
PROTOTIPO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA EN VIVIENDAS.



**Jean Carlo Ramírez García.
Jose Miguel Rozo Baez.**

**Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Santo Tomás, Bogotá**

Junio 2018

PROTOTIPO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA EN VIVIENDAS

Este proyecto de grado ha sido dirigido
Por el Ing. **Edwin Francisco Forero García**
Y el Ing. **Jhon Erik Navarrete Gómez**.

Proyecto de grado en el área de Instrumentación
Y Automatización Industrial.

Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Santo Tomás, Bogotá

Junio 2018

El trabajo de grado titulado: "Prototipo de un sistema automático de recolección y aprovechamiento de agua en viviendas", presentado por los estudiantes Jean Carlo Ramírez García y Jose Miguel Roza Baez ha sido revisado y aprobado.

Ing. Edwin Francisco Forero García.
Director del Proyecto

Ing. Jhon Erik Navarrete Gómez.
Codirector del Proyecto

Ing. Carlos Javier Mojica Casallas.
Jurado 1 del proyecto

Ing. Armando Mateus Rojas.
Jurado 2 del proyecto

*Gracias a nuestras madres, quienes fueron un apoyo incondicional,
A nuestros compañeros y amigos que estuvieron siempre a nuestro lado,
A nuestros directores, profesores y todas las personas que ayudaron a cumplir
Este sueño tan grande que tenemos, que, por medio de su amor, dedicación y
entendimiento,
Permitieron que nuestros objetivos se cumplieran...*

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
JUSTIFICACIÓN.....	10
ANTECEDENTES.....	11
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO GENERAL.....	19
OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
METODOLOGÍA	20
CRONOGRAMA	23
PRESUPUESTO.....	25
MARCO TEORICO	26
DEFINICIONES PREVIAS.....	26
¿Qué son las aguas grises?.....	26
Tratamiento de aguas	26
¿Qué son los dispositivos hidráulicos y eléctricos?	26
¿Qué es un sistema automático?	27
¿Qué es la instrumentación?	27
AGUAS GRISES	27
AGUAS GRISES DOMESTICAS.....	28
CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS GRISES.....	30
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS GRISES	30
DISPOSITIVOS HIDRAULICOS.....	32
DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS	34
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS.....	36
INSTRUMENTACIÓN.....	38
Sensor de PH (SEN-0161)	38
Sensor de Turbidez (SEN-0189)	39
Sensor de presión diferencial (MPX2010DP y MPX10DP).....	41
DIAGRAMA P&ID	43
DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO	44
Capítulo 1: Consideraciones previas	44
Capítulo 2: Diseño del sistema.....	44
Capítulo 3: Revisión de parámetros de sensores.....	45
Nivel de agua	46
PH del agua tratada.....	51

Turbidez del agua tratada.	53
Capítulo 4: Selección del método a emplear para el tratamiento del agua.	54
Capítulo 5: Actuadores	54
Electrobomba	54
Electroválvula	56
Capítulo 6: Parámetros y acondicionamientos del PLC S7-1200	56
Capítulo 7: Diseño circuital.....	60
RESEULTADOS	62
IMPACTO SOCIAL	75
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	83

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama de Gantt del cronograma [Autores]	24
Ilustración 2 Presupuesto del proyecto [Autores].....	25
Ilustración 3 Distribución agua gris viviendas [Autor: [20]]	28
Ilustración 4 Consumo de agua diario Bogotá D.C [Autor: [21]].....	29
Ilustración 5 Indicadores ambientales específicos sobre aguas residuales [Autor: [21]]	29
Ilustración 6 Filtro de agua Gris [Autor: [25]]]	31
Ilustración 7 Componentes de un sistema hidráulico [Autor: [26]]	32
Ilustración 8 Electroválvula solenoide de ½ pulgada [Autor: [27]]	33
Ilustración 9 Campo electromagnético de la electroválvula [Autor: [27]]	34
Ilustración 10 Movimiento del émbolo dentro de la electroválvula [Autor: [27]]	34
Ilustración 11 partes de una electroválvula periférica [Autor: [28]]	35
Ilustración 12 Funcionamiento Interno de un PLC [Autor: [30]]	37
Ilustración 13 Tipos de Salida de un PLC [Autor: [30]].....	38
Ilustración 14 Sensor de electrodos PH [Autor: [33]]	39
Ilustración 15 Sensor de turbidez SEN-0189 [Autor: [36]].....	41
Ilustración 16 Esquemático MPX2010DP [Autor: [37]].....	42
Ilustración 17 Tensión vs Presión [Autor: [37]]	43
Ilustración 18 Diagrama P&ID del sistema.....	43
Ilustración 19 Diseño del sistema de recolección y reutilización de agua en viviendas [Autores].....	45
Ilustración 20 Parámetros del sensor MPX10DP [Autor: []]	48
Ilustración 21 Parámetros tanque de reciclaje [Autores].....	49
Ilustración 22 Parámetros del tanque de inspeccionamiento.	50
Ilustración 23 Parámetros del tanque de almacenamiento.	51
Ilustración 24 Relación de PH y Tensión [Autor [[18]]]	51

Ilustración 25 Relación NTU con tensión de salida [Autor [[36]]]	53
Ilustración 26 Electrobomba "Wolfox" [Autor: [[38]]]	55
Ilustración 27 Diagrama de Fases del Sistema implementado en LADDER. [Autores]	59
Ilustración 28 Adquisición de datos por medio de los bloques NORM y SCALE. [Autores]	59
Ilustración 29 Diseño del sistema de recolección y reutilización de agua en viviendas [Autores]	61
Ilustración 30 Esquemático circuito electrónico.	61
Ilustración 31 Imagen completa del sistema de recolección y reciclaje de agua	62
Ilustración 32 PLC HMI sistema de recolección y reciclaje de agua	63
Ilustración 33 Tanque de recolección	66
Ilustración 34 Filtro de arena y carbón activado	67
Ilustración 35 Tanque de inspección	72

INTRODUCCIÓN

El ser humano hace uso de uno de los recursos más indispensables como es el caso del agua. Este es usado en diferentes tareas del hogar, por ejemplo: La alimentación, ya que esta es un elemento fundamental para preservar la vida, puesto que el cuerpo humano necesita calorías y proteínas para mantenerse en buen estado de salud, también, la limpieza y el aseo personal son necesarios para evitar la reproducción de bacterias y otro tipo de gérmenes que afecten negativamente a los seres vivos.

Ahora bien, el uso del recurso hídrico no es usado de manera correcta, ya que se emplea agua potable en algunos sectores del hogar donde no es indispensable que esta sea de la mejor calidad, como es el caso de los inodoros, que es usada para los desechos humanos.

Este proyecto plantea una solución que busca reducir el consumo de agua de agua potable a través del *“prototipo automático de recolección y aprovechamiento de agua en viviendas”*, el cual se encarga de recolectar agua sucia o con jabón de diversos puntos del hogar con el fin de reutilizarla. Para lograr esto, se plantea un sistema automático con la ayuda de un PLC (Controlador Lógico Programable), el cual tiene la función de evaluar los estándares de calidad básica del agua según la resolución 2115 del 2007 [1], obtenidos mediante la filtración del agua con el objetivo de poder darle un segundo uso a esta.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Diariamente el ser humano realiza consumos de agua en los diferentes sectores de una vivienda o inmueble. Actualmente el consumo ha venido incrementando por la demanda del recurso hídrico en el hogar [2].

“Aproximadamente el 40% del consumo de agua potable en un hogar promedio corresponde a las descargas del sanitario y el 75% de este consumo se realiza con la intención de evacuar desperdicios líquidos únicamente.” [3]

El agua es uno de los recursos naturales más preciados del planeta, donde la población la mayor parte de las veces hace uso de este recurso no posee conciencia alguna y la desperdicia, generando altos consumos de facturación, agotamiento del recurso hídrico.

Las viviendas generan desperdicio de agua en grandes cantidades, ya que muchas veces los habitantes de las mismas usan un alto nivel de caudal en los grifos, duran grandes cantidades de tiempo en la ducha, o en su defecto las goteras y daños en la grifería que producen desperdicio del recurso.

El agotamiento del recurso hídrico genera un desequilibrio ambiental que conlleva al aumento de afectaciones ambientales para el planeta, actualmente se puede evidenciar la desertización de algunas zonas del mundo; *“Naciones Unidas, con motivo de la IV Conferencia de los Estados Parte de la Convención de la ONU contra la Desertización, celebrada en Bonn, continúa alertando de la gravedad de la situación, señalando que la desertización amenaza la vida de 1200 millones de personas en más de un centenar de países, [4].*

Si el ser humano continúa desperdiciando este recurso con el paso de los años, las viviendas junto con otros sectores que interactúan con el agua no podrán hacerlo de la misma manera que se hace hoy en día, por tal motivo es pertinente contribuir al cuidado de la misma y asegurar que perdure más tiempo de lo previsto.

JUSTIFICACIÓN

Este proyecto generará un aprovechamiento del agua en los hogares, disminuyendo el desperdicio del recurso hídrico. A su vez se pretende reutilizar el agua de algunos sectores de la vivienda para ser aprovechada en el sanitario.

Una vez generado el proyecto, el usuario final podrá monitorear las diferentes variables que maneja el sistema, indicando los diferentes estados que se pueden presentar y validando la disminución de la cantidad de agua que se gasta mensualmente.

Estos cambios en la disminución del agua que llega a nuestros hogares generarán una reducción en el precio del recibo mensual reduciendo los costos de las familias mensualmente. Esta reducción del recibo mensual ayudará a las familias a solventar problemas económicos que se puedan presentarse dentro del hogar.

Por otro lado, la implementación de este proyecto tiene que estar sustentado bajo la ley 373 de 1997 [5], la cual solidifica a todas las partes que involucran el proyecto, haciendo que no haya inconvenientes por parte de los consumidores y de las empresas prestadoras del servicio de transporte del agua y el uso eficiente de la misma.

Al estar sustentado bajo la ley antes mencionada para la implementación, el proyecto reforzará el ahorro del agua en las casas, las empresas y demás con el fin de crear un impacto social lo suficientemente grande para cambiar la forma en que la sociedad utiliza este recurso natural y que se pueda potencializar la buena utilización del agua.

ANTECEDENTES

El agua es uno de los recursos indispensables para el ser humano, necesaria para diferentes tareas que el hombre necesita realizar diariamente tanto en la industria como en el hogar.

A medida que el desarrollo y la tecnología avanzan a gran escala, provocan una gran escasez del agua y el uso no autorizado de la misma. Además, la infraestructura obsoleta en la distribución del recurso hídrico como también las plantas de tratamiento de agua maneja técnicas convencionales que no pueden ajustarse a las necesidades crecientes del mundo. Es por ello por lo que es necesario gestionar soluciones para la automatización en la industria del agua como en el hogar, reduciendo costos y esfuerzo humano, pudiendo realizar aplicaciones domésticas e industriales. [6]

Para dar cumplimiento con la problemática de la escasez de agua, se han venido desarrollando diferentes soluciones que abarquen grandes poblaciones, como también sectores específicos como lo pueden ser las viviendas.

Una de estas soluciones planteadas es la automatización de filtración en casas, usando PLC para el tratamiento de agua. Lo que se planteó es un esquema dividido en tres secciones. Primero, se tiene una casa con una bomba de admisión. Segundo, medición de PH y dosificación de la cantidad de aluminio en el agua y por último se tiene una casa de bombeo de agua clara (CWPH). Todas estas casas en conjunto manejan un tratamiento de agua especializado donde al final se obtiene agua potable con estándares necesarios para el uso diario. [7]

Para realizar todo este proceso de tratamiento a pequeña escala como lo es en un hogar, hay que manejar dispositivos que reduzcan costos de instalación y que sean igual de efectivos que una planta de tratamiento industrial.

Es por ello que muchos proyectos asocian todos estos conceptos en la implementación de un sistema automático que sea seguro y confiable para la obtención de agua potable. Uno de estos proyectos, fue desarrollado en el año 2015 por Sonali S. Lagu y Sanjay B. Deshmukh de India, donde diseñaron un

sistema automático que tenga el control sobre una planta de tratamiento de agua a pequeña escala. Este proyecto se realizó con la ayuda de la “Raspberry pi 3” como una alternativa efectiva de los PLC a la hora de controlar diferentes variables que puedan estar presentándose en las pequeñas plantas de tratamiento de agua. [8]

Asociando estos conceptos de tratamiento de aguas a gran escala en un proceso industrial, como también a pequeña escala como es un hogar, se puede empezar a construir un sistema completo de captación de agua, tratamiento y distribución de la misma.

Ya se ha hablado del tratamiento, pero para la obtención de recurso hídrico, es necesario identificar de dónde se va a obtener dicha agua. En un hogar, por ejemplo, existen muchos puntos de descarga de agua que pueden ser reutilizados para su tratamiento. Pero antes de estos hay que manejar la distribución de dicha agua hacia la siguiente etapa.

Es por ello que los ingenieros Shubhangi P. Bhat; Sunil R. Hirekhan de la India diseñaron un proceso autónomo de descarga de agua en canales. La idea es automatizar el proceso de distribución de agua desde unas canales por medio del software “Labview”, con el cual procesan las señales de unos sensores ultrasónicos. Dicha información era procesada y por medio de unos motores se controlaba la apertura o el cierre de la puerta de un canal por donde se distribuía cierta cantidad de agua. [6]

Teniendo en cuenta los aspectos antes mencionados, es necesario obtener información del entorno que se desea manejar. Es por ello, que es necesario la instrumentación como medio de captación de variables que involucren en sistema determinado.

Dicha instrumentación es vital para tener monitoreado las diferentes variables que pueden evidenciarse en el proceso. Se pueden encontrar un sinnúmero de sensores que monitorean aspectos que un proceso necesite y que a su vez sean capaces de comunicarse con dispositivos o incluso con un proceso maestro que estén por encima de todos estos sensores.

Para acudir a esta necesidad, se implementó una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad de agua en tiempo real. Todo esto Para poder supervisar la calidad de agua necesaria, se usaron tres tipos de sensores inalámbricos conectados a un “Data Center” que monitorea y lee valores de cada sensor cada cierto tiempo, creando así una red de dispositivos coordinada por una interfaz gráfica por medio de una red PAN, la cual consiste en un red segura y pequeña de diferentes dispositivos inalámbricos. [8]

Para la implementación de dichos sensores de calidad de agua como nodos seriales en una conexión de anillo, es posible manejar el protocolo “ZIGBEE” que consiste en un protocolo con una cantidad de datos baja, con frecuencias altas y codificación de los datos según el tamaño de la red, que para este caso es bastante pequeña. [8]

Como se había mencionado anteriormente, en todo proceso de tratamiento de agua es necesario la purificación de los fluidos de manera que puedan ser utilizados posteriormente. Es por ello que existen diferentes tipos de filtrados y tratamiento de la misma, entre ellos el uso de carbono para limpiar cualquier tipo de impurezas que se encuentren inmersas en ella.

Para realizar esta tarea de filtrado de tanques, lo que se busca es medir la turbidez del agua en ciertos periodos de tiempo con el fin de realizar una automatización al proceso de filtrado de un tanque, reduciendo costos, materiales químicos y operarios que tengan que supervisar constantemente el contenido de los tanques. [9]

El proceso automatizado de filtrado de tanques, lo que se hace es medir la turbidez del agua por medio de una resistencia y un diodo emisor de luz, colocados uno enfrente del otro por medio de un tubo de PVC de color negro. Junto con esto, es necesario, un micro controlador y una micro bomba junto con el filtro de carbono que en conjunto lo que hace es medir hasta cierto nivel de turbidez y avisarle al micro controlador la cantidad de carbono para filtrar el agua en una etapa previa, hasta llegar a una estación donde el agua ya es filtrada y se pueda usar posteriormente, haciendo así también que el agua que

se almacene en ese recipiente y se ensucie o se sedimente, y pueda ser monitoreada y limpiada satisfactoriamente. [9]

Al realizar esa medición de turbidez y suministrando carbono a la solución se puede de la misma forma monitorear la calidad de agua que se está utilizando y que se encuentra en el tanque. Esto se debe a que los valores entregados al micro pueden ser analizados y plasmados en un algoritmo que analice junto con otro sensor adicional el pH del agua. Con esto, se puede desarrollar un control de lazo doble con el fin de realizar un doble proceso de filtrado, manejando los parámetros obtenidos por cada lazo cerrado de control, generando un control más robusto y eliminar cualquier bacteria que se encuentre en el interior del líquido, después del proceso de filtrado. [9]

Existen otros métodos de filtrados que pueden ser utilizados según la necesidad, ya sea para separar elementos pesados, como impurezas que no son simples de detectar a simple vista por medio de procesos químicos.

Existe un método de filtrado de agua en donde se pueden aplicar técnicas de centrifugado, transmisión y separación de partículas por medio de movimientos cíclicos, donde el agua presente alteraciones y se puedan eliminar impurezas presentes en un determinado espacio. Es por ello que esta técnica de centrifugado lo que intenta es la rotación del agua por medio de un eje y un pedal dentro de un barril que se encuentra conectado con otro barril interno con una capa de almohadilla que actúa como el filtro, de forma que el agua circula dentro del barril exterior haciendo que la almohadilla deje ingresar el agua y recogiendo a su vez materiales con una densidad mayor a la del agua. [10]

Este proceso es netamente mecánico, y lo que se hace es que el pedal que se encuentra en el exterior de ambos barriles, genere todo el movimiento rotacional para el filtrado. Este método es utilizado para el tratamiento de pequeñas cantidades de agua para exteriores tanto en un hogar como para otras aplicaciones. A su vez, es usada para separar del agua, elementos que

no son fáciles de filtrar fácilmente, y que necesitan de un proceso físico para su filtración. [10]

Por otro lado, para el proceso de filtración de agua es necesario conocer el pH del agua que se está tratando, es por ello que para conocer el fluido que se quiere utilizar es necesario estar monitoreando dicho pH, y que esté a su vez tenga un proceso de realimentación con el fin de tener el valor del pH en neutro.

Para realizar fármacos, por ejemplo, es necesario tener en cuenta un control de pH y monitoreo del mismo, automatizando el almacenamiento de agua para la planta de control del nivel del tanque de almacenamiento.

Por otro lado, es indispensable, controlar los valores de pH en valores entre 6.5 a 8.0, con el objetivo de controlar los niveles de acidez; es por esto que es necesario tomar valores constantemente para suministrar los químicos necesarios para mantener un valor estable del pH del agua en los procesos de producción de los fármacos. Además de esto, el llenado del tanque siempre es constante hasta llegar al valor máximo de agua necesario para el tanque de almacenamiento, controlado en paralelo por el sensor de nivel dispuesto en el mismo tanque. [11]

Cuando el proceso de filtración se ha llevado a cabo, es necesario almacenar el agua purificada en un lugar donde pueda utilizarse posteriormente. Es por ello que en la mayoría de los casos se usan tanques que manejan ciertas medidas que puedan contener una cantidad de líquido suficiente para la tarea que se esté realizando.

Para realizar el proceso de llenado del tanque es necesario contemplar diferentes procesos. Uno de ellos es el uso de dos bombas independientes que actúan de forma diferencial, de manera que bombeen el agua hacia el tanque de

almacenamiento, con el objetivo de mejorar la eficiencia de los motores de dichas bombas. [11]

La implementación del sistema de ahorro y reciclaje de agua requiere tener en cuenta factores de calidad del agua en los tanques, puesto que el recurso hídrico almacenado no se puede almacenar de tal manera que genera estancamientos de agua, y este pueda provocar daños de tuberías, del sistema de reciclaje e incluso graves problemas de salud. Un caso puntual de esto podría ser lo sucedido en Sri Lanka donde la calidad del agua en la provincia de Sri Lanka está generando problemas renales en los granjeros y agricultores, donde los químicos usados en la agricultura son los principales detonantes de la contaminación en el recurso hídrico. [13] La calidad del agua es indispensable para asegurar el crecimiento biológico de especies, ya que esta es portadora y generadora de vida.

El museo de biología marina “Museum of Marine Biology”, tuvo como propósito albergar especies marinas en sus acuarios, donde para esto fue necesario diseñar e implementar sistemas de inspección en la calidad del agua para asegurar un hábitat estable y adecuado para las especies que habiten el mismo. Las condiciones mínimas de oxígeno, temperatura, oxígeno disuelto y claridad del agua son esenciales para que las especies marinas pueden sobrevivir y además haya un crecimiento reproducción óptimo de peces. [12]

Los peces marinos cuentan con una gran dimensión la cual hace más difícil el cuidado de los acuarios ya que poseen grandes dimensiones también, por tal motivo es que se hizo necesario tener en cuenta la calidad del agua del océano con respecto a la del acuario mediante la relación del pH, el cual debe contar con los requisitos mínimos que certifiquen que la calidad del agua es la mejor.

La calidad del agua es indispensable para cualquier uso que se le vaya a dar por tal razón para contrarrestar este problema en Sri Lanka diseñaron un sistema automatizado, el cual detecta el nivel de flúor del agua con un rango limitado de 0.6 de concentración de flúor; este sistema de detección implementó un foto detector de luz, el cual da como respuesta valores de voltaje según la concentración de luz encontrada en el agua y generar alertas para evitar el consumo del agua por la población. [13]

La población perteneciente a Sri Lanka debe a la efectividad de este sistema el uso de electrodos ya que La acidez y propiedad alcalina del agua es medida con un electrodo con tecnología basada en sensores capaces de obtener el pH. [13]

Estos valores se obtienen mediante la implementación de un electrodo que es usado como indicador y otro es usado como referencia, generando una diferencia de potencial y un voltaje de salida, donde dependiendo el valor, se enciende un led con el color en particular al nivel de pH y así poder generar las diferentes alertas según corresponda. [13]

Para obtener los datos medidos por el sensor es necesario el uso de un dispositivo portátil para evitar el uso de conexiones alámbricas a larga distancia, el cual sea capaz de captar los parámetros de medición para la calidad del agua, luego de esto se procedió a transmitir los datos a una ubicación central, donde son guardados en una base de datos y procesados para determinar cambios en los patrones de fuentes de agua particulares que puedan ser agentes contaminantes y generar alertas. La transmisión de estos datos puede realizarse de manera alámbrica o inalámbrica teniendo en cuenta todos los protocolos necesarios para transmitir de manera correcta la información.

Si se desea transmitir la información de los datos obtenidos por los sensores de manera inalámbrica es posible hacerlo mediante la implementación del protocolo de comunicación wifi, el cual se encuentra definido por el instituto de ingenieros electrónicos y eléctricos (IEEE), este protocolo posee una mayor velocidad de transmisión de los datos, donde la velocidad a la que este puede alcanzar el paso de 54Mb/s. El wi-fi es de tipo inalámbrico haciendo posible transmitir información sin necesidad de cableado alguno, pero también posee ciertas desventajas, las cuales son debilidad en la señal a medida que aumenta la distancia y la seguridad no es alta, por tal razón se debe tener precaución con el tipo de información enviada.

La inspección de la calidad del agua de manera inalámbrica se realiza mediante la instalación de un sensor de pH, oxígeno, profundidad y oxígeno

disuelto, que cuente con protocolos de comunicación inalámbrica que permite enviar los datos recolectados, estos son enviados mediante cualquier protocolo de enrutamiento inalámbrico, y son recibidos por el nodo receptor para el posterior análisis. La implementación de un sistema de inspección de agua mediante protocolo inalámbrico posee grandes beneficios como lo son, economía, amplio rango de medida, fácil instalación, bajo consumo de energía, posee un tamaño pequeño, y es capaz de monitorear el agua con la ausencia de circunstancias humanas. [14]

La inspección de la calidad del agua de manera inalámbrica se realiza mediante la instalación de un sensor de pH, oxígeno, profundidad y oxígeno disuelto, que cuente con protocolos de comunicación inalámbrica que permite enviar los datos recolectados, estos son enviados mediante cualquier protocolo de enrutamiento inalámbrico, y son recibidos por el nodo receptor para el posterior análisis. La implementación de un sistema de inspección de agua mediante protocolo inalámbrico posee grandes beneficios como lo son, economía, amplio rango de medida, fácil instalación, bajo consumo de energía, posee un tamaño pequeño, y es capaz de monitorear el agua con la ausencia de circunstancias humanas. [14]

Las plataformas móviles robóticas también son capaces de realizar inspección en tiempo real de pH, oxígeno y demás elementos que determinan la calidad del agua, mostrando los resultados en la web y dispositivos móviles, este tipo de tecnología se realiza mediante la validación de un diseño de comportamiento, donde la programación es basada en eventos en un lugar de tiempo, esta inspección se realiza mediante un análisis geométrico del entorno que le permita realizar los movimientos deseados, donde este modelo se basa en la teoría cliente-servidor que permite el procesamiento distribuido de la información recolectada por el dispositivo robótico. [15]

La implementación de estos sensores debe tener en cuenta diferentes factores que pueden alterar la medición, entre ellos está la distancia de transmisión de los datos, o los diferentes factores que se relacionen con los tanques donde se almacena el agua, tales como lo son los controles de nivel ya que el sistema

debería ser autónomo y realizar la toma de decisiones con todo lo que se relacione con la calidad del agua siendo que el tanque se encuentre lleno o vacío. [16]

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de recolección y aprovechamiento de agua automático, para reducir el consumo de agua en el sector residencial.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un sistema de medición mediante la implementación de sensores de caudal y nivel para la obtención de datos necesarios de consumo y recolección de agua en la vivienda.
- Diseñar un sistema automático de distribución de agua a los sanitarios mediante el uso de dispositivos electrónicos para reciclar el agua de una vivienda.
- Implementar un sistema de inspección de calidad del agua almacenada, y a almacenar, mediante el uso de sensores para evitar estancamiento de la misma en el tanque de reserva de agua.
- Implementar un prototipo a escala, para probar el modelo diseñado

METODOLOGÍA

Durante el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo las siguientes etapas:

1. Redacción anteproyecto.

En esta etapa del proyecto se realizó la redacción de la propuesta del proyecto a realizar, donde también se hará la revisión bibliográfica para la ejecución del proyecto.

2. Consulta parámetros de diseño.

En este ítem se efectuó una consulta de los parámetros de diseño mínimos requeridos para el proyecto, donde se tendrá en cuenta los parámetros de funcionamiento de los sensores a usar.

Los parámetros de diseño son:

- Etapa de recolección.
- Etapa de Filtrado.
- Etapa de inspeccionamiento.
- Etapa de almacenamiento

3. Diseño.

Teniendo en cuenta los parámetros de diseño y funcionamiento de cada uno de los sensores, se procedió a realizar el diseño del prototipo a escala del sistema de recolección y aprovechamiento de agua.

4. Selección de materiales.

Una vez se haya realizado el diseño del prototipo se procede a seleccionar cada uno de los sensores y demás componentes electrónicos que el proyecto requiera. En esta etapa del proyecto también se efectuará la selección del controlador a usar, ya sea: PLC, Raspberry y demás dispositivos que puedan llegar a tener la inteligencia del sistema.

5. Montaje e implementación del prototipo del diseño.

Una vez se hayan seleccionado todos los materiales se realizará el montaje físico del prototipo de recolección y aprovechamiento de agua.

6. Pruebas.

Después de haber culminado el proceso de montaje del diseño se procede a realizar las respectivas pruebas del sistema, y así poder efectuar un análisis de los resultados obtenidos que conformarán las conclusiones del proyecto.

Actividades

Se enuncian a continuación las tareas a realizar para cada una de las etapas.

Etapas 1.

- 1.1 Selección tema a trabajar, redacción planteamiento del problema y justificación.
- 1.2 Realización de objetivos para lograr un resultado al final.
- 1.3 Revisión bibliográfica, junto con redacción del estado del arte.
- 1.4 Diseño de metodología a desarrollar durante el proyecto.
- 1.5 De acuerdo a la metodología se realizará el cronograma de desarrollo.
- 1.6 Diseño del presupuesto a tener en cuenta.

Etapas 2.

- 2.1 Revisión bibliográfica.
- 2.2 Revisión de parámetros de funcionamiento de sensores.

2.2 Revisión de controlador, micro controlador o computador a usar.

Etapas 3.

3.1 Modelado tanque de agua.

3.2 Selección de método a emplear para tratamiento del agua.

3.3 Selección de lugares a instalar sensores.

3.4 Diseño circuital y demás elementos requeridos para el ensamblaje del prototipo.

3.5 Identificación de sensores a utilizar.

Etapas 4.

4.1 Selección de bomba de agua.

4.2 Selección de sensores a utilizar.

4.3 Selección de tuberías o mangueras de agua.

4.4 Selección de controlador, micro controlador o computador a utilizar.

4.5 Selección de punto para tratamiento de agua.

Etapas 5.

5.1 Instalación de sensores.

5.2 Instalación de la bomba de agua.

5.3 Realización código de programación al dispositivo que contará con la automatización del sistema.

5.4 Calibración de sensor de PH

5.6 instalación de inspección de calidad de agua.

5.7 Instalación de mangueras o tubería a usar.

Etapas 6.

6.1 Prueba de inspección de calidad del agua.

6.2 Prueba efectiva de sensores.

6.3 Prueba de bombeo de agua.

6.4 Eficiencia del sistema.

CRONOGRAMA

A continuación, se ilustrará el tiempo de cada una de las etapas antes mencionadas. A su vez, se podrá apreciar con mayor detalle cada uno de estos tiempos en la figura 1.0, el cual corresponde a un diagrama de Gantt de cada una de las actividades propuestas en la metodología de manera más específica.

Redacción anteproyecto: Duración de 14 semanas.

Consulta parámetros de diseño: Duración de 13 semanas.

Diseño: Duración de 4 semanas.

Selección de materiales: Duración de 2 semanas.

Montaje e implementación del prototipo del diseño: Duración de 5 semanas.

Pruebas: Duración de 4 semanas.

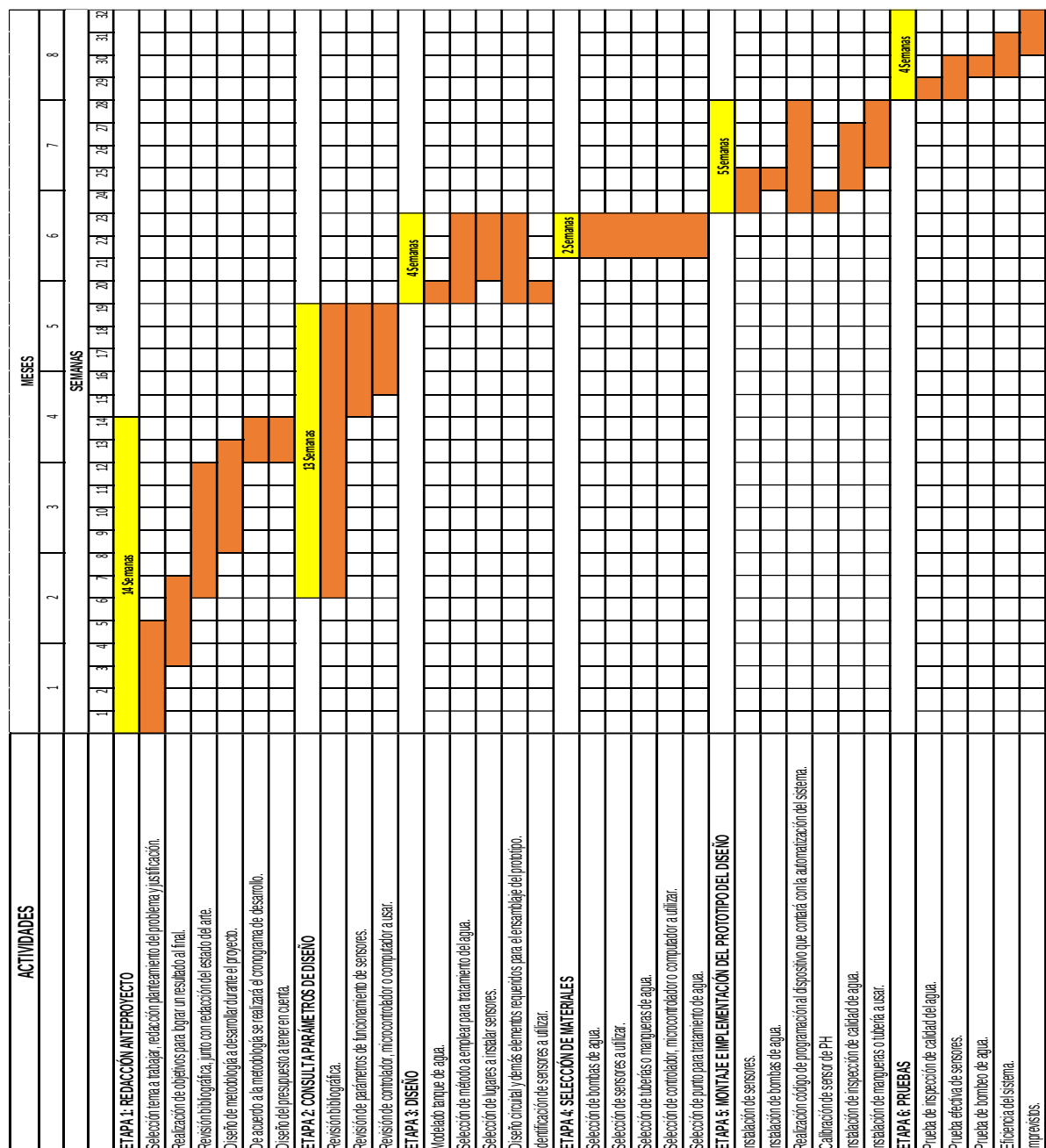


Ilustración 1 Diagrama de Gantt del cronograma [Autores]

PRESUPUESTO

Para el desarrollo de este prototipo a escala se planea cierta cantidad de dinero en la construcción del mismo, cantidades que se darán a conocer en la figura 1.1. Estos valores son atribuidos a cada uno de los materiales necesarios para la implementación del prototipo, como: sensores, actuadores, tarjetas de desarrollo, módulos, motobomba, electroválvulas, etc...

RUBROS FINANCIEROS	FUENTES	DESCRIPCIÓN	SUBTOTALES
Honorario tutor	USTA	8 horas al mes (\$34000/hora) por 4 meses.	\$ 1.088.000,00
Auxilio Estudiantes	Personal [2]	40 horas al mes (\$20000/hora) por 4 meses	\$ 3.200.000,00
Equipos de medición	USTA	Equipos de medición de parámetros electrónicos del grupo de de investigación MEM.	\$ 1.500.000,00
Bases de datos y materiales bibliográficos	Internet y USTA	Documentos públicos de UPME, MINMINAS e IEEE[2]	\$ 123.245,00
Papelería	Personal [2]	Fotocopias, esferos, hojas, etc...	\$ 10.000,00
Software			
MATLAB R2017a	USTA	Software para realizar esquemas, diagramas con la ayuda de las herramientas de este.	\$ 100.000,00
Arduino Genuino 1.8.2.	Personal [2]	Software para la lectura de los sensores que se utilizaron.	\$ -
TIA PORTAL v14	USTA	Software para realizar el control de todo el sistema y la adquisición de datos.	\$ 100.000,00
Equipos de construcción			
Elemento de control PLC (S7-1200)	USTA	Dispositivo electrónico para realizar la etapa de monitoreo y automatización.	\$ 1.500.000,00
Taques de Agua	Personal [2]	Almacenamiento de agua.	\$ 180.000,00
Motobomba	Personal [2]	Dispositivo para la circulación de agua del sistema	\$ 75.000,00
Electroválvulas	Personal [2]	Dispositivos para el control de flujo de agua	\$ 100.000,00
Sensor de turbidez	Personal [2]	Dispositivo para la medición de partículas en el agua.	\$ 47.000,00
Sensor medidor de nivel	Personal [2]	Dispositivo para la medición de nivel del tanque de almacenamiento.	\$ 66.000,00
Sensor de PH	Personal [2]	Dispositivo para la medición de PH del agua filtrada	\$ 150.000,00
Elementos electrónicos	Personal [2]	Asignado por el equipo para el diseño de circuitos electrónicos	\$ 80.000,00
Materiales del prototipo	Personal [2]	Asignado por el equipo para la construcción del prototipo	\$ 300.000,00
Materiales adicionales	Personal [2]	Otros	\$ 80.000,00
		TOTAL	\$ 8.699.245,00

Ilustración 2 Presupuesto del proyecto [Autores]

MARCO TEORICO

DEFINICIONES PREVIAS

A continuación, se darán definiciones concisas de las temáticas referentes a los tópicos que este proyecto, los cuales abarcan ramas como la instrumentación, la automatización y las comunicaciones industriales entre otras.

¿Qué son las aguas grises?

Las aguas grises son aquellas aguas residuales que son provenientes de ciertos lugares del sector residencial, como: lavaderos, lavaplatos. Estas aguas pueden ser utilizadas de muchas formas, ya sea para el regado de plantas, como también el uso de vaciado del inodoro. [17]

Tratamiento de aguas

El tratamiento de aguas es el procedimiento en el cual se eliminan la mayor cantidad de agentes contaminantes dentro de una solución líquida. Existen diferentes procesos: físicos, químicos, etc....los cuales buscan reducir niveles de contaminación, con el fin de obtener aguas con ciertas características para ser usadas de una forma u otra, según sea el uso que se vaya a usar. [18]

¿Qué son los dispositivos hidráulicos y eléctricos?

Son aquellos dispositivos que funcionan con líquidos. Los sistemas hidráulicos son muy diversos, y pueden tener particularidades específicas, ya sea en un proceso industrial en específico, como actuadores o como controladores. Los dispositivos eléctricos tienen sus propios principios, y de los cuales se hablará más adelante, pero del mismo modo que los hidráulicos, están diseñados para ciertas tareas, incluso existen dispositivos que comparten características en común.

¿Qué es un sistema automático?

Un sistema automático es aquel proceso que realiza diversas tareas sin la necesidad de un operario o agente externo que esté controlando, pero que dispone de ciertos parámetros y ajustes que pueden variar según el proceso. Existen diversidad de sistemas automáticos, pero todos necesitan de variables físicas para poder tomar decisiones y así responder a diferentes acciones.

¿Qué es la instrumentación?

La instrumentación es un conjunto de elementos eléctricos, mecánicos, neumáticos, etc... Que tienen como objetivo el monitoreo de variables físicas específicas como la presión, la temperatura, la velocidad, entre muchas más. Dichos elementos, denominados sensores, son muy importantes en todo proceso industrial de lazo cerrado y va de la mano de los procesos autónomos o procesos de control.

AGUAS GRISES

Las aguas grises proceden del uso de lavadoras, duchas, lavaplatos, lavamanos, que consigo traen jabón, cabellos, suciedad y bacterias, pero a su vez esta se encuentra lo suficientemente limpia para ser tratada y reutilizada en diferentes sectores de una vivienda o inmueble.

En un inmueble se tiene también el agua negra, un ejemplo de esta, puede ser el agua residual de los inodoros o cualquier tipo de agua que contenga químicos que afecten a la salud o medio ambiente, por tal razón no es conveniente reutilizarla.

Las aguas grises a simple vista aparentan estar en mal estado y sucias, haciendo que se desechen, pero en realidad éstas permiten un segundo uso, ya sea en jardinería y descargas de inodoro. Según esto se entiende que no todo el consumo de agua en un inmueble debe ser potable, por tal razón se puede llegar a alcanzar una gran reducción en el consumo de agua potable, ya que esta es una fuente de agua con un uso diferente al agua potable. [19]

AGUAS GRISES DOMESTICAS

Las aguas grises domésticas son aquellas que proceden de lavadoras, duchas, lavamanos, lavaplatos y demás elementos de higiene, que pueden ser empleadas en otro uso que no requiera de agua potable, cabe resaltar que cuando estas aguas no han sido tratadas se les denomina aguas grises crudas. [20]

DISTRIBUCIÓN DE LAS AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LAS VIVIENDAS

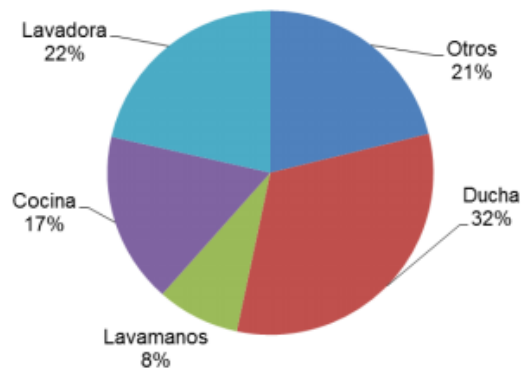


Ilustración 3 Distribución agua gris viviendas [Autor: [20]]

La producción de estas aguas depende del número de habitantes que la vivienda albergue, además también se tiene en cuenta las costumbres y cultura en cuanto al uso del agua, ya que no todas las personas poseen el mismo sentido de pertenencia hacia el cuidado del recurso hídrico.

El uso residencial del agua afecta severamente el ecosistema, puesto que el agua se limita a ser consumida y contaminada, esto se debe a la alta demanda de la misma, y la poca conciencia de la población al no reconocer lo indispensable que puede llegar a ser este recurso para los diferentes procesos del día a día, cadenas de producción, consumo y equilibrio ambiental que el agua representa. Según el último boletín acerca del consumo del agua, publicado por la Alcaldía Mayor de Bogotá Secretaria Distrital de Planeación en 2012, se tienen datos del consumo de agua potable residencial por día en una vivienda de la siguiente manera:

		Indicador	Estrato	Litros
Acueducto	Población	Consumo Agua Per Capita / día	1 Bajo-Bajo	56,76
			2 Bajo	60,47
			3 Medio-Bajo	69,68
			4 Medio	108,08
			5 Medio-Alto	147,50
			6 Alto	224,24
	Hogares	Consumo Agua por Hogar / día	1 Bajo-Bajo	199,66
			2 Bajo	217,69
			3 Medio-Bajo	228,16
			4 Medio	300,20
			5 Medio-Alto	400,69

Ilustración 4 Consumo de agua diario Bogotá D.C [Autor: [21]]

Además de esto la secretaría distrital de planeación, también determinó la cantidad de agua residual de un hogar por día de la siguiente manera:

		Indicador	Estrato	Litros
Alcantarillado	Población	Producción Agua Residual Per Capita / día	1 Bajo-Bajo	49,68
			2 Bajo	58,83
			3 Medio-Bajo	69,50
			4 Medio	108,40
			5 Medio-Alto	143,66
			6 Alto	221,64
	Hogares	Producción Agua Residual por Hogar / día	1 Bajo-Bajo	174,77
			2 Bajo	211,78
			3 Medio-Bajo	227,58
			4 Medio	301,06
			5 Medio-Alto	390,24
			6 Alto	561,36

Ilustración 5 Indicadores ambientales específicos sobre aguas residuales [Autor: [21]]

Para mejorar las condiciones iniciales del agua gris es necesario realizar algún tipo de tratamiento que mejore los distintos factores de calidad para darle un segundo uso a la misma, Para esto es necesario conocer los distintos parámetros y el tipo de tratamiento a usar, con el fin de aprovechar al máximo el recurso y disminuir el consumo de agua potable en algunos sectores de la vivienda, ya sea sanitarios, teniendo en cuenta que el consumo de este con sistema ahorrador es de 4,8L o en jardinería. [21]

La reutilización de las aguas grises trae consigo muchos beneficios dentro de estos se encuentra: “Disminuir el uso de agua potable dependiendo del sitio y el diseño del sistema, Disminuir el monto de los recibos de agua y la factura por aguas residuales” [19], además de que se contribuye con el medio ambiente, evitando de esta manera el desperdicio de agua potable.

CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS GRISES

Las aguas grises presentan a simple vista una coloración gris, o de suciedad, esta depende de la sustancia con la que se haya mezclado, las variables que se pueden llegar a tener en cuenta en este tipo de agua son los sólidos en suspensión, la turbidez, el PH y hasta la temperatura. Su olor puede llegar a ser desde nulo, a mezcla de jabones, e inclusive a agua residual ya en descomposición, esto según el tiempo que se tenga almacenada el agua gris, el cual no debe superar las 24 horas. Además de esto el agua residual puede llegar a tener carbohidratos, Metano, eubacterias, arqueos bacterias, virus, grasas animales, proteínas, agentes tenso activos, compuestos orgánicos volátiles, alcalinidad, nitrógeno, PH, fosforo, contaminantes prioritarios, azufre y algunos gases. [22] Donde cada uno de estas características puede llegar a ser controlada mediante una etapa de tratamiento.

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS GRISES

Las aguas grises actualmente poseen un amplio número de tratamientos, estas se pueden tratar desde un filtro casero, hasta pozos de filtrado e inclusive emplear grandes tecnologías para lograr el mismo resultado, teniendo en cuenta que sin importar el método a emplear el objetivo es el mismo, reducir al máximo los elementos contaminantes con los que se encuentran el agua.

Para realizar el tratamiento de agua gris en una vivienda se hace indispensable que la vivienda cuente con un sistema hidráulico, el cual se encargue de llevar el agua desde los diferentes puntos de la vivienda hasta el área de tratamiento, la cual puede estar dividida por etapas o simplemente tener filtros que se encargan de eliminar los contaminantes; los cuales no se encuentran en mayor cantidad. [19]

La mayor parte de las veces el agua posee sólidos en suspensión, por tanto, se hace necesario retirar este tipo de sólidos, ya sea mediante un filtro en una de las etapas del tratamiento del agua. Generalmente estas etapas se encuentran divididas de la siguiente manera en un filtro de arena y carbón activado.

Etapa 1

El agua gris es filtrada, en esta etapa el principal objetivo es recoger la suciedad y los sólidos suspendidos que se encuentren en esta, con el objetivo de retirar después los componentes químicos del agua. Por lo general esta primera etapa del proceso se realiza con grava gruesa. [23]

Etapa 2

Una vez el agua ya no contenga sólidos suspendidos se procede a purificar el agua, donde se eliminan las partículas de suciedad y algunas bacterias, esta etapa se realiza mediante el uso de la arena, la cual debe tener una tonalidad blanca para evitar turbidez en el agua. [24]

Etapa 3

Cuando el agua ya no posee sólidos suspendidos y han sido eliminados la mayoría de sus agentes contaminantes, se continua con la última etapa, la cual consta de carbón activado, que cumple la función de eliminar la turbidez del agua, además de eliminar patógenos contaminantes y parásitos que mejoran la calidad del agua. Además de esto el carbón activado es capaz de eliminar colores, sabores y olores del agua, esto es gracias a su capacidad de adsorción.

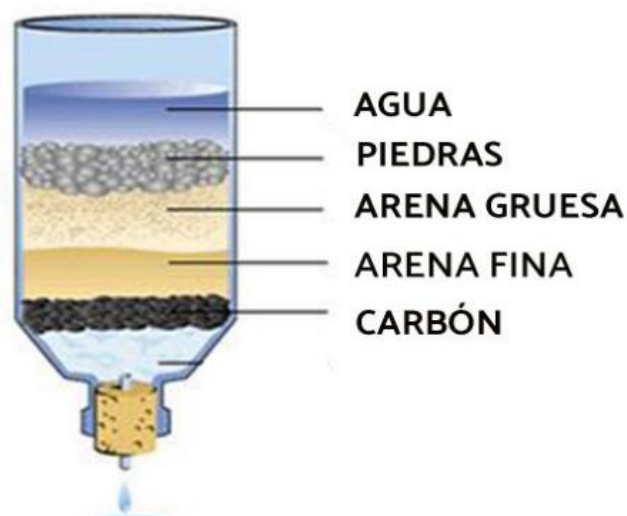


Ilustración 6 Filtro de agua Gris [Autor: [25]]]

DISPOSITIVOS HIDRAULICOS

Como bien se describía anteriormente, los dispositivos hidráulicos son aquellos que tienen como principio algún tipo de fluido. Estos fluidos pueden ser muy variados, desde aceites, aguas, sustancias no oxidantes, entre muchas más, y estas mismas son necesarias para el desplazamiento de dispositivos o piezas en una línea de producción o para el accionamiento de mecanismos más amplios.

Estos dispositivos pueden ser tan variados como la aplicación que se les den, existen, por ejemplo, elevadores hidráulicos, accionamientos de frenos, cilindros, sistemas de refrigerantes, entre muchos más, pero del que estaremos hablando en particular es la electrobomba. [26]

Antes de hablar completamente de las motobombas y su funcionamiento, es necesario entender los componentes de un sistema hidráulico, los cuales son: Depósito de almacenamiento, bombas, válvulas y actuadores, como se puede evidenciar en la siguiente figura:

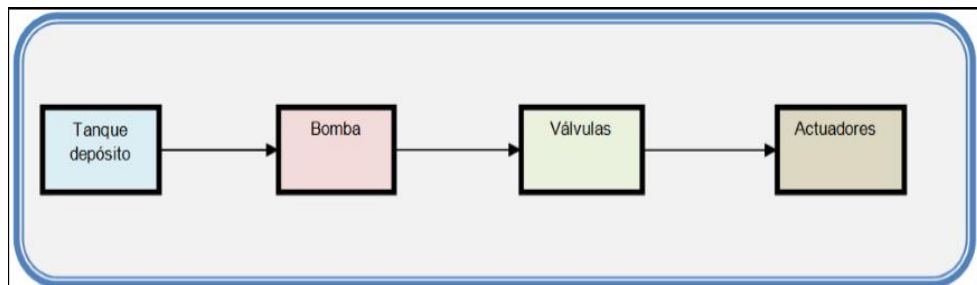


Ilustración 7 Componentes de un sistema hidráulico [Autor: [26]]

El tanque del dispositivo almacena el fluido necesario para el flujo de este. La bomba permite que dicho fluido tenga la fuerza necesaria para ser transportada de un lugar a otro por un canal o tubería en particular. Las válvulas permiten el paso del líquido por este medio, y a su vez pueden ser accionadas de diversas formas. Los actuadores son dispositivos que en la mayoría de las veces controlan el accionamiento de las válvulas para que pueda pasar el líquido.

Ahora bien, uno de los dispositivos más usados son las electroválvulas y las motobombas, las cuales son los principales actuadores en este proyecto. Ambas tienen particularidades. Por un lado, las electroválvulas manejan un principio de flujo y corriente eléctrica. La que se utilizó fue la electroválvula solenoide de ½ pulgada, como se puede apreciar en la figura Ilustración 8.

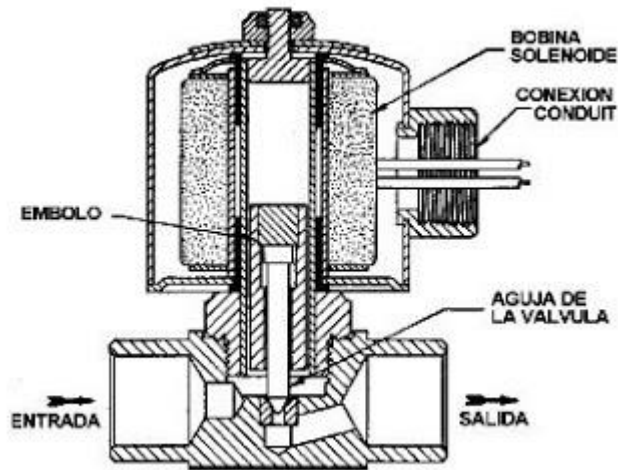


Ilustración 8 Electroválvula solenoide de ½ pulgada [Autor: [27]]

Esta electroválvula funciona por medio de la alimentación de sus dos terminales de entrada, por lo general usan una tensión de 12 Vdc. Una vez pase corriente por la bobina de este, aproximadamente de 0.6 A, se genera un campo electromagnético suficiente para impulsar al émbolo, el cual es el que abre o cierra el flujo de agua. Dicho émbolo está hecho de un metal ferroso para que sea atraído por el campo electromagnético. Por otro lado, estas electroválvulas pueden estar diseñadas normalmente abiertas o normalmente cerradas. También, necesitan de una corriente aproximadamente de 250mA para que pueda generarse el campo necesario para que el émbolo pueda moverse y deje accionar el actuador. [27]

Dicho campo magnético está dado por la ley de Ampere, la cual es:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I$$

(1)

Como se había expresado anteriormente, el campo electromagnético, ilustración 8, genera una fuerza, la cual mueve el embolo hacia él, como se puede apreciar en la figura 9

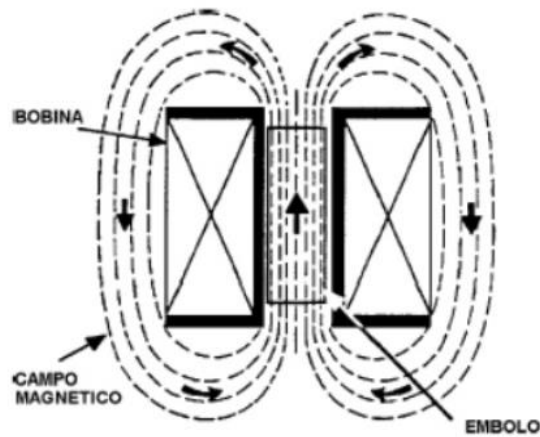


Ilustración 9 Campo electromagnético de la electroválvula [Autor: [27]]

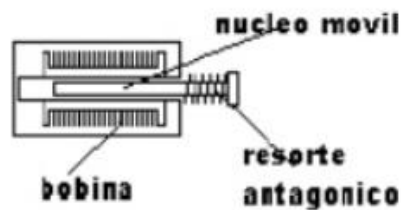


Ilustración 10 Movimiento del émbolo dentro de la electroválvula [Autor: [27]]

Esta electroválvula es de acción directa, esto significa que no necesita de otro aditamento para el control de flujo del mismo, es por ello que esta válvula solenoide es usada en procesos **“ON/OFF”**. También, hay que tener en cuenta que este tipo de electroválvula funciona con una presión de empuje en la entrada para su funcionamiento, teniendo en cuenta la fuerza gravitacional que también ejerce una presión del embolo hacia el caudal de manera que cierra o abra el actuador. [27]

DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS

Los dispositivos eléctricos pueden tener diferentes características y dependen exclusivamente del fabricante. Ahora bien, existen dispositivos eléctricos y electrónicos, que varían según condiciones propias de funcionamiento. Todos

estos dispositivos manejan los principios básicos de voltaje, corriente y resistencia. Todos ellos necesitan de un circuito acondicionado para que se cumplan las condiciones establecidas por el fabricante. Ahora bien, los dispositivos eléctricos han sido de vital importancia en diferentes procesos dentro de la industria y es por ello que muchas características eléctricas, neumáticas, hidráulicas y mecánicas se acoplan en un solo dispositivo para mejorar un proceso en particular.

Para este caso, se usó una electrobomba de tipo periférica con alimentación monofásica de 120 Vac a 60Hz. Este tipo de electrobombas tienen una ventaja particular, y es que maneja niveles de agua muy altos a un caudal un poco.

Los elementos que dispone la electrobomba se pueden apreciar en la siguiente figura:

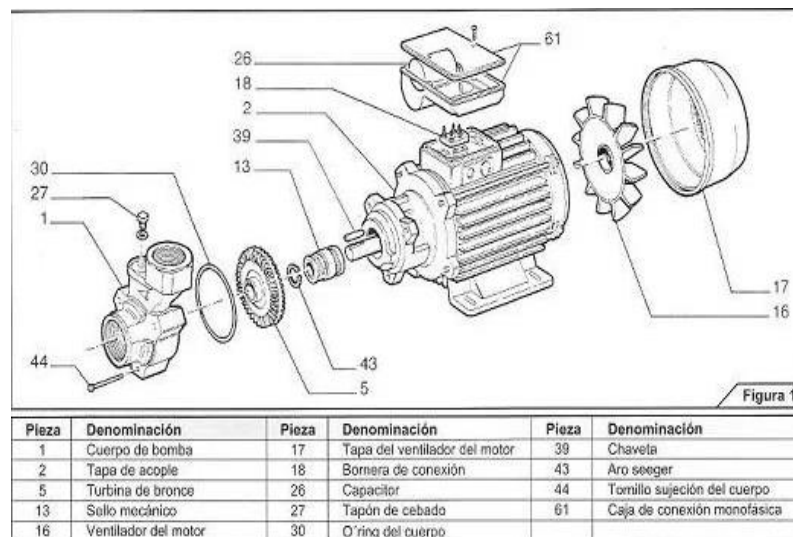


Ilustración 11 partes de una electroválvula periférica [Autor: [28]].

El funcionamiento de estas electrobombas es por medio del principio de desplazamiento positivo basado en hidrostática, de modo que el aumento de la presión se realice en las paredes de las cámaras de él. Cuando el rotor está en funcionamiento, la turbina por medio de su eje genera una fuerza centrífuga dentro de la cámara del armazón la cual, estando a un nivel específico, genera la presión necesaria para que el líquido sea trasladado hacia la salida de este. [29]

También es importante tener en cuenta ciertas consideraciones físicas de la electroválvula, como la velocidad específica (N_s), que puede definirse de la siguiente forma:

$$N_s = \frac{NQ^{0.5}}{H^{0.5}} \quad (2)$$

Siendo:

Q= Caudal en galones por minuto [gpm]

H=Altura total en pies [ft]

N=Velocidad rotacional en revoluciones por minuto [rpm]

La ecuación 2.2 es la simplificación de un proceso de técnicas dimensionales en relación a consideraciones de similaridad dinámica, derivada de la ecuación *Darcy-Weisbach*. Dicha velocidad es importante para conocer variables indispensables de la electrobomba como la altura que puede llegar dicha bomba, y la fuerza con que succiona el agua.

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS

Los procesos automáticos son sistemas donde se transfieren tareas con respecto a las entradas y las salidas que este dispone. Dentro de la industria son de vital importancia para el desarrollo de aplicaciones industriales. Existen diversas formas de programar los sistemas como por ejemplo los PLC.

Los PLC son dispositivos electrónicos diseñados para la automatización de procesos industriales. Dichos dispositivos en un lenguaje de programación (LADDER) en donde dicho dispositivo tiene la capacidad de leer diferentes señales de entrada y salida, rangos de temperatura, inmunidad al ruido entre muchas cosas más.

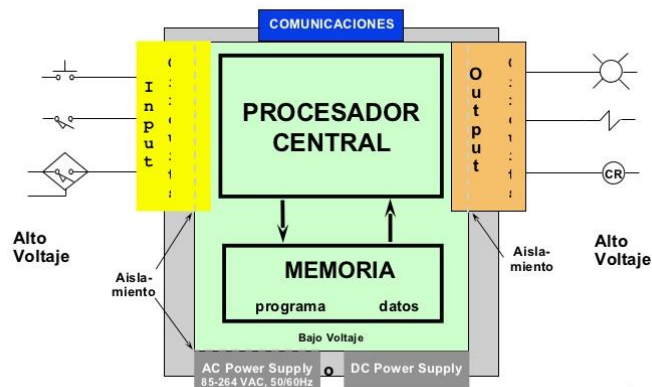


Ilustración 12 Funcionamiento Interno de un PLC [Autor: [30]]

Un PLC puede realizar diferentes funciones como: recoger datos que son señales análogas o digitales, toma decisiones según se le haya programado, almacenar datos en memoria, realiza cálculos matemáticos, genera ciclos de tiempo, actúa a equipos externos y comunicarse con sistemas externos.

En un principio los PLC fueron diseñados para remplazar antiguas tecnologías de control de máquinas, plantas y procesos. Dichas tecnologías se basaban en relés lógicos, programados con un listado de instrucciones de forma secuencial. Actualmente, existen diferentes lenguajes de programación donde el AP (autómata programable) puede realizar las instrucciones necesarias para un proceso en particular, lenguajes como: adaptaciones de BASIC y C, diagrama de contactos y lógica de estado que es un lenguaje de alto nivel desarrollado para ciertos PLC. [31]

Ahora bien, existen algunas características que ofrecen los PLC, como son:

Fácil de usar.

Grandes conjuntos de instrucciones.

Entorno de fácil uso.

Funciones de comunicación.

También cabe aclarar que existen dos tipos de PLC. La primera es una versión básica con posibilidades de expandirse con módulos que sean compatibles con el dispositivo, ya que en principio este PLC tiene un número ilimitado de entradas, salidas, entre otras funcionalidades. La segunda consta de

frecuencias de entradas superior y con mayores características que el primer tipo de PLC. [31]

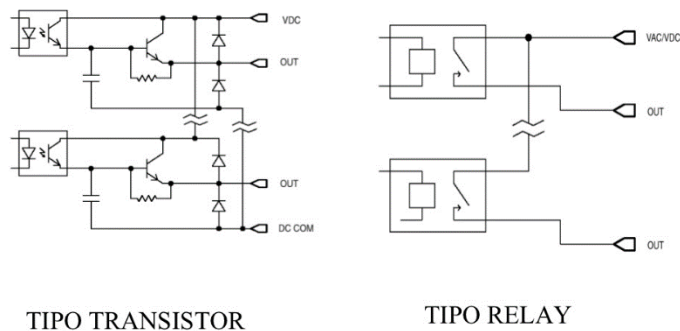


Ilustración 13 Tipos de Salida de un PLC [Autor: [30]]

Las salidas del PLC pueden ser de dos tipos, como se muestra en la figura 2.4.1.6, por transistor o por relé, dependen de qué tipo de salida se use, si son digitales o analógicas.

En la industria los controladores lógicos programables tienen como objetivo realizar tareas de gran envergadura donde es necesario tener precaución de ciertas variables físicas que condicionan los diferentes procesos en una fábrica. También, son necesarios para realizar diferentes tareas en un tiempo establecido con condiciones de producción extremas bajo ciertas especificaciones técnicas especializadas.

INSTRUMENTACIÓN

Existe una gran diversidad de sensores que miden diferentes variables del entorno, también se puede clasificar según sus características de fabricación. Ahora bien, existen sensores muy particulares que miden variables determinantes en un proceso como es el caso del PH, la turbidez, entre otras composiciones de un compuesto.

Sensor de PH (SEN-0161)

El sensor se compone de tres capas de vidrio, donde la primera es exterior hidratada con gel de vidrio, la segunda es una capa intermedia seca y la

tercera corresponde a una capa interna hidratada, donde esta última es la encargada de la sensibilidad a los cambios del pH. [32]

La medida del pH se da por el par de electrodos que este posee donde uno es de cloruro de mercurio y el otro es de vidrio, estos al entrar en contacto con la sustancia a medir generan una diferencia de potencial, la cual se genera de por la tensión eléctrica que hay entre el electrodo de medición y el de referencia, haciendo que se genere una tensión proporcional al valor de pH medido. [33]

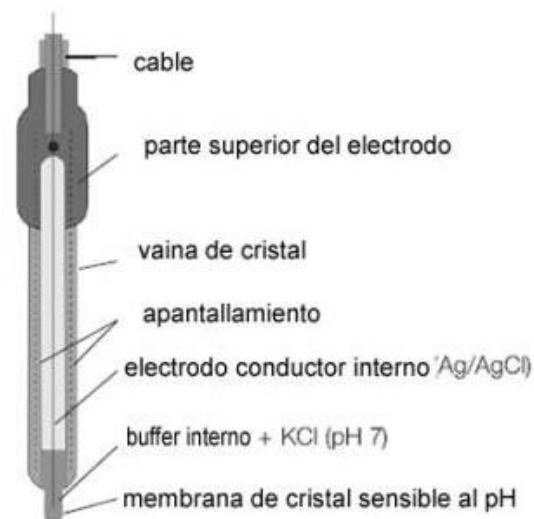


Ilustración 14 Sensor de electrodos PH [Autor: [33]]

Este sensor da como resultado un valor de potencial análogo, este debe ser interpretado por una tarjeta de desarrollada, basada en un microcontrolador, el cual se encarga de dar respuesta en digital de la lectura de datos, para lograr una medida precisa del electrodo este debe ser calibrado para tomar medidas acidas, básicas y neutras, las cuales corresponden a 4.0, 8.0 y 7.0 pH respectivamente.

Sensor de Turbidez (SEN-0189)

La turbidez es una medida en la que se tiene en cuenta la cantidad de partículas que están en un medio líquido, por lo general este sensor es usado en el tratamiento de aguas, ya que la presencia de agentes en el agua puede ocasionar diferentes inconvenientes en los procesos, como la creación de

sedimentos, impurezas, mal olor y degradación de sustancias a mediano o largo plazo.

Es necesario dentro del tratamiento de aguas un nivel óptimo de turbidez en las aguas. La unidad que mide la cantidad de partículas en un líquido son las NTU (Unidad nefelométrica de turbidez). Dicha medida es regulada por la OMS (Organización Mundial para la salud) que dicta que, para el consumo humano, tiene que estar por debajo de 5 NTU. [34]

Existen diferentes equipos que pueden medir la cantidad de partículas en una solución como por ejemplo el turbidímetro marca Merck, con un rango de medición de 0.00 a 10.00 NTU, o bien una balanza analítica Mettler Toledo con resolución de 0,1mg. [35]

Existen algunos parámetros en la validación para la determinación de turbiedad, la cual se puede apreciar en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	OBSERVACION
LÍMITE DE DETECCIÓN (LDM)	2,0	NTU	Corresponde al límite de cuantificación.
PRECISIÓN EN TÉRMINOS DE %CV	2,7	%	Std bajo 2.0 NTU
	3,2	%	Std alto 1.000 NTU
EXACTITUD EXPRESADO COMO % DE ERROR RELATIVO	-6,8	%	Std bajo 2.0 NTU
	0,4	%	Std alto 1.000 NTU
	-13,3	%	Muestra Certificada
RANGO DE TRABAJO (Lectura Directa)	2.0-1.750	NTU	Sin dilución de la muestra.
INTERVALO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO	2.0-8.750	NTU	Con una dilución máxima de 5
RECUPERACIÓN EXPRESADO COMO %	NA	%	Muestra adicionada baja-M1Ab
	NA	%	Muestra adicionada alta -M1Aa

Tabla 1 Parámetro de validación de Turbidez [Autor: [35]]

Como se puede apreciar en la tabla 1.0, existen parámetros que varían de acuerdo a condiciones del sistema de medición, como la exactitud, error relativo, precisión. Estos valores fueron recogidos por el IDEAM, que se encarga de mantener ciertos estándares en las mediciones de las sustancias bajo ciertas condiciones y con ciertas particularidades, las cuales se puede revisar con mayor detenimiento en su sitio web.

Ahora bien, la mayoría de equipos que miden los NTU de una sustancia tienen la presencia de luz, la cual capta señales de posibles perturbaciones que

pueda reflejar el haz en el medio. Dichas variaciones son captadas y procesadas para luego ser linealizadas y estandarizadas en un rango específico.

El sensor SEN-0189 no es la excepción. Este sensor de gravedad funciona por medio de un receptor y un emisor de luz que captan las perturbaciones del líquido bajo condiciones iniciales específicas por medio de la transmitancia de la luz la tasa de dispersión, que varía con la cantidad de sólidos totales. [36]



Ilustración 15 Sensor de turbidez SEN-0189 [Autor: [36]]

Este sensor consta unos emisores de luz y receptores de luz transmitida en el líquido. Dicha sonda, está conectada a una pequeña tarjeta que realiza un proceso de acondicionamiento de la señal para la lectura de la misma, esto debido a que tiene la particularidad de tener dos modos de lectura, digital y analógica, con valores de tensión entre los (0-4.5) Vdc. A su vez, puede ajustarse el nivel de NTU a través de un potenciómetro, el cual realiza una proporción entre NTU y tensión en las entradas de unos comparadores dispuestos dentro de la tarjeta, de forma que la persona que los desee usar puede ajustar un 1 lógico según el nivel de NTU que sea pertinente para la aplicación.

Sensor de presión diferencial (MPX2010DP y MPX10DP)

El principio de funcionamiento del sensor de presión diferencial MPX2010DP y MPX10DP, es el mismo, lo que los diferencia es su precisión y exactitud, siendo el modelo 2010DP el mejor.

Estos miden dos presiones, la atmosférica y la deseada, es restada proporcionando una tensión lineal, la cual es directamente proporcional a la presión aplicada. El principio de funcionamiento de este sensor es gracias a una matriz de silicio con un medidor de tensión, la cual posee compensación de temperatura. [37]

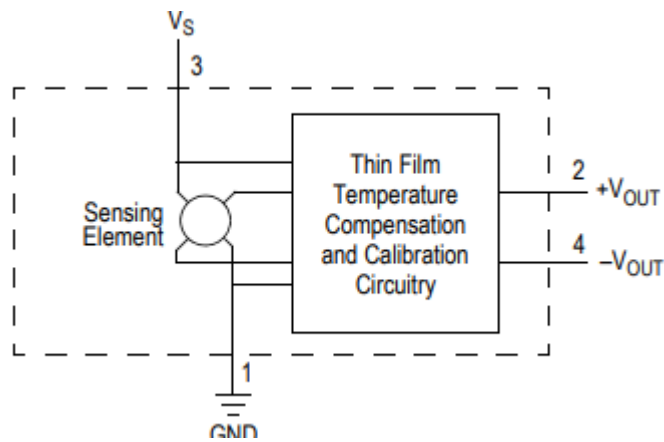


Ilustración 16 Esquemático MPX2010DP [Autor: [37]]

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Pressure Range ⁽¹⁾	P _{OP}	0	—	10	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V _S	—	10	16	V _{DC}
Supply Current	I _O	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span ⁽³⁾	V _{FSS}	24	25	26	mV
Offset ⁽⁴⁾	V _{OFF}	−1.0	—	1.0	mV
Sensitivity	ΔV/ΔP	—	2.5	—	mV/kPa
Linearity	—	−1.0	—	1.0	%V _{FSS}
Pressure Hysteresis (0 to 10 kPa)	—	—	±0.1	—	%V _{FSS}
Temperature Hysteresis (−40°C to +125°C)	—	—	±0.5	—	%V _{FSS}
Temperature Coefficient on Full Scale Span	TCV _{FSS}	−1.0	—	1.0	%V _{FSS}
Temperature Coefficient on Offset	TCV _{OFF}	−1.0	—	1.0	mV
Input Impedance	Z _{IN}	1300	—	2550	Ω
Output Impedance	Z _{OUT}	1400	—	3000	Ω
Response Time ⁽⁵⁾ (10% to 90%)	t _R	—	1.0	—	ms
Warm-Up Time	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁶⁾	—	—	±0.5	—	%V _{FSS}

Tabla 2 Especificaciones del MPX2010DP [Autor: [37]]

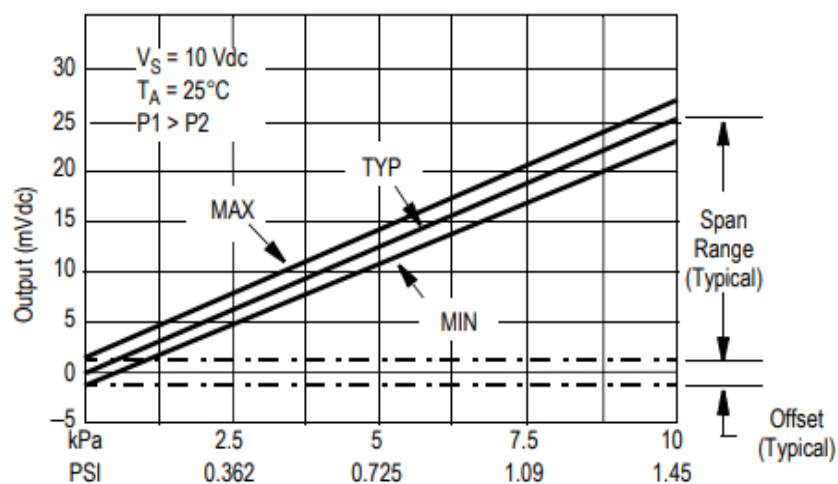


Ilustración 17 Tensión vs Presión [Autor: [37]]

DIAGRAMA P&ID

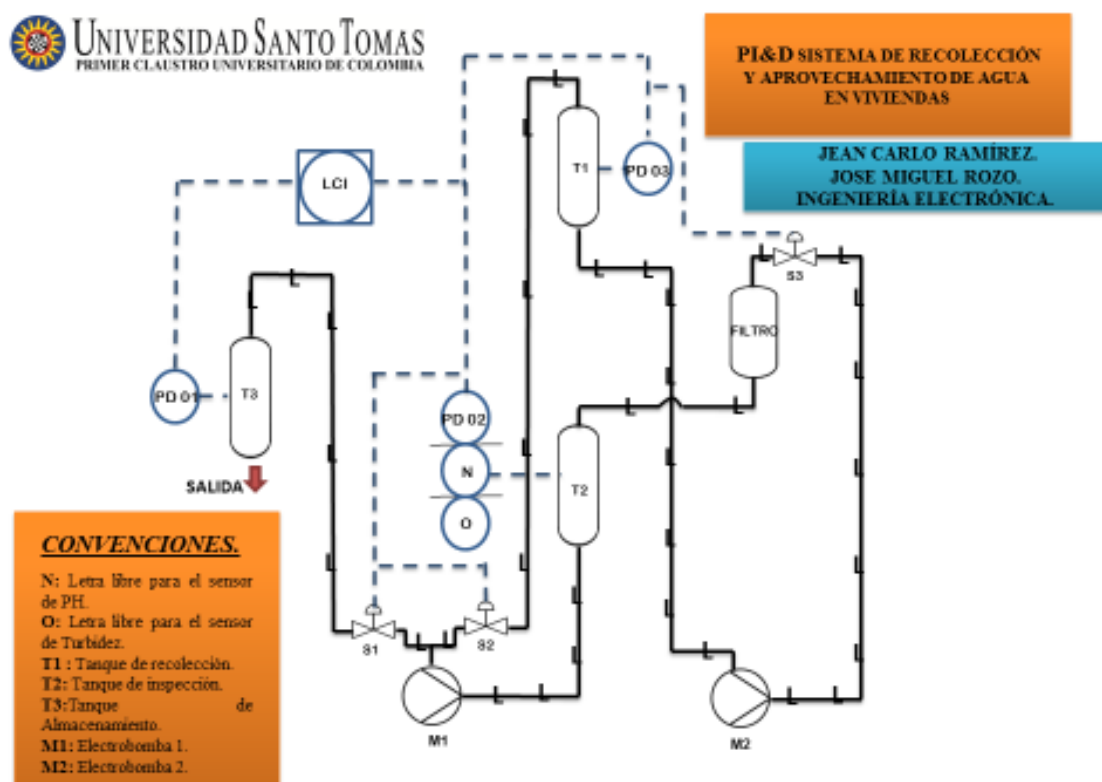


Ilustración 18 Diagrama P&ID del sistema

DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Para el diseño y ejecución del proyecto se realizó una estructura por capítulos, especificando cada una de las etapas que se hicieron, abarco los diferentes modelos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Capítulo 1: Consideraciones previas

En esta etapa del proyecto se planteó el problema y las posibles soluciones que se le podrían llegar a dar, esto mediante los objetivos propuestos, donde se propuso diseñar un sistema de recolección y reciclaje de agua para una vivienda, con el fin de contribuir con el medio ambiente y reducir costos de facturación por agua.

Lo primero que se tuvo en cuenta fue el sistema de filtrado, que a continuación se abarcará cual fue el diseño y porque se escogió ese método de filtrado. Luego se tuvo que tener en cuenta las variables físicas que tendría el agua filtrada de manera que se pueda corroborar que el proceso era el indicado. Es por ello que se escogieron las variables de PH y turbidez ya que por medio de estas variables se puede analizar si el tratamiento que se le está haciendo al agua es el correcto. Por último se escogió un PLC S7-1200 de la marca SIEMENS para el procesamiento de las variables que se están midiendo y para el proceso automático que tiene que hacer el sistema.

Capítulo 2: Diseño del sistema.

Se diseñó el sistema a partir de las necesidades que tenía que cumplir el prototipo. El sistema necesitaba de diferentes etapas las cuales son:

- **Etapas de Recolección:** Es en donde se ingresa el agua reciclada y también donde se realimenta el agua si no cumple con los niveles de PH y turbidez.
- **Etapas de Filtrado:** Es donde se hace el tratamiento del agua, por medio de las diferentes capas del filtro.
- **Etapas de Inspeccionamiento:** Donde se revisan los niveles de PH y turbidez y evaluar si el sistema cumple o no con los requerimientos.

- **Etapas de almacenamiento:** Aquí llega el agua tratada que cumple con los estándares para la reutilización.

Cada una de estas etapas se diseñaron siguiendo un orden específico esto debido a que el filtro funciona por gravedad, ya que el agua debe pasar cada una de las etapas del filtro y llegar a la etapa de inspeccionamiento de forma directa. El orden de los tanques se dispuso de la siguiente manera, de forma que se pudiera cumplir lo anteriormente descrito y que en la etapa de inspeccionamiento se pudiera tomar la decisión de realimentar o de transportar el agua al tanque de almacenamiento.

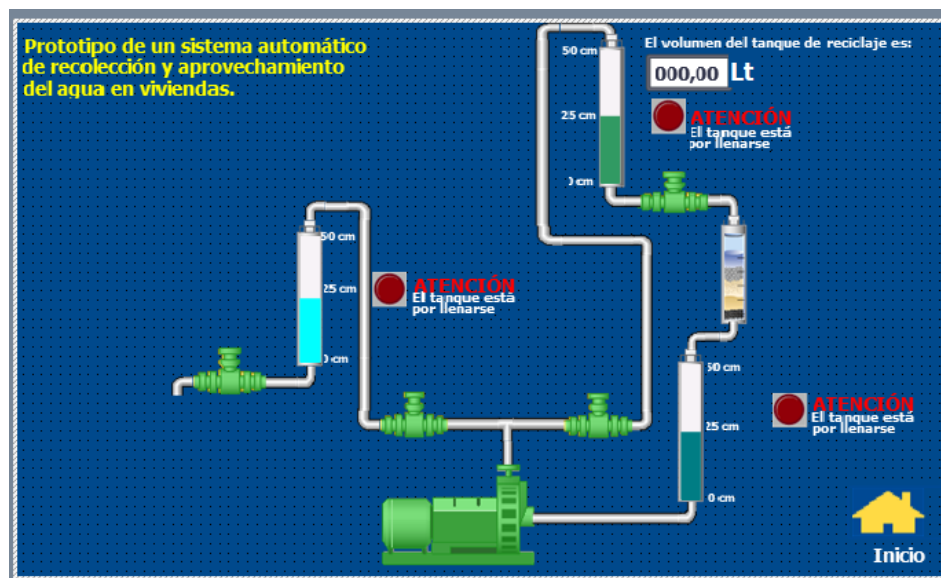


Ilustración 19 Diseño del sistema de recolección y reutilización de agua en viviendas [Autores]

Cabe aclarar que la ilustración fue tomada de la visualización realizada en la pantalla HMI del PLC que se utilizó.

La tubería que se usó fue de PVC con un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada ya que las electroválvulas tienen este mismo diámetro al igual que la electrobomba. A su vez, se usaron conectores y codos de este mismo material para el transporte del agua entre las diferentes etapas.

Capítulo 3: Revisión de parámetros de sensores.

Lo primero que se evaluó fue las variables que iba a tener el sistema. Dentro de la ejecución y diseño del prototipo se deben tener en cuenta diferentes tipos

de variables para poder acondicionar dichos sensores a la planta. Las variables físicas que necesita en sistema son:

- Nivel de agua.
- PH del agua tratada.
- Turbidez del agua tratada.

Nivel de agua

Para la medida de nivel, la variable que vamos a medir es altura de 3 tanques, los cuales son: tanque de entrada del agua reciclada, tanque de inspeccionamiento del agua tratada y tanque de almacenamiento de agua. Todos estos tanques tienen la misma altura y el mismo volumen, el cual es 1.92 Lt. Cada tanque tiene ciertas especificaciones, ya que cada uno necesita de un nivel diferente entre sí.

Entre los diferentes sensores de nivel que existen, se escogió el sensor de presión diferencial. Estos sensores se escogieron como sugerencia del director del proyecto debido a que su funcionamiento es sencillo y el costo de los mismos no es muy elevado a comparación de otros sensores que pueden cumplir con esta medida. A continuación se mostrará una tabla, la cual compara las características de dichos sensores, ventajas, desventajas y precio de cada uno de ellos.

SENSOR	REFERENCIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	PRECIO(COP)
Flotador	52905F	El precio es bajo y la implementación es sencilla.	Solo se tiene una medida de nivel y no entrega valores periodicos.	\$ 39.000,00
Capacitivo	LD4223	Son muy usados en la parte insdustrial por su exactitud.	Son usados para materiales no conductores.	\$ 65.000,00
Rotativo	FTE20	Es de bajo consumo y de gran utilización en procesos grandes.	Son usados para materiales en polvo o granulares.	\$ 673.000,00
Magnético Flotador	SLM5LMP	Manejan semejanzas con el sensor de flotador convencional.	Su tamaño no es el adecuado para el sistema no cumple con las especificaciones que se necesitan.	\$ 54.000,00
Presión Diferencial	MPX10DP - MPX20DP	Son económicos y su exactitud es muy buena.	Son escasos y tienen poca documentación.	\$ 15.000,00

Tabla 3 Características sensores de nivel [Autores]

Como se puede apreciar algunos sensores son muy costosos o no cumplen con lo que se busca en el diseño, ya que algunos solo miden un solo valor de nivel u otros no podrían adaptarse a los tubos que se manejan.

Lo que se hizo fue medir una diferencia entre la presión atmosférica y la presión que genera el tanque a medida que se va llenando el tanque en cuestión. Esta diferencia está expresada en Pascales y la salida de los sensores lo que entrega es una tensión dentro de dos escalas diferentes ya que se usaron dos sensores de presión diferencial, debido a que no se obtuvieron los sensores en la medida que fue realizando el montaje y que más adelante se abarcará cada una de sus especificaciones.

Al tener la presión se encontró una relación entre la presión del fluido con el nivel del mismo: dicha relación se obtuvo mediante un proceso de linealización del mismo y que al final entrega un nivel de tensión dentro del rango definido anteriormente.

También, hay que tener en cuenta que estos sensores son leídos y amplificados por medio de un integrado de instrumentación AD620. De esta forma se tiene una ganancia en la diferencia de tensión que entrega el sensor, para luego ser leída por el autómata.

Las especificaciones más importantes del sensor de nivel MPX10DP son las siguientes:

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 10\text{ V}_{DC}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P1 > P2$)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Pressure Range ⁽¹⁾	P_{OP}	0	—	10	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_S	—	10	16	V_{DC}
Supply Current	I_O	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span ⁽³⁾	V_{FSS}	24	25	26	mV
Offset ⁽⁴⁾	V_{OFF}	-1.0	—	1.0	mV
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	2.5	—	mV/kPa
Linearity	—	-1.0	—	1.0	% V_{FSS}
Pressure Hysteresis (0 to 10 kPa)	—	—	± 0.1	—	% V_{FSS}
Temperature Hysteresis (-40°C to $+125^\circ\text{C}$)	—	—	± 0.5	—	% V_{FSS}
Temperature Coefficient on Full Scale Span	TCV_{FSS}	-1.0	—	1.0	% V_{FSS}
Temperature Coefficient on Offset	TCV_{OFF}	-1.0	—	1.0	mV
Input Impedance	Z_{IN}	1300	—	2550	Ω
Output Impedance	Z_{OUT}	1400	—	3000	Ω
Response Time ⁽⁵⁾ (10% to 90%)	t_R	—	1.0	—	ms
Warm-Up Time	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁶⁾	—	—	± 0.5	—	% V_{FSS}

Ilustración 20 Parámetros del sensor MPX10DP [Autor []]

Este sensor es alimentado con 5Vdc según lo describe el fabricante en la hoja de especificaciones. El diseño circuital se mostrará más adelante con la implementación de los otros sensores.

Tanque de entrada de agua reciclada.

Este tanque es el primero. Dicho tanque es por donde se ingresa el agua con materiales como: jabón, suavizante, y otros compuestos que puede tener el agua que es tomada de los lugares de un hogar. Hay que aclarar que los lugares de donde se va tomar esta agua son: lavadora y lavamanos de los baños.

Este tanque tiene las siguientes consideraciones:

- El tanque tiene como entrada el agua reciclada y de salida la misma agua, la cual se comunica al segundo tanque el cual es el de filtrado.
- Tiene un nivel máximo de agua para que no se desborde el agua que ingresa.

Este nivel máximo también controla la abertura o el cierre de la primera electroválvula. Dicha electroválvula es la que le da el paso de agua al tanque 2; tanque de filtrado.

Este tanque también tiene una segunda entrada, la cual es la de la realimentación de agua. Dicha entrada depende de la lectura de los sensores de PH y Turbidez, los cuales son los que deciden si el agua está lista para usar o si se tiene que hacer el proceso de filtrado una vez más.

La lectura de nivel de este sensor tiene como finalidad, darle la información al PLC para que el pueda tomar las decisiones necesarias para que realice las tareas que se le asignaron y las cuales se describirán más adelante.

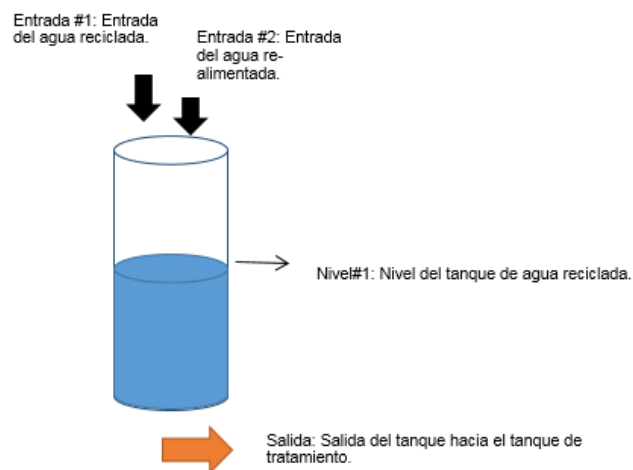


Ilustración 21 Parámetros tanque de reciclaje [Autores]

Tanque de inspeccionamiento del agua tratada.

Este es uno de los tanques más importantes de todo el sistema. Este tanque tiene como finalidad revisar las dos variables para que el sistema pueda: realimentar el agua, si es necesario o llevarla un tanque de almacenamiento final.

Tiene las siguientes consideraciones:

- Tiene como entrada el agua filtrada del tanque de tratamiento.

- Posee de dos salidas, que van a dos electroválvulas, una hacia un tanque de almacenamiento, si ya está lista para usar o a el tanque de agua reciclada.
- Contiene tres sensores: nivel, PH y Turbidez, que evalúan el agua.

Ahora bien, estos sensores de PH y Turbidez, manejan rangos y limitaciones diferentes. Cada uno entrega valores diferentes que son analizados por medio de un PLC, donde este último decide al final de cuentas hacia donde debe ir el agua.

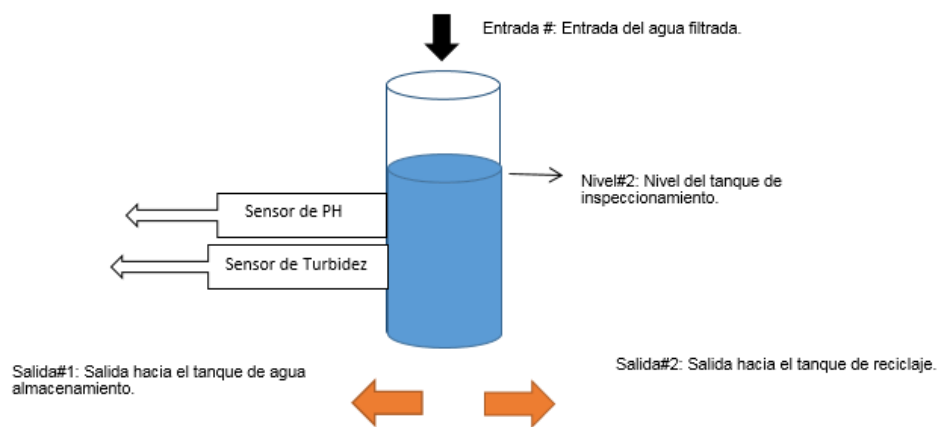


Ilustración 22 Parámetros del tanque de inspeccionamiento.

Tanque de almacenamiento

Este tanque es el último en secuencia. Este se encarga de almacenar el agua filtrada y que supere los rangos de medición de PH y Turbidez. El agua que se almacena en este tanque es aquella que va a ir hacia los inodoros para su re-utilización.

Tiene los siguientes parámetros:

- Tiene una entrada la cual está controlada con una electroválvula y una salida con otra electroválvula por donde va a salir en líquido final.
- Un sensor de nivel para evitar en desbordamiento.

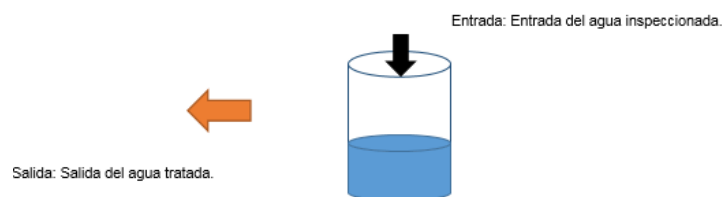


Ilustración 23 Parámetros del tanque de almacenamiento.

PH del agua tratada.

Este sensor se encarga de entregar el nivel de PH del agua que está en el tanque de inspección. El valor de PH es inverso al de tensión que entrega el mismo, ya que entre más alto es el PH, menor es la tensión de salida.

Este sensor dispone de una salida tipo BNC contactada a una tarjeta integrada que tiene la cual se encarga de generar una ganancia a la medida para que pueda ser leída. Además, la tensión de salida del electrodo está dada en mV según la siguiente figura:

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Ilustración 24 Relación de PH y Tensión [Autor [[18]]]

Este sensor está ubicado en el tanque de inspeccionamiento ya que es allí donde se tiene que revisar la calidad del agua después de haber sido filtrada. Hay que tener en cuenta que el rango que estamos midiendo está alrededor de 7 a 9 PH ya que estamos manejando sustancias neutras y básicas.

La calibración de sensor Sen0161 se realiza mediante el uso de una sustancia neutra de pH 7, seguido de esto se debe ajustar el potenciómetro que la tarjeta PH-4502C hasta que el voltaje de salida sea igual a 2.5 V, seguido de esto, se

debe realizar el mismo proceso con sustancias acidas y básicas, pueden ser limón y leche de magnesia respectivamente.

Una vez el sensor se encuentra calibrado se procede a realizar la toma de medidas y tratar el agua para que cumpla los lineamientos de la resolución 2115 donde el pH debe tomar un valor mayor a 1.5, con el fin de evitar que el agua sea un riesgo para salud humana.

Para la medición de pH se seleccionó el SEN-0161, el cual con la ayuda de los dos electrodos que posee, uno de referencia y el otro de medición, al introducirlo en la sustancia a medir este da su resultado en valores de voltaje, es decir es análogo, por tal razón este resultado debe ser llevado a la escala de 0 a 14.

Para tener esta escala fue necesario realizar un acondicionamiento de la señal, de manera que el PLC realizara dicho proceso y pudiera tener el valor de PH entre 0 a 14. El acondicionamiento de la señal fue la siguiente:

$$Po = Vi * 5.96 + 22.245 - offset$$

(3)

Po: Valor de PH

Vi: Voltaje de entrada del sensor.

Esta ecuación fue introducida en el autómata programable. El offset varía según la calibración que se le hace al sensor. Para este caso, el sensor se calibró con una medida de 7 con agua normal. Dicho valor depende de una impedancia que genera el modulo que viene con el sensor y que compara la señal medida por el BNC y una referencia de tensión de 5V; la ecuación se implementó con un offset de 0.03, ya que ese era el error que arrojaba la medición.

Turbidez del agua tratada.

Según los lineamientos de la resolución 2115 de 2017, capítulo I, El análisis básico del estado del agua *“Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH”* [1]. Según esto se determina que se debe realizar la medición del pH y la turbiedad del agua, esto mediante los sensores SEN-0189, el cual mediante el uso de dos electrodos realiza la medición de turbidez del agua, entregando este resultado en voltaje o un valor digital.

Este sensor mide la cantidad de partículas en una sustancia. Dicha medición está dada en NTU ya que entre más turbulenta sea el agua, mayor es la tensión de salida. Este sensor tiene una peculiaridad y es que posea salida análoga, como digital la cual se puede ajustar al nivel de NTU que se requiera. La relación de NTU con voltaje es la siguiente:

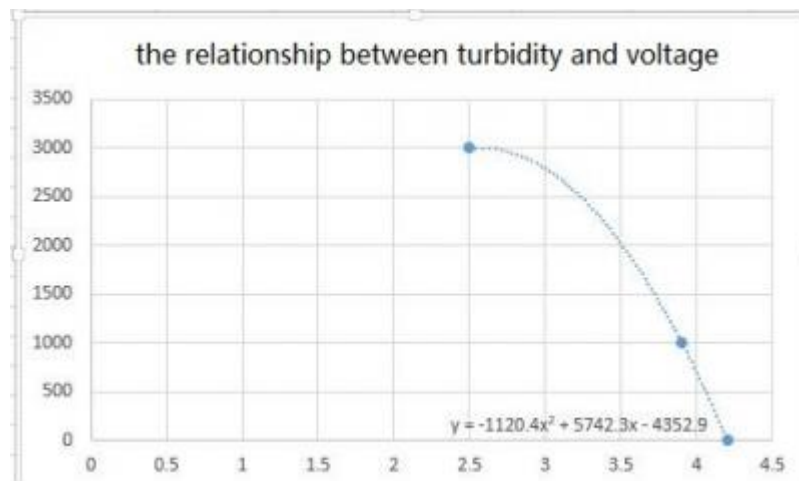


Ilustración 25 Relación NTU con tensión de salida [Autor [[36]]]

Para este prototipo se usó la salida digital para una salida de 4.0 V con un NTU de aproximadamente 1000 que aplica para cuando la sustancia está filtrada correctamente y puede usarse en los inodoros adecuadamente.

Capítulo 4: Selección del método a emplear para el tratamiento del agua.

Actualmente el ser humano ha ideado métodos para tratar el agua, esto con el objetivo de preservarla y mejorar el estado de la misma, logrando que sea apta para el consumo, dentro de estos métodos se pueden encontrar la filtración de agua por ozono, pozos de arena, carbón activado y demás.

Debido a que el agua a reutilizar no tiene como destino final el consumo, es posible realizar el tratamiento del agua mediante el uso de un filtro, el cual posee elementos naturales pero capaces de eliminar bacterias y sólidos suspendidos, los cuales permiten un segundo uso y represamiento del recurso hídrico. El filtro consta de 4 etapas capaces de tratar el agua, donde la etapa 1 posee algodón y gravilla muy delgada, con el objetivo de retener los sólidos suspendidos, jabón y espuma, tanto como sea posible.

La etapa 2 del filtro posee arena, esta capaz de eliminar microorganismos y bacterias que lleva el agua, ya que la arena tiene la capacidad de eliminar los elementos patógenos que el agua posee. Seguido de esto la etapa 3 del filtro consta de carbón activado, este posee una gran adsorción la cual permite que el agua elimine bacterias, coloraciones, toxinas e inclusive químicos.

Capítulo 5: Actuadores

En este capítulo se abarcará en detalle cada uno de los elementos que se utilizaron la implementación del sistema, especificaciones de cada uno de ellos, y porque son los equipos necesarios para la ejecución del prototipo.

Electrobomba

Para la selección de la electrobomba, se buscó una referencia que tuviera la capacidad de transportar el agua desde el tanque de inspeccionamiento, hacia los dos tanques, el de recolección y el de almacenamiento. Dichos tanques se encuentran uno a 1.50m de la base del prototipo (tanque de recolección), y el otro a 80 cm del mismo punto (tanque de almacenamiento). Por otro lado, se tuvo en cuenta la altura a la que podía subir el agua, la potencia y la conexión que debería tener. Los requisitos que se acogen al diseño son:

- Altura mínima: 2m
- Potencia: 0.2Hp
- Conexión: ½ pulgada para tubo PVC.

La electrobomba que se escogió fue de la marca “*Wolfox*”, periférica. Las especificaciones son las siguientes:

- Potencia: ½ Hp.
- Máxima altura: 28m.
- Velocidad: 3,450 rpm.

Como se describió anteriormente, uno de los parámetros más importantes fue la altura, y este modelo en especial cumple completamente este apartado. Por otro lado, esta electrobomba fue muy económica y la más apropiada para el montaje que se estaba realizando. Además, es bastante silenciosa, consume poco y es usada la mayoría de las veces para el transporte de aguas limpias en el agro.



Ilustración 26 Electro bomba "Wolfox" [Autor: [38]]]

El actuador consta de dos entradas de conexión hidráulica, la primera succiona el agua del tanque de inspeccionamiento, y la otra es salida, la cual se conecta una “t” de PVC para la bifurcación del agua. El tornillo que se puede apreciar es para sacar aire que pueda contener esta en un momento determinado, de forma que el líquido fluya continuamente. Su accionamiento está dado por

medio de un relé que tiene de entrada 24Vdc para activarlo, y un contacto normalmente abierto por donde de pasa 3.120 A y una tensión de 120 Vac.

Electroválvula

Este actuador permite el paso de agua hacia una ramificación u otra. Estas electroválvulas están conectadas en la “t” de PVC antes mencionada. Para seleccionar este actuador se tuvo en cuenta la tensión de activación la cual es de 12Vdc, con una corriente de 0.5 A aproximadamente. El diámetro de la tubería que se usó es de ½ pulgada. Ahora bien, esta electroválvula también es accionada por medio de un relé de las mismas características que la electrobomba. Las especificaciones detalladas son:

1/2" Nominal NPS

Presión de trabajo: (0.02 – 0.8) MPa

Temperatura de trabajo: 1 °C – 75 °C

Tiempo de respuesta (open): ≤ 0.15 seg

Tiempo de respuesta (close): ≤ 0.3 seg

Voltaje de actuación: 12VDC (ver tabla)

Vida útil: ≥ 50 millones de ciclos

Peso: 4.3 oz

Esta información es suministrada por el fabricante, en este caso “*Electronilab*”. [39]. Para este prototipo se utilizaron 3 electroválvulas ubicas de tal forma que dejen pasar o no el flujo de agua hacia un tanque u otro como bien se puede ver en el diseño inicial.

Capítulo 6: Parámetros y acondicionamientos del PLC S7-1200

Todas las variables entregadas por los sensores son muy importantes ya que son la información que procesa el PLC para la toma de decisiones dentro del proceso.

Cada sensor tiene diferentes rangos de tensión y de medida. Estos niveles tienen que ser normalizados por el PLC por medio del software autorizado de

Siemens “TIA PORTAL v.14”. El sistema consta de 4 entradas análogas para los 3 sensores de presión para el nivel y una para el sensor de PH, y una digital para el sensor de turbidez.

Ahora bien, el PLC está leyendo los valores de los sensores y está realizando el proceso de normalización y escalización ya que estos valores entran al proceso de automatización de la PLC y a la vez interactúa con las variables del HMI que este también utiliza para la visualización de los sensores, actuadores y alarmas para el usuario.

El uso del autómatas programable de la marca SIEMENS, modelo S7-1200 se utilizó ya que tiene los requerimientos necesarios para la implementación, como: el módulo de entradas análogas, el de entradas digitales. Además, la implementación del software es flexible es material de laboratorio que ofrece la universidad.

Para controlar todo el proceso, se diseñó un algoritmo basado en LADDER, implementado en el software TIA PORTAL v14. Este algoritmo fue desarrollado por medio de la metodología conocida como partición de fases.

Esta metodología consiste en dividir todo el proceso en fases. Dichas fases varían las salidas de todo el sistema. A su vez, se tiene unas capacidades de transición, las cuales condicionan la automatización, de forma que el sistema puede evolucionar entre las diferentes fases, pudiendo estar en más de dos al mismo tiempo.

Esta metodología tiene un manejo de funciones (fases) que se encargan de habilitar o deshabilitar los actuadores del proyecto (electrobomba y electroválvulas). Las capacidades transición por otro lado, son las que condicionan al sistema para que pueda evolucionar (sensores).

Las fases que se diseñaron fueron:

- **Fase1:** Espera de valores. Todas las salidas apagadas.
- **Fase2:** Vaciado tanque de recolección, filtrado y llenado del tanque de inspeccionamiento, Salida de electroválvula 1 encendida, el resto apagadas.

- **Fase3:** Espera. Toma un tiempo “Muerto” de aproximadamente 30 segundo. Este tiempo es para que el sensor de PH pueda dar el valor más cercano posible.
- **Fase4:** Realimentación de agua. El agua no está lista todavía para usarse. La electroválvula 2 y la electrobomba son encendidas para transportar el agua nuevamente hacia el tanque de recolección.
- **Fase5:** Llenado del tanque de almacenamiento. El agua está lista para transportarse al tanque de almacenamiento. La electroválvula número 3 se enciende junto con la electrobomba.

El sistema se diseñó con un bloque constante de lectura de sensores en el OB1 (main) del software. En este bloque se realiza la normalización de la lectura de las entradas análogas del sistema y luego se escala en niveles de tensión de 0 a 5 voltios. Por último, en este bloque, se linealiza la medida, para que esté en los términos requeridos para su visualización y/o utilización.

El programa tiene otras sentencias, pero son para la visualización de la HMI, donde el usuario puede observar el funcionamiento del sistema, contempla algún tipo de alarma que se pueda presentar, como también el funcionamiento de los equipos.

Las capacidades de transición son:

- **CT0:** El nivel del tanque de recolección tiene que llegar a cierto nivel.
- **CT1:** El nivel del tanque de inspección tiene que llegar a cierto nivel.
- **CT2:** El nivel de PH y Turbidez no son los adecuados.
- **CT3:** El nivel de PH y Turbidez debe ser el indicado y el nivel de este también.

El sistema que se diseñó se puede esquematizar de la siguiente forma:

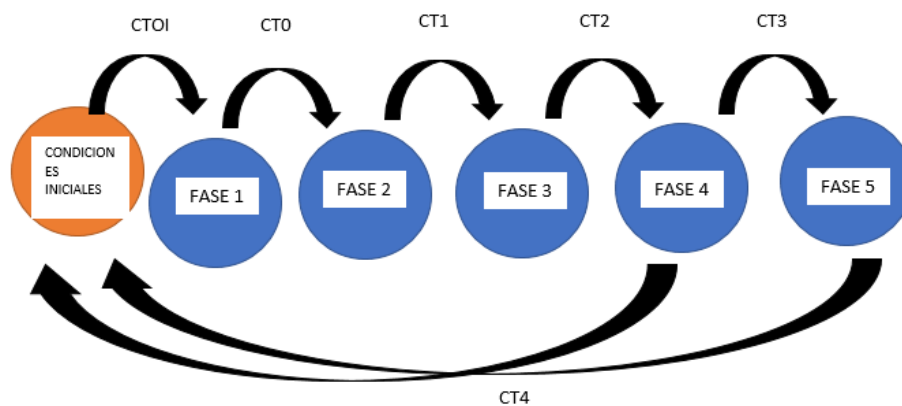


Ilustración 27 Diagrama de Fases del Sistema implementado en LADDER. [Autores]

Como se puede apreciar, el sistema realiza un ciclo completo entre cada una de las fases y depende de las capacidades de transición, puede evolucionar entre cada subprocesso.

Otra parte importante del diseño del software del autómatas fue la adquisición de datos por medio de las entradas análogas que este dispone. Para realizar esta lectura se utilizaron de los siguientes bloques que dispone el TIA PORTAL para la normalización y escalización de las señales.

Los bloques usados son los siguientes:

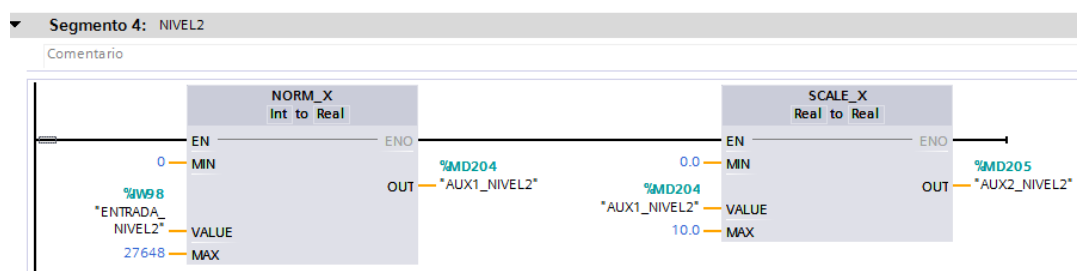


Ilustración 28 Adquisición de datos por medio de los bloques NORM y SCALE. [Autores]

El PLC utilizado dispone de 4 canales para las entradas análogas que leen niveles de tensión entre +/- 10 V o +/-5V. Todos los canales se configuraron con tensión de +/- 10V. Al final de estos dos bloques se obtiene el valor del voltaje de entrada de cada uno de los sensores de nivel y del de PH.

Después de tener el dato de tensión, se realiza el acondicionamiento de la señal, de manera que cada valor medido esté dentro del rango de trabajo y cumpla con las condiciones de diseño.

Dicho acondicionamiento se realizó por medio de la ecuación de la recta, tomando el valor máximo y mínimo medido directamente en cada tanque y desarrollando la ecuación correspondiente de cada caso. Las ecuaciones implementadas para el nivel de cada tanque fueron:

$$N1 = V1 * 13.18 - 18.482 \quad (4)$$

N1: Nivel del tanque de recolección.

V1: Tensión del sensor MPX de dicho tanque.

$$N2 = V2 * 31.18 - 101.07 \quad (5)$$

N2: Nivel del tanque de inspección.

V2: Tensión del sensor MPX de dicho tanque.

$$N3 = V3 * 50.0 - 174.0 \quad (6)$$

N3: Nivel del tanque de recolección.

V3: Tensión del sensor MPX de dicho tanque.

Cabe aclarar, que para cada tanque se realizó esta tarea, es por ello que cada uno tiene un punto de corte y una pendiente diferente, esto se debe a que cada sensor tiene una referencia diferente y los dos que son de la misma referencia tenían particularidades específicas del fabricante.

Capítulo 7: Diseño circuital.

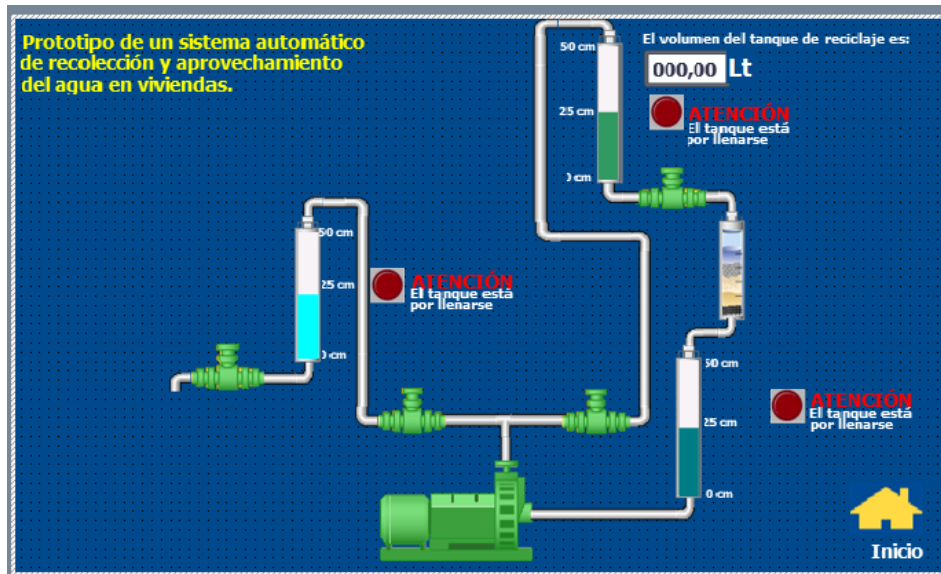


Ilustración 29 Diseño del sistema de recolección y reutilización de agua en viviendas [Autores]

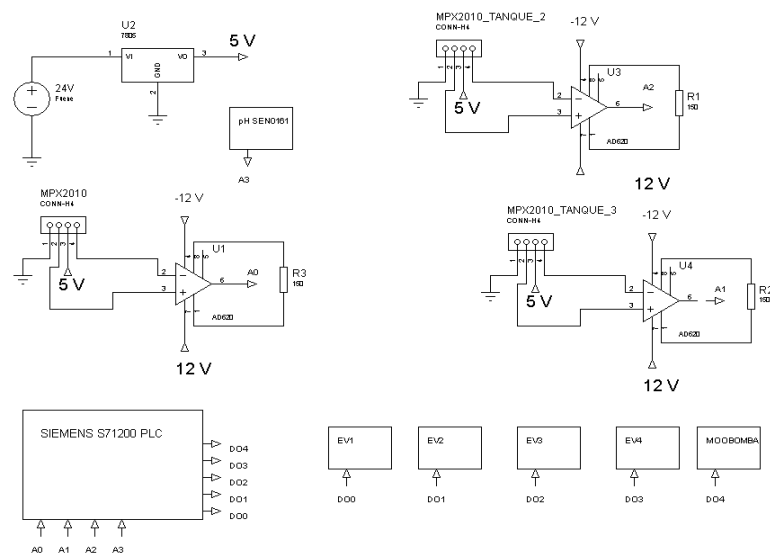


Ilustración 30 Esquemático circuito electrónico.

RESEULTADOS

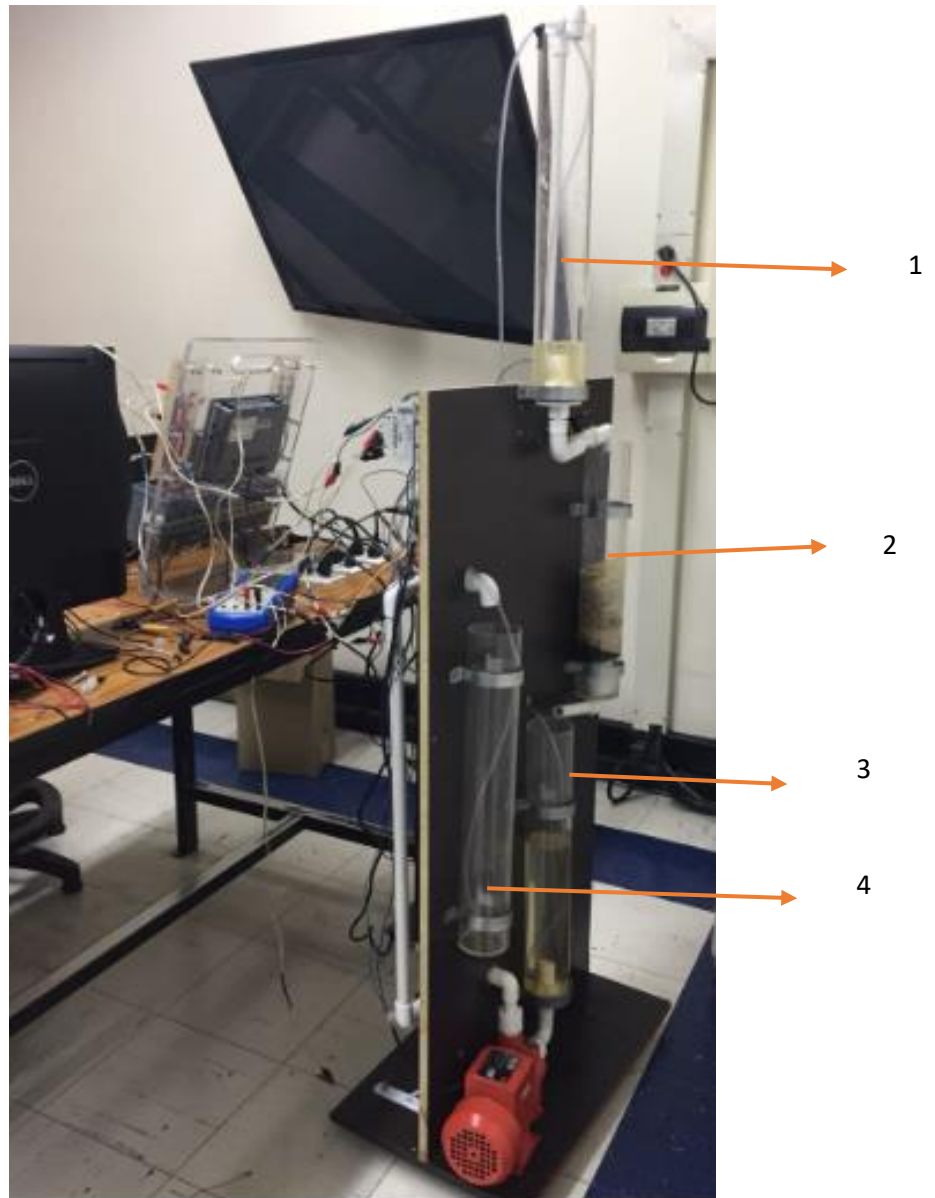


Ilustración 31 Imagen completa del sistema de recolección y reciclaje de agua

Fuente: Autores.

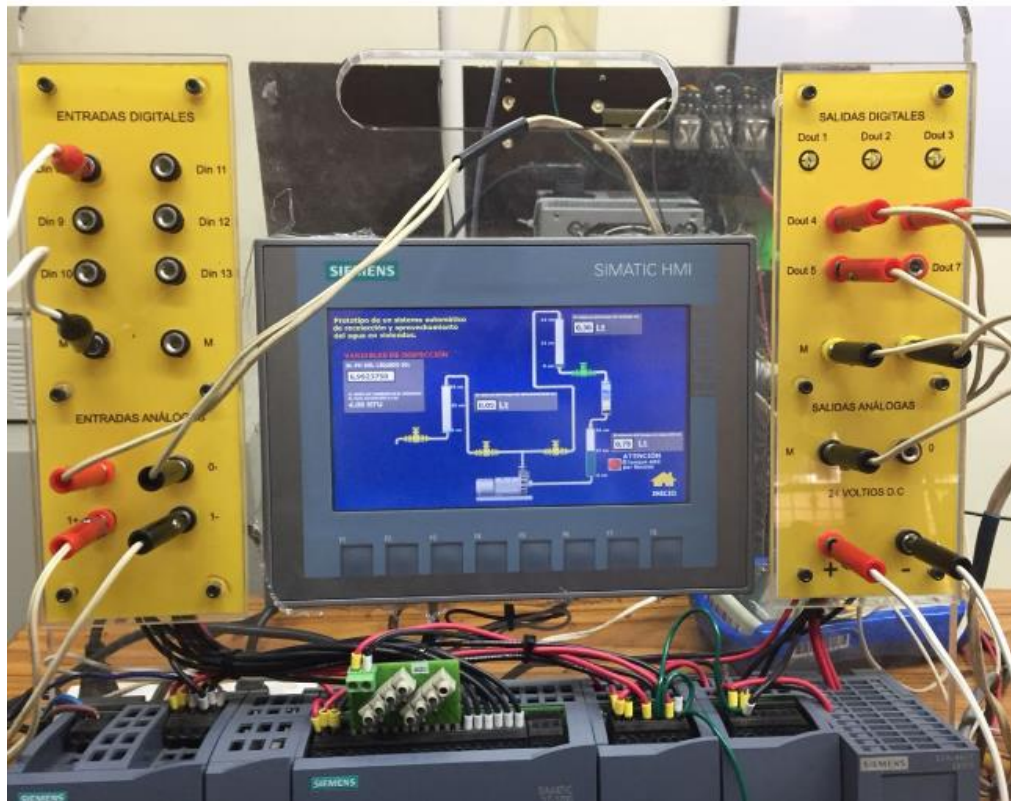


Ilustración 32 PLC HMI sistema de recolección y reciclaje de agua

Fuente: Autores.

El prototipo de recolección y reciclaje de agua es controlado de manera automática mediante el uso del PLC, este sistema de reciclaje de agua, funciona en su totalidad cumpliendo con los objetivos planteados.

Teniendo en cuenta que el radio de cada uno de los tanques es de 3.5, la altura equivale a 50 Cm, se calculó la capacidad máxima en litros de cada uno de los tanques, esto se hizo según el siguiente cálculo matemático:

1. Se calcula el volumen total del tanque de almacenamiento

$$h = 50 \text{ Cm}$$

$$r = 3.5 \text{ Cm}$$

$$V = \pi * r^2 * h \text{ (7)}$$

$$V = \pi * 3.5^2 * 50$$

$$V = 1924,2255 \text{ Cm}^3$$

2. Se convierte de volumen a litros de la siguiente manera:

$$\text{litros} = \frac{V}{1000} (8)$$

$$\text{litros} = \frac{1924,2255}{1000}$$

$$\text{litros} = 1,92422 \text{ lt}$$

Según la ilustración número 30 se puede apreciar que la fase 1 del proceso corresponde al llenado del tanque de recolección del agua a tratar y reciclar, en esta etapa es necesario controlar el nivel del tanque, ya que se deben evitar desbordamientos del mismo, en este caso, como se planteó en el diseño se hizo uso del sensor MPX10DP el cual mediante la medición de presión puede determinar la cantidad de líquido que este posee, donde se realiza una comparación de la medida del PLC vs los litros que este posee de la siguiente manera:

Tabla 4 Litros tanque vs Litros medidos PLC

MEDICIÓN [LT]	PLC[LT]
0,1924	0,1155
0,3848	0,3079
0,5773	0,6157
0,7697	0,8466
0,9621	0,9236
1,1545	1,193
1,3469	1,4624
1,5394	1,5778
1,7318	1,8087

Una vez hecha la tabla de comparación de medidas se procedió a calcular el error relativo de las mismas, con el fin de tener el error que poseen el sensor MPX10DP del tanque de recolección.

Tabla 5 Error relativo medida litros PLC Vs Medida real

Error relativo
39,96881497
19,98440748
6,651654253
9,990905548
4,001663029
3,33477696
8,575246863
2,494478368
4,440466567

Según estos datos se tiene un error total del 11,04915712 % en la medición de nivel del tanque de recolección mediante el sensor MPX10DP



Ilustración 33 Tanque de recolección

Fuente: Autores

Una vez el tanque de recolección alcanza los 1,53 lt de agua, y es posible almacenar esta misma en los demás tanques sin que se desborden se procede a abrir una electroválvula, la cual permite la ejecución de la fase 2 (Ilustración 30), la que corresponde a la etapa de filtrado.

El uso de filtros de agua con arena es eficaz para eliminar bacterias, además si se le agrega grava y carbón activado, se tiene como resultado agua sin sólidos suspendidos y un menor nivel de turbidez, al momento de realizar el filtrado se

evidencio que dependiendo del nivel de turbidez y jabón es el equivalente al número de veces que el agua debe ser tratada.

Los filtros de arena y carbón tienen como ventaja su larga duración, ya que estos pueden llegar a durar hasta un año como mínimo, en este caso el tiempo de uso que se le dio a este desde su instalación fue de aproximadamente 5 meses y aún seguía filtrando el agua de manera adecuada.

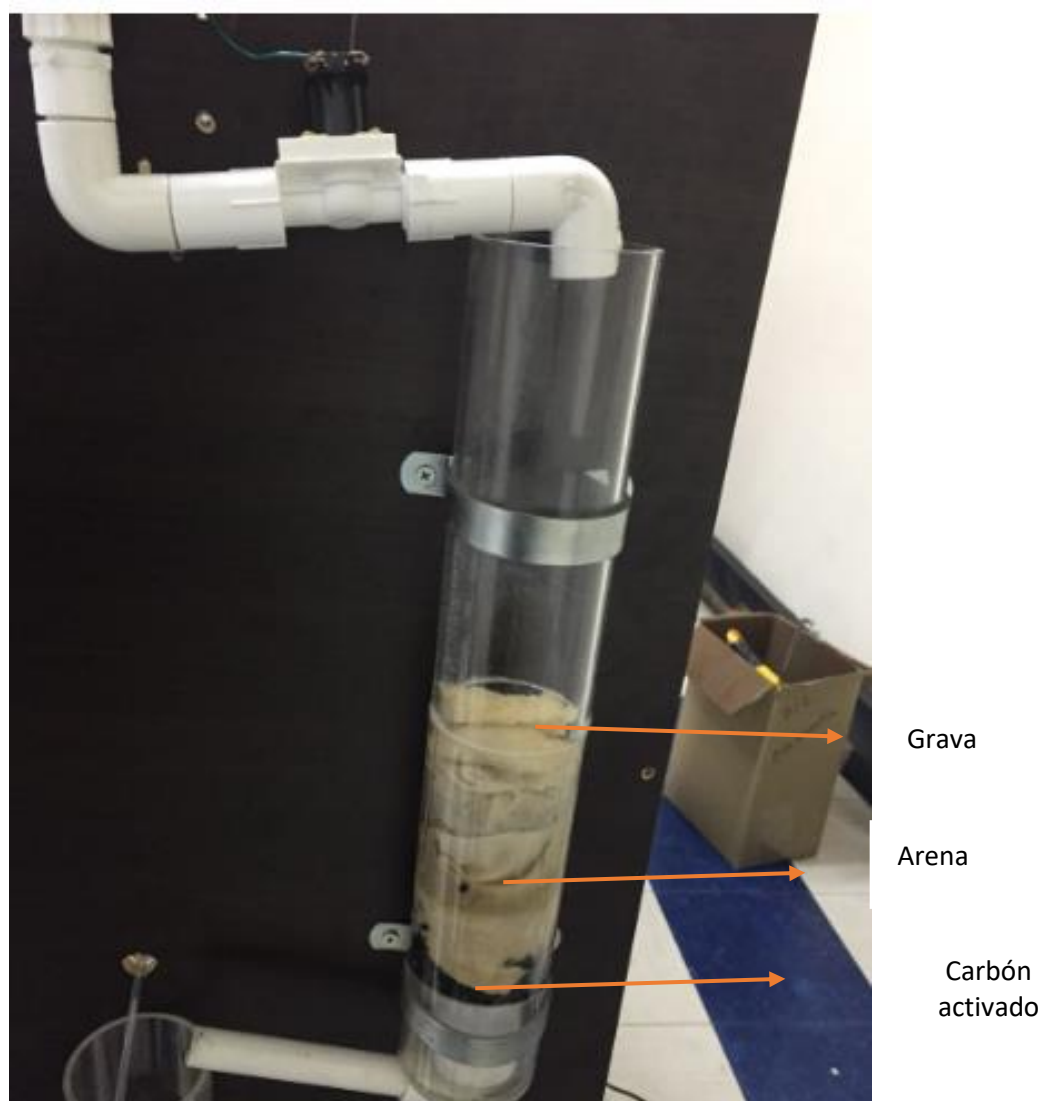


Ilustración 34 Filtro de arena y carbón activado

Fuente: Autores

El agua filtrada cae al tanque de inspección el cual corresponde a la etapa 3 del proceso (Ilustración 30), la cual se encarga de evaluar las condiciones básicas del agua según la resolución 2115 de 2007. En esta etapa fue necesario el uso de un sensor MPX10DP para controlar el nivel del mismo, un sensor de pH E-BNC 201 y un sensor de turbidez SEN0189, los resultados obtenidos por estos fueron los siguientes.

Sensor de nivel MPX10DP

Tabla 6 litros tanque de inspección VS Medición PLC

MEDICIÓN [LT]	PLC[LT]
0,3079	0,2309
0,4233	0,461808
0,6542	0,615744
1,0006	0,885132
1,1545	1,077552
1,2315	1,193004
1,3469	1,308456
1,5394	1,577844
1,7318	1,808748

Fuente: Autores.

Una vez hecha la tabla de comparación de medidas se procedió a calcular el error relativo de las mismas, con el fin de tener el error que poseen el sensor MPX10DP del tanque de inspección.

Error relativo
25,00811952
9,097094259
5,878324671
11,53987607
6,665049805
3,125943971
2,854257926
2,497336625
4,443238249

Tabla 7 Error relativo nivel tanque de inspección

Fuente: Autores.

Según estos datos se tiene un error total del 7,901026789 % en la medición de nivel del tanque de inspección mediante el sensor MPX10DP.

Sensor de pH SEN 0161

Se realizó la toma de datos del sensor SEN 0161 vs Waterproof, con el objetivo de comparar la precisión y exactitud del sensor empleado en el prototipo de recolección y reciclaje de agua, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 8 Medición pH E-BNC 201 Vs Waterproof

MEDICIÓN [pH] SEN 0161	MEDICIÓN [pH] "WATERPROOF"
8,5	7,9
8,2	7,7
8	7,2
7,8	7
7,4	6,5
6,9	6,33
6,3	5,7
5,2	5,3
4,6	5

Fuente: Autores.

Los datos obtenidos permitieron realizar el cálculo del error relativo del sensor SEN 0161 de la siguiente manera:

Tabla 9 Error relativo SEN-0161

Error relativo
7,058823529
6,097560976
10
10,25641026
12,16216216
8,260869565
9,523809524
1,923076923
8,695652174

Fuente: Autores

Según estos datos se tiene un error total del 8,219818346 % en la medición de pH mediante el uso del sensor SEN 0161

Sensor de turbidez SEN 0189

Este sensor se usó de manera digital, es decir, según como se explicó en la etapa de diseño si el agua se encuentra por debajo de los 3 NTU este se activa entregando a su salida un uno lógico (5VDC), el cual indica que el agua se encuentra apta para un segundo uso, esto sucede gracias al proceso de filtración que se encarga de bajar el nivel de turbidez que posee el agua.

Según la resolución 2115 de 2007 [1] el nivel de turbidez del agua se debe encontrar con un valor máximo de 2 NTU para el consumo humano, ya que el agua a reutilizar no será consumida se puede establecer como rango desde 0 a 3 NTU, que es el que posee el sensor SEN0189, si se encuentra por encima de los 3 NTU, así mismo el nivel de pH se debe encontrar entre 6,5 y 7,5 para ser potable.

Si alguno de estos dos requisitos no se cumple el agua se requisitos no se cumple el agua es realimentada hasta el tanque de recolección para pasar nuevamente por una etapa de filtrado y así mejor el nivel de partículas de hidrogeno o de turbidez.

Al momento de realizar las pruebas del sistema se encontró que hay jabones que poseen mayor nivel de turbidez o pH, lo cual hace que sea necesario una o más realimentaciones, pero así mismo se encontraron jabones que poseen un pH con un valor que se encuentra entre 7 y 7,5, haciendo que con una sola etapa de filtrado su nivel de turbidez mejore y se le pueda dar un segundo uso a dicho recurso hídrico y dar paso a la fase 4.



Ilustración 35 Tanque de inspección

Fuente: Autores.

Una vez el agua cumple con los parámetros básicos para darle un segundo uso a esta, la bomba se activa y envía el agua hasta el tanque de almacenamiento donde para decidir el segundo uso que se le dará a la misma.

Según la ilustración 4 el consumo de agua diario para un hogar promedio de 2 personas es de 228,16 lt/día [40]. Por tal razón se hace el estimado de ahorro de la siguiente manera.

Valor metro cubico según recibo de acueducto estrato 3 equivale a 5.136,071.

$$228,16 \text{ lt} * 30 \text{ días} = 6844.8 \text{ lt (9)}$$

$$m^3 = \frac{6844.8 \text{ lt}}{1000 \text{ lt}} * 1 m^3 = 6.8448 m^3 \quad (10)$$

$$\text{Valor recibo mensual} = \$ 35.155,3787$$

Ahora bien, se debe tener en cuenta el consumo de energía del sistema de ahorro y recolección de agua, donde se tiene:

3 electroválvulas con un consumo de 320 mA con potencia de 3.84 Watts

1 Electrobomba con un consumo de 3.1 A a 110 V A.C con potencia de 372.85 Watts

1 PLC s71200 con potencia de 20.04 Watts

Se realiza el cálculo según el valor KWH determinado por la empresa condensadora

Para estrato 3 el cual es \$ 419,9129 [41]

Teniendo que el PLC debe estar prendido las 24 Horas del día se estima su consumo mensual así:

$$KwhPLC = \frac{20.04}{1000} * 24 \text{ horas} * 30 \text{ Días} * \$ 419,9129 = \$ 6058,83, \text{ consumo mensual PLC (11)}$$

La electrobomba estará prendida como máximo 1 hora al día, ya que esta tarda en segundos en transportar el agua en las dos diferentes etapas del sistema.

$$KwhM = \frac{372.85}{1000} * 1 \text{ horas} * 30 \text{ Días} * \$ 419,9129 = \$ 4696, \text{ Consumo mensual electrobomba. (12)}$$

La electroválvula estará encendida el mismo tiempo que la electrobomba ya que esta solo se prendera cuando la electrobomba este encendida, o se filtre el agua.

$$KwhEl = \frac{3.84}{1000} * 1 \text{ horas} * 30 \text{ Días} * \$ 419,9129 = \$ 48.37, \text{ consumo mensual electroválvula. (13)}$$

$$\text{Recibo mensual} = \$48.37 + \$ 4696 + \$6058.83 = \$ 10.803,20 \quad (14)$$

Suponiendo que entre las dos personas del hogar promedio ingresan 8 veces al día al baño y realizan la descarga del sanitario, teniendo en cuenta que el sanitario que más ahorra agua es de 4 lt [21], se realiza el cálculo de la siguiente manera:

$$8 \frac{\text{descargas}}{\text{día}} * 4\text{lt} = \frac{32\text{lt}}{\text{Día}} \quad (14)$$

$$32 \text{ lt} * 30 \text{ Días} = 960 \text{ lt} \quad (15)$$

$$\text{Valor agua de sanitario por mes} = \frac{960}{1000} * 5136.071 = \$ 4.930,94 \quad (16)$$

Teniendo en cuenta que el agua del sanitario no es apta para ser reciclada siempre se va tener un consumo fijo de agua al mes de \$ 4.930,94 para descargas.

$$6844.8 \frac{\text{lt}}{\text{mes}} - 960 \frac{\text{lt}}{\text{mes}} = 5884.8 \frac{\text{lt}}{\text{mes}} \quad (17)$$

Según lo anterior el sistema podrá reciclar y tratar siempre 5884.8 lt/mes, donde esto equivale a un ahorro de \$ 30.224 al mes, por lo cual en el hogar se debe pagar por facturación fija mensual de agua como mínimo \$ 4.930,94, es decir que el contando el costo de energía eléctrica del sistema, el ahorro total es de \$ 14489,86, por lo cual el prototipo es rentable en cuanto a la facturación pública ya que se tiene un ahorro aproximado del 41%.

IMPACTO SOCIAL

La reutilización del recurso hídrico es vital, ya que por medio de este ejercicio se puede contribuir al medio ambiente, ya que se puede cuidar el recurso evitando el desgaste y desperdicio del mismo, esto con el objetivo de preservar ecosistemas y la vida misma, teniendo en cuenta el agua como el recurso vital.

Ahora bien, en una vivienda el ahorro de litros por mes permite que se disminuya tanto el costo de facturación como el consumo inadecuado de agua potable, ya que hay sectores de una vivienda que no requieren del recurso en un alto estado de pureza y potabilidad. Como por ejemplo, los sanitarios e inodoros y hasta la jardinería o el aseo domiciliario.

Según la secretaria de planeación al día se consumen alrededor de 218.16 litros de agua en un hogar de por lo menos 2 integrantes [21], esto quiere decir que según los resultados obtenidos, se plantea que en el hogar se realicen alrededor de 8 descargas al día en los sanitarios, ocasionando un gran consumo innecesario de agua potable, ya que esta es usada para desechos y no para el consumo humano.

El ser humano realiza al día un gran desperdicio de agua ya sea en las viviendas, o en cualquier otro lugar que tenga acceso a este recurso, es importante cuidar el medio ambiente y los costos de facturación, por tal razón es relevante el uso de un sistema de reciclaje del agua desperdiciada o gris, esto con el fin de poder darle un segundo uso y no desechar el recurso cuando se puede llegar a encontrar con las condiciones básicas planteadas por la resolución 2115 de 2007 [1] para poder ser usada en diferentes tareas del ser humano sin afectar a la salud.

CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de medición mediante el uso de sensores MPX10DP, permitiendo un monitoreo constante en litros de cada uno de los tanques, esto es necesario puesto que cada tanque es capaz de determinar la cantidad exacta que posee, haciendo más sencillo la medición de la cantidad de agua que es recolectada y reciclada para darle uso en los sanitarios.
- Se realizaron los cálculos pertinentes para el diseño e instalación de los sensores de nivel y Ph de forma que se pudiera realizar la escalización de los mismos de manera oportuna, teniendo en cuenta las consideraciones del prototipo y las medidas adecuadas de cada uno de los tanques.
- El nivel de agua almacenada en los tanques debe ser controlada, puesto que se deben evitar desbordamientos de agua, ya que si esto llegase a suceder no se estaría cumpliendo con el objetivo de ahorrar agua y contribuir con el medio ambiente, para esto se usaron los sensores de presión diferencial mpx2010pd, mpx10pd, donde el mpx2010pd tiene una mayor resolución y exactitud en las mediciones, caso contrario del mpx10pd, fue necesario variar la resistencia usada en el amplificador AD620, ya que con esta fue posible obtener mejores mediciones.
El nivel de agua requerida por un inodoro de bajo consumo es de 4L, por tal motivo en el diseño del prototipo automatizado de recolección de agua se estableció un nivel mínimo para que la cantidad de agua fuera la suficiente y pudiera ser reutilizada.
- El tratamiento del agua es la etapa más compleja para el proceso de recolección y reutilización de aguas grises, esto se debe a que no toda el agua a almacenar posee las mismas características físicas y químicas de acuerdo a los distintos elementos con la que haya sido mezclada, por tal razón se usó como guía la resolución 2115, la sección de análisis básico del agua, ya que esta no es de consumo humano, pero si puede

llegar a ser un riesgo para salud, debido a esto se buscó mejorar las condiciones de pH y turbidez, con el objetivo de evitar bacterias y demás microorganismos que afecten la salubridad.

- El pH del agua obtenido varió de acuerdo a la cantidad de veces que el agua fue filtrada; a mayor número de filtraciones el pH iba tomando un valor más cercano al neutro, 7, seguido de evaluar el pH y la turbidez se procede a almacenar el agua en el tanque desde la cual será evacuada según el uso que se le pretenda dar, en este caso se sugiere los inodoros, ya que estos no requieren agua potable y es posible reutilizarla.
- Todo el proceso de automatización se realizó en el PLC siemens s71200, donde su resolución es de 13 bits, es lo suficientemente alta para evitar que se perdieran datos de las mediciones obtenidas y poder determinar las condiciones en las que se encontraba el agua, donde el sensor de pH sen0161, mpx2010pd y mpx10pd, se conectaron a las entradas análogas del mismo, ajustando un rango de resolución de 0 a 5 V, donde el valor del pH es inversamente proporcional. A su vez los sensores de presión diferencial poseen una respuesta directamente proporcional.
- Es posible plantear otra manera de realizar la solución, una de ellas puede llegar a ser el uso de un microcontrolador y una pantalla HMI adicional, con el fin de economizar la implementación del prototipo, ya que es mucho más económico un microcontrolador que un PLC, pero para el proyecto se decidió emplear el PLC ya que era la herramienta con la que se contaba en la universidad, esta es una herramienta muy robusta, posee una buena resolución, esto permitió una mayor confiabilidad con la toma de mediciones de los sensores análogos.
- Se encontró que el PLC s7-1200 no posee un gran número de entradas análogas, por tal razón se implementó el uso de un transistor en corte y saturación para realizar la toma de medidas de manera digital, por tal razón también se recomienda usar un microcontrolador.

- Se vio la necesidad de instalar una segunda motobomba, la cual dirigía el agua desde el tanque de recolección hasta el filtro, esto debido a que se contaba con solo una electroválvula para permitir el paso del agua, pero debido a que esta no poseía una gran presión, su caudal era muy pequeño, lo cual ocasiono problemas en cuanto al tiempo que tardaba en desocuparse el tanque. Por tal razón se instaló la motobomba, con el fin de asegurar la presión necesaria para que se pudiera controlar el agua por medio de la electroválvula.

MARCA	REFERENCIA	PRECIO MODULO ENTRADA ANÁLOGA
Allen Bradley	FC6A-J4CN1	\$309.00
	FC6A-J8A1	\$380.00
Click	C0-16N03	\$45.00
	C0-08TR	\$40.00
Mitsubishi	Q64AD	\$298.00
Siemens	6ES7231-0XB0	\$255.00

Tabla 10 Marcas y precios de PLC

MARCA	REFERENCIA	PRECIO PLC
Allen Bradley	1761-L32BWB Ser CFRN 5.0 MicroLogix 1000	\$509.00
Click	C0-00DD2-D	\$69.00
Mitsubishi	Fx1n-32mr	\$299.00
Siemens	S7-1200	\$172.00

Tabla 11 Marcas y precios de módulos de entrada análoga

	SUBTOTALES
Allen Bradley	\$818.00
	\$889.00
Click	\$114.00
	\$109.00
Mitsubishi	\$597.00
Siemens	\$427.00

Tabla 12 Comparaciones de subtotales de PLC + Módulo de entrada análoga

- Hay que tener en cuenta que todos estos precios están en dólares americanos. Se compararon diferentes tipos de autómatas programables, con el fin de reducir los costos del proyecto; se tuvieron en cuenta el PLC y el módulo de entradas análogas de la marca “Siemens” y de la “Click”, esto se debe al desarrollo y el soporte que tiene el software con que se pueden programar estos autómatas (Siemens) en comparación con otros más económicos. Se concluye que este proyecto puede reducir el presupuesto de materiales utilizando el PLC y el módulo de la marca “Click”. A su vez, se puede evidenciar que la diferencia entre los subtotales de los equipos más económicos en comparación con los equipos Siemens son de casi 313 dólares, y las ventajas que tiene uno sobre otro son de notar. Una de las diferencias más grandes es la cantidad de entradas análogas que tiene el PLC Click, ya que consta con 8 para una versión o de 16 para otra, en cambio el Siemens posee solo 4.

RECOMENDACIONES

Como se pudo apreciar durante todo el desarrollo del proceso, existen diferentes aspectos que pueden mejorarse para que el prototipo pueda avanzar y cada vez pueda evolucionar.

Dentro de los objetivos del proyecto no entran dentro del desarrollo de estos el diseño y la creación de una aplicación que permita visualizar la información con el usuario final. Esta sugerencia genera una integración más amena entre el usuario y el proceso, implicando al usuario directamente con los valores y criterios que quiere manejar.

El prototipo puede evolucionar dependiendo de las características adicionales que se deseen agregar. El sistema puede tomarse como base para agrandar la cantidad de etapas entre los subprocessos, e incluso se pueden tener mayores especificaciones técnicas en donde el desarrollo del proceso como tal pueda ser más eficiente, como también el uso de más equipos en la parte de

instrumentación, como el manejo de información a distancia con registro de la información, generando historiales. Las posibilidades de explotar el prototipo son muchas y todas van de la mano que tan cuantioso se quisiera que fuera.

Por último, una sugerencia importante para el proyecto y que se sale completamente del proyecto, es realizar un estudio profundo de las características del mercado de los sistemas hidráulicos en Colombia, expandiendo aún más las variables que se pueden dar en los diferentes escenarios, perfeccionando todo el sistema para diferentes campos en donde se pueda aplicar el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO SOCIAL, «RESOLUCIÓN 2115,» MINISTERIO DE AMBIENTE, BOGOTÁ D.C, 2007.
- [2] MINISTERIO DE VIVIENDA , «TITULO B, SISTEMAS DE ACUEDUCTO,» MINISTERIO DE VIVIENDA, BOGOTÁ D.C, 2014.
- [3] EL ESPECTADOR, «EL ESPECTADOR,» EL ESPECTADOR, 29 DICIEMBRE 2009. [En línea]. Available: <https://www.elespectador.com/articulo179606-abc-el-ahorro-de-agua>. [Último acceso: 7 AGOSTO 2017].
- [4] OEI, «OEI,» OEI, S.F S.F S.F. [En línea]. Available: <http://www.oei.es/historico/decada/accion.php?accion=19>. [Último acceso: 5 SEPTIEMBRE 2017].
- [5] MINISTERIO DE AMBIENTE, «LEY 373,» CONGRESO DE LA REPUBLICA, BOGOTÁ D.C, 1997.
- [6] S. P. Bhat y S. R. Hirekhan, «Automation of water discharge process at canals,» IEEE CONFERENCES, Davangere, India, 2015.
- [7] A. Archana y B. Yadav, «PLC & SCADA based automation of filter house, a section of Water Treatment Plant,» IEEE Conferences, Gujarat, India, 2012.
- [8] S. S. Lagu y S. B. Deshmukh, «Raspberry Pi for Automation of Water Treatment Plant,» IEEE Conferences, Pune, India, 2015.
- [9] S. N. Ibrahim, M. S. L. Hakim, A. L. Asnawi y N. A. Malik, «Automated Water Tank Filtration System Using LDR Sensor,» IEEE Conferences, Kuala Lumpur, Malaysia, 2017.

- [10 J. Xie, «The Innovative Design of an Outdoor Centrifugal Water Filter,» IEEE Conferences,] Taiyuan, China, 2010.
- [11 M. A. I. Shahrulakram y J. Johari, «Water storage monitoring system with pH sensor for] pharmaceutical plants,» IEEE Conferences, Bandung, Indonesia, 2017.
- [12 C. N. Wang y W. C. Lin, «A New Control System of Water Quality for Aquarium Exhibition] Tank,» IEEE Conferences, Taichung, Taiwan, 2014.
- [13 S. A. D. A. N. Dissanayake, H. Pasqual y B. C. L. Athapattu, «Economical Colorimetric Smart] Sensor to Measure Water Quality of Drinking Water in CKDu Prevalence Areas,» IEEE Conferences, N.R, 2017.
- [14 Y. Xu y F. Liu, «Application of Wireless Sensor Network in Water Quality Monitoring,» IEEE] Conferences, Guangzhou, China, 2017.
- [15 F. D. V. B. Luna, E. d. I. R. Aguilar, J. S. Naranjo y J. G. Jagüey, «Robotic System for] Automation of Water Quality Monitoring and Feeding in Aquaculture Shadehouse,» IEEE Conferences, N.R, 2017.
- [16 N. Brito, P. Ribeiro, F. Soares, C. Monteiro, V. Carvalho y R. Vasconcelos, «A remote system] for water tank level monitoring and control - a collaborative case-study,» IEEE Conferences, Porto, Portugal, 2009.
- [17 S.d.d.p.A.m.d, «Sobre el consumo y la producción de agua,» Bogotá, 2012.]
- [18 C.Borras, «ecologiaverde,» 2014. [En línea]. Available:] <https://www.ecologiaverde.com/aguas-grises-144.html>. [Último acceso: 5 Abril 2018].
- [19 L.Allen, «Manuel de diseño para,» Greywater Action vol.II,n°2,p.2, 2015.]
- [20 N. E. D. N. Rodríguez, «Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles,» Universidad] Javeriana, facultad de Ingeniería, Bogotá, 2013.
- [21 Alcaldía mayor de bogotá, secretaria de planeación, «Boletín número 40,» Secretaría] distrital de planeación, Bogotá, 2010.
- [22 S. Corona, Ficha Técnica Ref. 060701001, corona, Colombia,S.F..]
- [23 U. d. Salamanca, «Caraterísticas de las aguas residuales,» Universidad de Salamanca.]
- [24 SOLICIMA, «SOLICIMA,» SOLICIMA S.F, [En línea]. Available:] <https://www.solicima.es/aguas-grises..> [Último acceso: 5 MAYO 2018].
- [25 hidrometalica, «hidrometalica.com,» FxDesign, S.F, [En línea]. Available:] <https://hidrometalica.com/filtro-de-arena/>. [Último acceso: 5 Mayo 2018].
- [26 E. VERDE, «ECOLOGIA VERDE,» N.R, S.F S.F., [En línea]. Available:

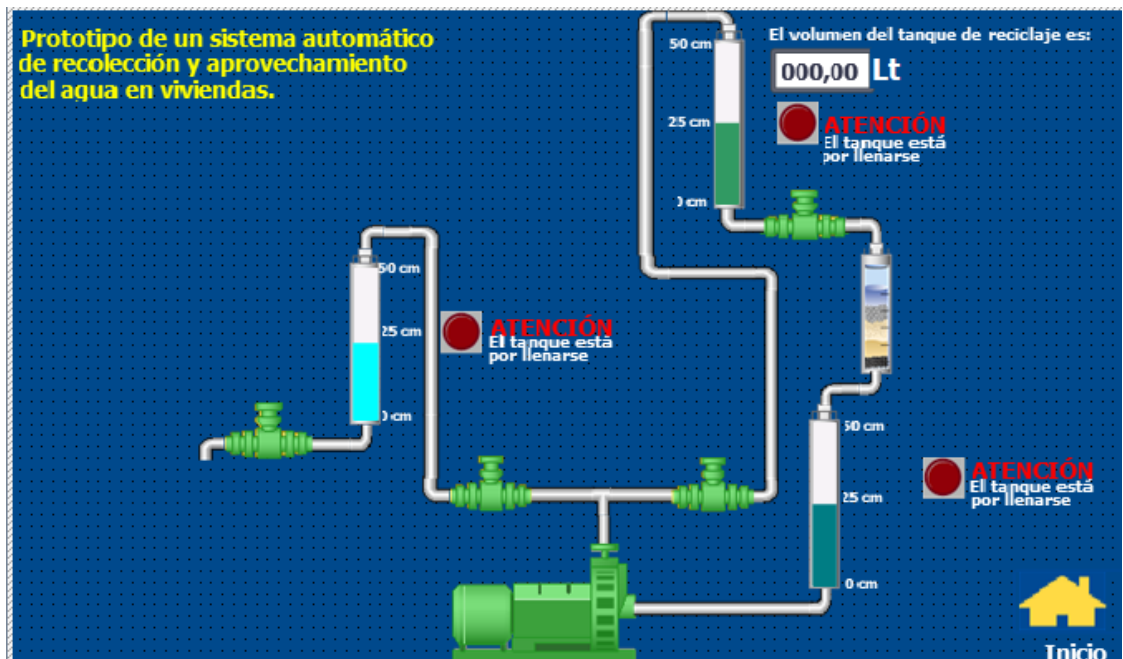
-] <https://www.ecologiaverde.com/como-hacer-unfiltro-de-agua-casero-para-beber-1123.html>. [Último acceso: 5 MAYO 2018].
- [27 E. potable, «Elaguapotable,» [En línea]. Available:
] https://www.elaguapotable.co/tratamiento_del_agua.html. [Último acceso: 28 Abril 2018].
- [28 R. J. P. Carvallo, «Slideshare,» Universidad Técnica Federico Santa María, [En línea].
] Available: <https://es.slideshare.net/marcosaguileramonjes/vlvulas-solenoides-15286332..> [Último acceso: 26 Abril 2018].
- [29 R. Navarro, «jaenclima,» [En línea]. Available:
] http://www.jaenclima.com/articulos/articulo_48.php.. [Último acceso: 28 Abril 2018].
- [30 Ventageneradores, «Anónimo,» [En línea]. Available:
] [http://www.ventageneradores.net/blog/funcionamiento-como-funciona-una-bomba-agua-motobomba-electrobomba/..](http://www.ventageneradores.net/blog/funcionamiento-como-funciona-una-bomba-agua-motobomba-electrobomba/) [Último acceso: 26 Abril 2018].
- [31 P. Angulo, «Slideshare,» [En línea]. Available:
] <https://es.slideshare.net/pabloanibalangulo/apuntes-bsicos-sobre-plcs..> [Último acceso: 28 Abril 2018].
- [32 LogicBus, «LogicBus,» [En línea]. Available: <http://www.logicbus.com.mx/plc.php>. [Último
] acceso: 10 Febrero 2018].
- [33 H.Instruments, «Hanna Instruments,» Lanbyte Servicios Telemáticos, 17 Octubre 2017. [En
] línea]. Available: [http://www.hannainst.es/blog/tag/ph-electrodos-de-ph/..](http://www.hannainst.es/blog/tag/ph-electrodos-de-ph/) [Último
acceso: 1 Mayo 2018].
- [34 A. Online, «Academia Online,» Testo Argentina S.A., S.F S.F S.F, [En línea]. Available:
] <http://www.academiatesto.com.ar/cms/los-electrodos-de-ph..> [Último acceso: 1 Mayo 2018].
- [35 Lennetech, «Lennetech.es,» [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/turbidez.htm..>
]
- [36 Ideam, «Ideam.gov.co,» [En línea]. Available:
] <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc..>
- [37 DfRobot, «DfRobot.com,» [En línea]. Available:
] https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Turbidity_sensor_SKU:_SEN0189..
- [38 NXP, «Pressure MPX2010,» N.R, USA, S.F.
]
- [39 Mercadolibre, «Mercadolibre.com,» [En línea]. Available:
] https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-454234241-motobomba-de-agua-wolfox-periferica-12-hp-_JM.. [Último acceso: 20 Febrero 2018].
- [40 Electronilab, «Electronilab.co,» [En línea]. Available:
<https://electronilab.co/tienda/electrovalvula-valvula-selenoide-agua-12v-dc-12/>. [Último

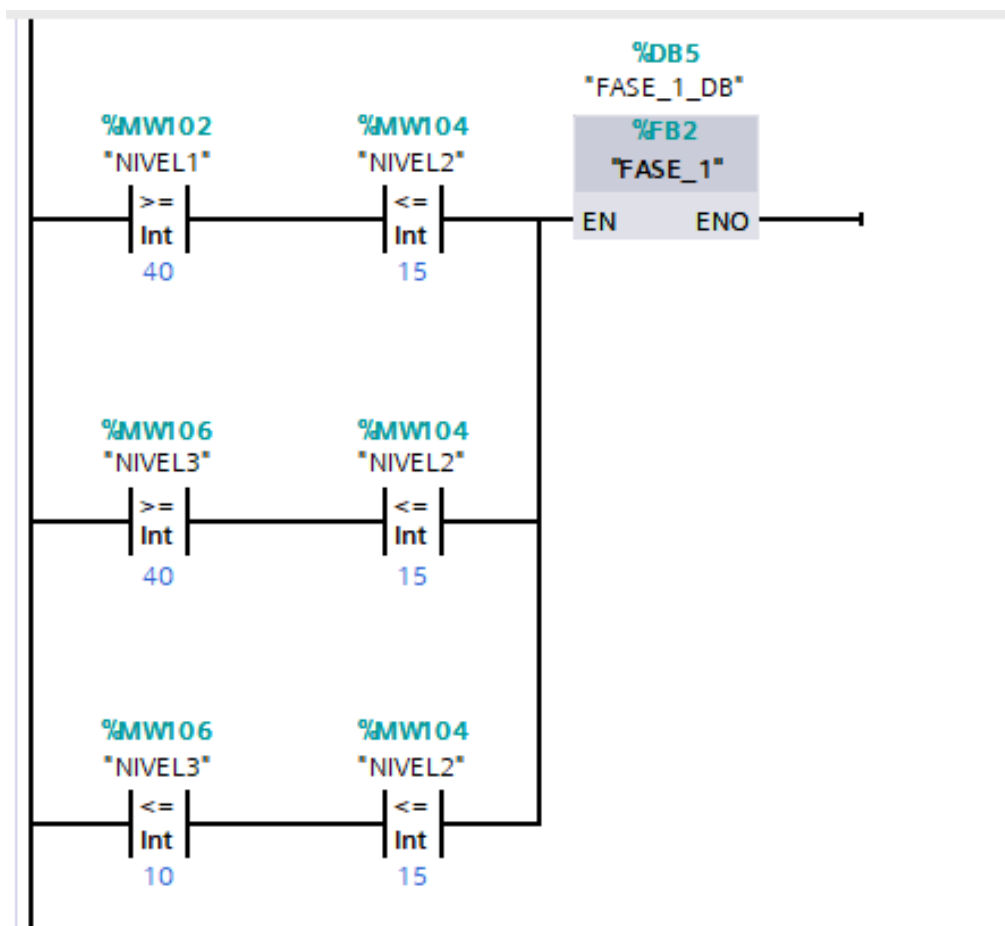
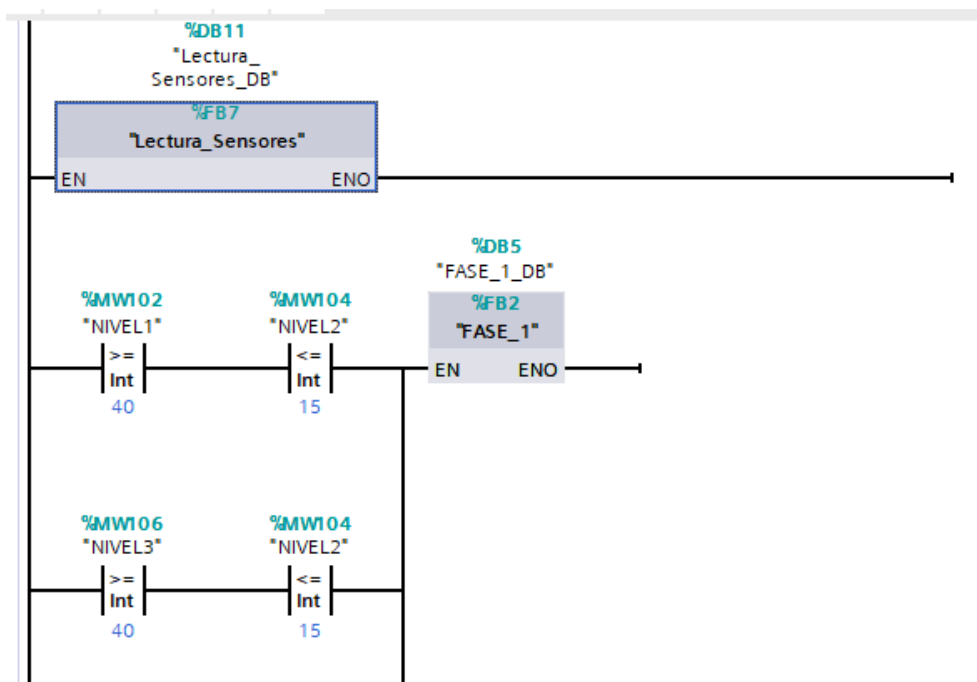
] acceso: 20 Febrero 2018].

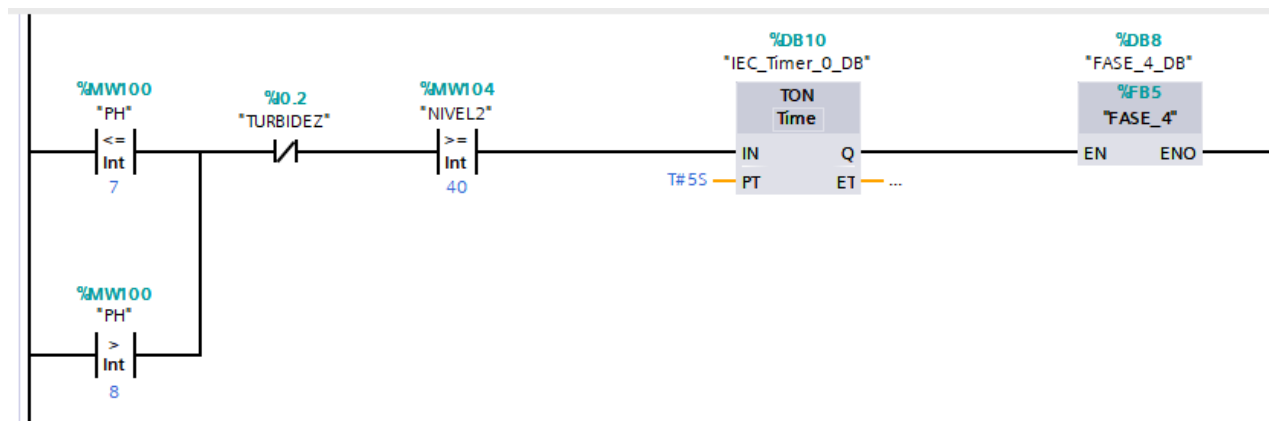
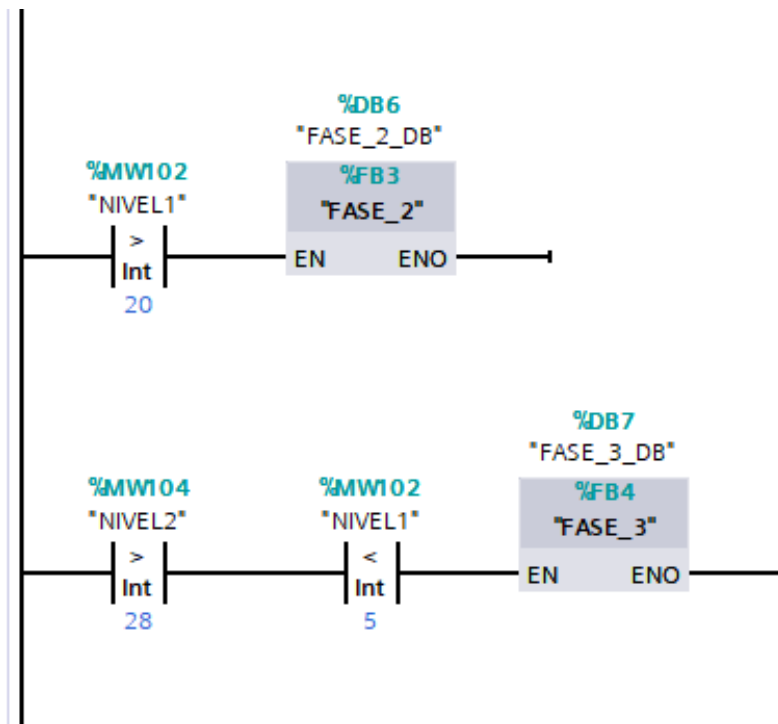
[41 Codensa, «Codensa,» Codensa, 1 Mayo 2018. [En línea]. Available:

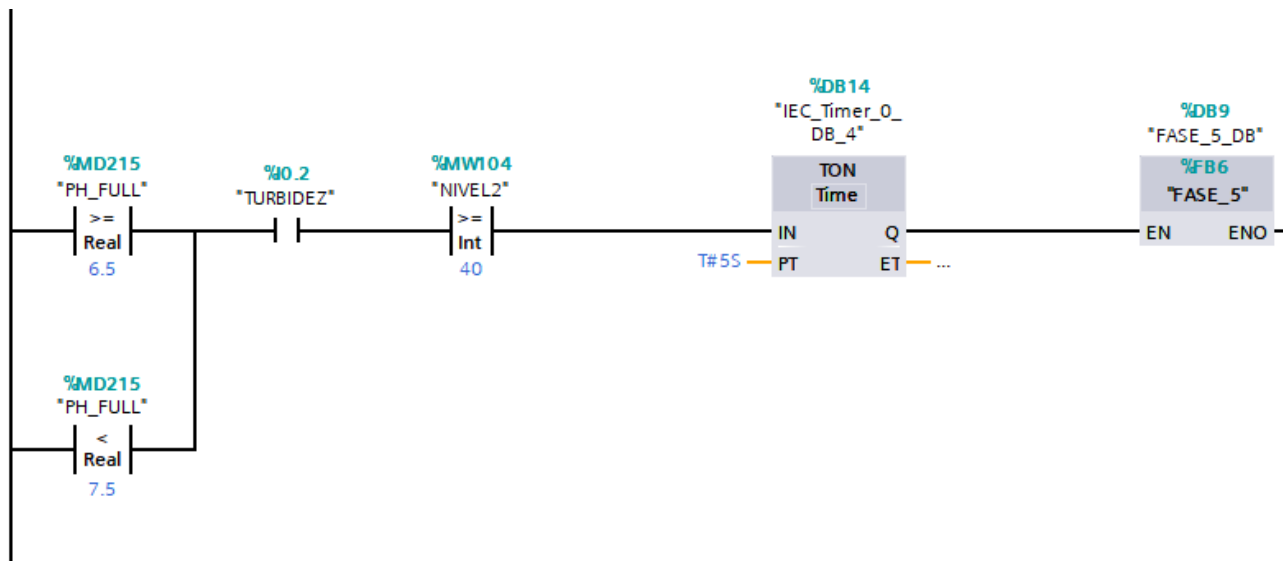
] <https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas>. [Último acceso: 2 Junio 2018].

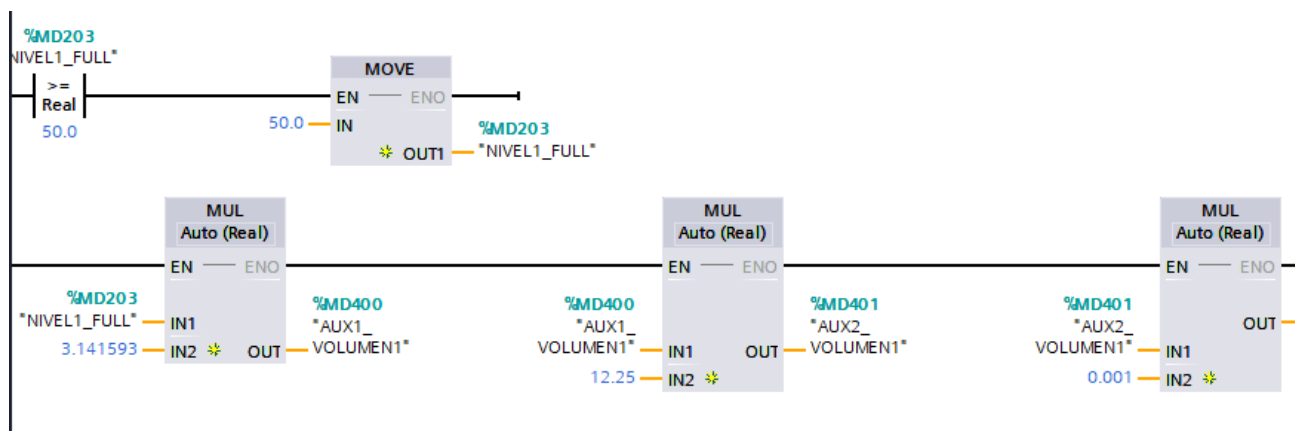
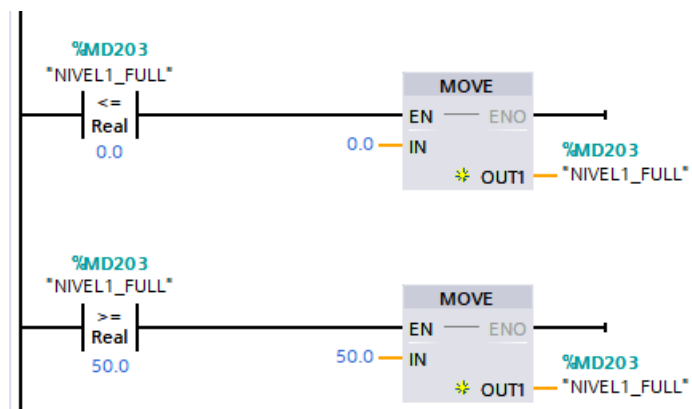
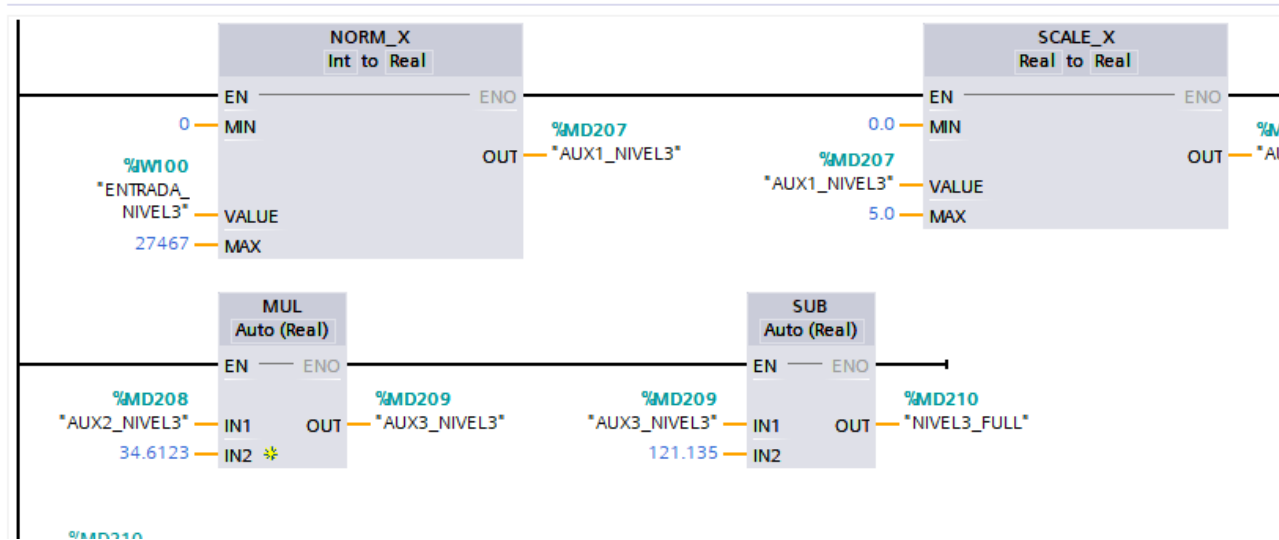
ANEXOS

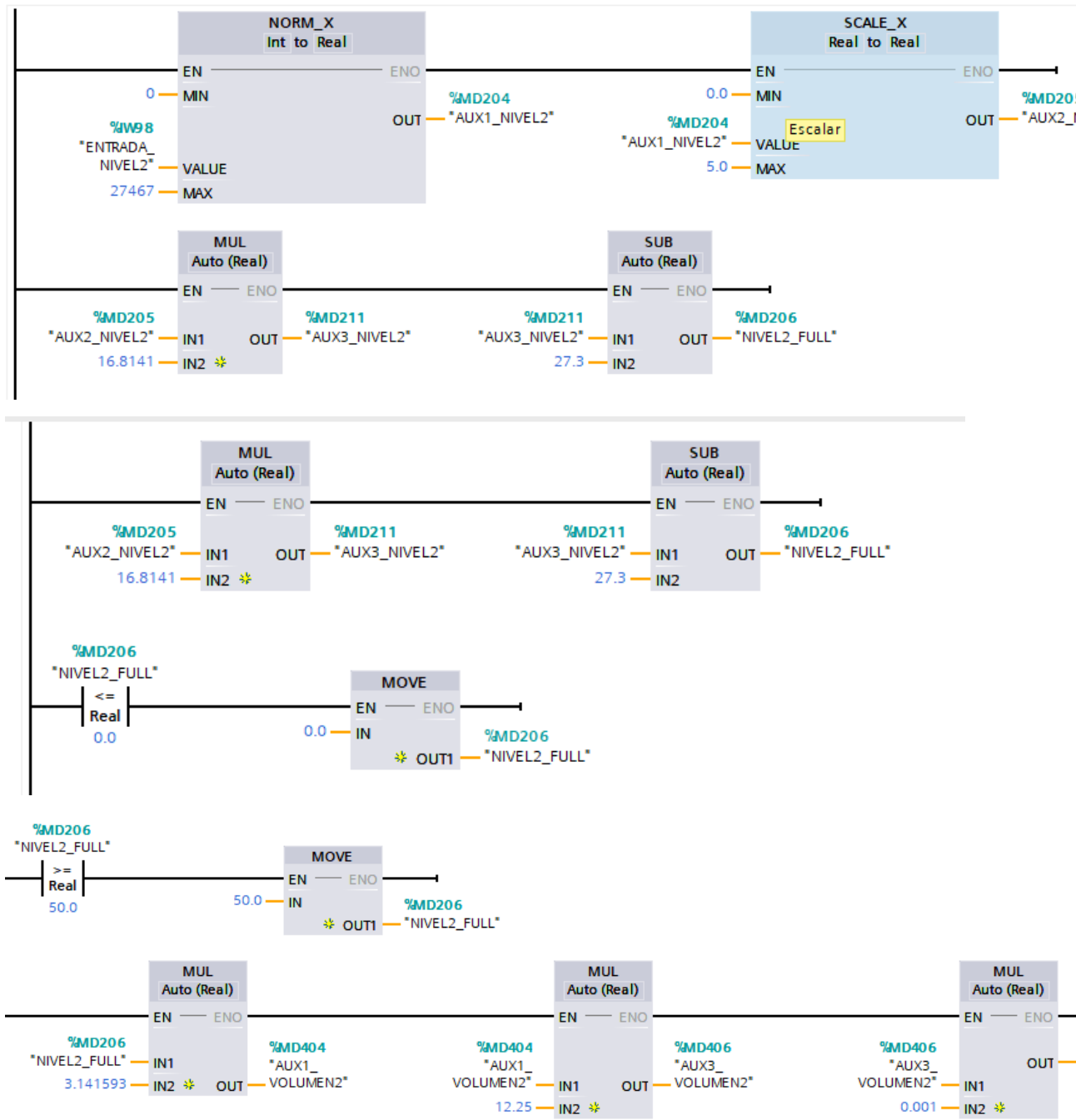


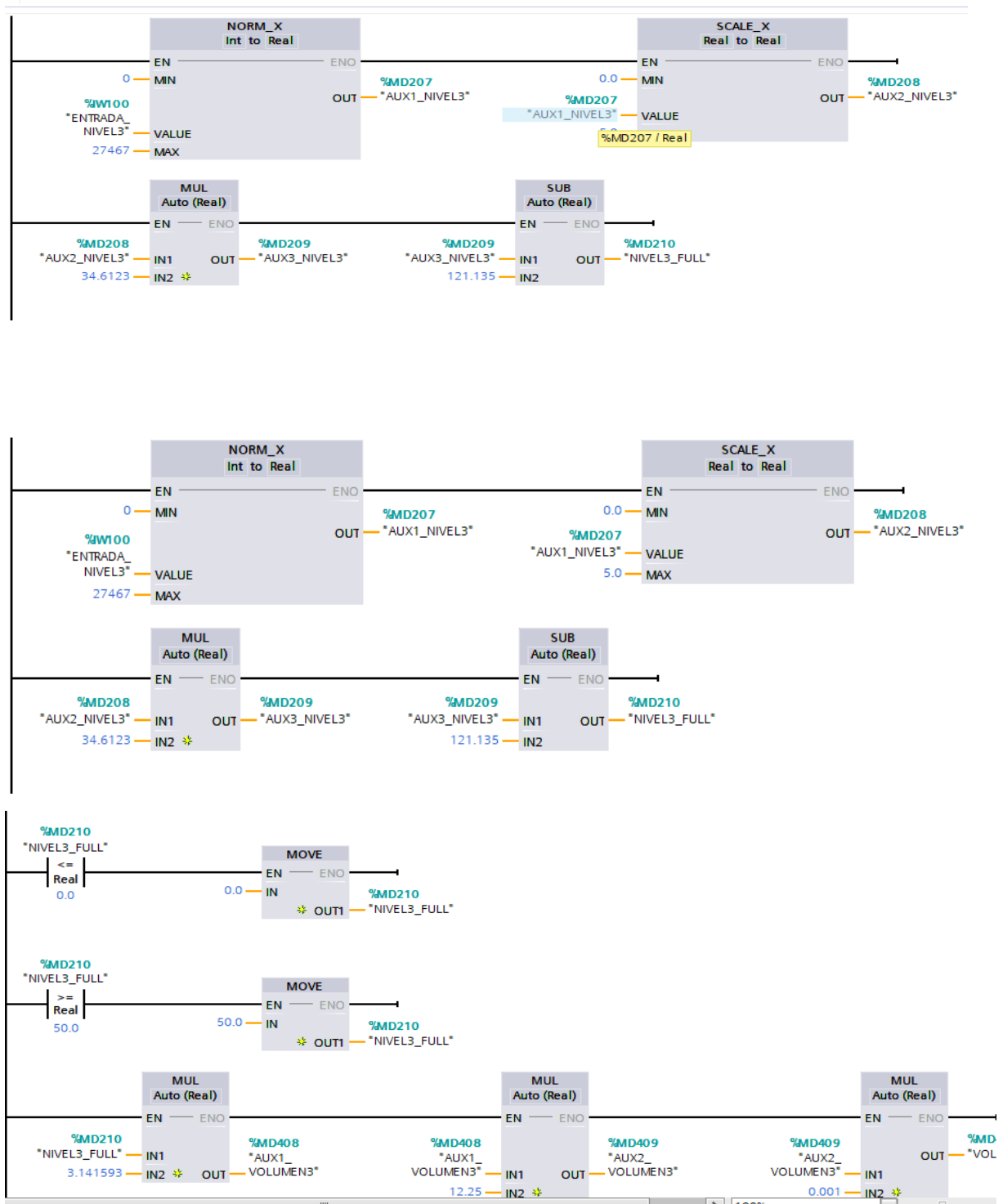


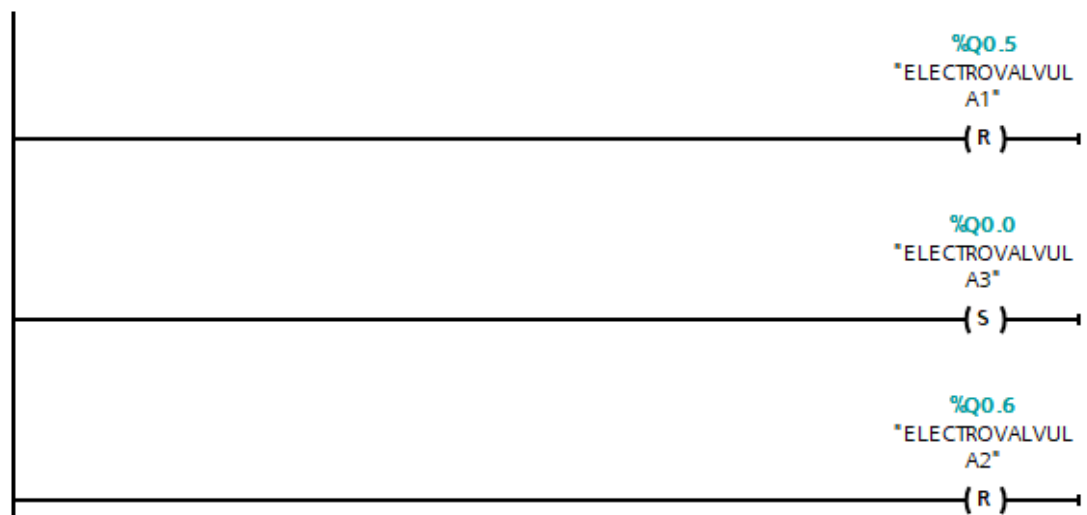
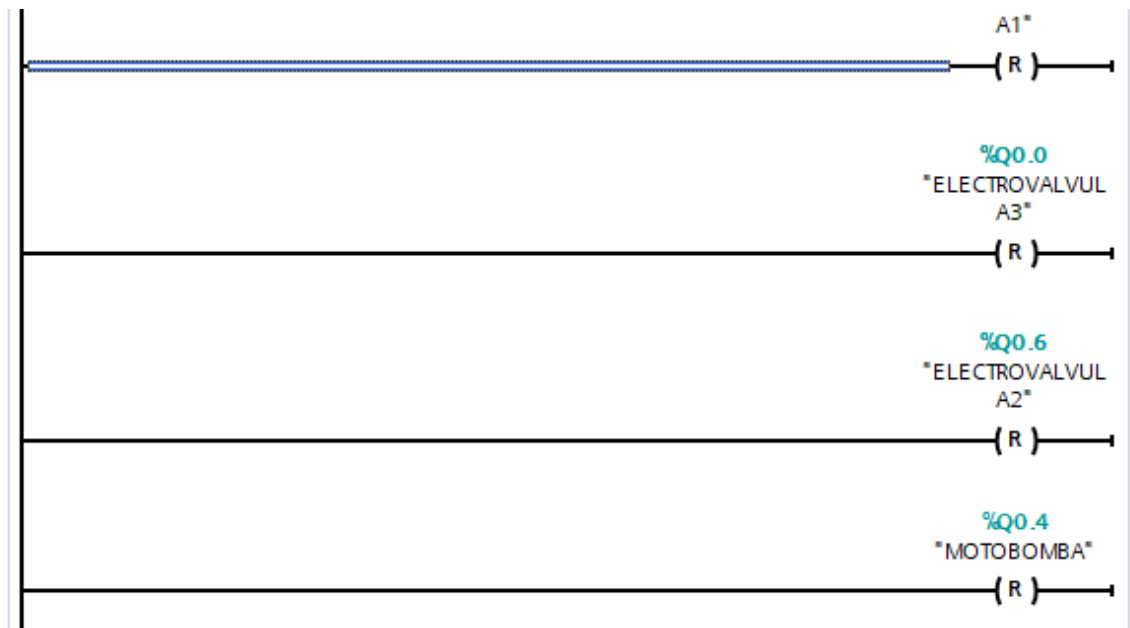
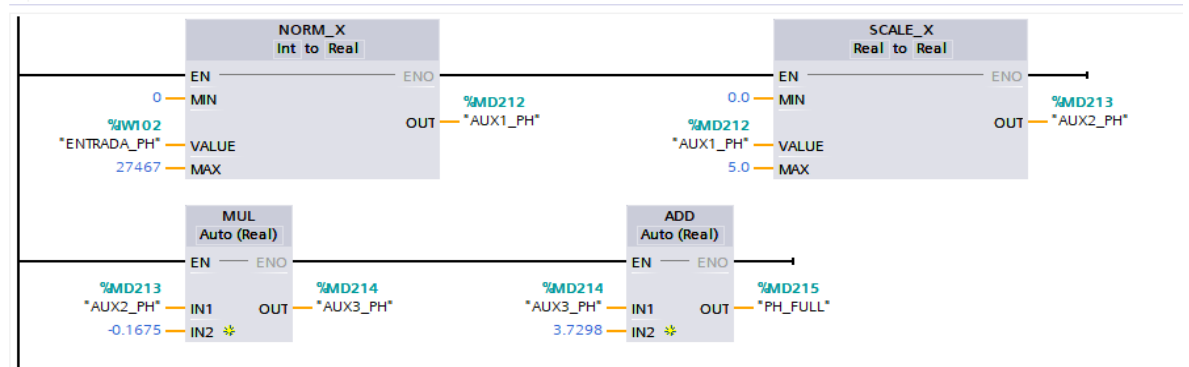


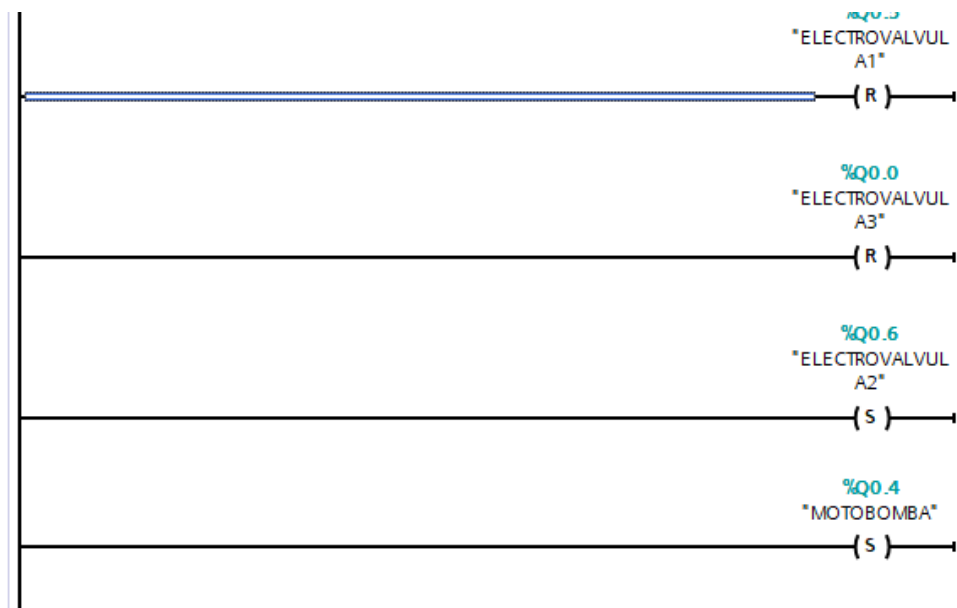
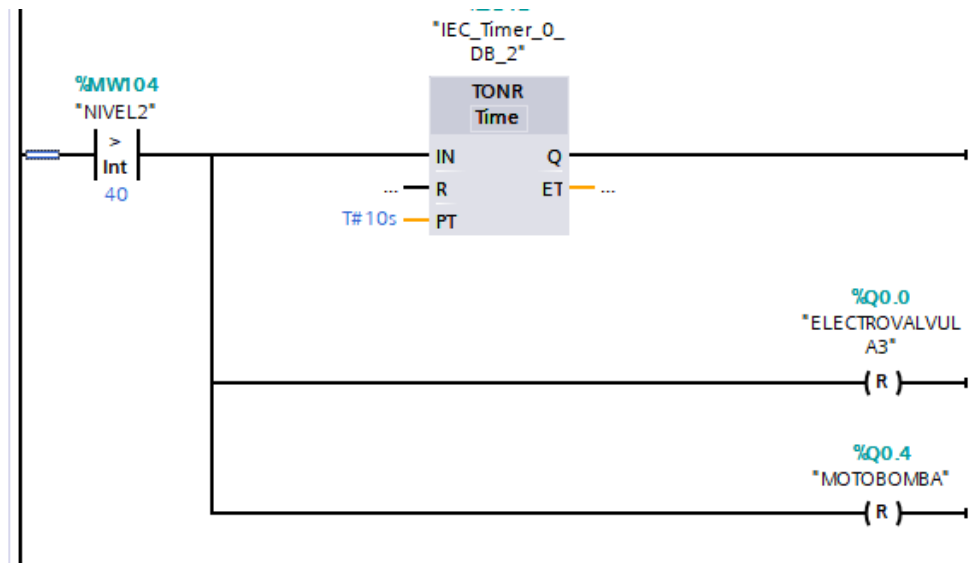


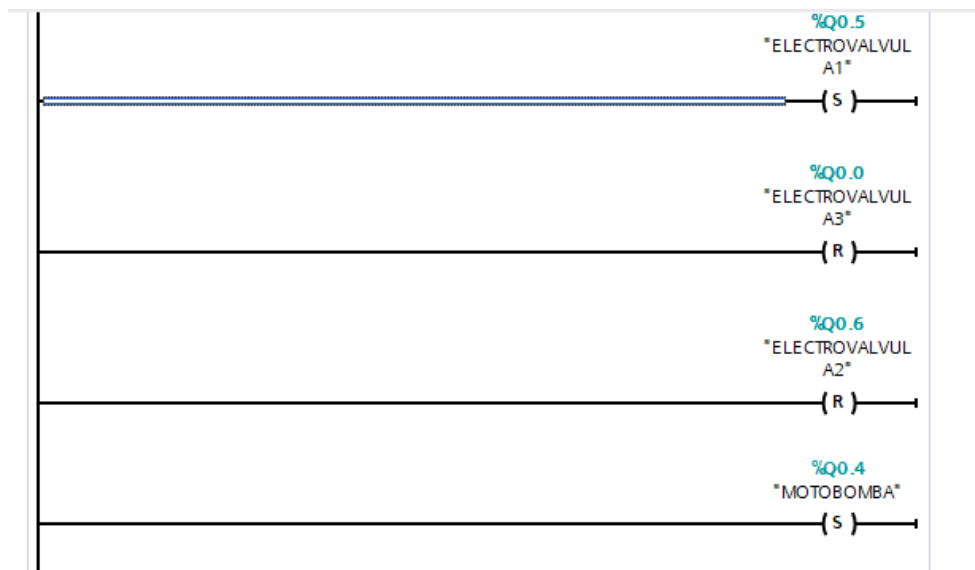












UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**Prototipo de un sistema automatico
de recolección y aprovechamiento
del agua en viviendas.**



Ir al modelo

Jean Carlo Ramirez Garcia
Jose Miguel Roza Baez

Director: Edwin Francisco Forero
Coodirector: Jhon Erick Navarrete

Variables HMI					
	Nombre ▲	Tabla de variables	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC
	ALARMA1	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1
	ALARMA2	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1
	ALARMA3	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1
	ELECTROVALVULA1	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1
	ELECTROVALVULA2	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1
	ELECTROVALVULA3	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1
	ELECTROVALVULA4	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1
	MOTOBOMBA	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1
	NIVEL1	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1
	NIVEL2	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1
	NIVEL3	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1
	PH	Tabla de variables estándar	Word	HMI_Conexión_1	PLC_1
	TURBIDEZ	Tabla de variables estándar	Bool	HMI_Conexión_1	PLC_1
	VOLUMEN1	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1
	VOLUMEN2	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1
	VOLUMEN3	Tabla de variables estándar	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1
	<Agregar>				

Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Conexión	Nombre	Valor
	PH	Tabla de variables e...	Word	%MW100	☐
	NIVEL1	Tabla de variables e...	Word	%MW102	☐
	NIVEL2	Tabla de variables e...	Word	%MW104	☐
	NIVEL3	Tabla de variables e...	Word	%MW106	☐
	TURBIDEZ	Tabla de variables e...	Bool	%I0.2	☐
	MOTOBOMBA	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.4	☐
	ELECTROVALVULA1	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.5	☐
	ELECTROVALVULA2	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.6	☐
	ELECTROVALVULA3	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.0	☐
	ELECTROVALVULA4	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.1	☐
	BOTON_DE_SALIDA	Tabla de variables e...	Bool	%I0.1	☐
	aux1	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.3	☐
	ALARMA1	Tabla de variables e...	Bool	%M40.0	☐
	ALARMA2	Tabla de variables e...	Bool	%M40.1	☐
	ALARMA3	Tabla de variables e...	Bool	%M40.2	☐
	ENTRADA_NIVEL1	Tabla de variables e...	Word	%IW96	☐
	AUX1_NIVEL1	Tabla de variables e...	Real	%MD200	☐
	AUX2_NIVEL1	Tabla de variables e...	Real	%MD202	☐
	ENTRADA_NIVEL2	Tabla de variables e...	Word	%IW98	☐
	AUX3_NIVEL1	Tabla de variables e...	Real	%MD201	☐
	NIVEL1_FULL	Tabla de variables e...	Real	%MD203	☐
	AUX1_NIVEL2	Tabla de variables e...	Real	%MD204	☐
	AUX2_NIVEL2	Tabla de variables e...	Real	%MD205	☐

	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	R
	ENTRADA_NIVEL3	Tabla de variables e..	Int	%IW100	
	AUX1_NIVEL3	Tabla de variables e..	Real	%MD207	
	AUX2_NIVEL3	Tabla de variables e..	Real	%MD208	
	AUX3_NIVEL3	Tabla de variables e..	Real	%MD209	
	NIVEL3_FULL	Tabla de variables e..	Real	%MD210	
	AUX3_NIVEL2	Tabla de variables e..	Real	%MD211	
	Tag_1	Tabla de variables e..	Real	%MD300	
	Tag_2	Tabla de variables e..	Real	%MD30	
	ENTRADA_PH	Tabla de variables e..	Int	%IW102	
	AUX1_PH	Tabla de variables e..	Real	%MD212	
	AUX2_PH	Tabla de variables e..	Real	%MD213	
	Tag_5	Tabla de variables e..	DWord	%MD2	
	AUX3_PH	Tabla de variables e..	Real	%MD214	
	PH_FULL	Tabla de variables e..	Real	%MD215	
	AUX1_VOLUMEN1	Tabla de variables e..	Real	%MD400	
	AUX2_VOLUMEN1	Tabla de variables e..	Real	%MD401	
	VOLUMEN1	Tabla de variables e..	Real	%MD402	
	AUX1_VOLUMEN2	Tabla de variables e..	Real	%MD404	
	AUX3_VOLUMEN2	Tabla de variables e..	Real	%MD406	
	VOLUMEN2	Tabla de variables e..	Real	%MD407	
	AUX1_VOLUMEN3	Tabla de variables e..	Real	%MD408	
	AUX2_VOLUMEN3	Tabla de variables e..	Real	%MD409	
	VOLUMEN3	Tabla de variables e..	Real	%MD410	

