser reutilizada.

A diferencia de los trabajos anteriormente mencionados el presente proyecto tiene como objetivo crear un dispositivo que pueda ser usado en el hogar y que ayude a los individuos que lo utilicen a darle diferentes usos al agua dependiendo de su nivel de turbidez.

1.3. Objetivo General

Diseñar y desarrollar un sistema de clasificación de aguas grises de uso residencial sensando la turbidez y el flujo en una plataforma Arduino y la manufactura aditiva del sistema con el fin de la reutilización del agua de salida de una lavadora.

1.4. Objetivos particulares

- Realizar una revisión de literatura de turbidez, flujo, microcontrolador Arduino, tecnologías de impresión 3D, aguas casa habitación y válvulas solenoides en referencias bibliográficas para tener un mejor conocimiento del tema.
- Realizar pruebas del flujo de agua instrumentando el sensor respectivo para determinar el flujo de trabajo y obtener este factor del sistema.
- Instrumentar el sensor de turbidez ubicándolo en el dispositivo para conocer su comportamiento.
- Diseñar e integrar los elementos necesarios para la conformación del sistema de clasificación inteligente de agua.
- Elegir el mejor controlador.
- Establecer los parámetros del clasificador inteligente analizando los datos de turbidez para obtener un sistema con lógica difusa.

- Realizar y analizar las pruebas correspondientes en un caso de estudio para conocer la respuesta del sistema.

1.5. Descripción del problema

A lo largo de los años en México se ha visto un aumento de la escasez del agua, esto se relaciona con la demanda del agua y rescate acuífero, un gran porcentaje de esta demanda se utiliza en la industria y en la agricultura sin embargo, cabe resaltar que de acuerdo con el Sacmex el mexicano en promedio consume alrededor de 307 litros de agua diarios, esto equivale a un 200 por ciento más de lo que se recomienda, que es de 92 litros a 100 litros por día.

Es posible notar en los antecedentes que no se ha creado un dispositivo para el uso del hogar, los trabajos mencionados se concentran en hacer un análisis del agua pero con el objetivo de llevar a cabo un estudio del agua sin embargo este proyecto propone una alternativa al uso de aguas grises como un medio de reutilización de agua.

Reutilizar las aguas grises reduce el consumo total de agua y esto es especialmente relevante donde el abastecimiento del agua es costoso o limitado como por ejemplo en áreas con sequías recurrentes, además utilizar las aguas grises se reduce la extracción de agua potable lo cual contribuye a la conservación de recursos naturales, adicionalmente utilizar las aguas grises puede resultar en ahorros económicos a largo plazo.

1.6. Justificación

En base a los argumentos anteriormente mencionados, el presente trabajo pretende aportar los siguientes puntos:

- Reutilizar las aguas grises para el ahorro del agua.
- Conocer los beneficios de las aguas grises, cuándo y dónde usarlas, dónde no usarlas.
- Crear conciencia del ahorro de agua a partir del objetivo del proyecto.
- Generar una buena huella ecológica.
- Hacer un dispositivo que se utilice en el hogar.
- Que el dispositivo sea de fácil uso, compacto y armado sencillo.

1.7. Planteamiento General

A continuación se muestran puntos que describen el planteamiento general y una figura que muestra el diagrama general del proyecto:

1. Clasificar el agua través de los datos del sensor de turbidez.
2. Identificar el valor del flujo a partir del sensor.
3. Realizar pruebas utilizando el controlador Arduino.
4. Diseño y creación de las piezas que conformarán la estructura del dispositivo final
5. Llevar a cabo experimentación con las válvulas solenoides.
6. Crear circuitos del sistema que unifiquen los componentes
7. Acomodar circuitos y componentes en las piezas propuestas.
8. Realizar pruebas finales con el sistema completo.



Figura 1.1: Diagrama general del proyecto.

Capítulo 2

Fundamentación Teórica

2.1. Turbidez

Descripción

La turbia apariencia del agua, ó turbidez, es causada por el material en suspensión. El agua clara tiene un nivel de turbidez bajo y el agua turbia o lodosa tiene un nivel alto de turbidez. Los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton.

Las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente. El agua caliente no es capaz de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de OD bajarán, especialmente cerca de la superficie.

Unidad de medida

La unidad de medida adoptada por el Estándar ISO es el FTU (Unidad de Turbidez de la Formazina) que es idéntica al NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez). Los otros dos métodos usados para medir la turbidez y sus unidades de medida son el JTU (Unidad de Turbidez Jackson) y la unidad de Silicio (mg/l SiO_2). A continuación se puede observar las tablas de conversión de estos métodos y sus unidades como referencia.

Medición de turbidez

Hay dos normas diferentes que deben cumplirse: la USEPA y los Métodos Estándar, que recomiendan una longitud de onda concreta en la zona visible del espectro y el sistema Europeo, que requiere un emisor de rayos infrarrojos (ISO 7027).

Método de Infrarrojos (ISO 7027)

Los medidores por el método de infrarrojos funcionan mediante el paso de un rayo de luz infrarroja a través de un vial que contiene la muestra a examinar. La fuente de luz suele ser un LED Infrarrojo de Alta Emisión. Un sensor colocado a 90° con respecto a la dirección de la luz detecta la cantidad de luz dispersada por las partículas no disueltas presentes en la muestra, y a través de algún tipo de microprocesador, se convierte dichas lecturas en valores FTU (NTU). (Turbidez, s.f.)



Figura 2.1: Ejemplo de niveles de turbidez del agua.

Instrumentos de medición de turbidez

La turbimetría es la técnica analítica basada en la dispersión de la luz por partículas en suspensión en el seno de una disolución, la cual mide la disminución de la transmitancia del haz de la luz al atravesar la muestra. Los instrumentos mas comunes utilizados son los turbidímetros o nefelómetros que cumplen con los siguientes criterios:

- La longitud de onda de la radiación incidente debe ser de 860 nm. La fuente de luz puede ser lámpara de tungsteno; diodos (leds) ó láser.
- El ancho de banda espectral debe ser menor o igual a 60 nm.
- La convergencia de la radiación incidente no debe exceder $\pm 1,5$ turbidímetro de radiación difusa y u o $\pm 2,5^{\circ}$ en turbidímetros de radiación atenuada.

- El ángulo de medición entre la radiación incidente y la radiación difusa debe ser de $90^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$ en turbidímetros de radiación difusa y $0^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$ en turbidímetros de radiación atenuada.
- La distancia recorrida por la luz incidente y dispersada dentro del tubo de muestra, no debe exceder 10 cm.

(Medición de Turbidez en la Calidad del Agua, s.f)

2.2. Sensor de flujo de agua

Un sensor de flujo o caudalímetro es un instrumento para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido. El caudal es la cantidad de líquido o fluido (volumen) que circula a través de una tubería por unidad de tiempo, por lo general se expresa en: litros por minutos (l/m), litros por hora (l/h), metros cúbicos por hora (m^3/h), etc.). Los caudalímetros suelen colocarse directamente en la tubería que transporta el fluido.

2.2.1. Funcionamiento

El caudal de agua ingresa al sensor y hace girar una turbina, la turbina está unida a un imán que activa un sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por una entrada digital. El sensor de efecto Hall está aislado del agua, de manera que siempre se mantiene seco y seguro. Como el volumen de agua por cada pulso es fijo y de un valor conocido (promedio) podemos contar la cantidad de pulsos por unidad de tiempo (segundo o minuto), luego multiplicar el valor de volumen/pulso por la cantidad de pulsos y así determinar el caudal o flujo de agua. (Naylamp Mechatronics, s.f.)

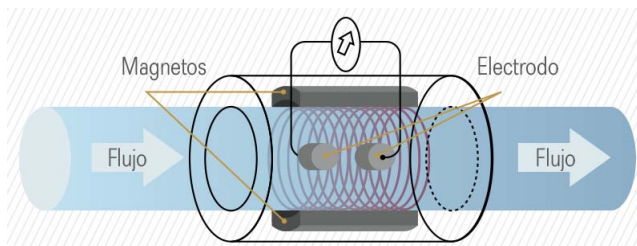


Figura 2.2: Ejemplo ilustrativo de sensor de flujo. (Pablo Piña, 2020)

2.3. Microcontroladores

2.3.1. Arduino Uno

Para este proyecto, se emplea el microcontrolador Arduino UNO. Fue elegido debido a que soporta la alimentación de los demás sensores y tiene un tamaño acorde a la estructura propuesta. El Arduino UNO se caracteriza por las siguientes especificaciones generales. Arduino Uno es un microcontrolador basado en ATmega328P (hoja de datos). Tiene 14 pines de entrada / salida digital, de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM (Pulse Width Modulation), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), una conexión USB (Universal Serial Bus), un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; se conecta a una computadora con un cable USB (Universal Serial Bus) o se puede encender con un adaptador de CA a CC o una batería.

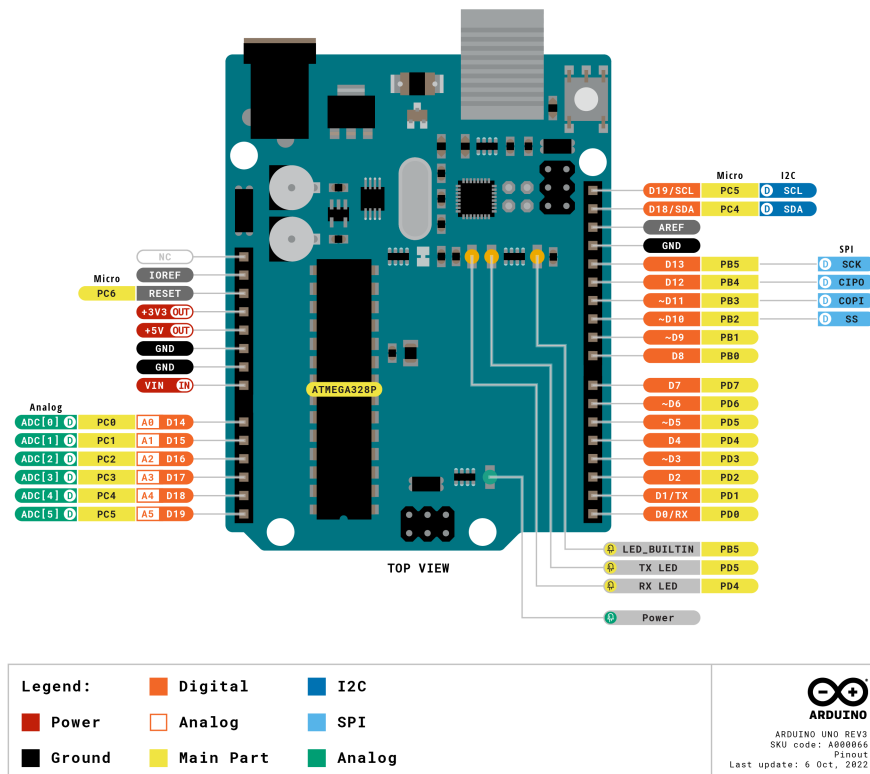


Figura 2.3: Arduino UNO. (Arduino Uno Rev3, s.f.)

Especificaciones Arduino UNO	Valor
Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P)
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Tabla 2.1: Tabla de especificaciones de Arduino Uno. (Arduino Uno Rev3, s.f.)

El Arduino Uno se puede programar con el (Software Arduino (IDE)). El ATmega328 en Arduino Uno viene preprogramado con un cargador de arranque que le permite cargar nuevo código sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica usando el protocolo STK500 original (referencia, archivos de encabezado C). También puede omitir el cargador de arranque y programar el microcontrolador a través del encabezado ICSP (Programación en serie en circuito) usando Arduino ISP o similar.

El Arduino Uno se diferencia de las demás placas en que no utiliza el chip controlador FTDI USB a serie. En cambio, presenta el Atmega16U2 (Atmega8U2 hasta la versión R2) programado como un convertidor de USB a serie.

El ATmega328 tiene 32 KB (con 0,5 KB ocupados por el gestor de arranque). También tiene 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM. (Arduino Uno Rev3, s.f.)

2.3.2. Arduino Mega

El Arduino Mega 2560 es un microcontrolador basado en el ATmega2560. Tiene 54 pines de entrada / salida digital de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM (Pulse Width Modulation), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP, y un botón de reinicio. Se conecta a una computadora con un cable USB o se puede encender con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para la Uno y las antiguas placas Duemilanove o Diecimila.

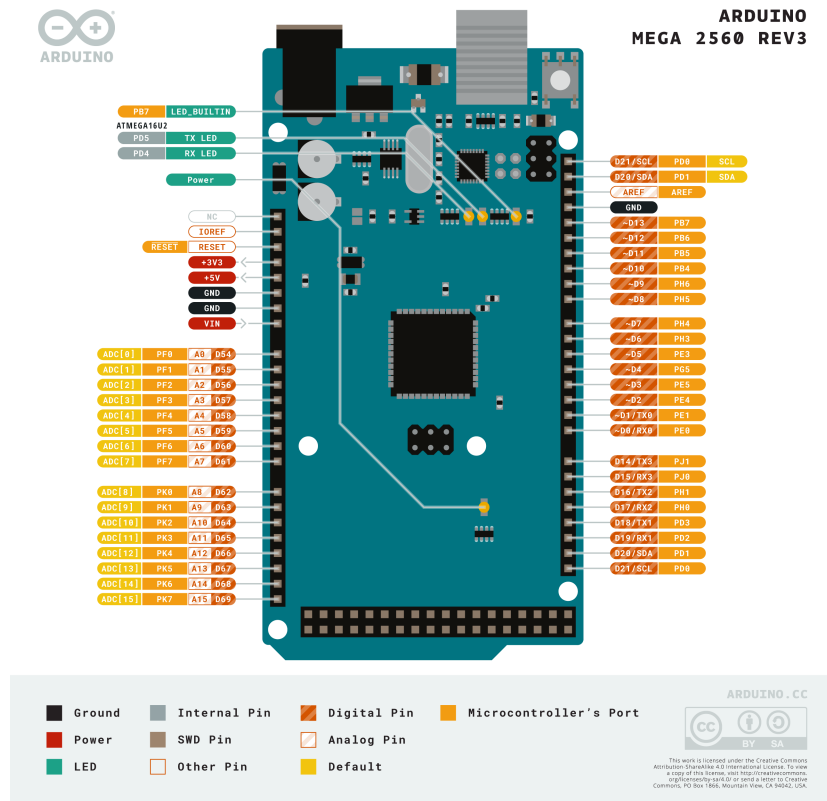


Figura 2.4: Arduino MEGA. (Arduino Mega 2560 Rev3, s.f.)

Especificaciones Arduino MEGA	Valor
Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	3256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Tabla 2.2: Tabla de especificaciones de Arduino MEGA.

La placa Mega 2560 se puede programar con el software Arduino (IDE). El ATmega2560 en el Mega 2560 viene preprogramado con un cargador de arranque que le permite cargar código nuevo sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo STK500 original (referencia, archivos de encabezado C). También puede omitir el cargador de arranque y programar el microcontrolador a través del encabezado ICSP (Programación en serie en circuito) usando Arduino ISP o similar.

El ATmega2560 tiene 256 KB de memoria flash para almacenar código (de los cuales 8 KB se utilizan para el gestor de arranque), 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM (que se pueden leer y escribir con la biblioteca EEPROM). (Arduino Mega 2560 Rev3, s.f.)

2.4. Impresión 3D

La tecnología de impresión 3D es el proceso por el cual, se hace un objeto tridimensional, casi de cualquier forma, a partir de un modelo 3D, todo esto se lleva a cabo bajo un proceso de adición de material, el objeto es formado por la superposición de capas de material que se agregan una y una.

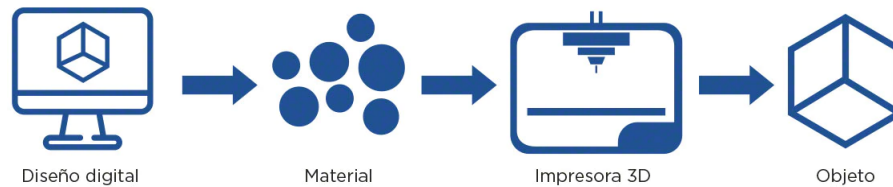


Figura 2.5: Diagrama de proceso de impresión 3D. (Mecalux, Enero 2020)

A continuación se muestran algunos aspectos que tiene la impresión 3D:

- Manufactura aditiva
- Diseños en 3D y datos informativos
- Tecnología
- Nuevos materiales
- Posicionamiento preciso
- Robótica
- Sensores de posicionamiento
- La conjunción o combinación de estos factores

La invención de la impresión 3D tiene algunos objetivos principales, uno de ellos es reducir y aprovechar el tiempo necesario para obtener la primera versión de un producto y eliminar varias restricciones de los métodos de producción tradicionales. La impresión 3D permite producir geometrías complejas o partes interconectadas sin requerir de ensamblado. También es posible imprimir objetos individuales, esta tecnología también ayuda a reducir la pérdida de material de producción. (Felipe Díaz, 2018)

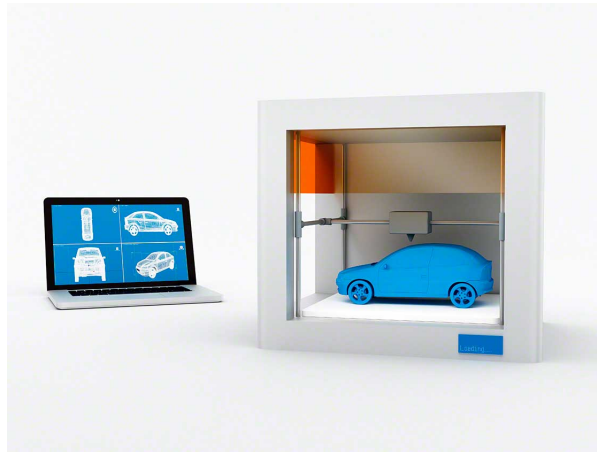


Figura 2.6: Imagen ilustrativa de impresión 3D. (Mecalux, Enero 2020)

2.5. Aguas casa habitación

2.5.1. Aguas grises

Descripción

Las aguas grises se refieren al agua residual generada por actividades como lavar ropa, ducharse, bañarse o lavar platos. A diferencia de las aguas negras, las aguas grises son menos contaminadas y aún pueden ser utilizadas para fines de reutilización. Estas aguas contienen restos de jabón, suciedad, cabello y pueden albergar bacterias, pero en general están lo suficientemente limpias como para ser aprovechadas en actividades como el riego de plantas u otros usos no potables. Es importante destacar que, mientras que en algunos lugares el agua de la cocina también se considera agua gris, en otros se clasifica como agua negra, al igual que el agua del inodoro.

Recomendaciones:

- Es recomendable no almacenar las aguas grises durante más de 24 horas. Si se almacenan por períodos prolongados, los nutrientes presentes en el agua comenzarán a descomponerse, lo que resultará en malos olores y promoverá la proliferación de bacterias.
- Se aconseja realizar la infiltración de las aguas grises en el suelo en lugar de permitir su estancamiento o escorrentía. Es importante conocer la capacidad de absorción de agua de tu suelo para diseñar un sistema adecuado. El estancamiento de las aguas grises puede

brindar oportunidades para la reproducción de mosquitos, así como aumentar el riesgo de contacto con animales y seres humanos.

- Se sugiere instalar una válvula de desvío en un lugar conveniente que permita cambiar fácilmente entre el sistema de aguas grises y el drenaje o el sistema séptico. Esto proporciona flexibilidad y la posibilidad de redirigir el flujo de agua según sea necesario, brindando control sobre el destino de las aguas grises.

Las aguas grises tienen el potencial de ser una fuente de agua de riego de buena calidad, pero también pueden representar un riesgo para las plantas, y esto depende de los jabones y productos que se utilizan en el hogar. La elección de productos de limpieza y cuidado personal que sean amigables con el medio ambiente y de baja toxicidad puede ayudar a garantizar que las aguas grises sean seguras y beneficiosas para el riego de las plantas.

Puntos importantes:

- Se aconseja evitar el uso de detergentes en polvo, ya que suelen contener altas cantidades de sodio. En su lugar, es preferible utilizar detergentes líquidos, ya que suelen ser una opción más segura y eficaz para el tratamiento de las aguas grises.
- Con el fin de prevenir el envenenamiento por boro en las plantas, es importante evitar el uso de jabones o detergentes que contengan este componente. Estos compuestos pueden ser perjudiciales para el crecimiento y desarrollo saludable de las plantas.

Todavía existen muchas barreras legales para los sistemas de aguas grises en el país, pero la tendencia es hacia regulaciones más amigables. Para conocer las regulaciones y leyes sobre el uso de aguas grises, se sugiere buscar en los códigos estatales de plomería o consultar con el departamento de salud ambiental correspondiente a tu ubicación; las aguas grises son reguladas por los códigos de plomería (departamento de construcción) o de salud ambiental (departamento del medio ambiente). (Allen Laura, 2015)

Existen también tratamientos de aguas residuales, en el hogar se hace referencia de estas aguas a las utilizadas para fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc), se estima que el porcentaje en peso de estas aguas el 99.9% es de agua y el 0.1% es de sólidos suspendidos, este pequeño porcentaje ocasiona los principales problemas en el tratamiento del agua.

Se pretende que el tratamiento de aguas elimine el mayor número de contaminantes para alcanzar los estándares y normas nacionales e internacionales. Existen diferentes tipos de tratamientos de agua incluso se utilizan tecnologías alternativas que limpian el agua a partir del manejo de microorganismos. (Díaz-Cuenca Elizabeth, et. al, 2012)

2.6. Válvulas solenoides

2.6.1. Descripción

Una válvula solenoide es una combinación de dos componentes funcionales: un paquete electromagnético y un cuerpo de válvula. El paquete electromagnético consta de un solenoide y su núcleo móvil o tragante correspondiente. El cuerpo de la válvula alberga los orificios de entrada, pasaje y salida. Los obturadores utilizados en los orificios de pasaje pueden ser del tipo aguja, guillotina, discos de elastómeros o PTFE. En algunos modelos, el cierre se realiza mediante una corredera con aros sellos. Estos componentes trabajan en conjunto para controlar el flujo de fluidos a través de la válvula solenoide.

2.6.2. Tipos de válvulas

Las válvulas solenoides se clasifican según el número de entradas y salidas en 2 vías, 3 vías, 4 vías o 5 vías. Además, desde el punto de vista funcional, pueden ser monoestables o biestables. Las válvulas monoestables tienen un único solenoide y, al desenergizarse, retornan a una posición estable. Por otro lado, las válvulas biestables constan de dos bobinas, una para cada posición, y pueden funcionar con pulsos de corriente.

Las válvulas de 2 vías monoestables, que se cierran al desenergizarse, se denominan "Normalmente Cerradas". Por el contrario, si se mantienen abiertas al desenergizarse, se conocen como "Normalmente Abiertas".

Por su forma de operar las válvulas pueden ser de acción directa, servo-operadas, o la combinación de ambas, las ancladas.

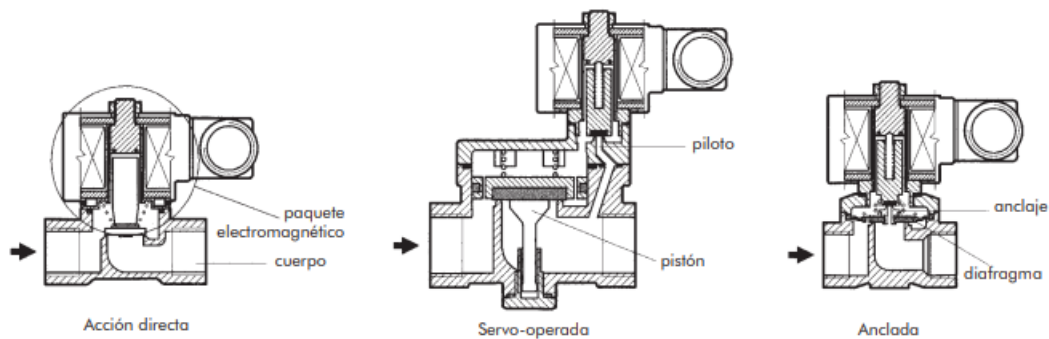


Figura 2.7: Ejemplo de tipos de válvulas. (Válvulas a Solenoide Información de Ingeniería, s.f.)

2.6.3. Aplicaciones

Las válvulas de uso general son aquellas que se emplean en una amplia variedad de sistemas y sectores industriales. Estas válvulas son adecuadas para manipular fluidos comunes, como agua, aire, vapor, aceites livianos, gases neutros y fluidos criogénicos. Son capaces de operar en un amplio rango de condiciones, abarcando desde aplicaciones de vacío hasta altas presiones y altas temperaturas. Su versatilidad las hace indispensables en numerosos sectores industriales.

Como ejemplos de aplicación podemos mencionar: surtidores automáticos de combustibles, bebidas, irrigación de parques programados por sectores, sembradíos, fuentes de aguas danzantes, equipos de soldaduras oxiacetilénica, soldadura eléctrica bajo atmósfera inerte, sistemas contra incendio, dosificadores de líquidos o gases, regulación de niveles de líquidos, máquinas envasadoras, sistemas de tratamiento de agua, expulsores neumáticos, lavaderos de automóviles, máquinas de limpieza de frente, proceso de niquelado, galvanizado, máquinas de elaboración del café, selección de combustibles en automóviles, sistemas de calefacción por aire, agua caliente, vapor, aceites calientes, sistemas criogénicos de laboratorios o industriales, regulación de bajo y alto vacío, sistemas de secado de tintas, etc. (Válvulas a Solenoide Información de Ingeniería, s.f.)

2.7. Relevador

Un relé es un interruptor accionado por un electroimán. Un electroimán está formado por una barra de hierro dulce, llamada núcleo, rodeada por una bobina de hilo de cobre. Al pasar una corriente eléctrica por la bobina el núcleo de hierro se magnetiza por efecto del campo magnético producido por la bobina, convirtiéndose en un imán tanto más potente cuanto mayor sea la intensidad de la corriente y el número de vueltas de la bobina. Al abrir de nuevo el interruptor y dejar de pasar corriente por la bobina, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán.

El relé está formado por un electroimán y un interruptor de contactos. Al pasar una pequeña corriente por la bobina, el núcleo se imanta y atrae al inducido por uno de sus extremos, empujando por el otro a uno de los contactos hasta que se juntan, permitiendo el paso de la corriente a través de ellos.

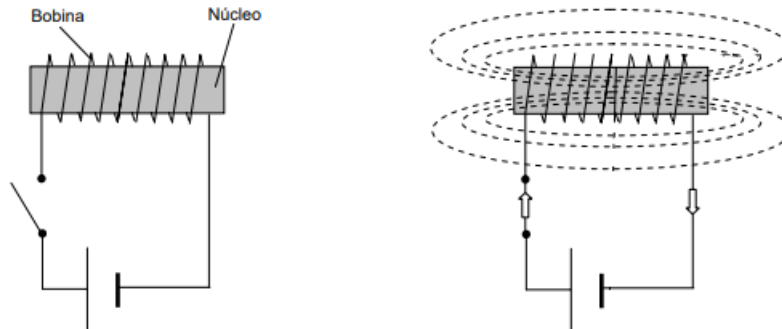


Figura 2.8: Imagen ilustrativa de interruptor accionado por un electroimán. (EL RELÉ, s.f.)

Genralmente el relé funciona como un interruptor. Está formado por un contacto móvil o polo y un contacto fijo. Pero también hay relés que funcionan como un conmutador, porque disponen de un polo (contacto móvil) y dos contactos fijos. (EL RELÉ, s.f.)

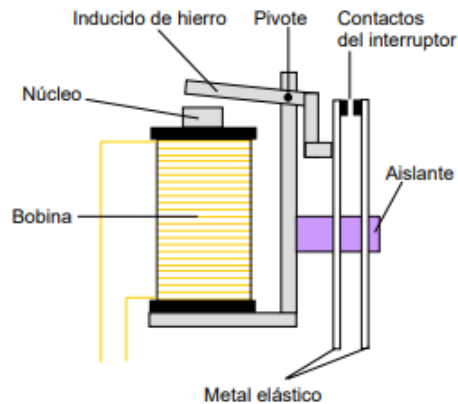


Figura 2.9: Imagen ilustrativa genrica de relevador. (EL RELÉ, s.f.)

2.8. Control difuso

El control difuso se basa en conjuntos los cuales se utilizan para simular toma de decisiones frente a diferentes procesos lo que le da una gran flexibilidad al momento de controlar los mismos. Los conjuntos difusos permiten la pertenencia parcial de los elementos a diferencia de los conjuntos clasicos en los cuales los elementos pertenecen o no al conjunto.

El control difuso se utiliza cuando se presentan tareas complejas del mundo real que son difíciles de modelar o simular. El control difuso provee una forma de representar, manipular e implementar el conocimiento humano de un sistema de control. En la Figura se muestra un diagrama de bloques que muestra un sistema de control de bucle cerrado de un controlador difuso.

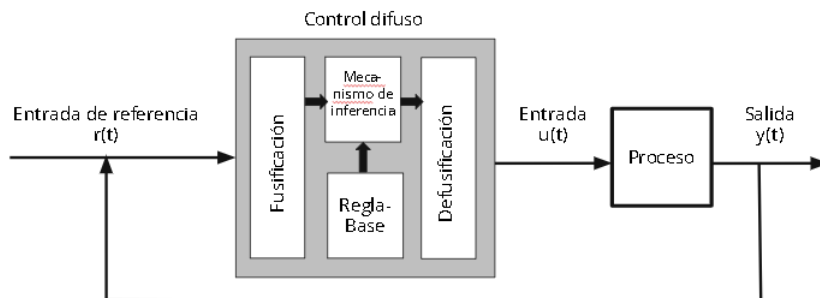


Figura 2.10: Arquitectura de un controlador difuso de bucle cerrado. (Kevin M. Passino Stephen Yurkovich, 1998)

El controlador difuso es parecido a tomar decisiones en tiempo real, en el caso de la Figura la salida se compara con una referencia que también es una entrada del sistema y luego el controlador tomara decisiones para llevar a cabo el objetivo que se desea.

Para poder llevar a cabo este proceso se debe tener un conocimiento de las entradas del sistema para poder recrear la toma de decisiones que podran ser parecidas a las iniciativas o elecciones de un humano. Existen muchas reglas de tipo If-Then en el proceso, básicamente si la salida de la planta y la referencia de entrada se comportan de cierta manera entonces la entrada de la planta debería tener algún valor debido al ciclo cerrado que hace la retroalimentación. (Kevin M. Passino Stephen Yurkovich, 1998)

2.9. Estándares IPC para el diseño y fabricación de PCB

Seguir las normativas asegura el rendimiento, el nivel de diseño y fabricación es mejor y dependiendo del software que se utilice puede ser más fácil cumplir estos objetivos.

La normativa IPC establece los estándares para el diseño y la fabricación de placas de circuito impreso. Esta normativa abarca aspectos como la fabricación de vías y microvías, los requisitos de resistencia de las juntas de soldadura, los materiales y espesores de las mascarillas de soldadura, las propiedades de los materiales utilizados como sustratos, entre otros requisitos

importantes en el proceso de fabricación. Algunas de las normativas más importantes son las siguientes:

- IPC 6012E: Normativas en coronas que aseguran la estabilidad mecánica y térmica para un buen funcionamiento. Se establecen tres clasificaciones de productos (Clase 1, Clase 2 y Clase 3) según el nivel requerido de confiabilidad de los dispositivos. Cada una de estas clases tiene sus propias directrices y requisitos de rendimiento y calificación para la fabricación, limpieza e inspección de placas de circuito impreso (PCB). Estas normas abordan cuestiones como la ubicación de componentes, el recubrimiento de agujeros de interconexión, la presencia de contaminantes residuales, el tamaño de las pistas y otras consideraciones relevantes en el ensamblaje de PCB para cada una de las clases establecidas.
- IPC 2152: Implican especificaciones de diseño que aseguran la estabilidad térmica y de rendimiento. Desde 2009, la norma IPC-2152 ha sido ampliamente adoptada como la principal norma para dimensionar los conductores en una placa de circuito impreso (PCB).

Las placas de circuito más complejas, especialmente aquellas que funcionan a velocidades ultra altas o utilizan metodologías de diseño HDI, requieren seguir estrictas normativas de diseño y capacidad de fabricación. Para cumplir con estas normativas esencialmente importantes, se recomienda utilizar un software de diseño adecuado que permita cumplir con ellas sin comprometer la adaptabilidad y la facilidad de uso.

Capítulo 3

Metodología

En la Figura 3.1 se muestra un diagrama general del sistema, la entrada del sistema es la salida de agua de la lavadora con la cual interactúan los usuarios, esta entrada pasara por un procesamiento que será controlado por el microcontrolador Arduino UNO, este tiene una alimentación de 5V y a su vez alimenta los demás sensores y componentes del sistema exceptuando las válvulas solenoides que son alimentadas con 12V.

El primer sensor que interactua con la entrada es el sensor de flujo seguido por el sensor de flujo de agua el cual nos dará los valores de NTU y V necesarios para el control, el módulo de relevadores tiene como función abrir y cerrar las válvulas, la pantalla LCD nos indicará el estado del agua.

Por última instancia la salida del sistema se obtiene a partir de las válvulas las cuales se abren o cierran en base al control.

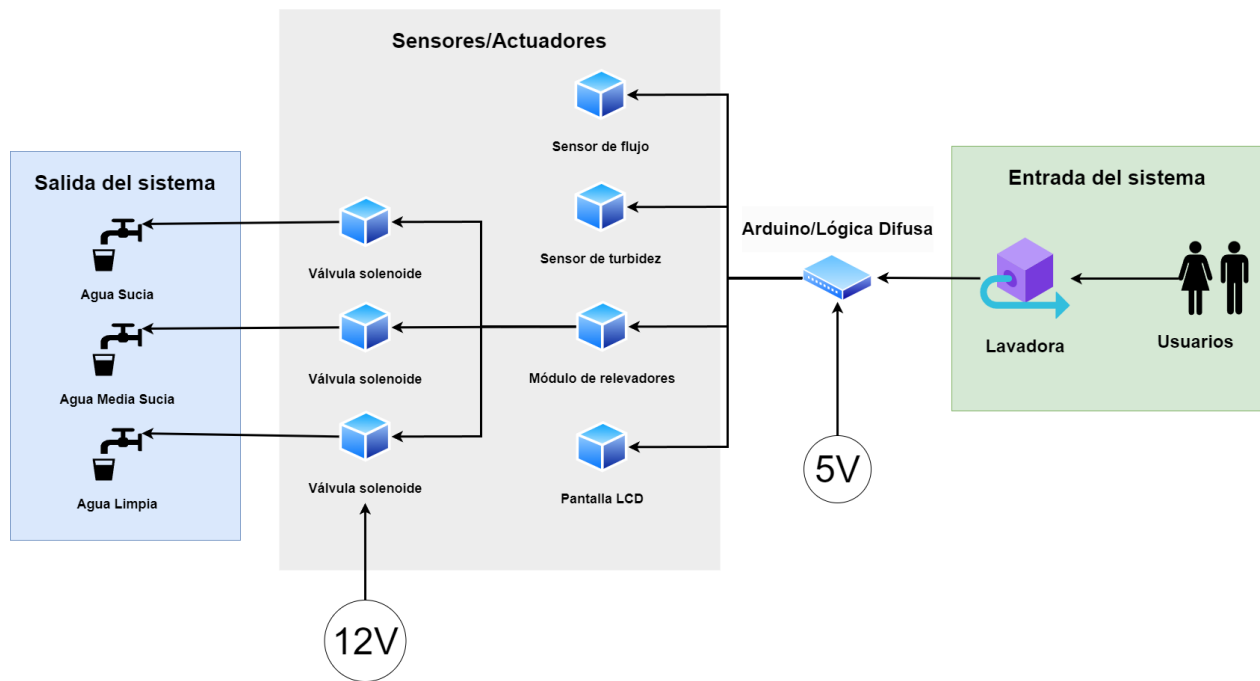


Figura 3.1: Diagrama de Metodología

A continuación se mostrarán algunos aparatados con especificaciones y detalles de los elementos y herramientas usados para este proyecto, además se especificará la integración de todos estos elementos para conformar un sistema que conlleva un diseño de circuitos y manufactura para cumplir el propósito y objetivos del proyecto.

3.1. Metodología

3.2. Turbidez

Para la medición de turbidez del agua se utilizó un sensor de turbidez que se muestra en la Figura 3.1. Las especificaciones del sensor se muestran en la Tabla 3.1.



Figura 3.2: Sensor de turbidez.

Unidad	Magnitud
Voltaje de funcionamiento	5V DC
Corriente de funcionamiento	40mA (MAX)
Tiempo de respuesta	<500ms
Resistencia de aislamiento	100M (Min)
Método de salida	analógico
Salida analógica	0-4.5V
Temperatura de funcionamiento	5 °C 90 °C
Temperatura de almacenamiento	-10 °C 90 °C
Peso	30g
Dimensiones del adaptador	38 mm * 28 mm * 10 mm

Tabla 3.1: Tabla de especificaciones de Sensor de turbidez. (Vistrónica, s.f.)

3.3. Flujo

Para la medición de flujo del agua se utilizó un sensor de flujo mostrado en la Figura 3.2, las especificaciones se muestran en la Tabla 3.2.



Figura 3.3: Sensor de flujo.

Unidad	Magnitud
Voltaje de funcionamiento	5 a 18 VCC
Corriente de funcionamiento	15 mA a 5 V
Rango de Trabajo	de 1 a 30 litros / minuto
Temperatura de funcionamiento	-25 a 80 ° C
Rango de Humedad de trabajo	35-80 por ciento RH (Humedad Relativa)
Presión máxima del agua	2,0 MPa
Ciclo de trabajo de la salida	50 + 10 por ciento
Tiempo de subida de la salida	0.04us
Tiempo de caída de la salida	0.18us
Características del pulso	Frecuencia (Hz) = 7,5 * Caudal (L / min)
Pulsos por litro	450
Durabilidad	un mínimo de 300.000 ciclos

Tabla 3.2: Tabla de especificaciones de Sensor de flujo. (Steren, s.f.)

3.4. Válvula solenoide

A continuación se muestra en la Tabla 3.3 las especificaciones de la válvula solenoide utilizada mostrada en la Figura 3.3.



Figura 3.4: Válvula solenoide. (aelectronics, s.f)

Unidad	Magnitud
Voltaje de operación	12V DC
Potencia	8 W
Corriente	0.6 A
Presión	0.02 0.8 Mpa
Temperatura máxima del fluido	100 °C

Tabla 3.3: Tabla de especificaciones de Válvula solenoide. (aelectronics, s.f)

3.5. Módulo de relevadores

Se utilizó un módulo de 4 relevadores mostrado en la Figura 3.4 ya que se necesitan tres módulos para poder accionar las válvulas solenoides necesarias, en la Tabla 3.4 se muestran sus especificaciones.

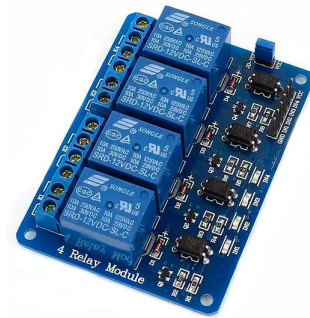


Figura 3.5: Módulo de 4 relevadores. (Tecneu, s.f.)

Unidad	Magnitud
Voltaje nominal Relay	12V DC
Voltaje de salida	250 VCA o 30 VDC
Corriente a la salida	10 A
Corriente nominal Relay	70 ~ 90mA

Tabla 3.4: Tabla de especificaciones de Módulo de Relevadores. (Tecneu, s.f.)

Como características extras tenemos que el módulo de compone de 4 canales independientes protegidos con optoacopladores, 4 Relevadores (Relays) de 1 polo 2 tiros, led indicador para cada canal y terminales de conexión de tornillo (clemas).

3.6. Sistema de clasificación de agua

El primer paso para poder interpretar el sensor de turbidez fué obtener la ecuación característica la cual se obtuvo en base a los resultados obtenidos al hacer las mediciones con distintos tipos de agua con diferentes niveles de turbidez.

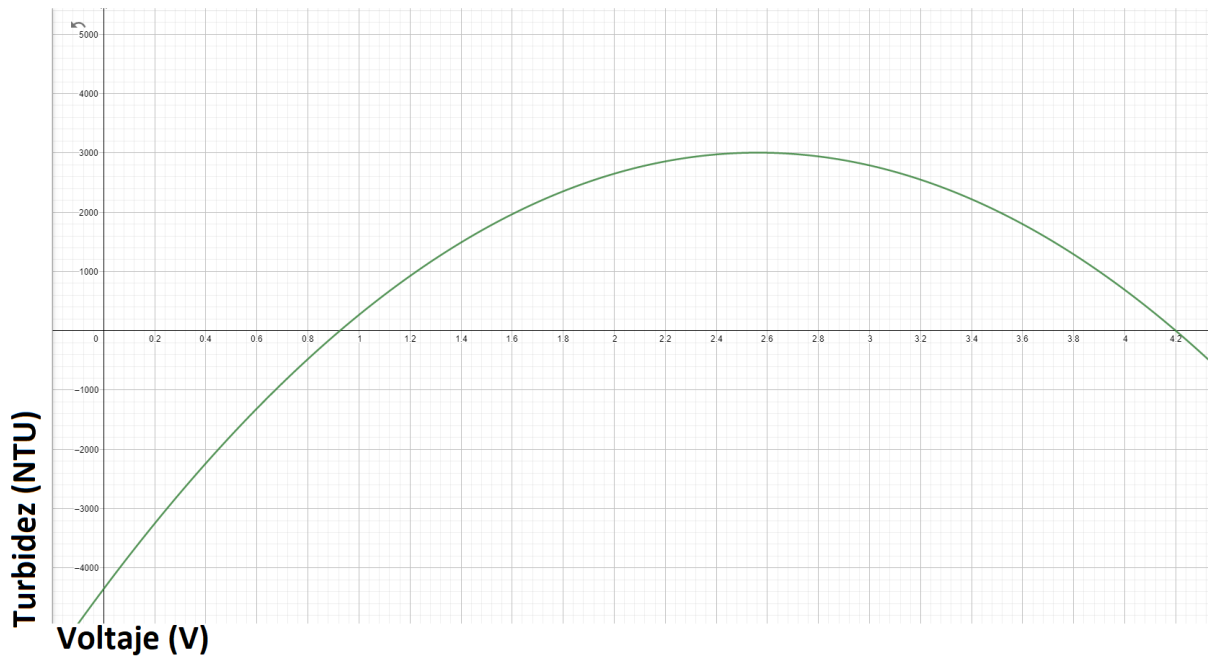


Figura 3.6: Gráfica representativa del comportamiento del sensor de turbidez.

La ecuación de la gráfica de la Figura 3.5 se muestra en la ecuación 3.1

$$T(\text{turbidez}) = -1120,4V^2 + 5742,3V - 4353,8 \quad (3.1)$$

El sistema de clasificación de agua se llevó a cabo por medio de control difuso el cual es similar al modo de actuar de un operador, cabe resaltar que la diferencia de este tipo de control con otros es que este se asimila a la experiencia e intuición de un ser humano en un proceso.

Para llevar a cabo el controlador se tomaron en cuenta tres variables principales las cuales son el valor actual de voltaje, turbidez y la válvula de apertura. El rango de voltaje es de 0 a 4 V, este valor se toma directamente del sensor de turbidez y se divide en voltaje bajo "VB", voltaje medio "VM", voltaje alto "VA". El rango de turbidez es de 0 a 3000 NTU, al igual que el voltaje este valor se toma del sensor de turbidez, el rango se divide en turbidez baja "TB", turbidez media "TM", turbidez alta "TA". Las rango de válvulas se divide en válvula limpia "VL", válvula media sucia "VM", válvula sucia "VS". La tabla 3.5 muestra la lógica general de la apertura de válvulas en función del nivel de turbidez y de voltaje.

	TB	TM	TA
VB	VS	VS	VS
VM	VMS	VMS	VMS
VA	VL	VMS	VMS

Tabla 3.5: Base de reglas.

Se puede observar que los tres rangos estan divididos en 3 partes, en las ecuaciones siguientes se muestran las divisiones de los mismos, los rangos pueden tomar diferentes formas por ejemplo de rectángulo, triangulo o este caso una pendiente formando un trapecio, se optó por esta opción ya que el valor de los rangos era el mas adecuado de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas posteriores.

Tomando como ejemplo la ecuación 3.3 y 3.2, la P corresponde a los puntos de los rangos, por lo que el primer punto y el segundo deben coincidir con la ecuación de una pendiente que corresponde a la primera interpretación de la ecuación 3.3, después se deberá representar una recta que va del segundo al tercer punto mostrada en la ecuación 3.3 y por último la pendiente inversa que va del cuarto al quinto punto y se interpreta con la ultima operación de la ecuación 3.3.

Parámetros de rango de voltaje

Voltaje Bajo

$$P = [0, 0.5, 2.543, 2.85] \quad (3.2)$$

$$\mu = \left\{ \begin{array}{ll} 2V & 0 \leq V \leq 0,5 \\ 1 & 0.5 \leq V \leq 2.543 \\ -3.257V + 9.28245 & 2.543 \leq V \leq 2.85 \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

Voltaje Medio

$$P = [2.543, 2.77, 3.67, 3.84] \quad (3.4)$$

$$\mu = \left\{ \begin{array}{ll} 4.4052V - 11.2026 & 2.543 \leq V \leq 2.77 \\ 1 & 2.77 \leq V \leq 3.67 \\ -5.8823V + 22.5882 & 3.675 \leq V \leq 3.54 \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

Voltaje Alto

$$P = [3.67, 3.8, 3.9, 4] \quad (3.6)$$

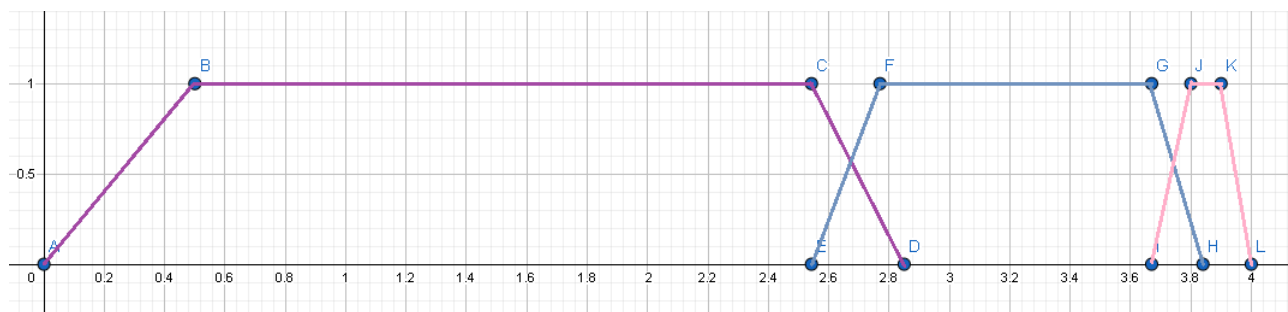


Figura 3.7: Gráfica de rango de voltaje

$$\mu = \begin{cases} 7.6923V - 28.2307 & 3.67 \leq V \leq 3.8 \\ 1 & 3.8 \leq V \leq 3.9 \\ -10V + 40 & 3.9 \leq V \leq 4 \end{cases} \quad (3.7)$$

Parámetros de rango de válvulas en base al tipo de agua

Válvula de agua limpia

$$P = [0, 0.1771, 1.02, 1.14] \quad (3.8)$$

$$\mu = \begin{cases} 5.6465A & 0 \leq A \leq 0.1771 \\ 1 & 0.1771 \leq A \leq 1.02 \\ -8.3333A + 9.5 & 1.02 \leq A \leq 1.14 \end{cases} \quad (3.9)$$

Válvula de agua media sucia

$$P = [0.954, 1.14, 1.88, 2.07] \quad (3.10)$$

$$\mu = \begin{cases} 5.3763A - 5.1290 & 0.954 \leq A \leq 1.14 \\ 1 & 1.14 \leq A \leq 1.88 \\ -5.2631A + 10.8947 & 1.88 \leq A \leq 2.07 \end{cases} \quad (3.11)$$

Válvula de agua sucia

$$P = [1.88, 2.04, 2.862, 3] \quad (3.12)$$

$$\mu = \begin{cases} 6.25A - 11.75 & 1.88 \leq A \leq 2.04 \\ 1 & 2.04 \leq A \leq 2.862 \\ -0,8787A + 2,6362 & 2.862 \leq A \leq 3 \end{cases} \quad (3.13)$$

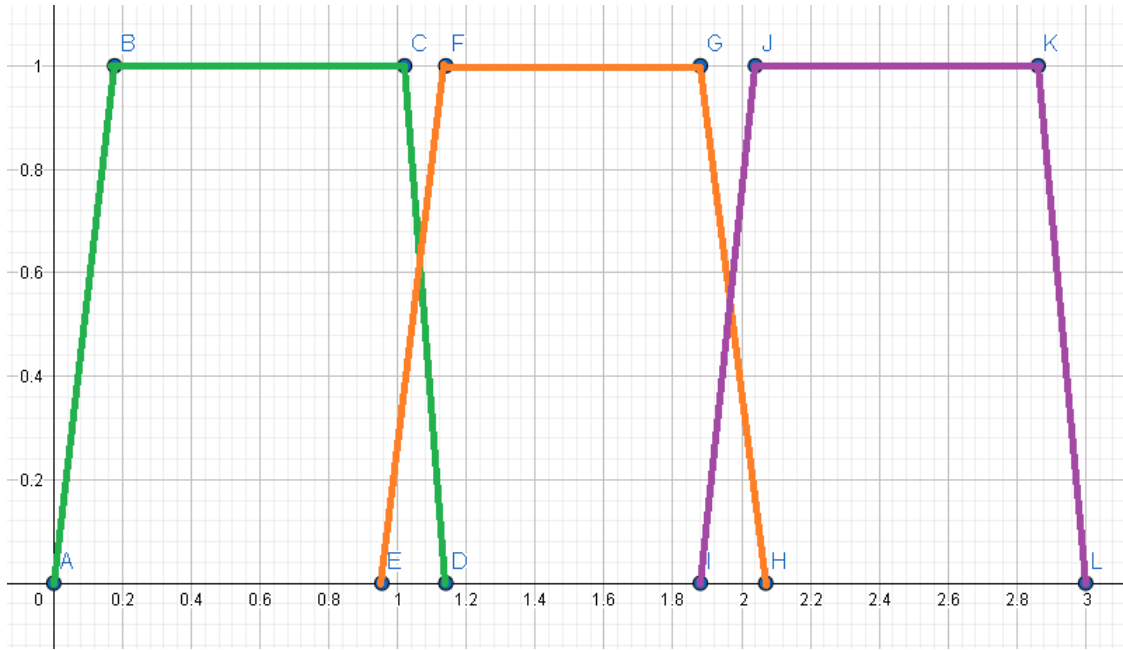


Figura 3.8: Gráfica de rango del estado de las válvulas en base al tipo de agua

Parámetros de rango de turbidez

Turbidez Baja

$$P = [0, 236, 1200, 1475] \quad (3.14)$$

$$\mu = \begin{cases} 0,00423T & 0 \leq T \leq 236 \\ 1 & 236 \leq T \leq 1200 \\ 0.00363T - 5.5865 & 1200 \leq T \leq 1475 \end{cases} \quad (3.15)$$

Turbidez Media

$$P = [1162, 1370, 2090, 2410] \quad (3.16)$$

$$\mu = \begin{cases} 0.004807T - 5.5865 & 1162 \leq T \leq 1370 \\ 1 & 1370 \leq T \leq 2090 \\ -0.003125T + 7.53125 & 2090 \leq T \leq 2410 \end{cases} \quad (3.17)$$

Turbidez Alta

$$P = [2030, 2330, 2784, 3000] \quad (3.18)$$

$$\mu = \begin{cases} 0.00333T - 6.766 & 2030 \leq T \leq 2330 \\ 1 & 2330 \leq T \leq 2784 \\ -0.004629T + 13.8888 & 2784 \leq T \leq 3000 \end{cases} \quad (3.19)$$

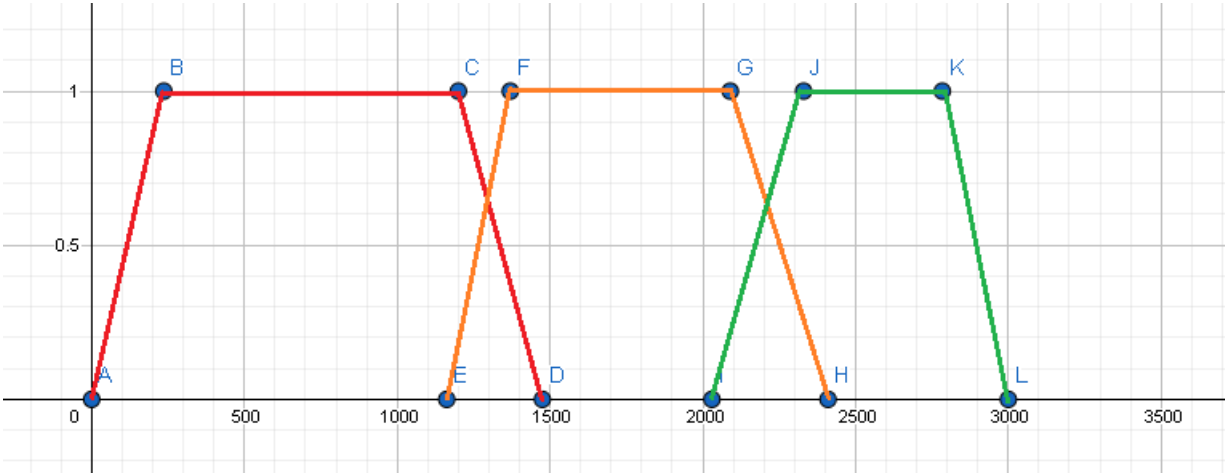


Figura 3.9: Gráfica de rango de turbidez.

Para poder llevar esta lógica al hardware se programaron en Arduino funciones con condicionales y se agregó una variable en cada una de ellas, su valor representa el rango en el que está en base al controlador propuesto. En Arduino se crearon varias funciones que expresaran lo anterior, así por ejemplo si el valor del voltaje actual se encuentra en el rango de voltaje bajo se representará el estado con la variable V, si este se refiere a la turbidez la variable será T, cabe mencionar que la apertura de válvulas depende únicamente de los rangos de voltaje y turbidez. Para los casos en los que los rangos se cruzan se tomó el rango de la derecha como rango de toma de decisión, como ejemplo en la Figura 3.8 en el caso en el que se cruzan el rango del punto E y el punto D se toma el E para la toma de decisión de ese rango.

Lógica para detección de agua sucia

Si VOLT_val = 1 y TURB_val = 1 entonces out = 3.

Si VOLT_val = 1 y TURB_val = 2 entonces out = 3.

Si $VOLT_val = 1$ y $TURB_val = 3$ entonces $out = 3$.

Lógica para detección de agua media sucia

Si $VOLT_val = 2$ y $TURB_val = 1$ entonces $out = 2$.

Si $VOLT_val = 2$ y $TURB_val = 2$ entonces $out = 2$.

Si $VOLT_val = 2$ y $TURB_val = 3$ entonces $out = 2$.

Si $VOLT_val = 3$ y $TURB_val = 2$ entonces $out = 2$.

Si $VOLT_val = 3$ y $TURB_val = 3$ entonces $out = 2$.

Lógica para detección de agua limpia

Si $VOLT_val = 3$ y $TURB_val = 1$ entonces $out = 1$.

Si out es igual a 3 entonces $VL = LOW$, $VM = LOW$ y $VS = HIGH$.

Si out es igual a 2 entonces $VL = LOW$, $VM = HIGH$ y $VS = LOW$.

Si out es igual a 1 entonces $VL = HIGH$, $VM = LOW$ y $VS = LOW$.

Siendo VL la válvula de agua limpia, VM la válvula de agua media sucia y VS la válvula de agua sucia.

3.7. Diseño y manufactura

Para el acomodo e integración de todos los sensores se usaron piezas de pvc, la estructura completa se muestra en la Figura 3.9 y en la Tabla 3.6 se ennumeran los elementos que la componen.

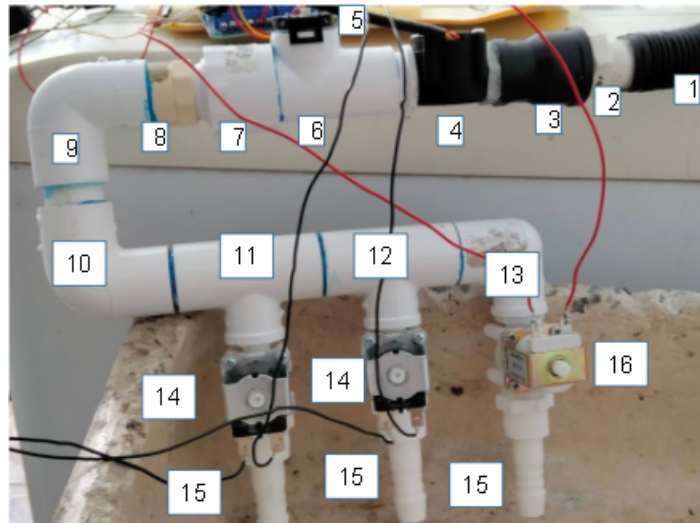


Figura 3.10: Estructura de PVC.

No	Elemento de la estructura
1	Manguera (Lavadora)
2	Adaptador de espiga macho de PVC de $\frac{3}{4}$ in
3	Reducción campana de PVC de $\frac{3}{4}$ in a $\frac{1}{2}$ in
4	Sensor de flujo
5	Sensor de turbidez
6	TEE de PVC $\frac{1}{2}$ in a $\frac{1}{2}$ in
7	Reductor adaptador hembra de PVC de $\frac{1}{2}$ in a $\frac{3}{4}$ in
8	Terminal niple de $\frac{3}{4}$ in
9	Codo 90° de PVC
10	Codo 90° de PVC
11	TEE de PVC $\frac{3}{4}$ in a $\frac{3}{4}$ in
12	TEE de PVC $\frac{3}{4}$ in a $\frac{3}{4}$ in
13	Codo 90° de PVC
14	Válvula solenoide normalmente cerrada de $\frac{1}{2}$ in
15	Adaptador de espiga macho de $\frac{1}{2}$ in
16	Válvula solenoide normalmente abierta de $\frac{1}{2}$ in

Tabla 3.6: Tabla de elementos.

Se creó una caja de acrílico para resguardar la estructura completa, se eligió ese material

en específico por la resistencia del material y su adecuado uso para exteriores, se utilizaron escuadras y remaches para sostener las paredes de la caja y su tamaño se planeó en base a las dimensiones de la estructura de PVC y el circuito propuesto.

Para sostener la estructura de PVC a la caja se diseñó una pieza 3D en el software Inventor, la cual le da soporte a los dos codos de PVC, además la pieza también sostiene la placa con el circuito, este se colocó de tal forma que se pueda ver la pantalla LCD en la cual se muestran varios mensajes que permiten ver el estado del agua y la válvula que será abierta. El diseño se muestra en la Figura 3.10 y 3.11.

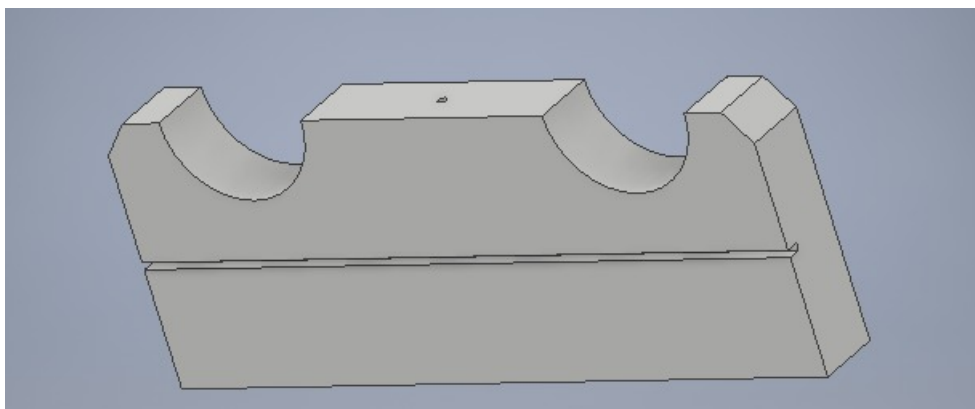


Figura 3.11: Pieza para sostener la estructura.

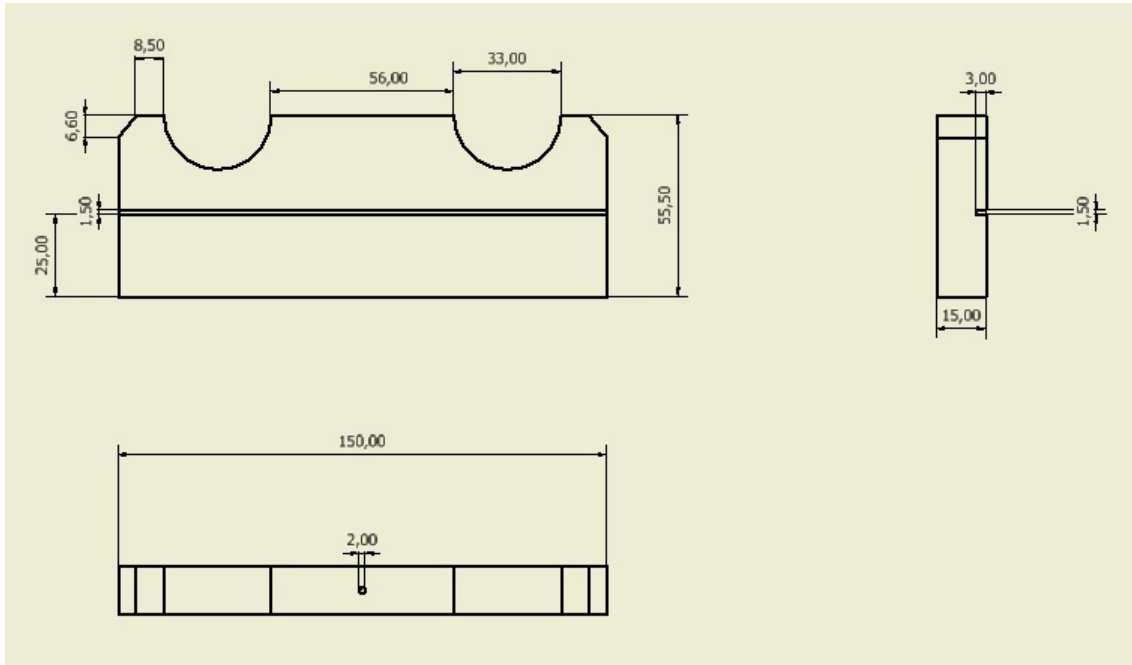


Figura 3.12: Medidas de pieza para sostener la estructura.

3.8. Integración del sistema

La integración del sistema esta compuesto por un sensor de turbidez, un sensor de flujo, tres válvulas solenoides, una normalmente abierta y dos normalmente cerradas, una pantalla LCD, un Arduino Mega y un módulo de 4 relevadores, la conexión de todos los elementos se muestra en la figura 3.12.

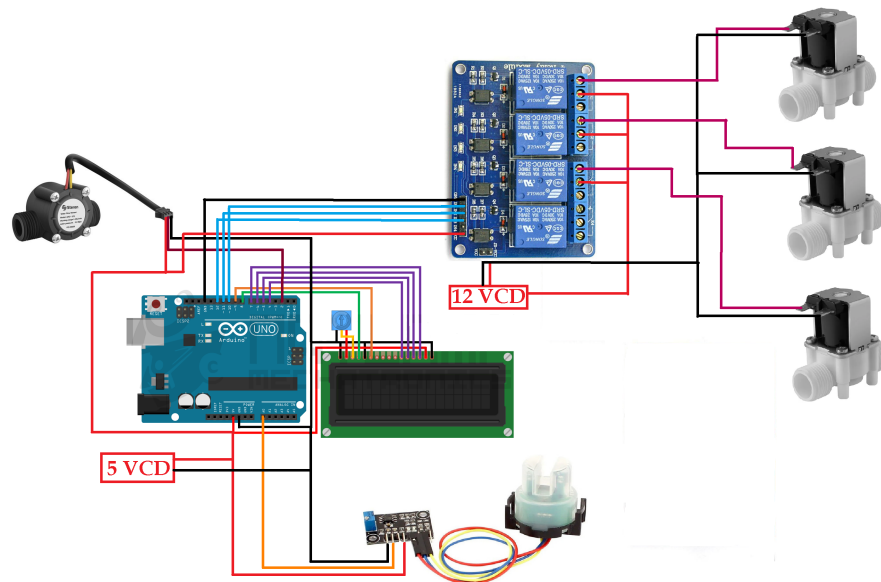


Figura 3.13: Diagrama de conexión del circuito.

Se creó un circuito para poder facilitar las conexiones de todo el sistema y se colocó en la estructura que protege el dispositivo de tal forma que la pantalla LCD sea visible para poder observar el estado del agua.

El diseño de PCB del circuito se creó con el software Fritzing, el circuito fue impreso sobre una hoja de acetato y con una plancha fue traspasado a una placa de cobre, todos los trazos del circuito se remarcaron con plumón negro permanente y para retirar los restos de cobre que no eran necesarios se utilizó ácido férrico. Una vez realizado este proceso se hicieron los orificios y se soldaron los pines, ningún elemento fue soldado directamente a la placa para que fuera posible retirar los sensores, arduino y la pantalla LCD. El resultado final se muestra en la Figura 3.13:

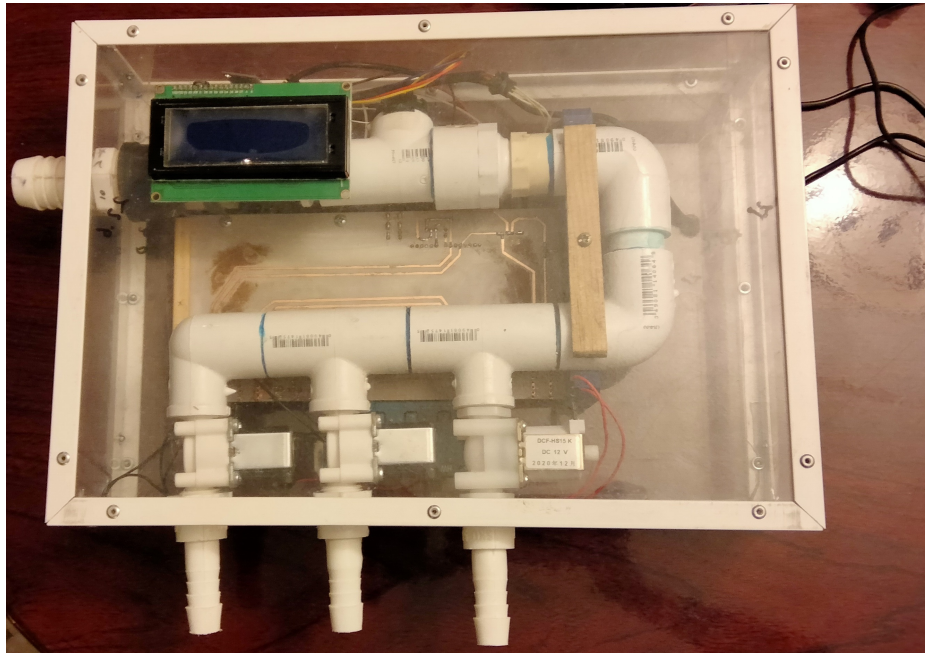


Figura 3.15: Vista frontal completa de la estructura

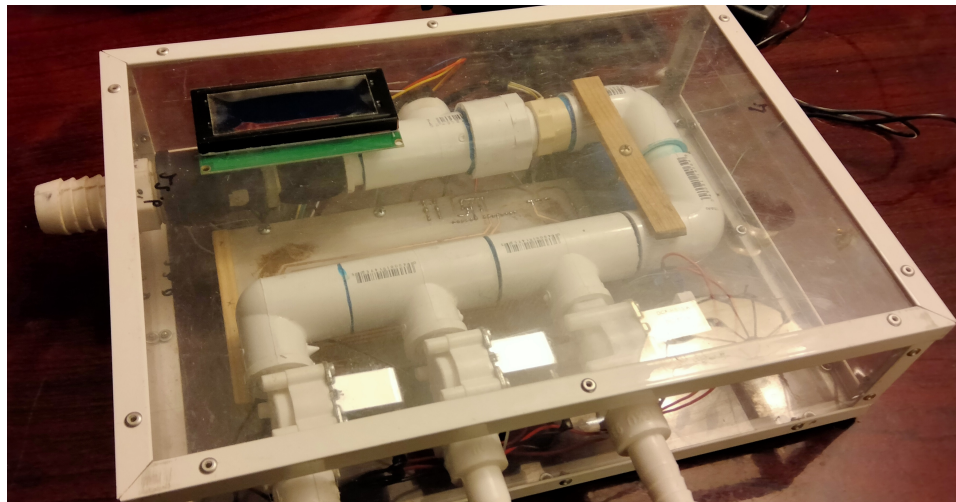


Figura 3.16: Vista lateral izquierda completa de la estructura

Capítulo 4

Análisis y resultados

4.1. Resultados

Una vez hecho el circuito y las conexiones correspondientes se analizaron los datos arrojados por el sensor en Arduino, durante las pruebas el valor del voltaje, la turbidez y el flujo se mostraban en tiempo real en el Serial Monitor.

Una de las limitaciones que se encontraron durante el desarrollo del proyecto fue la posibilidad de guardar los valores obtenidos en tiempo real en un archivo, para resolver este problema se utilizó el software CoolTerm para guardar los datos obtenidos de los sensores en un archivo tipo txt y poder hacer gráficas que representaran el comportamiento del ciclo de lavado y en base a esos resultados hacer la planeación del controlador.

Se llevaron a cabo varias pruebas en diferentes tiempos y ciclos de lavado, en algunos casos se utilizó agua sucia de ropa blanca pero generalmente se utilizó agua de ropa de color. Cabe recalcar que en cada prueba se obtuvieron datos de dos ciclos de lavado, la mayoría de las lavadoras utilizan 4 ciclos de lavado las cuales son lavado, secado, enjuague y segundo secado, los resultados se obtuvieron de la salida del agua al final del primer y penúltimo ciclo, en la mayoría de los casos la turbidez del agua del primer ciclo era mayor ya que en el enjuague la mayor parte de la suciedad de la ropa ya había sido expulsada en el primer ciclo.

En las siguientes imágenes se muestran las graficas de NTU contra voltaje de una de las pruebas realizadas del primer y segundo ciclo de lavado, el área roja muestra agua sucia, la amarilla agua media sucia y la verde agua limpia. Se puede observa que mientras mayor sea la turbidez y menor sea el voltaje el agua será mas sucia, sin embargo en la figura 4.1 se observa que tambien se toma como agua sucia cuando el valor de NTU es bajo pero el voltaje sigue

siendo bajo, para ello el control difuso y los rangos propuestos toman la decisión de abrir la válvula de agua sucia.

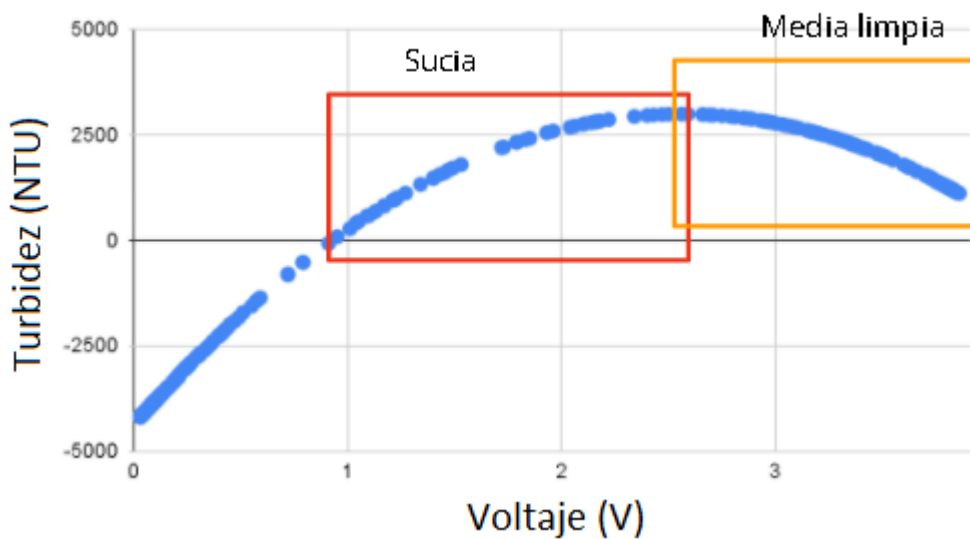


Figura 4.1: Primer Ciclo de lavado.

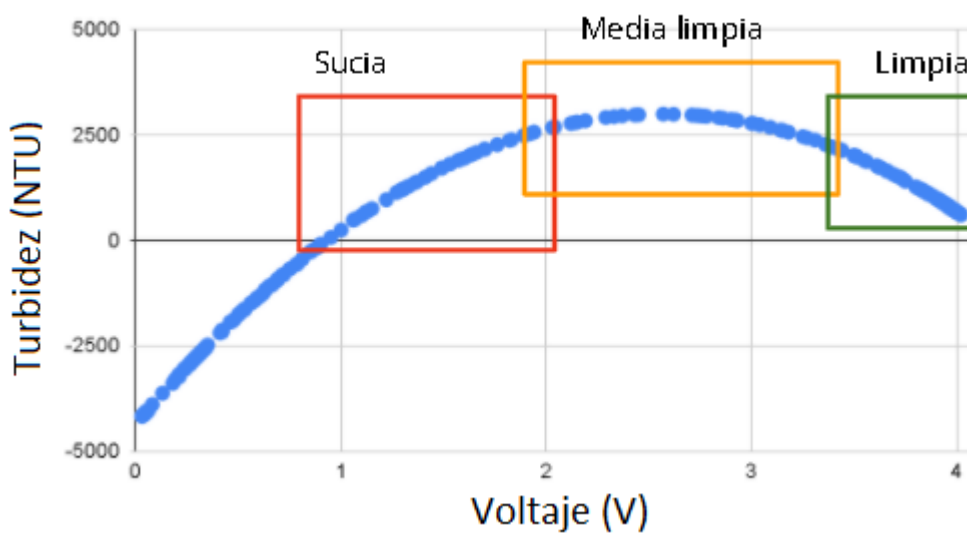


Figura 4.2: Segundo Ciclo de lavado.

Se puede observar en la gráfica de las Figuras 4.1 y 4.2 que existen valores negativos de

NTU los cuales se toman como fuera del rango de acción del controlador, lo que sucede en estos casos es que no existe un flujo de agua, por lo tanto el sensor de turbidez nos muestra valores en un estado en el que no hay líquido, se llegó a esta conclusión gracias a la observación de las gráficas y el flujo de agua de la lavadora.

A la estructura se le agregaron dos soportes de cuadro para que el usuario pueda colgar el dispositivo en una pared y sea mas facil llevar a acbo todo el proceso sin que este mal posicionado o ocasione molestia o estorbo en el lugar de lavado.

En el código se creó una condicional que deja abierta la valvula seleccionada para el agua sucia abierta cuando no hay flujo de agua, esto debido a que cuando termina el ciclo de lavado del agua debe haber una salida de agua presente.

La pantalla LCD muestra el estado del agua actual además de que se muestra un texto en caso de que no exista flujo de agua.

En la Figura 4.3 podemos observar una de las posibles formas de colocar el dispositivo, en esta ocasión se optó por colocarlo al lado de la lavadora, podemos observar que la manguera de la salida de agua de la lavadora esta conectada a la entrada del dispositivo, de este mismo salen tres mangueras que introducirán el agua en sus respectivos recipientes esto con el propósito de almacenar esa agua y utilizarla después.



Figura 4.3: Vista general del dispositivo

La pantalla LCD muestra el estado del agua actual además de que se muestra un texto en caso de que no exista flujo de agua. En las Figuras 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7 se muestran ejemplos de los anterior.



Figura 4.4: Texto en Pantalla LCD mostrado al haber agua sucia



Figura 4.5: Texto en Pantalla LCD mostrado al haber agua media sucia



Figura 4.6: Texto en Pantalla LCD mostrado al haber agua limpia



Figura 4.7: Texto en Pantalla LCD mostrado al no haber flujo de agua

En la Figura 4.8 se puede observar que la manguera del centro muestra un flujo de agua y la pantalla LCD muestra el texto: Agua media sucia.

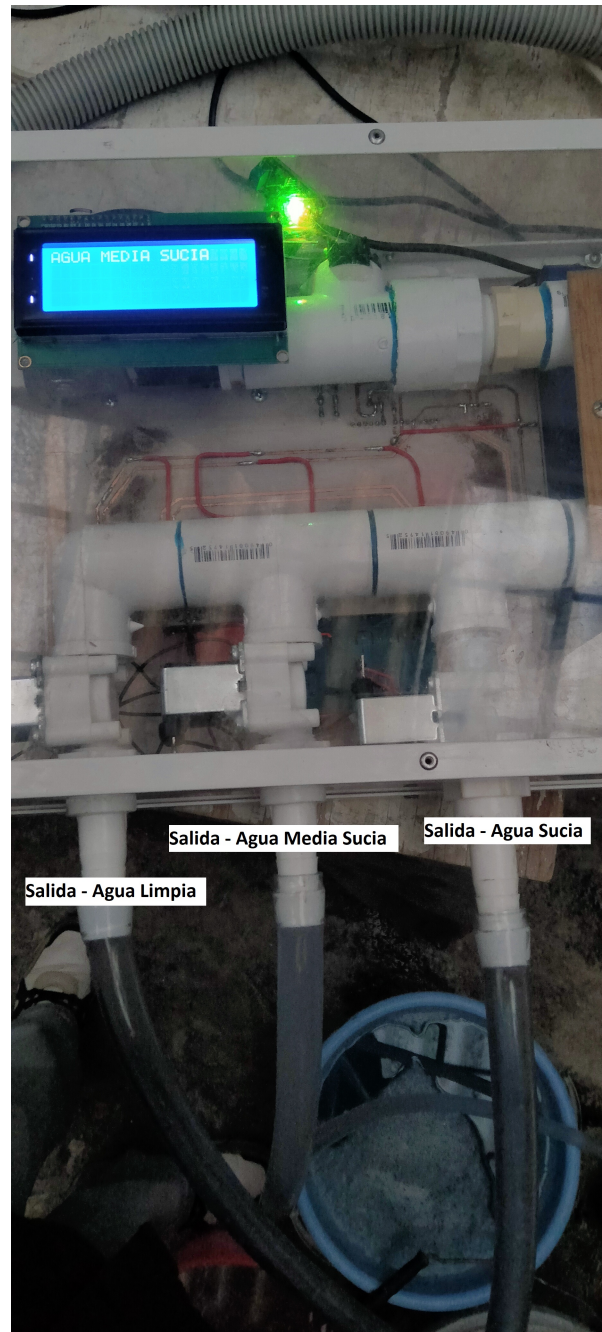


Figura 4.8: Vista general del dispositivo al haber agua media sucia

Capítulo 5

Conclusiones

El desarrollo de este trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar y desarrollar un sistema de clasificación de aguas grises provenientes de la salida de una lavadora, este con uso residencial en base al sensado de un sensor de turbidez y el flujo del agua en una plataforma Arduino esto con el propósito de facilitar el uso de los sensores además de desarrollar la manufactura aditiva, todo lo anterior con el fin de reutilizar un porcentaje de agua proveniente del hogar.

Al llevar a cabo este trabajo se presentaron algunas limitaciones, una de ellas al comienzo fue la precacución que se tomó para el circuito siempre se encontrara en buenas condiciones ya que podría haber algún caso de fuga de agua y mojar el mismo. La mayoría de los casos de pruebas fueron con ropa de color y no de otro tipo como ropa blanca y otros tipos de tela sin embargo se tomo en cuenta la ropa de color debido a que es el caso mas común de lavado. Al diseñar el circuito no se pudo llevar a cabo un acomodo perfecto de los elementos, este se realizó lo mas ideal posible para evitar conexiones físicas con cables dentro de la caja y además se utilizaron dos fuentes de alimentación debido a que el amperaje no era suficiente par alimentar todos los elementos del circuito.

Cabe resaltar que el proyecto propuesto puede tener una utilidad mucho mayor en la industria, por ejemplo hay muchas empresas que desechan residuos líquidos, estos podrían ser separados y drenarse en distintos puntos y no simplemente desechos los residuos juntos, puede que algunos de ellos puedan ser reutilizados para otros propósitos y en caso de que no sea así puede ser que al desechos todos los residuos en un mismo punto se generen mezclas que se vuelvan mas dañinas. Otro caso puede ser utilizarlo en otros puntos del hogar, por ejemplo en la regadera, etc. En mi opinión personal el agua se gasta mucho y las aguas grises pueden ser muy bien aprovechadas para reutilizarse y evitar tanto gasto de agua, incluso se podría

aprovechar el agua de la lluvia, este proyecto además de haber cumplido con los objetivos abre un gran panorama a nuevos proyectos que puedan realizarse para el cuidado del agua.

Capítulo 6

Prospectivas

Este proyecto puede ser el comienzo de algo mucho mas grande, los principios de este proyecto pueden llegar a ser utilizados incluso en la industria para reutilizar las agua desechable para el riego de sus instalaciones o para reutilizar el agua para el uso de los baños, hay muchas posibilidades.

Para el futuro desarrollo de este proyecto recomiendo el uso extra de otro tipo de sensores, por ejemplo un sensor de Ph para darle una mayor compensación a la clasificación del agua. Ya que este proyecto se concentró en el agua de la lavadora y en base a la experiencia se tiende a lavar de manera mas concurrida la ropa de color sugiero que dentro de ese rango de agua se puedan obtener otro tipo de clasificaciones de agua para una mayor variedad de resultados y opciones para utilizar el agua.

Para la creación del circuito sugiero que las conexiones que no estan incluidas en la PCB sean bien sujetadas o conectadas con alguna herramienta para que los cables no se desconecten en caso de que hagamos algún movimiento brusco. Ademas sugiero que la tapa quede del lado del circuito en base al diseño propuesto, esto facilitara mucho llevar a cabo mediciones y realizar cambios si es necesario.

Bibliografía

- [1] NIEVES MEJIA, A. y GONZÁLEZ AVILES, S. A., *Sistema de monitoreo de nivel y turbidez del agua en el tanque elevado del CDI dejando huellas del municipio de Planeta Rica, 2020.*
- [2] OCOLA GADEA, R. A. y RAMOS MENDOZA, G. W., *mplementación de una aplicación móvil complementada con la tecnología de sensores multiparamétricos con arduino para monitorear la calidad del agua potable en el distrito de Laredo, Trujillo (Tesis parcial), 2019.*
- [3] VALENCIA, V. R., LARREA, N. L., SALAZAR, J. G. y VALENCIA, J. M. *Prototipo de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad de agua para uso recreativo. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (E32), 359-372, 2020.*
- [4] AMADO-ALVAREZ, J., P., ALATORRE-CEJUDO, L. C., RAMÍREZ-VALLE, O., SEGOVIA ORTEGA, E. F. y ALARCÓN-CABAÑERO, J. J. *Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahua, México. Revista Geográfica de América Central, (62), 33-61, 2019.*
- [5] MULYANA, Y. y HAKIM, D. L., *Prototype of Water Turbidity Monitoring System. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 384, No. 1, p. 012052), 2018, July.*
- [6] ICHSAN, M. H. H., KURNIAWAN, W. y HUDA, M., *Water quality monitoring with fuzzy logic control based on graphical programming. Telkomnika, 14(4), 1446, 2016.*
- [7] SIGDEL, B. *Water Quality Measuring Station: pH, turbidity and temperature Measurement, 2017.*
- [8] VALENZUELA, C., SOSA, C., DEL REFUGIO CASTAÑEDA, M., PALOMEQUE, J., AMARO, I.A., *Turbidity Measurement System for Aquaculture Effluents Using an Open-Source Software and Hardware. Nature Environment and Pollution Technology, 17(3), 957-961, 2018.*

- [9] VISHAL, S., PRASHANTH y SRINATH, N., *Smart Water Supply Using Labview and Arduino. International Journal of Electronics Engineering Research. ISSN, 0975-6450.*
- [10] KATOLE, K., NARNAWARE, Y., BISWAS, B. y PATLE, D., *Design Implementation of Water Quality Monitoring Notification System, 2019.*
- [11] SINGH, C., GUPTA, R., SHARMA, P. y SELVAN, M. M. *Smart Water Detection System.*
- [12] *Válvulas a Solenoide Información de Ingeniería, Catálogo de Neumatica e Hidráulica, s.f.* URL: [hTURB_valps : //www.jefferson.com.ar/en/down/Catalogo%20Neumatica – Hidraulica.pdf?fbclid = IwAR3XEPro5VQxW_{QJaCNWW01-wXxAsBASwScr2jybknlbSBfzDqbpq_dXY}](http://www.jefferson.com.ar/en/down/Catalogo%20Neumatica-Hidraulica.pdf?fbclid=IwAR3XEPro5VQxW_QJaCNWW01-wXxAsBASwScr2jybknlbSBfzDqbpq_dXY)
- [13] LAURA ALLEN, *Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior, Abril 2015*
- [14] KEVIN M. PASSINO, STEPHEN YURKOVICH, *Fuzzy Control, 1998*
- [15] *Arduino Uno Rev3, s.f.* URL: [hTURB_valps : //store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore = us](http://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us)
- [16] *Arduino Mega 2560 Rev3, s.f.* URL: [hTURB_valps : //store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?selectedStore = us](http://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?selectedStore=us)
- [17] *aelectronics, s.f.* URL: [hTURB_valps : //aelectronics.com.mx/valvula/3615-valvula-solenoide-12v-12-pulgada-para-liquido.html](http://aelectronics.com.mx/valvula/3615-valvula-solenoide-12v-12-pulgada-para-liquido.html)
- [18] *Tecneu, s.f.* URL: [hTURB_valps : //www.tecneu.com/products/modulo-relevadores-relay-4-canales-12v](http://www.tecneu.com/products/modulo-relevadores-relay-4-canales-12v)
- [19] *Steren, s.f.* URL: [hTURB_valps : //www.steren.com.mx/sensor-de-flujo-de-agua-para-placa-de-desarrollo-y-microcontroladores.html](http://www.steren.com.mx/sensor-de-flujo-de-agua-para-placa-de-desarrollo-y-microcontroladores.html)
- [20] *Vistronica, s.f.* URL: [hTURB_valps : //www.vistronica.com/sensores/sensor-de-turbidez-analogica-para-arduino-detail.html](http://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-turbidez-analogica-para-arduino-detail.html)
- [21] DÍAZ-CUENCA ELIZABETH, ALAVARADO-GRANADOS ALEJANDRO RAFAEL, CAMACHO-CALZADA KARINA ELIZABETH, *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México, Junio 2012*
- [22] *Turbidez, s.f.* URL: [hTURB_valps : //www.reitec.es/web/descargas/agua05.pdf](http://www.reitec.es/web/descargas/agua05.pdf)

- [23] *Medición de Turbidez en la Calidad del Agua, La Guía MetAs* URL: [hTURB_valps : //metas.com.mx/guia_metas/archivos/La – Guia – MetAs – 10 – 01 – Turbidez.pdf](http://metas.com.mx/guia_metas/archivos/La-Guia-MetAs-10-01-Turbidez.pdf)
- [24] *Sensor de flujo de agua 3/4"FS300A, Naylamp Mechatronics* URL: [hTURB_valps : //repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21237/2020joanurrego4.pdf?sequence = 9&isAllowed = y](http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21237/2020joanurrego4.pdf?sequence=9&isAllowed=y)
- [25] *Sensor de flujo electromagnético, Pablo Piña, 1 Abril 2020* URL: [hTURB_valps : https : //0grados.com/sensor – de – flujo – electromagnetico/](https://0grados.com/sensor-de-flujo-electromagnetico/)
- [26] *La impresión 3D lleva la logística a una nueva dimensión, Mecalux, 31 Enero 2020* URL: [hTURB_valps : https : //www.mecalux.com.mx/blog/impresion – 3d – logistica](https://www.mecalux.com.mx/blog/impresion-3d-logistica)
- [27] *EL RELÉ* URL: [hTURB_valp : //platea.pntic.mec.es/pcastela/tecnodocumentos/apuntes/rele.pdf](http://platea.pntic.mec.es/pcastela/tecnodocumentos/apuntes/rele.pdf)
- [28] FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ, *LECTURAS DE INGENIERÍA No.26 IMPRESIÓN 3D, UNA INTRODUCCIÓN, 2018*

Apéndice A

Pseudocódigo de un sistema de clasificación de agua

En este apéndice se muestra un pseudocódigo de la clasificación de agua en base a los datos obtenidos del sensor de turbidez.

A continuación se muestran las condicionales las cuales en base al flujo del agua y a la variable out lleva a acabo la apertura de las válvulas para la salida del agua ya clasificada como sucia, media sucia y limpia.

PROCESO loop

VARIABLE voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0)

VARIABLE NTU = calc_NTU (voltage)

VARIABLE salida_V = salida_VOLTAJE (voltage)

VARIABLE salida_TURBIDEZ(NTU)

VARIABLE salida_total = salidas (salida_V AND salida_T)

IF Calc (Sensor de flujo) >0

IF out == 3

VALVULA ->limpia = LOW

VALVULA ->media = LOW

VALVULA ->sucia = HIGH

ESCRIBIR ->LCD = AGUA SUCIA

IF out == 2

VALVULA ->limpia = LOW

VALVULA ->media = HIGH

VALVULA ->sucia = LOW

ESCRIBIR ->LCD = AGUA MEDIA SUCIA

```

IF out == 1
    VALVULA ->limpia = HIGH
    VALVULA ->media = LOW
    VALVULA ->sucia = LOW
    ESCRIBIR ->LCD = AGUA LIMPIA

```

```

ELSE

```

```

    VALVULA ->limpia = LOW
    VALVULA ->media = LOW
    VALVULA ->sucia = HIGH
    ESCRIBIR ->LCD = NO HAY FLUJO DE AGUA

```

```

PROCESO calc_NTU

```

```

    VARIABLE NTU_val = (-1120.4 * (volt * volt)) + (5742.3 * volt) - 4353.8

```

La siguiente funcion tiene como objetivo identificar si el valor del voltaje es clasificado como bajo, medio o alto en base al analisis mostrado en el desarrollo del proyecto.

```

PROCESO salida_VOLTAJE

```

```

    VARIABLE VOLT_val

```

```

    VOLTAJE BAJO:

```

```

        IF V >= 0 AND <0.5

```

```

            VOLT_val = 1

```

```

        IF V >= 0.5 AND <2.543

```

```

            VOLT_val = 1

```

```

        IF V >= 2.543 AND <2.85

```

```

            VOLT_val = 1

```

```

    VOLTAJE MEDIO:

```

```

        IF V >= 2.543 AND <2.77

```

```

            VOLT_val = 1

```



```

IF V >= 2.77 AND <3.67
    VOLT_val = 2
IF V >= 3.67 AND <3.84
    VOLT_val = 2
VOLTAJE ALTO:
IF V >= 3.67 AND <3.8
    VOLT_val = 2
IF V >= 3.8 AND <3.9
    VOLT_val = 3
IF V >= 3.9 AND <4.1
    VOLT_val = 3

```

La siguiente función tiene como objetivo identificar si el valor de la turbidez es clasificado como bajo, medio o alto en base al análisis mostrado en el desarrollo del proyecto.

```

PROCESO salida_TURBIDEZ
VARIABLE TURB_val
TURBIDEZ BAJA:
IF V >= 0 AND <236
    TURB_val = 1
IF V >= 236 AND <1200
    TURB_val = 1
IF V >= 1200 AND <1475
    TURB_val = 1
TURBIDEZ MEDIA:
IF V >= 1162 AND <1370
    TURB_val = 1
IF V >= 1370 AND <2090
    TURB_val = 2

```

```

    IF V >= 2090 AND <2410
        TURB_val = 2
TURBIDEZ ALTA
    IF V >= 2030 AND <2330
        TURB_val = 2
    IF V >= 2330 AND <2784
        TURB_val = 3
    IF V >= 2784 AND <3000
        TURB_val = 3
CONDICION EXTRA
    IF V <0
        TURB_val = 1

```

A continuación se muestra la función que define que tipo de agua es en base a los resultados obtenidos por la funciones anteriores.

```

PROCESO salidas
VARIABLE out
IF VOLT_val == 1 AND TURB_val == 1
    out = 3
IF VOLT_val == 1 AND TURB_val == 2
    out = 3
IF VOLT_val == 1 AND TURB_val == 3
    out = 3
IF VOLT_val == 2 AND TURB_val == 1
    out = 2
IF VOLT_val == 2 AND TURB_val == 2
    out = 2
IF VOLT_val == 2 AND TURB_val == 3

```

```
    out = 2
IF VOLT_val == 3 AND TURB_val == 1
    out = 1
IF VOLT_val == 3 AND TURB_val == 2
    out = 2
IF VOLT_val == 3 AND TURB_val == 3
    out = 2
```

Acrónimos

CA Corriente Alterna.

CC Corriente Continua.

DC Direct Current.

EEPROM Memoria no volátil para mantener datos después de un reset.

FTDI Future Technology Devices International Limited.

I/O input / output.

ICSP United Nations.

IDE Integrated Development Environment.

ISP In-System Programmer.

PTFE Politetrafluoroetileno.

PWM Pulse Width Modulation.

SRAM static random access memory.

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.

USB Universal Serial Bus.