

**SISTEMA DE ACCESO REMOTO PARA MEDICIÓN, CORTE, RECONEXIÓN Y
DETECCIÓN DE FUGAS DEL SERVICIO DOMICILIARIO DE AGUA**



**ADRIANA PATRICIA DULCE NAVIA
JAIME ALBERTO LASSO CASTILLO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
POPAYÁN
2016**

**SISTEMA DE ACCESO REMOTO PARA MEDICIÓN, CORTE, RECONEXIÓN Y
DETECCIÓN DE FUGAS DEL SERVICIO DOMICILIARIO DE AGUA**

**ADRIANA PATRICIA DULCE NAVIA
JAIME ALBERTO LASSO CASTILLO**

**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de
Ingeniero en Automática Industrial**

**Director
Ingeniero Víctor Hugo Mosquera L.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
POPAYÁN
2016**

Nota de Aceptación

Director _____

Ing. Víctor Hugo Mosquera

Jurado _____

Jurado _____

Fecha de sustentación: Popayán, _____

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO 1: CONCEPTOS GENERALES	11
1.1 ANTECEDENTES	11
1.2 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	17
1.3 MARCO CONTEXTUAL	19
1.3.1 <i>Sistema de distribución:</i>	20
1.3.1.1 Clasificación de las tuberías de acueducto según su función.....	21
1.3.1.2 Selección de las tuberías:.....	22
• Caudal y diámetro.....	22
• Presión interna y cargas externas.....	22
• Costos	23
• Presión de trabajo.....	23
• Presión de prueba.....	23
• Presión de rotura	23
1.3.2 <i>Instrumentación, planta y proceso</i>	24
1.3.2.1 Electroválvulas:.....	24
1.3.2.2 Sensores	26
1.3.2.3 Selección de bombas	31
1.3.2.4 Condiciones de operación.....	31
1.3.2.5 Curvas características de la bomba.....	32
1.3.2.6 Características del líquido	33
CAPÍTULO 2: SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS HARDWARE Y SOFTWARE	39
2.1 TECNOLOGÍAS SOFTWARE PARA PROGRAMACIÓN DE HARDWARE Y APLICACIONES	39
2.1.1 <i>Microcontroladores</i>	39
2.1.2 <i>PLC</i>	40
2.1.3 <i>PC's industriales</i>	42
2.1.4 <i>Arduino</i>	42
2.1.5 <i>Raspberry pi</i>	44
2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISPOSITIVOS DE PROGRAMACIÓN	45
2.3 DISPOSITIVOS SELECCIONADOS	47
2.3.1 <i>Arduino</i>	47
2.3.2 <i>Raspberry Pi</i>	50
2.4 SOFTWARE PARA PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES WEB	52
2.4.1 <i>Lenguaje de programación HTML</i>	52
2.4.2 <i>Lenguaje de Programación PHP</i>	52
2.4.3 <i>Lenguaje de programación JAVASCRIPT</i>	53
2.4.4 <i>Sistema MySQL</i>	53
2.5 TRANSMISIÓN REMOTA.....	53

2.5.1 Control del flujo de información	55
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA PARA MEDICIÓN, CORTE Y RECONEXIÓN DE AGUA DOMICILIARIA	57
3.1 MODELO HIDRÁULICO.....	57
3.2 DISEÑO ELÉCTRICO	60
3.2.1.1 Componentes de la tarjeta de protección	61
3.3 DISEÑO ELÉCTRICO FINAL.....	63
4.1 COMPONENTES DE COMUNICACIÓN.....	67
4.2 ARQUITECTURA DEL SOFTWARE: DESARROLLO Y APLICACIÓN.....	69
4.3 MONTAJE DEFINITIVO DEL SISTEMA.....	73
4.3.1 Procedimiento de conexión.....	74
CAPÍTULO 5: DETECCIÓN DE FUGAS, PRUEBAS Y RESULTADOS	82
5.1 DETECCIÓN DE FUGAS.....	82
5.2 PRUEBAS PARA VALIDACIÓN DE FUGAS.....	84
5.2.1 lectura de la gráfica de medición en la interfaz.....	85
5.2.2 desconexión de medidores.....	86
5.2.3 Sistema activo, medidores activos.....	87
5.2.4 medidor inicial activo, medidor final con lectura irregular.....	87
5.3 RESULTADOS.....	89
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	92
BIBLIOGRAFÍA	94

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: DIMENSIONES DE LA TUBERÍA Y SU CONSUMO MENSUAL EN M ³	22
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DE LA RED DE ACUEDUCTO PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO.	23
TABLA 3: COMPARACIÓN DE ELECTROVÁLVULAS PARA TUBERÍA DE DIÁMETRO ½ PULGADA.	25
TABLA 4: COMPARACIÓN DE SENSORES COMERCIALES PARA TUBERÍA DE DIÁMETRO ½ PULGADA [24]- [26].	28
TABLA 5: VALORES TABULADOS PARA LA GRÁFICA DE LA FIGURA 8.	29
TABLA 6: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN SENSOR.	30
TABLA 7: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.	34
TABLA 8: TIPO DE BOMBA RECOMENDADA SEGÚN EL LUGAR DE FUNCIONAMIENTO.	35
TABLA 9: COMPARACIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS COMERCIALES SUMERGIBLES.	36
TABLA 10: DATOS BÁSICOS DE UNA BOMBA SUMERGIBLE [30].	36
TABLA 11: VARIABLES IMPORTANTES PARA EL PROCESO FÍSICO Y EL DISEÑO DEL MODELO INICIAL.	38
TABLA 12: SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PROGRAMACIÓN SEGÚN EL CUMPLIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES PARA EL PROYECTO.	45
TABLA 13: MODELOS OFICIALES DE ARDUINO [41].	48
TABLA 14: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MODELOS RASPBERRY PI [39].	50
TABLA 15: CARACTERÍSTICAS DEL RELÉ PRINCIPAL Y SECUNDARIO.	61
TABLA 16: CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR.	61
TABLA 17: PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: VÁLVULA SOLENOIDE	25
FIGURA 2: ESTRUCTURA DE UNA VÁLVULA SOLENOIDE	26
FIGURA 3: DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y CURVA DE RESPUESTA SEGÚN CADA FABRICANTE DE SENSORES.	29
FIGURA 4: ESQUEMA DEL MÉTODO DE CONEXIÓN ENTRE VÁLVULA Y SENSORES.....	30
FIGURA 5: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS PARTES DE UN SENSOR.....	30
FIGURA 6 : CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA	33
FIGURA 7: DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y CURVA DE RESPUESTA SEGÚN CADA FABRICANTE DE BOMBAS SUMERGIBLES.....	37
FIGURA 8: PLACA ARDUINO UNO [43].	50
FIGURA 9: MODELO B DEL RASPBERRY PI [44].	51
FIGURA 10. DIAGRAMA DEL CIRCUITO HIDRÁULICO DEL SISTEMA.	58
FIGURA 11 . SISTEMA HIDRÁULICO PARA LA MEDICIÓN, CORTE Y RECONEXIÓN DE AGUA DOMICILIARIA.	59
FIGURA 12 : VÁLVULA MANUAL EN T	59
FIGURA 13: MOTOBOMBA CENTRÍFUGA	59
FIGURA 14 . REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ACOPLE DE LOS DISPOSITIVOS EN LA TARJETA DE PROTECCIÓN [48].	60
FIGURA 15 . DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO EN ESTE PROYECTO.	63
FIGURA 16. DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS CONEXIONES ENTRE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA.	63
FIGURA 17 : PLACA ACRÍLICA CON DISPOSITIVOS HARDWARE.....	65
FIGURA 18 : MONTAJE CIRCUITAL.	65
FIGURA 19. DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN DEL SISTEMA.....	68
FIGURA 20. CONEXIÓN DE PINES UTILIZADOS PARA EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES.	69
FIGURA 21. CONEXIONES DE PINES DEL RASPBERRY PI PARA EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES.....	69
FIGURA 22. ESTRUCTURA INTERNA DEL SOFTWARE PARA CONEXIÓN REMOTA.....	71
FIGURA 23. DIAGRAMA DE LECTURA Y LÓGICA DEL SERVIDOR DE APLICACIONES DE LA PLATAFORMA.	73
FIGURA 24. MONTAJE FINAL Y CONEXIONES PARA EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES DEL SISTEMA.....	74
FIGURA 25. CONEXIÓN DEL CABLE DE RED AL RASPBERRY PARA EL ACCESO REMOTO.	74
FIGURA 26. VISOR DE LAS APLICACIONES EN EL DISPOSITIVO MÓVIL	75
FIGURA 27. SOLICITUD DE ACCESO AL SISTEMA.	76
FIGURA 28. CONEXIÓN DEL SISTEMA Y MENSAJE DE ENCENDIDO EXITOSO.	77
FIGURA 29. DESCONEXIÓN DEL SISTEMA Y MENSAJE DE APAGADO EXITOSO.....	78
FIGURA 30: INTRODUCCIÓN DE DATOS EN EL WINSCP.	79
FIGURA 31. ARCHIVOS EN LA CARPETA CONF (ETIQUETA /HOME/PI/CONF).....	79
FIGURA 32. ARCHIVO BD.TXT (INFORMACIÓN DE LECTURA MEDIDOS POR EL SENSOR DE FLUJO) PARTE INICIAL.	80
FIGURA 33. CUADRO DE DIÁLOGO REFERENTE AL CIERRE DE LA APLICACIÓN WINSCP.	81
FIGURA 34. ESQUEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS POR MEDICIÓN DE FLUJO [50].	83
FIGURA 35. ESQUEMA DOMICILIARIO Y MEDICIÓN DE FUGAS EN EL SISTEMA [51].	84
FIGURA 36: INTERFAZ PRESENTADA CON LAS DIFERENTES LECTURAS DE LOS MEDIDORES DE FLUJO DEL SISTEMA.	85
FIGURA 37: LECTURA DE MEDICIÓN ACTIVA.	87
FIGURA 38: LECTURA DEL MEDIDOR INICIAL ACTIVA, MEDIDOR FINAL EN 0 <i>cm</i> ³	87
FIGURA 39. SITUACIÓN SIMULADA DE FUGA EN EL SISTEMA DISEÑADO.....	88
FIGURA 40. MENSAJE DE POSIBLE FUGA EN EL SISTEMA.	89
FIGURA 41. RESTABLECIMIENTO DE LAS MEDICIONES DE LOS SENSORES INICIAL Y FINAL.	89

RESUMEN

Este proyecto desarrolló un sistema de acceso remoto para medición, corte, reconexión y detección de fugas del servicio domiciliario de agua, aportando en la solución a la necesidad de operación remota de este servicio residencial, casa o edificio como de tipo industrial. Además de suministro de agua, es necesario también controlar su flujo mediante medida y manipulación de corte como de reconexión de una manera segura, rápida y remota, generando una ayuda a muchas empresas que brindan este servicio y que sus acciones frente a estas acciones giran en torno a técnicas no metódicas y mucho menos electrónicas.

Este Trabajo de Grado da respuesta a la detección de fugas y a la necesidad de operación remota capaz de poner en marcha un sistema hidráulico, donde hay lugar para una verificación permanente de las conexiones del sistema y su desempeño en tiempo real; teniendo en cuenta la generación de indicadores, estadísticas y datos permitiendo al usuario la interacción con el sistema y su respectivo manejo.

De acuerdo a lo estipulado en el Artículo 1 de la Ley 373 del 6 de Junio de 1997 y el Programa para el uso eficiente y ahorro del agua; “todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua” [1]. Esto implica dentro de sus proyectos no solo la reducción en el consumo de este recurso, sino evitar al máximo las pérdidas por fugas o situaciones similares siendo necesario para una regulación, conocer el valor real de consumo y atender estrategias que permitan el manejo eficiente del agua.

De esta manera, este documento aborda temas referentes al diseño, implementación y funcionamiento de un sistema capaz de resolver dichas necesidades utilizando tecnologías simples y prácticas como Arduino, comunicación y procesamiento de señales entre el sistema y elementos de diseño

como electroválvulas, conexión de datos por medio de USB y soportado en un software como JAVA.

El primer capítulo permite conocer los conceptos generales de los elementos utilizados en el sistema, los antecedentes sobre proyectos existentes y además, la selección de instrumentos para la construcción del modelo hidráulico necesario para simular un domicilio perteneciente a un sector residencial de la ciudad de Popayán. El segundo capítulo establece propiamente la selección de las tecnologías necesarias para implementar el diseño del sistema propuesto. El tercer capítulo establece todas las acciones necesarias para cumplir con el diseño tanto hardware como software del sistema. El cuarto capítulo muestra la implementación e integración del software y el hardware diseñado, el quinto capítulo implementa la detección de fugas, pruebas y resultados del sistema diseñado y finalmente se presentan las conclusiones y proyectos futuros derivados del mismo.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento tecnológico ha facilitado el servicio de energía, la producción de alimentos y la generación de bienes para el mejorar la calidad de vida del ser humano. Socialmente, la tecnología se encuentra presente en gran parte de los hogares y las empresas colombianas como un bien o servicio que permite el aprovechamiento de todo el potencial de los medios de comunicación hasta el punto de fomentar nuevas ideas para el desarrollo en sí mismo. Hasta ahora, lo más importante en el fortalecimiento de los procesos tecnológicos, es el aseguramiento de la sostenibilidad, economía y eficiencia de los bienes y servicios, como por ejemplo, en la prestación de servicios públicos domiciliarios; una tecnología que resulta de los esfuerzos académicos que facilitan acciones para la medición, el corte y la reconexión del agua domiciliaria de manera segura, rápida y de acceso remoto para el control del suministro de agua domiciliaria. El aprovechamiento de esta tecnología bajo principios del desarrollo sostenible permite controlar el agua que se desperdicia por daños hidráulicos y dar acceso a lecturas de aprovechamiento y consumo con mayor seguridad y precisión dentro de los procesos [2], [3].

Ahora bien, siendo claro que muchos sectores urbanos y rurales alrededor del mundo no cuentan con servicios domiciliarios, de acueducto y alcantarillado principalmente, otros buscan obtener al máximo sus beneficios para la atención a problemas de carácter estructural que requieren de inmediata respuesta, y dar un uso responsable del agua potable para la distribución justa y equitativa de los recursos.

El procedimiento de cierre de válvulas por daños hidráulicos de manera manual lo hace un operario designado para las actividades de medición, corte y reconexión del servicio, además, las revisiones técnicas son programadas fuera del tiempo, mucho después del daño, motivo por el cual su precisión depende de procesos

manuales que pueden conllevar a otros daños en la estructura interna o externa, generando gastos innecesarios por tiempo, equipos, instrumentos y mano de obra.

En esa búsqueda, el mejoramiento continuo aparece en la optimización de los procesos de distribución mediante el diseño de un sistema que permita realizar el corte, la medición y la reconexión a partir de la detección de fugas en el servicio domiciliario de agua. Este sistema se conecta de forma remota por una aplicación que permita realizar las acciones a distancia, utilizando medios de comunicación como el internet y aplicaciones como Raspberry Pi, Java, entre otras.

CAPÍTULO 1: CONCEPTOS GENERALES

1.1 Antecedentes

La tecnología manejada actualmente por las grandes organizaciones y además por el servicio domiciliario de agua común, permite apreciar aún el uso manual para actividades tan precisas como la medición, el corte y la reconexión de dicho servicio, además la detección de fugas por el suministro del mismo requiere una gran inversión en tiempo y dinero.

Dentro de la historia colombiana, los servicios de aprovisionamiento de agua se remontan a las últimas décadas del siglo XIX, en el cual grandes ciudades como Bogotá, Barranquilla y Medellín se ven favorecidas por dichos servicios, siendo los canales rudimentarios la conducción de este bien tanpreciado. Rápidamente el crecimiento industrial, poblacional y económico en las regiones aumentó considerablemente su demanda, y la inyección de capital para su mejoramiento, sobre todo en procesos agrícolas. Estos cambios generaron la construcción de acueductos, los cuales aparecen cerca del año 184 d.C. y permiten la conducción del agua por medio de tuberías más tecnificadas y estructuradas. Cerca del año 1.900 se establecieron los acueductos para servicio domiciliario específico y las tarifas cobradas se realizaban por el consejo comunitario sin tener en cuenta el consumo por domicilio o por región, ni la calidad del servicio proporcionado, solamente se establecía una tarifa estándar capaz de solventar los gastos mínimos de funcionamiento del acueducto [2].

En las primeras décadas del siglo XX se establecieron regulaciones y normativas en pro de la conservación del recurso, realizando la medición estimada del consumo por comunidad y por vivienda. Esto permitió recuperar la inversión del servicio, pues las tarifas anteriores no compensaban ni el 10% de lo invertido para su suministro. Es así como esta medición surge a través de operarios con

herramientas muy rudimentarias, y de igual manera se realizaba el corte y la reconexión del servicio, sin tener gran evolución en ésta técnica excepto por los medidores, aunque tampoco es muy representativo su cambio. La técnica utilizada para este concepto es de manera visual (medición), y el corte y la reconexión se realizan con el cierre de una válvula manual de acceso al operario sin ingresar a la residencia o lugar respectivo [2].

La medición y monitoreo de variables como el PH y el oxígeno disuelto, son utilizadas en sistemas de agua potable como plantas de tratamiento, las cuales son concentradas en un computador para posteriormente ser remitidas por internet u otro medio, para su posterior procesamiento y archivo. Este sistema es utilizado en plantas de tratamiento como el HIDROCENTRO - Tecnología de Agua Potable, en Medellín Colombia [4].

De la consulta académica se sabe sobre la lectura de variables de forma remota, por medio de sistemas telefónicos, como es el caso de la Lectura Remota de las Variables de un Invernadero usando Telemetría de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA (UNI), el cual permite transmitir información de una máquina o proceso ubicado en un lugar remoto hacia una central de monitoreo. En este caso específico se ha aplicado a la transmisión remota de las variables de un invernadero (temperatura, luminosidad, etc.) ubicado en Lurín, hacia la central de monitoreo ubicada en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA en el distrito del Rímac (aproximadamente 40 Km entre puntos). La transmisión de información se realizó por medio de llamadas de datos, y un sistema basado en un microcontrolador PIC16F877A conectado a un celular Kyocera 2135, y con un servidor con un módem analógico instalado y una línea telefónica convencional, mediante el software que se implementó para recibir los datos. Este software funciona bajo Windows 2000 o superior [5]. Sin embargo, este sistema no es muy funcional en estos tiempos, pero permite apreciar la evolución en cuanto a medición y monitoreo de variables.

Los avances tecnológicos muestran el desarrollo de prototipos y dispositivos industriales de acceso remoto para servicios de energía eléctrica, con sistemas basados en un sistema central de gestión que permite administrar la información de los usuarios de energía eléctrica mediante la lectura remota del consumo sobre el servicio conocido como AMR (*Automated Meter Reading*), permitiendo toma de decisiones administrativas o técnicas. Esto involucra los sistemas AMI (*Advanced Metering Infrastructure*), que integran los componentes de la empresa Mr.DiMS en Argentina, de forma inteligente de la siguiente manera. En el primer eslabón de la cadena de información se encuentran los terminales de usuario DiMET (medidores inteligentes monofásicos o trifásicos), que efectúan mediciones en forma sucesiva de tensión, corriente y frecuencia, las promedia y las guarda en intervalos de tiempo de 15 minutos, junto con los valores de energía activa y reactiva. Posteriormente, realizan un barrido secuencial de los terminales para leer y actualizar la información de consumo y servicio de cada usuario. La frecuencia de dicha interrogación es configurable (típico cada 2 horas). Ésta información es luego enviada al Sistema Mr.DiMS por medio de una conexión Ethernet o vía GSM/GPRS [6].

En entornos urbanos, la comunicación entre los terminales y un concentrador, se realiza a través de tecnología PLC (*Power Line Communication*) que emplea los mismos cables de la red como medio de transporte la información recogida por el terminal de usuario. Ésta información se almacena en los concentradores hasta que es enviada al Sistema Central de Gestión Mr.DiMS. Para los entornos rurales, donde existen grandes distancias entre un usuario y otro (pueden ser varios kilómetros) [6].

Actualmente se cuenta con diversos estudios enfocados en la medición de flujo de agua en la tubería usando imágenes en tiempo real que permiten el análisis de variables como la presión en el ducto por medio de diferentes dispositivos e

instrumentos como sensores y transductores. Ésta medición se realiza principalmente para gasoductos y obras hidráulicas donde es difícil instalar ciertos dispositivos para tal fin, aunque esto representa costos elevados de acuerdo a la estructura donde sea implementado [7]. Otros estudios muestran la medición de un flujo de aceite-agua utilizando imágenes de resonancia magnética [8].

Se encuentra también una investigación cuyo objetivo es evaluar la posibilidad de estimar en tiempo real los flujos de circulación de agua en el distrito de Áreas Meter (DMA) sobre la base de mediciones de la presión, en horarios específicos y lograr una reacción rápida ante situaciones específicas así como controlar la posibilidad de propagación de una determinada contaminación sobre la estructura hidráulica [9]. O la calibración de los sistemas de distribución de agua de acuerdo a su demanda [10].

Otros estudios basados en la implementación de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo de la Temperatura utilizando el sensor LM35, realizados por la universidad tecnológica de Pereira, Colombia permiten apreciar metodologías estructurales para la utilización de herramientas de medición, adquisición de datos y manejo gráfico de variables específicas [11], la cual sirven de pasa para el monitoreo de variables como el flujo o presión en ductos.

Además del monitoreo de los sistemas hidráulicos, es importante destacar la reducción de pérdidas generadas por el flujo circulante, destacado en un estudio realizado por la Pontificia Universidad Católica de Chile y El Ministerio De Planificación y Cooperación que plantean que el agua potable llega a los usuarios finales por medio de sistemas de distribución, éstas instalaciones se agrupan en las etapas de producción y distribución, y en ellas se producen diferencias entre el volumen de agua que ingresa y el que sale, las que se denominan pérdidas y son clasificadas en diferentes tipos. De esta manera se aplican metodologías para

reducir en gran medida éstas pérdidas y minimizar el impacto sobre los sistemas de distribución [12].

De igual forma, se ha implementado un modelo de regresión híbrido de agua urbana casi en tiempo real, para la previsión de la demanda de este recurso, validando los datos de demanda en una empresa de agua en Franca, Brasil. Estos datos pueden ser directamente utilizados en los procesos de toma de decisiones de gestión del agua [13]. Los trabajos anteriormente mencionados muestran el interés en el desarrollo de tecnología alrededor del suministro de agua, y la importancia que toma las TIC en el desarrollo de proyectos en este campo.

En torno a la medición por acceso remoto, se han realizado distintos estudios con tecnologías innovadoras que permiten obtener la medición de flujo de agua, como por ejemplo, el medidor electrónico de consumo de agua con Interfaz inalámbrica, proyecto realizado por la Escuela Politécnica nacional de Quito Ecuador, consiste en el desarrollo de un sistema propio de medición de consumo de agua con una interfaz inalámbrica de tal manera que los datos puedan ser vistos en una página Web. Para ello se utilizó un sensor comercial con salida digital de precio moderado. La adquisición de datos del sensor se realizó a través de un microcontrolador PIC16F877A y Para la transmisión inalámbrica de datos del sistema se utilizó la red celular GSM [14].

Con el objetivo de transmitir, recibir información y comandos de control, se empleó como elementos inalámbricos dos celulares Sony Ericsson T290a, los mismos que son manipulados a través de comandos AT (*attention command*). El protocolo de comunicación empleado entre el celular y el sistema desarrollado es RS232.

Uno de los celulares Sony Ericsson está montado cerca del sensor de flujo que está instalado en la residencia del cliente, con el propósito de transmitir los datos a un servidor local. El otro celular está conectado permanentemente a un

computador, que funciona como un servidor local. El software implementado en el servidor local permite adquirir los datos de consumo, para luego ser procesados. El procesamiento de datos consiste en almacenar la información adquirida, en una base de datos relacional desarrollada en MySQL, una vez almacenados los datos, el administrador del sistema se encarga de enviar la información procesada hacia el Internet [14].

Otra de las tecnologías utilizadas se presenta con una lectura automática de medidores de consumo de agua con tecnología Bluetooth, realizado por el grupo de automática y robótica de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, que permite la transferencia de información desde un punto específico a un sistema de tratamiento de la información a corta distancia entre dispositivos de baja potencia. Para esto es necesario la utilización de equipos celulares o similares que puedan proveer este servicio, para la transmisión de datos y un medidor digital industrial para la medición del flujo de agua a trabajar [15].

Con respecto a los sistemas de medición, se puede observar que las propuestas realizadas involucran dispositivos tipo teléfonos celulares para lograr la comunicación entre el usuario residencial y el prestador del servicio, propuestas que implican un alto costo debido al manejo de estos dispositivos de comunicación; nuestra propuesta busca establecer la comunicación por medio de tecnología Arduino y Raspberry que hará el sistema más eficiente por la facilidad de manejo de varias entrada y salidas con una misma tarjeta y por tal razón más barato.

En la Universidad de Pamplona en Colombia, se desarrolló un proyecto titulado “Automatización de un Sistema de Suministro de Agua Potable a Través de la Tecnología Zigbee”, este permite el análisis y utilización de la tecnologías actuales en las que se destacan principalmente las que pertenecen al protocolo IEEE 802.15, las cuales son redes inalámbricas de área personal o Wireless Personal

Área Networks (WPAN), que incluyen a Bluetooth y ZigBee como sistemas que pueden ser usados en aplicaciones de seguridad y control de procesos. El protocolo ZigBee es un estándar de las comunicaciones inalámbricas diseñado por la empresa ZigBee Alliance. Es un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. El ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de las redes inalámbricas WPAN, que tiene como objetivo ser implementada en aquellas aplicaciones donde se requieren comunicaciones seguras, confiables, de bajo consumo y coste [16].

La telemetría también se encuentra inmersa en este medio, dando lugar a un trabajo desarrollado en la Universidad Industrial de Santander, que consiste en un medidor de consumo de agua, con el cual se hace la telemetría con Raspberry pi y gestionado por Web. Este proyecto es otro avance para ésta tecnología, que toma la lectura mediante un sensor electromagnético y envía esta información en forma de pulsos directamente al Raspberry Pi que almacena y proporciona su visualización por medio de una página web, implementado en el lenguaje de programación Python. Este no define una metodología de selección clara y tampoco realiza la digitalización de los datos obtenidos en la medición [17]. En este proyecto es necesario un medidor para la toma de la medición, en nuestro proyecto no se requiere de medidores tradicionales, ya que la propuesta busca realizar la medición corte y reconexión mediante sensores de flujo.

1.2 Planteamiento de la solución

En este proyecto se diseñará e implementará un sistema de medición, corte, reconexión y detección de fugas para el servicio domiciliario de agua. En los sistemas analizados anteriormente, no existe la implementación de un modelo que además de tener acceso remoto a los dispositivos de medición, transmitir los datos y visualizarlos de acuerdo a su necesidad, permita ejecutar las acciones de corte y reconexión de los dispositivos actuadores en el modelo diseñado.

Por otra parte, la detección de fugas es un componente adicional que permite al sistema detectar en pantalla la posibilidad de daño en un tramo determinado de la tubería o en los dispositivos actuadores que permiten el flujo del líquido en el circuito hidráulico.

Actualmente no existe en Colombia la implementación de un sistema que otorgue estas características al sistema de suministro domiciliario de agua y tan importante como el anterior análisis a un costo asequible para cualquier empresa de aguas que desee su implementación. Este sistema busca instalar en el circuito hidráulico de un domicilio modelo, medidores de flujo que permitan transmitir de manera electrónica, la cantidad de agua que ingresa al domicilio, procesar estos datos, almacenarlos y visualizarlos de acuerdo a los requerimientos de un cliente específico. Además permite ejecutar las funciones de corte y reconexión sobre éste, desde cualquier lugar usando una red LAN o internet.

En un punto específico y estratégico existe otro punto de medición de flujo que contrasta los valores ingresantes y salientes de caudal en el domicilio y permita verificar si existe una posibilidad de daño o fuga en la tubería y visualizado en una interfaz que permite al usuario verificarlo en un tiempo relativamente corto (1 minuto).

Las ventajas que provee el diseño de este sistema, se detallan a continuación:

- Transmisión de datos de lectura en tiempo oportuno.
- Sistema confiable, seguro y rápido.
- Costos de transmisión, instalación y mantenimiento bajos.
- Almacenamiento de datos en una base de datos de forma digital.
- El sistema implementado trabaja de forma modular, facilitando la ejecución de funciones internamente y permitiendo la solución de problemas de manera dinámica y práctica.

- Factible y sencillo de implementar.
- Interfaz gráfica simple que permite al usuario su interacción con la información.
- Fácil interpretación de los datos suministrados por el sistema.
- Programación propia del sistema que permite su modificación de ser necesario.
- Acceso a la interfaz de usuario desde cualquier punto que provea una red de internet.
- Reducción en tiempo y costos por concepto de medición.
- Reducción del margen de error en la medición ya que el sistema efectúa las acciones antes realizadas por el operario.
- Actualización de la información constantemente.²
- Actuar de forma oportuna ante daños en el sistema hidráulico.
- Permitir al cliente tener acceso a la información de su consumo.
- Incentivar al cliente o usuario al ahorro de agua.
- Solucionar inconsistencias en la facturación por concepto de consumo, o acciones de corte y reconexión del servicio.

1.3 Marco contextual

El sistema de medición, corte y reconexión del servicio domiciliario de agua está basado en un modelamiento del servicio prestado por el acueducto de la ciudad de Popayán, departamento del Cauca, Colombia y desarrollado en un modelo a escala que simulará el flujo ingresante a un domicilio específico.

El tratamiento de agua es el conjunto de operaciones de tipo físico, químico o biológico que tiene como objeto la eliminación o reducción de agentes contaminantes o las características no deseables del agua, bien sea natural, de abastecimiento, de proceso o residual (para el caso de las urbanas, aguas negras).

La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal, éstos se organizan con frecuencia en tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración de aguas residuales, aunque ambos comparten muchas operaciones.

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. cuenta con las siguientes plantas de tratamiento:

- **Planta de Tulcán:** aporta el 10 % del total del sistema de agua tratada para Popayán y trabaja para su parte zona baja.
- **Planta de El Tablazo:** aporta el 90% del total del sistema de agua tratada. Trabaja por gravedad para la zona baja y la zona norte de la ciudad mediante los sistemas de bombeo y rebombeo.
- **Planta de Palacé:** Con un tanque de almacenamiento de 2500 metros cúbicos surte al norte de la ciudad [18].

Para el modelamiento del sistema trabajado en este documento, ha sido empleado el Manual para Construcciones de Redes de Acueducto y Alcantarillado en el Municipio de Popayán [19], donde se proveen los datos técnicos necesarios para la instrumentación y el esquema estructural en los domicilios existentes de la ciudad de Popayán. Estos datos son el punto de partida para realizar un circuito que permita la simulación de la red de acueducto mencionada.

1.3.1 Sistema de distribución: Dependiendo del tamaño de la población, el sistema de distribución está compuesto por tuberías de distintos diámetros, cuyo

objeto principal es hacer llegar el agua a los usuarios en sus propias viviendas sin que pierda sus condiciones de potabilidad, caudal suficiente y presión adecuada.

1.3.1.1 Clasificación de las tuberías de acueducto según su función

Según el tamaño de la población y de acuerdo con su función, las tuberías se clasifican en: matrices de alimentación, primarias de distribución, secundarias de distribución y conexiones domiciliarias o acometidas.

- **Tuberías matrices de alimentación:** Son los conductos de mayor diámetro en la red. Para población de más de 100.000 habitantes sus diámetros son mayores de 12 pulgadas.
- **Tuberías primarias de distribución:** Distribuyen agua en ruta. Son tuberías alimentadoras entre 6 y 12 pulgadas conectadas a las tuberías matrices.
- **Tuberías secundarias de distribución:** son tuberías de diámetros menores a 6 pulgadas. Van instaladas por un solo costado en las calles y carreras, cubriendo los frentes de las viviendas. Los diámetros más usuales son 2, 2.5, 3 y 4 pulgadas.
- **Conexiones domiciliarias o acometidas:** Son las tuberías que conectan la red de distribución con la instalación interna de las viviendas de los usuarios. Generalmente son de media pulgada y están equipadas con un aparato de medida de consumo para cada vivienda.

De acuerdo con el diámetro de las tuberías para obras en construcción, los consumos mensuales estimados por vivienda o unidad habitacional se detallan en la tabla 1.

Este proyecto modela un domicilio convencional con tubería de ½ pulgada, a la cual corresponde un consumo aproximado de 16 m^3/mes equivalentes a 5.78 cm^3/s o 20.8 $L/hora$.

Tabla 1: Dimensiones de la tubería y su consumo mensual en m^3 .

Diámetro (pulgadas)	Consumo mensual en m^3
½"	16
¾"	33
1"	63
1 ½"	143
2"	253
3"	583

1.3.1.2 Selección de las tuberías:

La selección de las tuberías para una red de distribución es de gran importancia ya que éstas son el medio de transporte del agua y en su conjunto cuestan más del 60% del valor total del sistema. Por tanto, para su selección es necesario tener en cuenta una serie de parámetros:

- **Caudal y diámetro:** Las tuberías deben permitir el transporte de los caudales establecidos en los proyectos, en unas condiciones de velocidad normal y pérdida de carga, dentro de los límites establecidos por las normas de diseño. Esto se relaciona con los diámetros comerciales con los que se fabrican las tuberías y la rugosidad de sus paredes internas.
- **Presión interna y cargas externas:** Las tuberías también deben estar diseñadas para conducir el agua a una determinada presión interna, la cual debe ser resistida por ellas con un grado de seguridad establecido para cada caso. Allí deben ser considerados además, los esfuerzos ocasionados

por la acción de cargas externas y las sobrepresiones originadas por fenómenos transitorios hidráulicos como el golpe de ariete. Las cargas externas son el peso del material de relleno encima de las tuberías más el de los vehículos que transitan sobre la superficie del relleno.

- **Costos:** Los costos representan un factor decisivo en la selección de tuberías.
- **Presión de trabajo:** Es la presión de diseño; es decir, la presión máxima que calcularon los ingenieros cuando diseñaron el acueducto en una zona específica de éste: conducción, distribución, impulsión.
- **Presión de prueba:** Está determinada por el fabricante y generalmente es el doble de la presión de servicio del acueducto, o sea de la presión de trabajo.
- **Presión de rotura:** Es la presión máxima en la cual se rompe el tubo.

La selección de la tubería necesaria para modelar el sistema propuesto se describe en la tabla 2 que relaciona las características y funciones a tener en cuenta en la instalación de una red de acueducto y la relevancia para este proyecto.

Tabla 2: Características y funciones de la red de acueducto para el diseño hidráulico.

Característica	Relevancia
Material	Si
Longitud de cada tubo	No
Diámetros (\varnothing)	Si
Relación entre el diámetro exterior y el espesor (RDE)	No
Presión de trabajo	Si
Caudal a transportar	Si
Resistencia a la presión interna	Si
Resistencia a las cargas externas	No
Facilidad de mantenimiento	No
Resistencia a la corrosión y a la oxidación	No
Resistencia a las incrustaciones	No

Resistencia a las corrientes eléctricas erráticas	No
Vida útil y costos	Si
Estanqueidad	No

La relación diámetro / espesor, se obtiene dividiendo el diámetro externo del tubo por el espesor de éste y se denomina RDE. A menor valor de RDE mayor espesor del tubo y por ende mayor resistencia [20]. La tubería seleccionada para el modelo del sistema de suministro de agua, de acuerdo a las características anteriores, es la tubería de PVC de ½ pulgada utilizada para conexiones domiciliarias.

1.3.2 Instrumentación, planta y proceso

A continuación se presentan los conceptos básicos tanto de funcionamiento de los instrumentos de campo o medidores a utilizar en el diseño del sistema, como los principios para su selección. La estructura necesaria para la medición consta de un instrumento de apertura o cierre del flujo circulante, un sensor para la toma de los datos, y un instrumento que permita circular el flujo de agua de manera continua, simulando un sistema domiciliario modelo.

1.3.2.1 Electroválvulas: Las electroválvulas convierten la energía eléctrica en energía mecánica para abrir o cerrar la válvula. En algunas electroválvulas el solenoide funciona directamente sobre la válvula obteniendo energía para su movimiento. De otro lado, existen las electroválvulas de tipo directo en reposo o normalmente abiertas lo cual quiere decir que al fallar el suministro de energía eléctrica quedan cerradas. En el primer caso, la válvula se mantiene cerrada por la acción de un muelle y el solenoide la abre venciendo la fuerza del muelle. De aquí que el solenoide debe estar activado y consumiendo energía mientras la válvula está abierta. Las normalmente abiertas, siendo contrario, se utilizan con mayor frecuencia en lavadoras, lavaplatos, riegos y otros usos similares.

Para efectuar una selección apropiada, se realiza una comparación entre algunas válvulas comerciales que cumplen con las características requeridas, estas se detallan en la tabla 3 a continuación:

Tabla 3: Comparación de electroválvulas para tubería de diámetro ½ pulgada.

No.	Válvula	Material	Presión (Mpa)	Voltaje/potencia	Costo
1	Solenoides	Plástico ABS	0.02-0.8	12 VDC / 4.8 W	28.000
2	Válvula de diafragma	Plástico y cobre	0.02-0.8	12VDC	53.000
3	Solenoides	Latón	0.02-0.8	AC 120V/60Hz	70.000
4	Solenoides	Plástico	0.2-1	AC 120V/60Hz	25.000

De acuerdo a las diferentes opciones comerciales, por rango de presión y costo se determina utilizar la válvula solenoide número cuatro, la cual cumple con los requerimientos de suministro para una acometida domiciliaria [19] y [21], la válvula seleccionada es la solenoide (ver Figura 1):

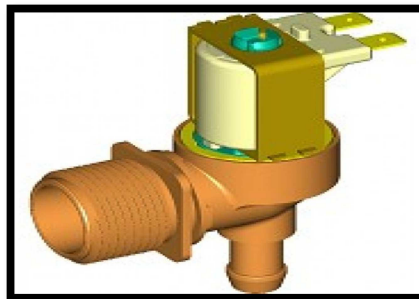


Figura 1: válvula solenoide.

Hace parte de una extensa línea de válvulas solenoides para uso en lavadoras, duchas, sistemas de aire acondicionado y otras aplicaciones domésticas o comerciales. Diseño producido para satisfacer grandes exigencias del mercado [22].

- Voltaje nominal: 110 – 120 VAC, 24 VAC y 12 VAC.
- Frecuencia nominal: 50 – 60 Hz

- Consumo de energía: 6 Watts
- Temperatura ambiente: 60^a C máx.
- Temperatura del fluido: 90^aC máx.
- Rango de presión de funcionamiento: 2.9 a 145 psi o 0.2 a 1 MPa
- Regulación de flujo: 4 hasta 283 $c m^3/s$ - (0.25 hasta 17 L/min)
- Aislamiento: Clase II. Doble aislamiento. No se requiere conexión a tierra.
- Terminales: Dos 6,35 x 0,8 mm Terminales de pestaña masculinos. RAST 5 y RAST 2.5 opcional.

La estructura de la válvula solenoide se aprecia en la figura 2:

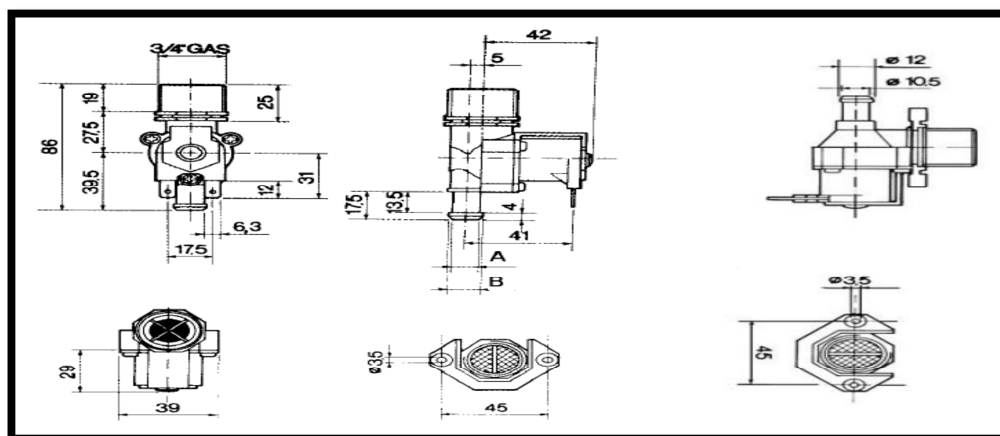


Figura 2: Estructura de una válvula solenoide.

1.3.2.2 Sensores: Un sensor está diseñado en base de plástico sólida, con adaptación para tubería de ½ pulgada y de acople sencillo. Cuenta con un rotor de agua, conformado por un pequeño molino de viento, este tiene un pequeño imán atado y un sensor magnético de efecto Hall, en el otro lado del tubo que registra cada vuelta dada por el molino de viento, esto genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo. El sensor utiliza unas aspas o álabes para medir la cantidad de líquido que se ha movido a través del interior del dispositivo, tiene incrustada una flecha que indica la dirección del flujo, es decir, que el sentido en que pasa el agua debe ser de izquierda a derecha. Al contar los

pulsos de la salida del sensor se puede seguir fácilmente el movimiento del fluido, teniendo en cuenta que cada pulso es de aproximadamente 2.25 mililitros. Hay que tener en cuenta que este dispositivo no es un sensor de precisión, y la frecuencia del pulso varía dependiendo de la velocidad de flujo, la presión del fluido y la orientación del sensor.

Factores para la elección del tipo de medidor de flujo

Las características que permiten realizar un filtro entre los sensores existentes en el mercado y el óptimo para este proyecto son detallados de la siguiente manera:

- ***Rango:*** los medidores de flujo deben proporcionar un rango de variación en la medición que permita adaptarse al sistema de caudal de agua proporcionado por la red.
- ***Exactitud requerida:*** cualquier dispositivo operado dentro de un sistema puede proporcionar una exactitud de acuerdo a las condiciones en las que se encuentre inmerso y de acuerdo al fabricante. Generalmente se encuentra dentro del 5% de flujo real. Para proyectos de laboratorio, esto se convierte en un factor muy importante, aunque es directamente proporcional con el costo del instrumento.
- ***Pérdida de presión:*** debido a que los detalles de construcción de los distintos medidores son muy diferentes, éstos proporcionan diversas cantidades de pérdida de energía o pérdida de presión conforme el fluido corre a través de ellos; excepto algunos tipos, los medidores de fluido llevan a cabo la medición estableciendo una restricción o un dispositivo mecánico en la corriente de flujo, causando así la pérdida de energía [23].

De acuerdo a las condiciones anteriores, en la tabla No. 4 se han seleccionado los siguientes medidores:

Tabla 4: Comparación de sensores comerciales para tubería de diámetro ½ pulgada [24]- [26].

No.	Tipo de sensor	Presión máx. del agua	Rango de trabajo (L/min)	Voltaje de trabajo (Vcc)	Costo
1	Molino	2.0 MPa	1 a 30	5 a 18	\$37.900
2	Efecto Hall	> 1.20Mpa	1 a 60	5 a 24	\$80.000
3	Efecto Hall	1.75Mpa	1 a 30	5 a 18	\$22.000
4	Molino	1.75Mpa	1 a 30	5 a 18	\$34.740
5	Efecto Hall	2.0 MPa	1 a 30	5 a 24	\$21.000
6	Efecto Hall	2.0 MPa	1 a 30	5 a 18	\$20.000

Por sus características, costo y rango de trabajo, el medidor que se acopla a las condiciones necesarias para el montaje del sistema modelo domiciliario es el No. 6, en la tabla 4.

Sensor Medidor de flujo YF-S201: El sensor es ideal para aplicaciones con sistemas de tanques de almacenamiento, aplicaciones domésticas de reciclaje de agua, sistemas de riego, entre otras. La señal de salida puede ser conectada a un microcontrolador para el control de consumo de agua y el cálculo de la cantidad de agua que queda en un tanque [27].

Características:

- Modelo YF-S201
- Voltaje de funcionamiento 5V~18V
- Corriente de operación 15mA (5V)
- Q Caudal [cm^3/s] [L/min]
- Frecuencia de caudal $f=7.5*Q$
- Pulsos por litro 450
- Paso de caudal 1L/min ~ 30L/min
- Presión del líquido 1.75Mpa
- Temperatura de operación -25°C~80°C

Su curva de respuesta se muestra en la figura 3 y sus respectivos valores en la tabla No. 5 y su estructura interna en las figuras 4 y 5 y la tabla 6 respectivamente:

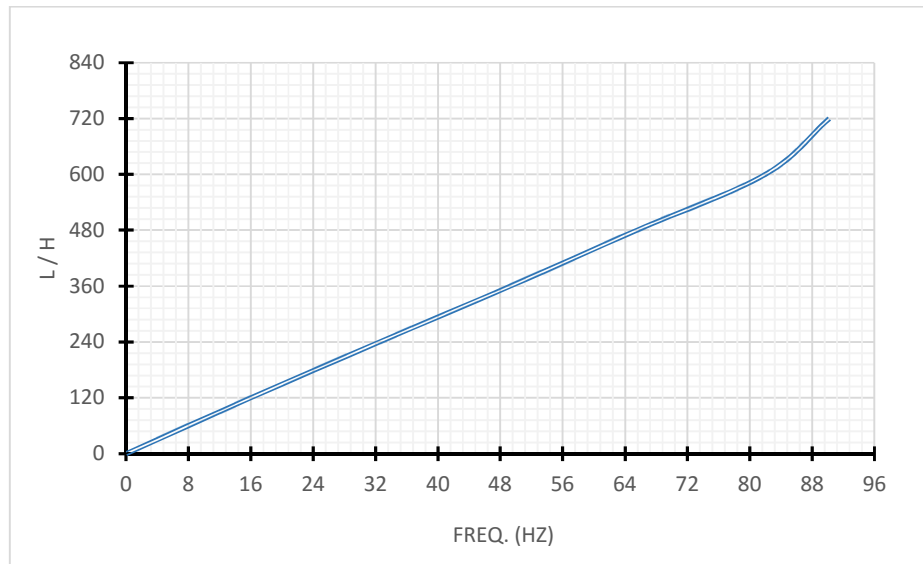


Figura 3: Descripción técnica y curva de respuesta según cada fabricante de sensores.

Tabla 5: valores tabulados para la gráfica de la figura 8.

Flujo (L/H)	Frec.(HZ)	Rango de error %
120	16	±10
240	32.5	
360	49.3	
480	65.5	
600	82	
720	90.2	

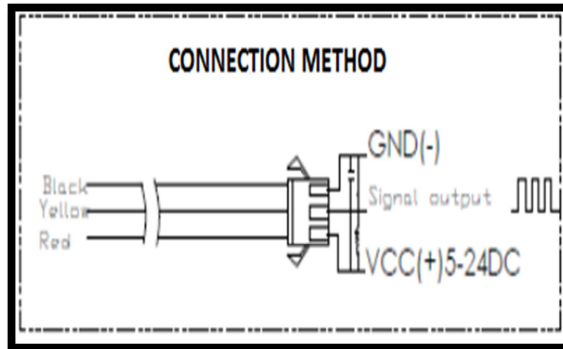


Figura 4: Esquema del método de conexión entre válvula y sensores.

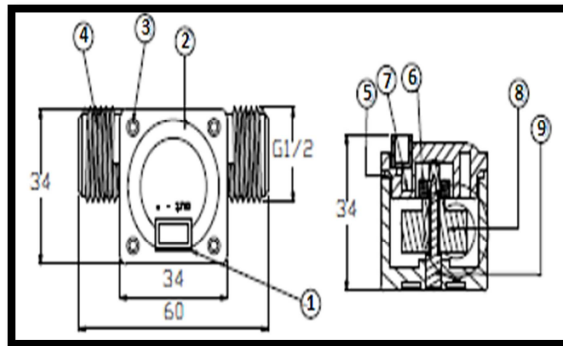


Figura 5: Representación gráfica de las partes de un sensor.

Tabla 6: Características generales de un sensor.

No.	Ítem	Material	Qty.
1	Conexión de aire		1
2	Campana	PA	1
3	Tornillo		4
4	Cuerpo de la válvula	PA	1
5	Válvula de prensa de fugas		1
6	Imán		1
7	Cámara		1
8	Impulsos	POM	1
9	Aspas de acero inoxidable	SUS 304	1

1.3.2.3 Selección de bombas:

La bomba centrífuga consiste de un elemento móvil, denominado impulsor, donde un cierto número de álabes, dirigen el movimiento de las partículas de líquido. El impulsor gira en una cámara cerrada denominada caja o carcasa debido a la energía conferida por un motor, que puede ser eléctrico o de combustión interna. El líquido contenido entre los álabes, por efecto de la fuerza centrífuga, incrementa su energía cinética la cual se transforma parcialmente en energía potencial en la carcasa de la bomba.

1.3.2.4 Condiciones de operación

Caudal: Para seleccionar equipos de bombeo, se deben determinar el caudal o los diversos caudales con que trabajarán estos equipos durante su vida útil. Para la mayoría de las bombas el periodo de diseño es 10 años.

En proyectos de agua potable, el caudal que se utiliza para la selección de bombas es, una proporción del caudal máximo diario en función del número de horas de bombeo, así:

$$Q_b = Q_{max} * d \frac{24}{N} \quad (1)$$

Donde Q_b es el caudal de bombeo en l/s, Q_{max} el caudal máximo diario en l/s y N el número de horas de bombeo.

Si la bomba seleccionada trabaja con caudales mayores al nominal, podrá haber sobrecarga del motor y cavitación, y la bomba trabajará con bajo rendimiento. Si la bomba trabaja con caudales menores al nominal, la bomba podrá trabajar con bajo rendimiento y, en caso de capacidad extremadamente baja, podrá presentarse calentamiento excesivo.

Las pérdidas de energía dentro de las bombas pueden clasificarse como volumétricas, mecánicas e hidráulicas. Las pérdidas volumétricas son producidas debido a la existencia de pequeñas separaciones entre la carcasa y el impulsor por donde pueden presentarse fugas. Las pérdidas mecánicas son originadas por fricciones mecánicas en las empaquetaduras y cojinetes, discos internos y esfuerzos cortantes creados por el líquido. Las pérdidas hidráulicas consisten en pérdidas por fricción y parásitas que se producen en la circulación del agua.

Aun cuando es deseable adquirir una bomba con alto rendimiento, es conveniente ponderar su valor teniendo en cuenta otros factores, como por ejemplo, el costo inicial, la velocidad de rotación y la durabilidad [28]. La función de la bomba seleccionada es mantener el flujo de agua del circuito hidráulico en movimiento, simulando un ingreso constante de este caudal en el domicilio escogido como modelo para el sistema a implementar, lo cual es necesario garantizar que su funcionamiento se acople a los dispositivos ya seleccionados (medidores y válvula).

En un domicilio modelo, el rango de ingreso de caudal se da entre 1 y 5 cm^3/s que es el estimado para cumplir la demanda de consumo promedio de una vivienda.

1.3.2.5 Curvas características de la bomba

Las características de funcionamiento de una bomba centrífuga se representan por una serie de curvas en un gráfico de coordenadas Q-H; Q-P y Q- η . A cualquier punto Q_x le corresponde un valor en las ordenadas H_x , P_x y η_x , los cuales determinan las variables dependientes de altura, potencia y rendimiento (ver figura 7).

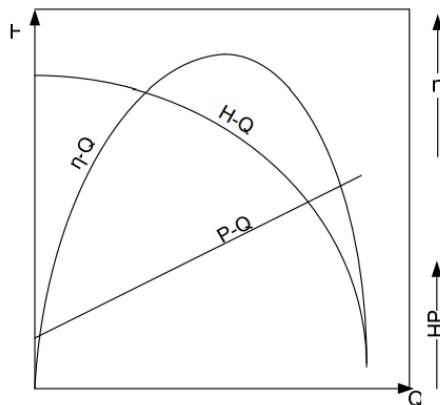


Figura 6 : Curvas características de una bomba

Se verifica que la bomba centrífuga puede abastecer un caudal que va desde cero hasta cierto valor máximo, que depende del tipo y tamaño de la bomba y de las condiciones de succión. El rendimiento aumenta con el caudal, hasta un punto máximo, y después decrece hasta volverse cero, en la ordenada cero. Cada curva corresponde a una determinada velocidad de rotación de la bomba y a un diámetro del impulsor [28].

1.3.2.6 Características del líquido

Para determinar la bomba indicada para el proyecto, también es necesario determinar algunas características relevantes del líquido circulante por la bomba, en este caso el agua que provee el acueducto [28].

Son importantes los siguientes parámetros físicos y químicos del fluido:

Temperatura: de acuerdo a la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, la temperatura del agua fluctúa entre los 16 y 24°C [29].

Viscosidad: la bomba escogida debe estar predeterminada para el manejo del líquido con la viscosidad del agua.

PH: El conocimiento del pH que tenga el líquido a bombear servirá para seleccionar el material adecuado de la bomba y sus componentes.

Sólidos en suspensión: El tamaño y naturaleza de los sólidos suspendidos en el líquido determinarán el tipo y el material del impulsor.

En la Tabla 7 se detallan las ventajas y desventajas del uso de los diferentes tipos de bombas centrífugas [28]:

Tabla 7: Ventajas y desventajas de las bombas centrífugas.

Tipo de bomba	Ventajas	Desventajas
Bomba de eje horizontal	Facilidad de instalación, operación y mantenimiento. Economía en su adquisición y mantenimiento. Pueden ser utilizadas para el bombeo de considerables caudales a elevadas alturas.	Presenta limitaciones en la altura de succión (máximo 7 metros), limitado por la presión atmosférica, la temperatura y la altitud del lugar de operación.
Bomba de eje vertical	Requieren espacios menores para su instalación, en comparación a las áreas que demandan las bombas de eje horizontal. Es posible reducir los costos de construcción de la estación de bombeo. Alta confiabilidad, construcción robusta.	No recomendables para grandes profundidades porque requieren de un eje de transmisión excesivamente largo, lo cual puede resultar muy costoso. Elevado ruido eléctrico de los motores. Mayor dificultad para la operación y mantenimiento.
Bomba sumergible	La bomba y motor trabajan como un conjunto único sumergidos en el agua. Económicamente ventajosa para pozos muy profundos. Por debajo de 20 metros son más ventajosas que las bombas de eje vertical. Mínima frecuencia de mantenimiento, puede operar mucho tiempo antes de requerir reparaciones.	Se debe evitar el arranque de la bomba fuera del agua. Muy sensible al ingreso de arenas y agua al motor. Requiere mano de obra calificada para la operación y mantenimiento. Para el mantenimiento hay que extraer la bomba y el motor del pozo, debiéndose paralizar el servicio.

Después de conocer las ventajas y desventajas de las bombas centrífugas existentes, es necesario relacionar el lugar donde se encuentre inmersa, su entorno y las recomendaciones de funcionamiento según el análisis realizado en la tabla 8:

Tabla 8: tipo de bomba recomendada según el lugar de funcionamiento.

Tipo de fuente	Tipo de bomba recomendado
Pozo profundo	Bomba centrífuga vertical, sumergible y bomba axial vertical sumergible (cilíndrica angosta)
Pozo excavado para agua potable	Bomba centrífuga y axial vertical sumergible Sí altura de succión menor a 4 m: Bomba centrífuga horizontal y vertical, no sumergible
Cuerpo de agua superficial	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cuerpo chato) Bomba centrífuga y axial horizontal (sobre plataforma flotante o móvil).
Cámara de aspiración de agua residual	Bomba centrífuga vertical, no sumergible.

Para efectos de diseño, dentro de las bombas de agua se selecciona una centrífuga sumergible, asociando el sistema a un pozo excavado con agua potable. Ésta es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.

Para efectuar una selección apropiada, se realiza una comparación entre algunas bombas centrífugas comerciales que cumplen con las características requeridas, estas se detallan en la tabla 9 a continuación:

Tabla 9: Comparación de bombas centrífugas comerciales sumergibles.

No.	Tipo de Bomba Centrífuga	Potencia (W)	Caudal de salida máx. (L/h)	Altura máx. (m)	Costo
1	GEISER HJ1841	40	1800	2.5	\$80.600
2	SUNSUN HJ-1541	28	1400	2	\$44.917
3	GEISER HJ1541	28	1400	2	\$66.500
4	SUNSUN CHJ-2000	35	2000	2	\$175.687
5	SUNSUN HJ1841	40	1800	2.5	\$32.025

De acuerdo a las especificaciones de la tabla 9, la bomba que se adapta a las condiciones requeridas para el sistema es la bomba 5, ya que cuenta con el caudal de salida necesario para la simulación del sistema a un bajo costo.

La información básica de la bomba se encuentra registrada en la tabla 10, y su curva de respuesta para valores de altura en metros y salida en litros por hora se muestra en la figura 8.

Tabla 10: Datos básicos de una bomba sumergible [30].

Estructura:	Bomba de un solo cuerpo	De energía:	40 W
Marca:	SUNSUN	Material:	Plástico
Estándar o no estándar:	Estándar	Uso:	Sumergible
Uso:	Agua	Presión:	Alta
De frecuencia:	50hz/60hz	de tensión:	110v/220v/240v
De salida:	1800 l/h	H-máx.:	2.5m
Número de Modelo:	Hj-1841	Corriente de trabajo:	Ca

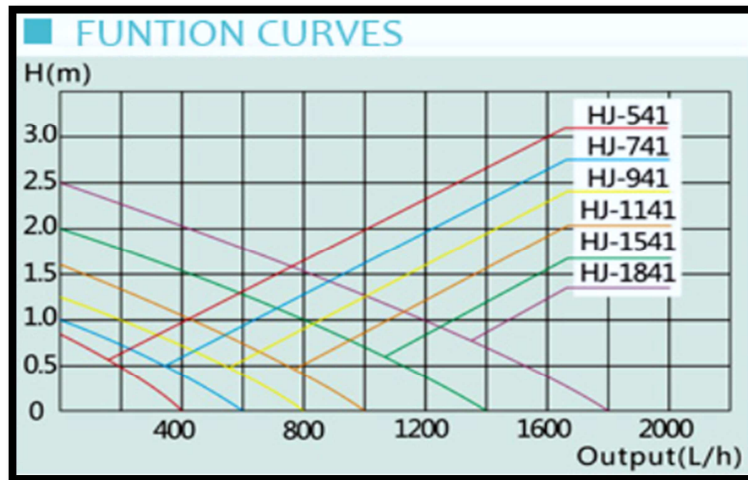


Figura 7: Descripción técnica y curva de respuesta según cada fabricante de bombas sumergibles.

Para la bomba centrífuga seleccionada, según la ecuación 1, obtenemos el caudal de bombeo igual a:

- $Q_{max} * d = 0.5 \text{ m}^3/s$ o 0.06 l/s .
- $N = 24$ horas diarias (este valor puede variar de acuerdo a las condiciones del domicilio, para efectos de diseño se trabaja un valor de flujo constante durante las 24 horas).

$$Q_b = 0.06 * \frac{24}{24} \text{ l/s} \quad (2)$$

$$Q_b = 0.06 \text{ l/s} \quad (3)$$

De acuerdo a la ecuación No. 3, se calcula el caudal de bombeo máximo para la bomba seleccionada en 0.06 l/s , para un domicilio con consumo promedio.

De los instrumentos anteriores, se realizará un filtro que permite seleccionar las variables más importantes del proceso físico para el diseño del modelo inicial. Éstas son detalladas en la tabla 11 a continuación:

Tabla 11: Variables importantes para el proceso físico y el diseño del modelo inicial.

VARIABLE	VALOR
Caudal (m^3/s) (tubería ½ pulgada)	$4.2 * 10^{-6}$ - $2.8 * 10^{-4}$
Caudal (l / s) (tubería ½ pulgada)	0.004 - 0.28
Presión del agua en la tubería (MPa)	0.04 – 0.5
Temperatura del agua (°C)	16 – 25
Diámetro de la tubería (pulgadas - cm)	½ - 12.7

Valores tomados de acuerdo a las normas ICONTEC 1063 e ICONTEC 672, para los medidores volumétricos [31].

CAPÍTULO 2: SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS HARDWARE Y SOFTWARE

De acuerdo a estudios previos donde se busca acceder de manera remota a sistemas de distribución de agua para monitoreo y automatización de éste proceso, es necesario establecer la comparación entre las tecnologías existentes para adquisición de datos, transmisión de datos, almacenamiento y procesamiento de la información y visualización de la misma, de manera que permitan al usuario una manipulación adecuada para uso de sus requerimientos. Además de la comparación se realiza la selección de las herramientas adecuadas para poder cumplir a cabalidad el objetivo principal de este estudio que es el diseño de un sistema de medición, corte, reconexión y detección de fugas para el sistema domiciliario de agua.

2.1 Tecnologías software para programación de hardware y aplicaciones

Para el diseño del sistema objeto de este proyecto, se deben tener en cuenta tecnologías software para programación de hardware y software para programación de aplicaciones que permitan el acceso al usuario a una WEB. Dentro de esta selección, se inicia con los dispositivos existentes más conocidos que permiten la programación y manejo del hardware del sistema.

2.1.1 Microcontroladores

Un microcontrolador (abreviado μC , UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida [32].

Características de un Microcontrolador:

- Velocidad del reloj u oscilador
- Memoria: SRAM, Flash, EEPROM, ROM, etc...
- I/O Digitales
- Entradas Analógicas
- Salidas analógicas (PWM)
- DAC (*Digital to Analog Converter*)
- ADC (*Analog to Digital Converter*)
- UART
- Otras comunicaciones.

Lenguaje Ensamblador: El proceso de programación de un microcontrolador es bastante complejo debido a su gran volumen de instrucciones. Para esto se creó el lenguaje ensamblador ASM, que permite de forma práctica, seguir una sintaxis básica para la escritura y comprensión del código empleado [33].

2.1.2 PLC

Un PLC (controlador lógico programable) es un dispositivo que fue desarrollado para reemplazar los circuitos secuenciales de relevadores para el control de máquinas. El PLC trabaja atendiendo sus entradas y dependiendo de su estado conecta/desconecta sus salidas ahorrando costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos.

Se define un PLC como una computadora especializada, diseñada para controlar máquinas y procesos en ambientes industriales operando en tiempo real. También la *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) define al PLC como un dispositivo electrónico digital que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones específicas tales como funciones

lógicas, secuenciales, de temporización, de conteo y aritméticas para controlar máquinas y procesos.

En la actualidad el campo de aplicación de un PLC es muy extenso. Se utilizan fundamentalmente en procesos de maniobras de máquinas, control, señalización, etc. La aplicación de un PLC abarca procesos industriales de cualquier tipo y ofrecen conexión a red; esto te permite tener comunicado un PLC con una PC y otros dispositivos al mismo tiempo, permitiendo hacer monitoreo, estadísticas y reportes [34].

Módulos que componen un PLC:

- **CPU:** Ejecuta de modo continuo el programa en función de los datos contenidos en la memoria, con velocidades que actualmente alcanzan varios cientos de miles de instrucciones por segundo.
- **Memoria:** La memoria, se encuentra dividida en dos partes: una memoria de programa, en la que están almacenadas las instrucciones del programa a ejecutar y una memoria de datos, en la que están almacenados los resultados intermedios de cálculos y los diversos estados.
- **Relevadores:** Existen físicamente y son externos al controlador; se conectan al mundo real y reciben señales de sensores, switches, etc.
- Relevadores internos: Se encuentran simulados vía software, son completamente internos al PLC, por lo que los externos pueden eliminarse o reemplazarse.
- **Contadores:** También son simulados por software y se les programa para contar pulsos de señal [35].

2.1.3 PC's industriales

Los PC's Industriales son equipos de altas prestaciones y gran capacidad de almacenaje y expansión que permiten la interacción del usuario con la instalación o máquina industrial [36].

Características de un PC industrial:

- Mayor solidez mecánica y eléctrica
- Modularidad: tarjetas E/S, bastidores, conectores
- Mayor capacidad para soportar software específico con respuestas en tiempo real y preparado para responder ante aplicaciones de tiempo crítico
- Mejores protecciones ante ambientes hostiles con alto ruido electromagnético y condiciones ambientales duras (polvo, temperaturas extremas, variaciones de tensión bruscas y elevadas, etc.).
- Gran beneficio con el abaratamiento de precios y el incremento de aceptación en la industria [37].

2.1.4 Arduino

Dentro de los componentes de hardware y software seleccionados por sus características para trabajar en proyectos multidisciplinarios, Arduino es una plataforma de hardware libre, frecuentemente utilizada, con un microcontrolador que permite dar un entorno de desarrollo para facilitar el uso de la electrónica. El hardware consiste básicamente en una placa con un microcontrolador y sus respectivos puertos de entrada y salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280 y el ATmega8, por su sencillez y bajo costo.

Entorno de desarrollo Arduino: El entorno de desarrollo Arduino y el lenguaje de programación Arduino están inspirados en otro entorno y lenguaje libre preexistente: Processing & Wiring). Microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación basado en Wiring y el entorno de desarrollo basado en Processing, no obstante el lenguaje Processing está construido internamente con código escrito en lenguaje Java mientras que el lenguaje Arduino se basa en C/C++. Éste se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software tal como Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente [38].

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus entradas analógicas y digitales, puede controlar luces, motores y otros actuadores.

Éstas son por ejemplo algunas aplicaciones en las cuales se utiliza Arduino:

- Xoscillo: Osciloscopio de código abierto.
- Arduinome: Dispositivo controlador MIDI.
- OBduino: Económetro que usa una interfaz de diagnóstico a bordo que se halla en los automóviles modernos.
- Humane Reader: Dispositivo electrónico de bajo coste con salida de señal de TV que puede manejar una biblioteca de 5000 títulos en una tarjeta microSD.
- The Humane PC: Equipo que usa un módulo ARDUINO para emular un computador personal, con un monitor de televisión y un teclado para computadora.
- Ardupilot: Software y hardware de aeronaves no tripuladas.
- ArduinoPhone: Teléfono móvil construido sobre un módulo ARDUINO [38].

De manera negativa, por ser una plataforma libre no provee los soportes necesarios en caso de falla o avería, estableciendo la limitante para proyectos prototipos que deseen ser escalados a nivel industrial, y es entonces que de acuerdo a las características y funciones asignadas al dispositivo, el administrador o gerente del proyecto asuma la responsabilidad correspondiente de acuerdo a la confianza y experiencia que posea en esta herramienta.

2.1.5 Raspberry pi

El Raspberry Pi es un ordenador de reducido tamaño ensamblado en una placa que soporta diferentes componentes necesarios para trabajar como un ordenador común. Es capaz de trabajar con hojas de cálculo, procesador de texto y diversas aplicaciones como juegos, reproducción de video de alta definición, etc.

Trabaja como un ordenador con alta capacidad gráfica similar a un XBOX de Microsoft y con la posibilidad de reproducir vídeo en 1080p. Contiene una salida de vídeo y audio a través de un conector HDMI, permitiendo la conexión a televisores y monitores con esta conexión.

Posee una conexión Ethernet 10/100 y puerto para acceder a una conexión Wi-Fi por medio de un adaptador USB. Existe una limitación de corriente para los puertos que se suple con un hub USB con alimentación. El almacenamiento debe ser externo pero cuenta con un lector de tarjetas SD de 1 Gb o mayor permitiendo la instalación de sistemas operativos o aplicaciones en la misma sin problema alguno. La alimentación puede efectuarse con un cargador móvil con conexión micro USB que proporcione una corriente mínima de 750 mA., además la Raspberry Pi cuenta con una serie de conexiones o puertos de entrada y salida de propósito general o GPIO (General Purpose Input/Output), que permiten hacer todo tipo de interfaces hardware, como el control de otros dispositivos, encendido y apagado de luces, proyectos de domótica, etc. [39].

Entre los sistemas operativos disponibles para Raspberry Pi se encuentran: Rasbian, Arch Linux, RaspBMC, Pidora u OpenELEC e incluso, se dispone de Windows 10 según la página web de Microsoft [40].

2.2 Ventajas y desventajas de los dispositivos de programación

En la tabla 12 presentada a continuación, se definen los dispositivos tecnológicos con ventajas y desventajas de acuerdo a los requerimientos del proyecto para finalmente decidir los aportes al diseño final.

Tabla 12: selección de los dispositivos de programación según el cumplimiento de las características relevantes para el proyecto.

Características	Micro controlador	PLC	PC industrial	Arduino	Raspberry pi
Hardware					
Robustez	✓	✓	✓	✓	✓
Modularidad	✓	✓	✓	✓	✓
Capacidad de memoria	✓	✓	✓	✓	✓
E/S integradas	✓	✓	✓	✓	✓
Ampliación de E/S	✓	✓	✗	✓	✓
Espacio	✓	✓	✗	✓	✓
Necesidad de plataformas adicionales	✗	✓	✓	✓	✓
Costos	✓	✗	✗	✓	✓
Instalación	✓	✓	✓	✓	✓
Mantenimiento	✓	✓	✓	✓	✓
Software					
Uso de subrutinas y priorización	✓	✓	✓	✓	✓
Trabajo en tiempo real	✓	✓	✓	✓	✓

Gestión de datos	✗	✓	✓	✓	✓
Complejidad en el Lenguaje de programación	✗	✓	✓	✓	✓
Software libre	✗	✗	✓	✓	✓
Flexibilidad de reprogramación en planta	✗	✓	✓	✓	✓
Interfaz					
Con usuario	✗	✓	✓	✓	✓
Con planta	✓	✓	✓	✓	✓
Aislamiento y protección de E/S	✗	✓	✓	✓	✓
Seguridad					
Funcionamiento continuado	✓	✓	✗	✓	✓
Tolerancia a fallos	✓	✓	✗	✓	✓

✓ Aprobado ✗ Rechazado

La tabla 12, muestra un contraste entre los dispositivos comerciales aptos para realizar el sistema de medición, corte y reconexión. Sin embargo cabe destacar algunas diferencias que permiten realizar claramente una selección de la tecnología necesaria para el diseño, entre estas se tiene:

- El PLC y el Raspberry presentan características que se acoplan a los requerimientos del diseño tales como buena capacidad de memoria, modularidad, modificación en planta, etc. Y otros no tan favorables como costos principalmente, donde denotan una gran diferencia para su elección.
- El PLC está directamente ligado al software del proveedor generando más costos por licencias y soporte, mientras que el Raspberry y el Arduino al trabajar con software libre, no tienen limitaciones para el manejo de los mismos.

- Algunos PLC no cuentan con interfaz gráfica, ventaja que posee el Raspberry que permite fácilmente el despliegue de su interfaz gráfica.
- La tecnología que brinda un PLC está sobredimensionada a un circuito hidráulico y eléctrico sencillo como el necesario para este proyecto.
- El consumo de energía requerido por el PLC es de 120V, el del Raspberry y/o Arduino se limita a 5V.
- La tarjeta Arduino tiene todos los componentes de entrada y salida tanto analógicas como digitales de forma integrada, facilitando la utilización y acople de los mismos a cualquier dispositivo actuador, sin necesidad de una plataforma o montaje adicional, caso contrario del microcontrolador.
- Tanto la tarjeta Arduino como el Raspberry son dispositivos de fácil adquisición en el mercado, programación, comunicación con el pc y muy económicos.

De acuerdo a esta, se seleccionan los dispositivos Arduino y Raspberry pi como los instrumentos necesarios para el diseño del sistema de medición, corte, reconexión y detección de fugas en el sistema domiciliario de agua, pues cuentan con características que se acoplan a la necesidad del diseño.

A continuación se detallan más a fondo los dispositivos escogidos y se realiza una selección entre las posibilidades existentes de éstos en el mercado. La tarjeta Arduino que centra su proceso en gobernar la parte hardware del sistema y la tarjeta Raspberry Pi que se encarga del manejo del software y la interfaz con el cliente escogido.

2.3 Dispositivos seleccionados

2.3.1 Arduino: En la tabla 13 se presentan las tarjetas Arduino existentes y sus características, de manera que se pueda escoger el modelo más apropiado para el diseño del sistema.

Tabla 13: modelos oficiales de Arduino [41].

Modelo	Características	Modelo	Características
Arduino UNO	Micro: ATmega328 V. de funcionamiento: 5 V Corriente DC: 40 mA. Memoria Flash: 32 KB SRAM: 2 KB EEPROM: 1 KB Velocidad de reloj: 16 MHz Precio: \$ 23.831,64	Arduino Pro Mini	Micro: ATmega168 V. de funcionamiento: 3.3 V Corriente DC: 40 mA. Memoria Flash: 16 KB SRAM: 1 KB EEPROM: 512 bytes Velocidad de reloj: 8 MHz Precio: \$ 52.694,05
Arduino Ethernet	Micro: ATmega328 V. de funcionamiento: 5 V Corriente DC: 40 mA. Memoria Flash: 32 KB SRAM: 2 KB EEPROM: 1 KB Velocidad de reloj: 16 MHz Control embebido Ethernet W5100 TCP/IP Tarjeta MicroSD Precio: \$ 28.636,67	Arduino Nano	Micro: ATmega168 V. de funcionamiento: 5 V Corriente DC: 40 mA. Memoria Flash: 16 KB SRAM: 1 KB EEPROM: 512 bytes Velocidad de reloj: 16 MHz Precio: \$32.216,25
Arduino Mini		Micro: ATmega328 V. de funcionamiento: 5 V Corriente DC: 40 mA. Memoria Flash: 32 KB SRAM: 2 KB EEPROM: 1 KB Velocidad de reloj: 16 MHz	

Los precios de las tarjetas Arduino en la tabla 13, fueron tomados de la página comercial Amazon.

El diseño del sistema de este proyecto, busca un dispositivo capaz de realizar las acciones de corte y reconexión, adquisición de datos y visualización de los datos en una página web o una interfaz apropiada para el usuario. Este sistema se realiza en un modelo para un solo domicilio, por tanto es necesaria la optimización

de recursos, y un análisis en los costos tanto de instalación como de mantenimiento.

Además de los modelos presentados en la tabla No. 13, existen en el mercado el Arduino Leonardo, LilyPad Arduino, Arduino Fio, Arduino Micro, Arduino Mega ADK, Arduino Esplora, Arduino Yún, Arduino Mega 2560, Arduino Pro y Arduino De, los cuales no fueron tenidos en cuenta básicamente por su elevado costo.

De acuerdo a estos requerimientos, el dispositivo que se adapta a estas necesidades es el Arduino UNO, que cuenta con un espacio de memoria suficiente para los datos arrojados por los medidores instalados, un procesamiento limitado pero suficiente y pines de entrada y salida para la conexión entre el dispositivo de medición, la alimentación y el dispositivo de procesamiento de esta información que en este caso es realizado por el Raspberry Pi.

Arduino UNO: es la plataforma más extendida y la primera que salió al mercado. Todas las características de esta placa estarán implementadas en casi todas las placas restantes, a excepción de algunas. Se basa en un microcontrolador Atmel ATmega328 de 8 bits a 16Mhz que funciona a 5v. 32KB son correspondientes a la memoria flash (0,5KB reservados para el bootloader), 2KB de SRAM y 1KB de EEPROM. En cuanto a memoria es una de las placas más limitadas, pero no por ello resulta insuficiente para casi todos los proyectos que rondan la red. Las salidas pueden trabajar a voltajes superiores, de entre 6 y 20v pero se recomienda una tensión de trabajo de entre 7 y 12v. Contiene 14 pines digitales, 6 de ellos se pueden emplear como PWM. En cuanto a pines analógicos se cuenta con hasta 6. Estos pines pueden trabajar con intensidades de corriente de hasta 40mA [42].

La placa se muestra en la figura 8, a continuación:

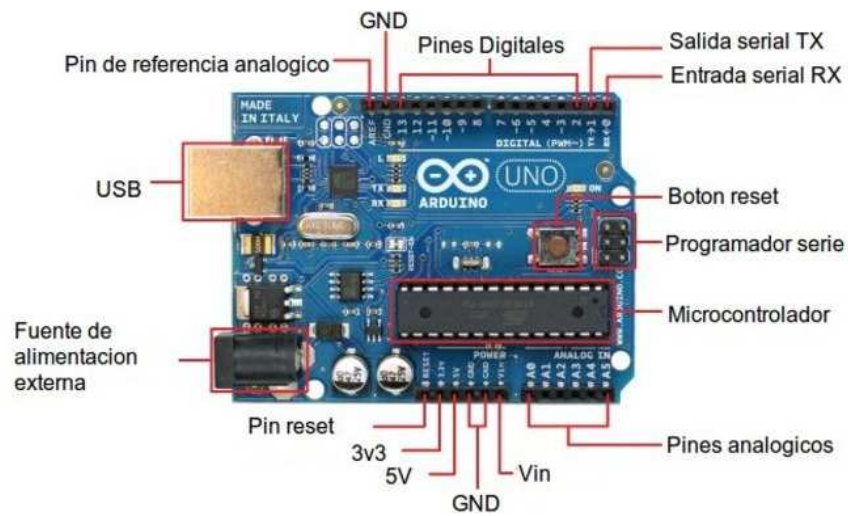


Figura 8: Placa Arduino UNO [43].

2.3.2 Raspberry Pi: En la tabla 14 se presentan las tarjetas Raspberry Pi existentes y sus características, de manera que se pueda escoger el modelo más apropiado para el diseño del sistema.

Tabla 14: Especificaciones técnicas de los modelos Raspberry Pi [39].

	RPI Model A	RPI Model A+	RPI Model B	RPI Model B+	RPI 2 Model B
CPU	Arm11 Armv6 700 MHz.	Arm11 Armv6 700 MHz.	Arm11 Armv6 700 MHz.	Arm11 Armv6 700 MHz.	Arm11 Armv7 cortex-a7 4 núcleos 900 MHz.
Memoria RAM	256 Mb lpddr sdr 400 MHz.	256 Mb lpddr sdr 400 MHz.	512 Mb lpddr sdr 400 MHz.	512 Mb lpddr sdr 400 MHz.	1 Gb lpddr2 sdr 450 MHz.
Puertos USB	1	1	2	4	4
Almacenamiento	SD	MicroSD	SD	MicroSD	MicroSD

Ethernet 10/100mbps	X	X	SI	SI	SI
Precio	\$ 98.659	\$ 98.659	\$115.129	\$115.129	\$131.600

Para el diseño final se escoge el modelo B del Raspberry Pi (figura 9), por eficiencia de recursos, costo, y características. El diseño del sistema de medición no requiere alto procesamiento, memoria o resolución de video. Sin embargo es necesario un puerto de Ethernet y USB.

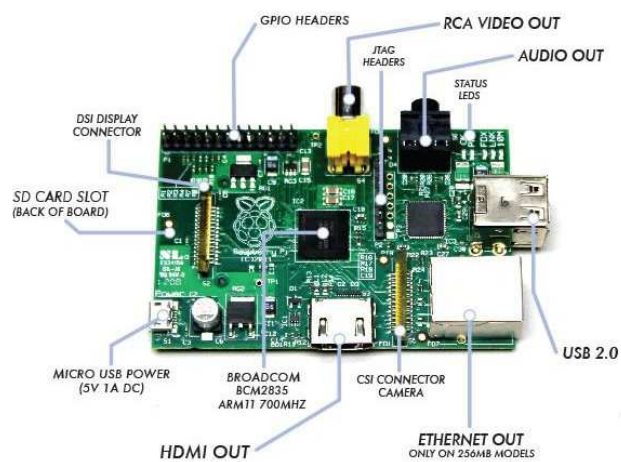


Figura 9: modelo B del Raspberry Pi [44].

El hardware de Raspberry Pi dentro de sus principales características se encuentra un chip integrado Broadcom BCM2835, que contiene un procesador ARM11 con varias frecuencias de funcionamiento y la posibilidad de subirla (over clocking) hasta 1 GHz, un procesador gráfico Video Core IV, y distintas cantidades de memoria RAM llegando hasta 512 MB actualmente.

Los puertos tienen una limitación de corriente, por lo que si se quiere conectar discos duros u otros dispositivos, habrá que hacerlo a través de un hub USB con alimentación. En su parte inferior cuenta con un lector de tarjetas SD, lo que abarata enormemente su precio y da la posibilidad de instalar un sistema operativo en una tarjeta de memoria de 4 GB o más (clase 4 o clase 10). De esta forma se tiene la posibilidad de minimizar el espacio necesario para tener todo un

ordenador en un volumen mínimo. El puerto GPIO (General Purpose Input/Output) permite a la Raspberry Pi comunicarse con el exterior tanto para activar elementos como para leer el estado de los mismos [39].

2.4 Software para programación de aplicaciones WEB

Dentro de los lenguajes soportados por el dispositivo Raspberry Pi que es el encargado de generar la interfaz entre el sistema y el usuario, se presentan las posibilidades de lenguajes para programación de la aplicación WEB del sistema diseñado y se selecciona el adecuado para la creación de la misma.

2.4.1 Lenguaje de programación HTML: es el acrónimo de HyperText Markup Language [45]. Es un lenguaje de programación que utiliza etiquetas para definir la posición forma y funcionamiento del contenido de las páginas WEB, como texto, imágenes, videos, colores, hipervínculos y estructura; permitiendo a los navegadores WEB interpretar las posiciones de cada uno de los componentes para construir la página final que verá el usuario.

2.4.2 Lenguaje de Programación PHP: es el acrónimo de Hypertext Preprocessor. Es un lenguaje de programación muy potente de código abierto que ha sido diseñado especialmente para el desarrollo WEB y que tiene la propiedad de poderse insertar en HTML. Se estima que está presente en al menos el 80% de los sitios WEB.

Una de las principales ventajas de PHP es que se ejecuta del lado del servidor, generando código HTML y enviándolo al cliente. El cliente recibe el resultado de la ejecución de un script pero no tiene manera de conocer el código exacto que se está ejecutando, a diferencia de los lenguajes como JAVASCRIPT que corren del lado del cliente. Esta propiedad se ve ampliamente aprovechada por las aplicaciones en temas de seguridad para sus diferentes procesos. Otra ventaja del

lenguaje de programación PHP es que permite ejecutar sentencias de SQL facilitando el manejo de la información en bases de datos.

2.4.3 Lenguaje de programación JAVASCRIPT: es el lenguaje de programación interpretado que más se utiliza, especialmente en la elaboración de páginas WEB. JAVASCRIPT es un lenguaje de programación que se ejecuta del lado del cliente permitiendo hacer más dinámica e interactiva la experiencia del cliente con la página WEB ya que la respuesta a las acciones emprendidas por el cliente no deben ejecutarse en el servidor para después comunicar los resultados sino que se ejecutan directamente en el navegador del cliente lo que agiliza la respuesta y permite reducir el procesamiento del servidor.

2.4.4 Sistema MySQL: es un sistema de gestión de bases de datos relacional que permite la construcción de una manera sencilla y eficiente de verdaderos sitios WEB dinámicos. Sistema gestor de bases de datos relacionales rápido, sólido y flexible. Es ideal para crear bases de datos con acceso desde páginas WEB dinámicas, para la creación de sistemas de transacciones on-line o para cualquier otra aplicación profesional que implique almacenar datos, teniendo la posibilidad de realizar múltiples y rápidas consultas [46].

De acuerdo a estas definiciones, el lenguaje que más se adapta al proceso por conocimiento, dinámica y tiempo de respuesta es el JAVA en el cual se soporta la aplicación de diseño para la interfaz entre el sistema de medición, corte y reconexión y el usuario final.

2.5 Transmisión remota: El Protocolo de Control de Transmisión o TCP, es uno de los protocolos fundamentales en internet. Muchos programas dentro de una red de datos compuesta por computadoras, pueden usar TCP para crear conexiones entre sí a través de las cuales puede enviarse un flujo de datos. El protocolo garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores y en el mismo

orden en que se transmitieron. También proporciona un mecanismo para distinguir distintas aplicaciones dentro de una misma máquina, a través del concepto de puerto.

TCP da soporte a muchas de las aplicaciones más populares de internet (navegadores, intercambio de ficheros, clientes FTP, etc.) y protocolos de aplicación HTTP, SMTP, SSH y FTP. En la pila de protocolos TCP/IP, TCP es la capa intermedia entre el protocolo de internet (IP) y la aplicación. Muchas veces las aplicaciones necesitan que la comunicación a través de la red sea confiable. Para ello se implementa el protocolo TCP que asegura los datos que emite el cliente sean recibidos por el servidor sin errores y en el mismo orden que fueron emitidos, a pesar de trabajar con los servicios de la capa IP, la cual no es confiable. Es un protocolo orientado a conexión ya que el cliente y el servidor deben de anunciarse y aceptar la conexión, antes de comenzar a transmitir los datos a ese usuario que debe recibirlos. Este Protocolo de Control de Transmisión permite colocar los datagramas nuevamente en orden cuando vienen del protocolo IP; el monitoreo del flujo de los datos y así evitar la saturación de la red; que los datos se formen en segmentos de longitud variada para "entregarlos" al protocolo IP; multiplexar los datos, es decir, que la información que viene de diferentes fuentes (por ejemplo, aplicaciones) en la misma línea pueda circular simultáneamente y por último, permite comenzar y finalizar la comunicación.

Las conexiones TCP se componen de tres etapas: establecimiento de conexión, transferencia de datos y fin de la conexión. Para establecer la conexión se usa el procedimiento llamado negociación en tres pasos. Para la desconexión se usa una negociación en cuatro pasos. Durante el establecimiento de la conexión, se configuran algunos parámetros tales como el número de secuencia con el fin de asegurar la entrega ordenada de los datos y la robustez de la comunicación. TCP es un protocolo muy desarrollado y complejo. Sin embargo, mientras mejoras significativas han sido propuestas y llevadas a cabo a lo largo de los años, ha

conservado las operaciones más básicas sin cambios desde el RFC 793, publicado en 1981. El documento RFC 1122 (Host Requirements for Internet Hosts), especifica el número de requisitos de una implementación del protocolo TCP. El RFC 2581 (Control de Congestión TCP) es uno de los más importantes documentos relacionados a TCP, y describe nuevos algoritmos para evitar la congestión excesiva. En 2001, el RFC 3168 fue escrito para describir la Notificación de Congestión Explícita (ECN), una forma de eludir la congestión con mecanismos de señalización. En los comienzos del siglo XXI, TCP es usado en el 95% de todos los paquetes que circulan por internet [47].

2.5.1 Control del flujo de información: TCP usa control de flujo para evitar que un emisor envíe datos de forma más rápida de la que el receptor puede recibirlos y procesarlos. El control de flujo es un mecanismo esencial en redes en las que se comunican computadoras con distintas velocidades de transferencia. Por ejemplo, si una PC envía datos a un dispositivo móvil que procesa los datos de forma lenta, el dispositivo móvil debe regular el flujo de datos. TCP usa una ventana deslizante para el control de flujo. En cada segmento TCP, el receptor especifica en el campo la cantidad de bytes que puede almacenar en el buffer para esa conexión. El emisor puede enviar datos hasta esa cantidad. Para poder enviar más datos debe esperar que el receptor le envíe un ACK con un nuevo valor de ventana.

El tamaño de la ventana de recepción TCP es la cantidad de datos recibidos (en bytes) que pueden ser metidos en el buffer de recepción durante la conexión. La entidad emisora puede enviar una cantidad determinada de datos pero antes debe esperar un asentimiento con la actualización del tamaño de ventana por parte del receptor. Un ejemplo sería el siguiente: un receptor comienza con un tamaño de ventana x y recibe y bytes, entonces su tamaño de ventana será $(x - y)$ y el transmisor sólo podrá mandar paquetes con un tamaño máximo de datos de $(x - y)$ bytes. Los siguientes paquetes recibidos seguirán restando tamaño a la ventana

de recepción. Ésta situación seguirá así hasta que la aplicación receptora recoja los datos del buffer de recepción.

Para una mayor eficiencia en redes de gran ancho de banda, debe ser usado un tamaño de ventana mayor. El campo TCP de tamaño de ventana controla el movimiento de datos y está limitado a 16 bits, es decir, a un tamaño de ventana de 65.535 bytes. Como el campo de ventana no puede expandirse, se usa un factor de escalado. La escala de ventana TCP (TCP window scale) es una opción usada para incrementar el máximo tamaño de ventana desde 65.535 bytes, a 1 Gigabyte. La opción de escala de ventana TCP es usada solo durante la negociación en tres pasos que constituye el comienzo de la conexión. El valor de la escala representa el número de bits desplazados a la izquierda de los 16 bits que forman el campo del tamaño de ventana. El valor de la escala puede ir desde 0 (sin desplazamiento) hasta 14. Hay que recordar que un número binario desplazado un bit a la izquierda es como multiplicarlo en base decimal por 2 [47].

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA PARA MEDICIÓN, CORTE Y RECONEXIÓN DE AGUA DOMICILIARIA

El diseño del sistema para medición, corte y reconexión se realizó con base a requerimientos propuestos que incluyen la lectura establecida por un dispositivo en un lapso de tiempo considerable (1 segundo para efectos de diseño), del caudal circulante en ese momento por una tubería respectiva y además el consumo acumulado en determinado tiempo. Es necesario que el dispositivo cumpla con una interfaz que permita el corte y la reconexión del caudal circulante por acceso remoto, específicamente desde la nube.

El sistema de este Trabajo de Grado fue diseñado en tres fases con el propósito de dar un mejor manejo de los elementos seleccionados y además abarca el mayor cubrimiento de las necesidades de un cliente específico.

- FASE I. Se establece el diseño hidráulico del sistema que permite observar el recorrido del fluido a medir y manipular por el actuador designado.
- FASE II: Se basa en todo el diseño circuital y electrónico del sistema referenciado con la nomenclatura sugerida por la norma ISA S5.1.
- FASE III: Comprende el diseño de software necesario para acoplar los dispositivos electrónicos, el sistema físico y la interfaz prevista al usuario como administrador, esta se detalla en el capítulo 4.

3.1 Modelo hidráulico

El diseño del sistema en primera instancia requiere la medición de un caudal circulante por una tubería específica de conducción hacia un domicilio, una

máquina en ambiente industrial, o escenarios similares. Por esto la determinación de medidas exactas o exclusivas no es relevante, aunque para la selección de los instrumentos fue necesario, pues depende del sistema donde se encuentre inmerso. Además cabe resaltar que el objetivo principal es la ejecución de acciones de medición, corte y reconexión de un flujo en un sistema hidráulico para lo que se determina un valor establecido dentro de un rango permitido.

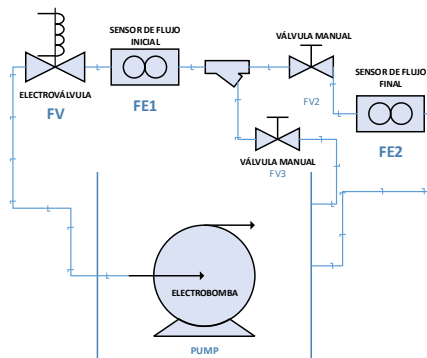


Figura 10. Diagrama del circuito hidráulico del sistema.

En la figura 10, se detalla el circuito hidráulico del sistema que permite apreciar los instrumentos necesarios para simular el domicilio modelo a diseñar. Este contiene todos los instrumentos de medición y actuación para la ejecución del modelo final. Estos dispositivos han sido escogidos comercialmente de acuerdo a la selección ya realizada. Los requerimientos no son de alto nivel industrial y por tanto la instrumentación no requiere un rango elevado de operación en sus características, como se ve en la figura 11.

Para garantizar el flujo constante de agua por los dispositivos en el sistema, es seleccionada una motobomba (figura 13) de manera que genere un ciclo de agua constante, circulando por la electroválvula que permite su paso hacia el sensor de flujo No. 1 para su respectiva medición, como se aprecia en la figura 11, este flujo oscila entre 4 y 25 l/s para este caso de estudio. El fluido continúa su recorrido por una válvula de cierre manual en forma de T (figura 12) que permite definir el

recorrido del líquido ya sea por la tubería alterna o por el medidor No. 2 y regresando al tanque inicial, finalizando el ciclo hidráulico.



Figura 11 . Sistema hidráulico para la medición, corte y reconexión de agua domiciliaria.



Figura 12 : Válvula manual en T



Figura 13: Motobomba centrífuga

La válvula manual en forma de T se ha instalado con el fin de tener alternativas en el recorrido del líquido de manera que permita obstruir su paso por el sensor No. 2 o por la tubería alterna. Esto con el fin de simular en un tramo de tubería en un domicilio una posible fuga, la cual se analiza más adelante.

El funcionamiento de la bomba ha sido graduado en un flujo constante de 5 l/s por efectos de diseño, ya que el enfoque de este proyecto está basado en el corte y la reconexión del flujo de agua y no en las variaciones internas que el mismo presente en un determinado momento.

3.2 DISEÑO ELÉCTRICO

Dentro del diseño e implementación del circuito encargado de energizar tanto las tarjetas Arduino y Raspberry, así como el sistema de manejo de energía hacia la electroválvula, se diseñó un circuito de protección debido a una situación que se presenta con el relé de contacto directo. En su funcionamiento normal, la energización del mismo implica una producción de corrientes inversas por acción de la bobina interna, lo cual puede ocasionar daños irreparables a la tarjeta Arduino y todos sus componentes. Esto se ha contrarrestado con la acción de un circuito de protección montado sobre una placa base como la mostrada en la figura 14.

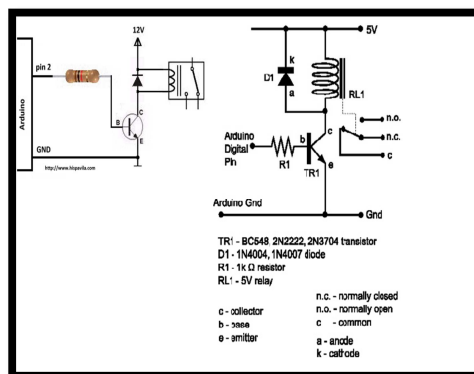


Figura 14 . Representación gráfica del acople de los dispositivos en la tarjeta de protección [48].

3.2.1.1 Componentes de la tarjeta de protección

Relé principal y secundario: En la figura 14, se muestra el relé principal con la etiqueta RL1 y el relé secundario. Sus características son detalladas en la tabla 15:

Tabla 15: Características del Relé principal y secundario.

Relé	Relé Principal	Relé Secundario
Modelo comercial	HK4100F.	GRT508B
Forma de contacto	1C 1A 1B	1B
Material de contacto	Aleación de plata	AgSnO ₂
Voltaje de conmutación máximo	300 VAC / 60 VDC	250 VAC
Corriente de conmutación máxima	3 A	90 A
Potencia de conmutación máxima	750 VA / 90 W	22500 VA
Resistencia de contacto	100 mΩ (a 1A 6VDC)	Max. 1 mΩ (a 1A 6VDC)

Diodo de Silicio: el diodo utilizado en el circuito de la tarjeta, es de referencia comercial cuya función está determinada como un diodo indicador. El modelo es el 1N4004. Cuenta con baja caída de tensión directa, alta capacidad de corriente, alta fiabilidad y alta capacidad a sobretensión de corriente.

Transistor: Las características del transistor perteneciente al circuito de la tarjeta de protección se detallan en la Tabla 16:

Tabla 16: Características del Transistor.

Modelo comercial	2N2222A	
Polaridad del transistor: NPN	Actual I _c @ V _{ce} saturación: 150mA	HFE Min: 100
Voltaje colector emisor V (br) ceo: 30V	Corriente continua I _c a Max: 800mA	-

Corriente de colector DC: 800Ma	Tensión IC hFE: 150mA	Disipación de energía Pd: 500Mw
Actual Ganancia hFE DC: 100	Potencia nominal completa Temperatura: 25 ° C	Potencia de pérdidas Ptot Max: 500mW
Voltaje de colector emisor VCES: 400 mV	Ancho de banda de ganancia ft Min: 250 MHz	Tensión VCBO: 60V
Corriente continua del colector Ic Max: 800mA	Ancho de banda de ganancia ft Typ: 250 MHz	-

La tarjeta de protección referenciada, obedece al comportamiento de los dispositivos detallados anteriormente y configurados de la siguiente manera:

En la figura 14, se muestra la configuración entre el transistor 2N2222A, la resistencia y el diodo de silicio acoplados al funcionamiento del segundo relé que determinan la reducción de la corriente inversa generada por la bobina del relé principal.

Al encender el circuito, se envía un pulso a la tarjeta Arduino, ya sea para encenderlo o apagarlo. Las bobinas del relé principal, generan una corriente inversa (al excitar la bobina) o corriente parásita, que puede causar daños en el sistema. En el lado izquierdo, se aprecia una tierra compartida con el relé, una entrada de 5V y dos señales de la tarjeta distribuidas en corte y reconexión.

En la parte superior existen dos borneras (5V en la parte externa y GND como tierra) que entregan los voltajes respectivos de funcionamiento a la tarjeta y al relé. En la parte inferior se recibe la señal de Arduino, llegando a la resistencia etiquetada como R1 (figura 14). La resistencia utilizada va a la entrada del transistor 2N2222A (TR1); esta energía llega a la base (del colector a la tierra) y del emisor colector en paralelo con el diodo de silicio que a su vez está en paralelo con el relé. Nuevamente este se conecta a una salida con el otro relé y se sintetiza en una sola caja.

El diseño en general se muestra en la figura 15, donde los dispositivos se muestran ya plasmados en la tarjeta, finalizando con las conexiones a la tarjeta y a la fuente respectivamente.

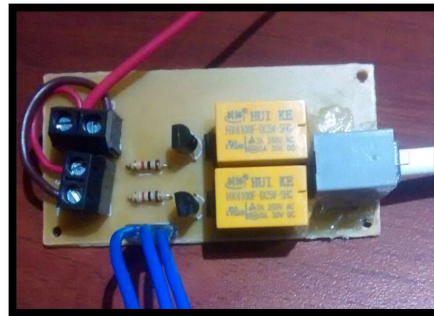


Figura 15 . Diseño del sistema propuesto en este proyecto.

3.3 Diseño eléctrico final: Para la conexión de los dispositivos es necesario establecer un modelo circuital que permita la alimentación, su fase a tierra y además el acople para las necesidades tanto de voltaje como de corriente de todo el sistema. De forma experimental se trabajaron varios diseños los cuales se fueron modificando en el transcurso del proceso para finalmente presentar el modelo de la figura 16.

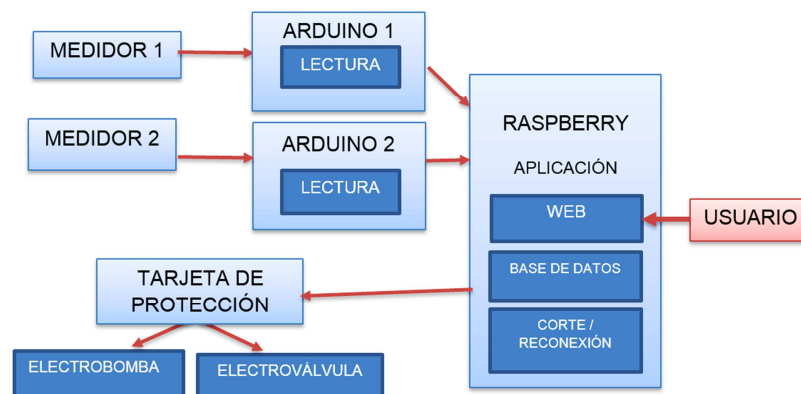


Figura 16. Diagrama de flujo de las conexiones entre los dispositivos del sistema.

El diseño hardware del sistema (figura 16) se ha implementado de acuerdo a unos requerimientos específicos:

Primero, para la detección de fugas en el circuito hidráulico, es necesario instalar dos medidores de flujo en puntos estratégicos que permitan realizar una comparación en las lecturas suministradas por los mismos para verificar si efectivamente surge un daño o falla dentro del sistema. Estos puntos estratégicos en un domicilio están ubicados en la entrada de flujo principal y el segundo medidor en un tramo considerable de tubería. Estas condiciones son dadas de acuerdo al modelo de vivienda en el cual se encuentra instalado. En el modelo diseñado, la tubería cuenta con una válvula manual (figura 12) que permite apreciar la desviación del flujo simulando un sistema domiciliario común.

Segundo, para cada medidor de flujo, se ha incorporado una tarjeta Arduino que permite la adquisición de los datos y su transmisión hacia la tarjeta Raspberry para su almacenamiento y visualización. Como se mencionó anteriormente, la tarjeta Arduino funciona de manera unidireccional, por lo tanto para optimización de recursos, agilidad en el sistema se tomó la determinación de instalar uno por cada medidor.

Tercero, el sistema está implementado de forma modular, esto quiere decir que internamente el Raspberry permite trabajar por módulos que se ejecutan a la vez. Por ejemplo, existe un espacio de trabajo específico para la interfaz y el contenido WEB presentado al usuario. Otro que se dedica exclusivamente a la ejecutar las funciones de corte y reconexión del sistema, y por supuesto otro que permita almacenar la información obtenida desde el Arduino en una base de datos. Esto permite trabajar de forma dinámica y corregir posibles fallas en el sistema, validando exactamente en qué parte se ocasionó el daño sin afectar otros módulos funcionales. Esto es muy conveniente para la persona que administre el sistema, por esta razón los módulos también se han implementado a nivel de hardware utilizando una tarjeta Arduino por cada Medidor.

Cuarto, el Raspberry se conecta directamente con la tarjeta de protección y ésta a su vez se conecta con la electroválvula y la electrobomba proporcionando la corriente necesaria para su funcionamiento.

La estructura general que permite apreciar las conexiones entre los dispositivos hardware del sistema incluyendo la tarjeta de protección, se muestran en la figura 17; en la parte superior izquierda de la figura se tiene la alimentación por medio de un cargador que proporciona 5 voltios DC a una corriente de 2A, éste va conectado directamente con la tarjeta Raspberry quien a su vez provee la alimentación de corriente a las tarjetas Arduino por medio de un cable USB ubicadas en la parte inferior.



Figura 17 : placa acrílica con dispositivos hardware.

En la parte superior central se encuentra la tarjeta Raspberry con su respectiva conexión de Ethernet y a la tarjeta de protección en la parte inferior derecha.

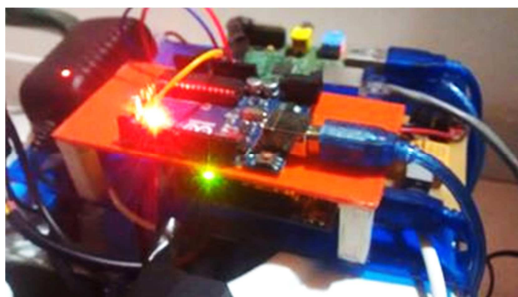


Figura 18 : montaje circuital.

En la figura 18 se visualiza en una placa acrílica roja la segunda tarjeta Arduino que es conectada al segundo medidor de flujo del sistema hidráulico y bajo la misma la tarjeta Arduino que adquiere los datos del medidor principal de flujo.

CAPÍTULO 4: ACOPLA E IMPLEMENTACIÓN ENTRE EL SOFTWARE Y EL HARDWARE DISEÑADO PARA LA INTERFAZ DE ACCESO REMOTO DEL SISTEMA

4.1 Componentes de comunicación

Dentro de este esquema son agrupados los componentes lógicos y el hardware necesario para llevar a cabo este proyecto enmarcado en la comunicación por medio de acceso remoto a un sistema de lectura, corte y reconexión de un servicio de agua domiciliario.

La bomba centrífuga sumergible es utilizada como tracción del flujo de agua, pasando por una tubería que permite mantener el flujo constante de este líquido y circulando activamente en el circuito hidráulico, simulando un sistema regular de suministro de agua.

La electrobomba se conecta en serie con la electroválvula y su funcionamiento es determinado de acuerdo a la apertura o cierre de ésta. Estas dos se manejan a voltajes de 120 Voltios por lo cual es indispensable utilizar un relé también operado a 120 V y 30 amperios. Este permite gobernar la energización de la electrobomba y la electroválvula y utilizando una señal de 5V, le permite al sistema permanecer en un estado de continuidad de corriente.

El relé se encuentra conectado a la tarjeta de protección descrita en el capítulo anterior permitiendo que el flujo de corrientes parásitas no ocasione daño a los dispositivos. Esta tarjeta va directamente conectada al Raspberry que actúa como un computador en el cual se ha implementado el sistema y la programación necesaria para permitir el acceso remoto al sistema de medición, corte y reconexión de agua.

La señal de planta es recibida y procesada por medio del dispositivo Arduino el cual recibe directamente los datos del medidor de flujo y se ve reflejada en planta en un display acoplado a la misma. El Arduino proporciona una señal direccionada al Raspberry [38], que contiene la lógica programable y la aplicación web que permite el corte y la reconexión del flujo de agua, además contiene la base de datos de todas las lecturas efectuadas por el medidor de flujo y la señal del Arduino que será observada por el usuario mediante una interfaz implementada para uso web por medio del acceso remoto. Esta información es sintetizada en un diagrama estructural como el mostrado en la figura 19.

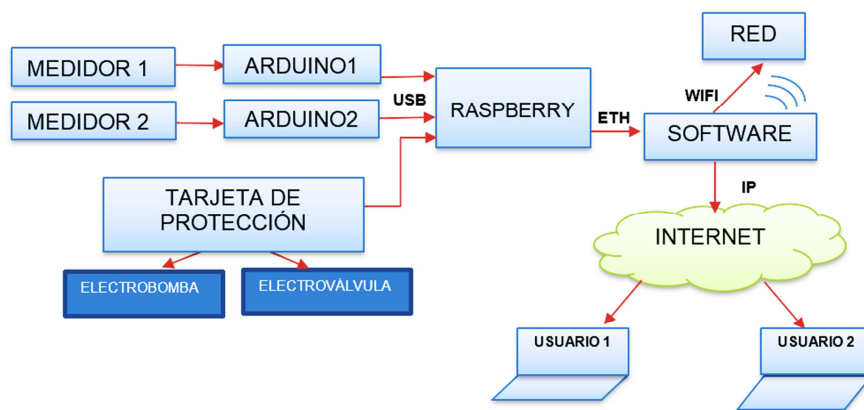


Figura 19. Diagrama de comunicación del sistema.

El esquema en bloques del sistema físico de planta (figura 19) se acopla a un sistema gobernado por dos tarjetas Arduino que son las encargadas de recibir las señales enviadas desde los medidores de flujo y actuar de acuerdo al procesamiento de estas señales implementadas en el Raspberry. La conexión entre el Raspberry y las tarjetas Arduino se realiza por medio de conexión USB. Dentro de esta conexión, cabe destacar que la tarjeta Arduino solo se utiliza para realizar una actividad a la vez, lectura, corte o reconexión, debido a su capacidad de respuesta unidireccional, por esto se hace necesaria la utilización también de los pines que proporciona el Raspberry Pi [49]. El software y todos los elementos programados para permitir el acceso remoto al sistema están incluidos

en la lógica del Raspberry que se conecta por medio de un cable de red Ethernet al módem o dispositivo que proporcione la red de internet. Ésta internamente direcciona una ip (dirección de identificación o protocolo de internet) que permite por medio del software de aplicación acceder a todas las funciones proporcionadas por este sistema.

Los pines del Arduino utilizados para el procesamiento de las señales y su respectiva energización y conexiones se muestran en las figuras 20 y 21:



Figura 20. Conexión de pines utilizados para el procesamiento de señales.



Figura 21. Conexiones de pines del Raspberry Pi para el procesamiento de señales.

4.2 Arquitectura del software: desarrollo y aplicación

Dentro de la programación necesaria para establecer todas las conexiones que permitan acceder de manera remota al sistema diseñado, ha sido desarrollada una

aplicación sobre la plataforma Java y dentro de ésta se ha implementado un servidor de aplicaciones que utilizando la red LAN permite el acceso de forma remota a través de internet.

El proceso se direcciona de la siguiente manera: después de obtener la información, la tarjeta Arduino envía la señal por medio de la conexión USB al Raspberry que lo almacena en un archivo plano, que posteriormente será utilizado para estadísticas, acciones de corte y reconexión y demás funciones que a petición del usuario sean implementadas de acuerdo a su necesidad. Ésta base de datos cuenta con toda la información pasada y presente arrojada por el medidor de flujo en un tiempo determinado. Este tiempo se registra desde el inicio de funcionamiento del sistema, hasta la última lectura efectuada por el medidor antes de la desconexión o si por el contrario está funcionando, la última lectura transmitida por el Arduino y actualizada por el sistema cada minuto. Toda esta lógica está implementada en el Raspberry que permite acceder de manera remota al sistema y efectuar las acciones de lectura, corte, reconexión, etc... requeridas por el usuario, estableciendo una conexión por medio de una red que proporciona internet.

Desde otro equipo, se ingresa al sistema digitando en el buscador web, la dirección ip a la cual apunta el Raspberry (ésta ip es fija y se obtiene con la red de internet a la cual se encuentre conectado el sistema y es proporcionado por el servidor o proveedor de internet), el puerto de conexión está direccionado en 8080 (puerto de conexión del Raspberry), el nombre del archivo que contiene toda la lógica para realizar el corte y la reconexión de agua (archivo que contiene la programación de JAVA con el nombre de ControlAgua), el nombre de la página inicial presentada en la interfaz de usuario (faces) y el archivo con extensión jsf (base de datos) que contiene la información suministrada por el sistema y su debido procesamiento según requerimiento del usuario (control.jsf). Todos los archivos de programación contenidos en el Raspberry y el Arduino que permiten

ejecutar las acciones descritas, se entregan en el anexo digital a este documento, además de los videos instructivos y de funcionamiento.

El lenguaje Java permite obtener diversos archivos para trabajo con extensiones tanto .txt, .jsf, .java, .css, entre otras. Este proyecto hace uso de uno de sus componentes para la comunicación por acceso remoto, con un sistema operativo implementado en el Raspberry llamado Rasbyan y un desarrollador llamado Eclipse. El archivo .jsf permite visualizar desde la web, los datos y acciones efectuadas por el sistema y procesados desde el archivo txt que almacena todos los datos leídos desde el medidor de flujo y transmitidos por el Arduino. Este documento dentro de la programación java, es compilado dando lugar a un nuevo archivo tipo war que es introducido en el servidor de aplicaciones, generando en conjunto con el Tomcat (archivo de la aplicación) la dirección del puerto conectado del Raspberry, en este caso el 8080.

La estructura interna del software utilizado para esta conexión de acceso remoto se define en la figura 22:



Figura 22. Estructura interna del software para conexión remota.

El sistema se puede conectar a un Router o Modem que permite la generación de la red de internet para el funcionamiento de los dispositivos y su interfaz con el usuario. Este Router o modem genera automáticamente una dirección ip que se puede elegir estática o dinámica. La ip estática es una dirección fija que el Router puede generar siendo configurado previamente desde un computador o desde el mismo Raspberry. Éste permite mantener el mismo valor siempre que acceda a la

red de internet. Por otra parte la ip dinámica que le puede asignar el Router puede cambiar de acuerdo al puerto donde se conecte, sin embargo si es un único dispositivo conectado a él, el Router asignará por defecto la ip terminada en .100. La conexión del dispositivo Raspberry con un Router, permite el acceso remoto al dispositivo desde cualquier parte teniendo acceso a una red de internet y el valor de la ip generada. En caso de no tener la ip, existen en el mercado aplicaciones que permiten analizar todos los dispositivos conectados a una determinada red y la dirección ip a la cual están direccionados. Esto es solo uno de los procedimientos existentes que permiten determinar la ip cuando no es configurada como fija.

Respecto de la implementación de la lógica de programación del Raspberry, el servidor de aplicaciones contiene todos los archivos capaces de generar las acciones pertinentes para la lectura, el corte y la reconexión del suministro de agua, además permite operar de diversas formas los datos obtenidos en dicha lectura como estadísticas, consumo actual, valor a pagar por espacios de tiempo, etc.

El acceso al servidor de aplicaciones se puede realizar de dos formas, en línea directa con el código conectándose a la tarjeta Raspberry (con un computador) o de forma remota a través de una web (cualquier dispositivo con acceso a internet). De esta manera puede estar funcionando el sistema de forma continua y de acuerdo a los requerimientos establecidos.

El siguiente esquema (figura 23) muestra la lectura y lógica empleada para el direccionamiento y servidor de aplicaciones de la plataforma establecida:

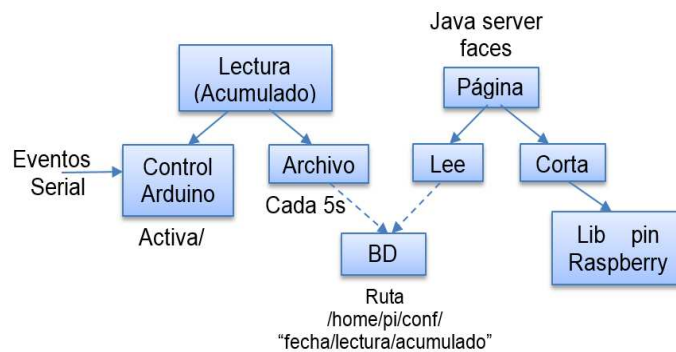


Figura 23. Diagrama de lectura y lógica del servidor de aplicaciones de la plataforma.

4.3 Montaje Definitivo del Sistema

Después de efectuar la programación necesaria para el Arduino, el Raspberry y el montaje respectivo del hardware, se procede a integrarlo en una planta modelo, que permite el acceso remoto al sistema y la realización de acciones como el corte y la reconexión en el servicio de agua.

En la figura 24 se puede apreciar el montaje estructural acoplado a un tanque con la placa de acrílico externa que contiene todos los componentes de hardware mencionados en la figura 17, además de los elementos de medida y acción como la electroválvula, los sensores de flujo y la válvula manual de apertura y cierre en forma de T. Dentro del tanque se encuentra sumergida la bomba que cierra el ciclo de suministro de agua continua para hacer posible la simulación del servicio de agua domiciliario o industrial.



Figura 24. Montaje final y conexiones para el procesamiento de señales del sistema.

4.3.1 Procedimiento de conexión

El procedimiento de conexión se basa en las siguientes instrucciones:

- a) El tanque es llenado en sus tres cuartas partes con agua.
- b) Se energiza el sistema conectando el adaptador a una fuente de energía eléctrica.
- c) Se conecta el cable de red al Raspberry (figura 25), el cual provee la red de internet necesaria para el acceso remoto al mismo.

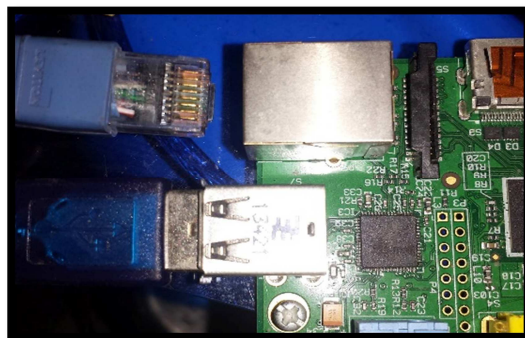


Figura 25. Conexión del cable de red al Raspberry para el acceso remoto.

- d) El módem que proporciona la red debe permitir establecer una ip fija para el dispositivo Raspberry y además contener WIFI que permita el acceso al dispositivo para obtener la dirección ip asignada por ésta.
- e) Desde un dispositivo móvil se puede obtener la ip asignada por medio de una aplicación que cuente con este servicio. De esta manera por facilidad se descarga una aplicación gratuita que permite visualizar todos los dispositivos conectados a la red de internet a la cual se encuentra conectado el sistema y la verificación de todas las direcciones ip. Existen múltiples aplicaciones, en este caso se utiliza la aplicación Fing o Network ip scanner. Desde un dispositivo móvil se ingresa a la tienda de aplicaciones de preferencia, en este caso Play Store. Se descarga la aplicación y se ingresan los datos de la red (nombre y contraseña). De esta manera ésta realizará un barrido permitiendo apreciar la dirección ip buscada para el sistema. La etiqueta de la tarjeta Raspberry aparece como Raspberry Pi Foundation, como se muestra en la figura No.26.

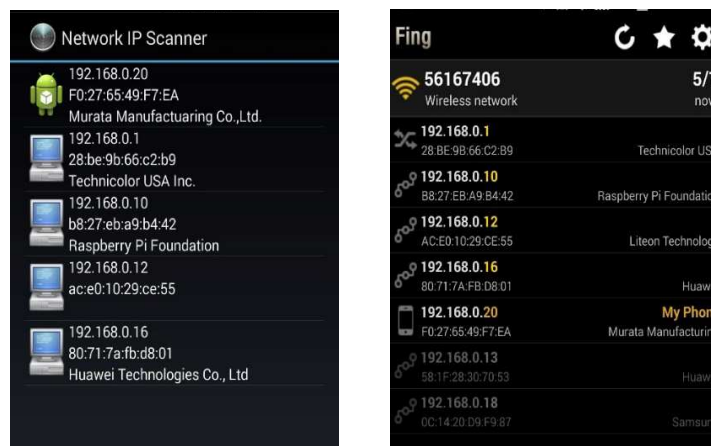


Figura 26. Visor de las aplicaciones en el dispositivo móvil.

- f) Después de obtener la ip asignada, se procede al acceso remoto desde cualquier equipo móvil, portátil o pc fijo que cuente con acceso a internet. En

este se introduce la dirección http con la nueva ip, en este caso la ip es: 192.168.1.104.

- g) Ingresar a la interfaz de usuario. Esta interfaz permite realizar cálculos de costo según los metros de agua consumidos, el historial de consumo y su actual estado, además del corte y la reconexión del sistema que es el objetivo primordial del proyecto.

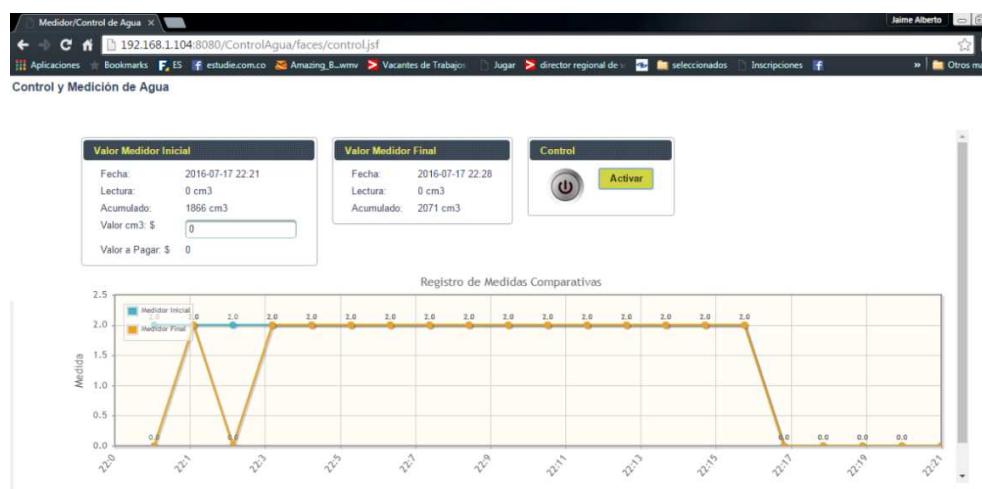


Figura 27. Solicitud de acceso al sistema.

En la parte superior de la figura 27, se aprecia la dirección que apunta al Raspberry y sus respectivos archivos de programa (en este caso el ejercicio se tomó con otra red de internet, por tanto la ip generada cambia en su valor, esto se aprecia en todas las gráficas de la interfaz presentadas desde la figura No. 27 en adelante), en la parte superior izquierda se visualiza los valores asignados al medidor inicial el cual contiene el campo con la última fecha de acceso, la lectura efectuada en el momento por el medidor inicial, el valor de flujo acumulado, la tarifa de servicio por cm^3 que es digitado por el usuario y el valor a pagar total. En el sector superior medio se presentan los valores referentes al medidor final que es instalado para contraste de información de flujo con el medidor inicial, en el que sólo es relevante la

fecha y hora de la última lectura, que idealmente debe coincidir con el medidor inicial, la lectura actual de flujo circulante y el valor de flujo acumulado. Y en la parte superior derecha se aprecia el led que indica conexión del sistema y el botón de activar o desactivar el sistema.

En la parte inferior de la figura 27 se aprecia el registro de medidas comparativas por los dos medidores actualizada en tiempo real. En azul la medición realizada por el sensor de flujo inicial y en naranja el registro del sensor final. En caso de no coincidir durante un tiempo determinado (el programa ha sido implementado para refrescarse cada minuto), el sistema generará una alarma de posibilidad de fuga. La gráfica presenta en su eje vertical la medición en cm^3 y en su eje horizontal el tiempo transcurrido para la medición.

- h) Al realizar el corte o la reconexión se especifica en pantalla un mensaje de conexión o desconexión exitoso que permite comprobar y corroborar que efectivamente se haya efectuado la acción sobre el dispositivo. En este caso se realiza una acción de conexión del sistema como se aprecia en la figura 28.



Figura 28. Conexión del sistema y mensaje de encendido exitoso.

- i) Para finalizar un proceso de lectura y medición, efectuando el corte respectivo del servicio, es necesario desactivar desde el administrador el proceso presionando la opción desactivar, momento en el cual aparecerá un mensaje de confirmación de apagado como el mostrado en la figura 29 y su respectivo acumulado hasta la fecha.



Figura 29. Desconexión del sistema y mensaje de apagado exitoso.

- j) Para acceder a la base de datos (archivo .txt) en el Raspberry, se debe descargar e instalar el programa winSCP. Se ejecuta el archivo aplicación ubicado en la carpeta de instalación (figura 30) y aparece la pantalla inicial de presentación. Se introduce la dirección ip completa en el campo Host name (no copiar y pegar). El puerto no se modifica, se mantiene el que el sistema asigna por defecto. El administrador ha definido un usuario y una contraseña que serán requeridas en el momento de la utilización del winSCP, se ingresan en su respectivo campo y se presiona login.

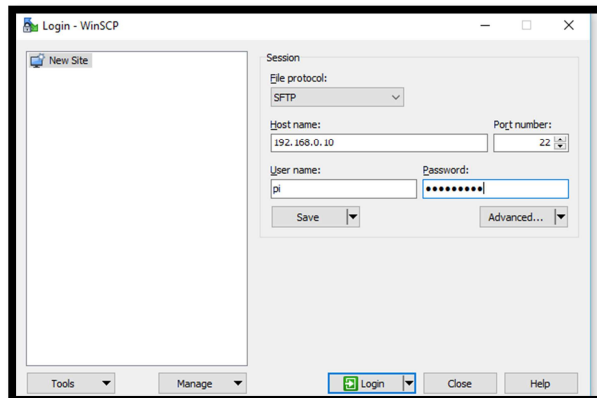


Figura 30: Introducción de datos en el winSCP.

k) De ésta manera se ingresa a la lógica interna del Raspberry que permite tener acceso directo al documento bd.txt que es la base de datos del sistema donde se recopilan todos los datos transmitidos por el medidor de flujo y procesados por la tarjeta Arduino desde el inicio del proceso hasta la última lectura registrada con el sistema en funcionamiento. Para ingresar a la carpeta conf. Ubicada al lado derecho de la figura 31, se da doble clic sobre ella para encontrar el archivo bd.txt, el cual contiene toda los datos de lectura tomados por el medidor en un intervalo de tiempo configurado previamente (1 segundo). Para acceder a ésta información también se da doble clic sobre el archivo bd.txt.

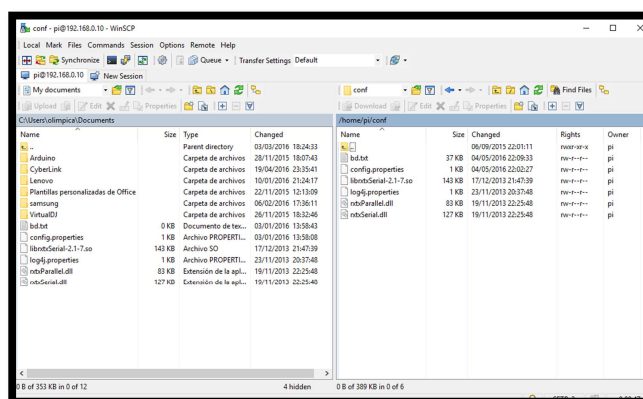


Figura 31. Archivos en la carpeta conf (etiqueta /home/pi/conf).

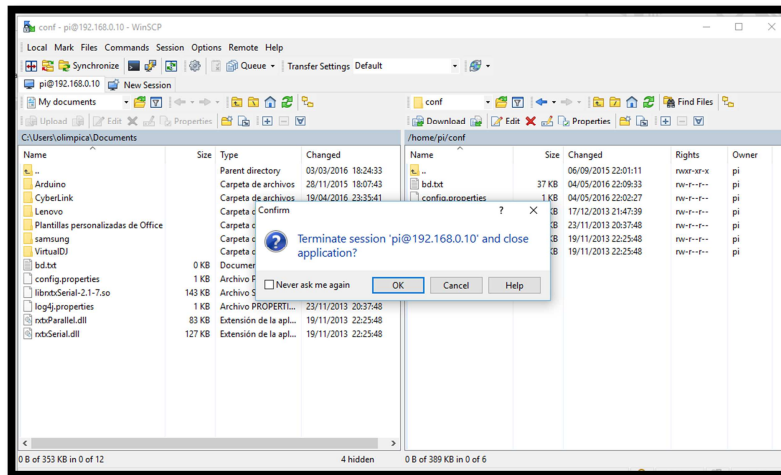


Figura 33. Cuadro de diálogo referente al cierre de la aplicación winSCP.

CAPÍTULO 5: DETECCIÓN DE FUGAS, PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Detección de fugas

En un sistema común instalado en un sector domiciliario o en una máquina específica funcionando en el sector industrial, se pueden definir puntos estratégicos que permitan instalar sensores externos al sistema de medición central y que logren obtener una señal de medida proporcionada por un sensor de flujo que registra datos de consumo, adicional a la medida principal y permite determinar si existen fugas en él.

La detección de fugas se puede determinar utilizando los sensores de caudal volumétrico, manipulando las señales generadas por éstos de forma tal que permite establecer un análisis detallado con respecto al consumo de agua y sus posibles irregularidades de la siguiente manera: El medidor principal conectado a la electroválvula, arroja una lectura según el estado de la misma, siendo cero el valor para la válvula cerrada (sin paso de flujo). De la misma manera otro medidor conectado a una distancia determinada por el usuario, permite comparar su lectura con la lectura mencionada anteriormente. Si el segundo medidor genera una señal de registro (datos en cero) en un tiempo determinado, aun estando la electroválvula abierta, se puede interpretar dicha lectura como una fuga presente en el sistema, caso en el cual el software permitirá reconocer como información de fuga el estado actual de este. La lectura comparada considerando un margen de error presente, se puede monitorear de forma remota y a su vez generar las alarmas pertinentes para su posterior corrección.

De igual manera, si la electroválvula se encuentra en estado abierto, las lecturas de las señales obtenidas en los dos medidores deben generar una diferencia considerable dentro de un margen previamente establecido, teniendo en cuenta

las pérdidas y posibles errores de lectura considerados por el sistema físico y sus elementos de medida.

Este sistema de detección de fugas está sujeto a los requerimientos del usuario y al sistema físico en el cual se encuentre inmerso; el esquema de la figura 34 muestra las condiciones en el laboratorio para hacer posible la detección de fugas sobre el sistema diseñado específico. Este muestra un tanque con dos sensores instalados en él, la transmisión de los datos al dispositivo encargado de la adquisición de la información, el procesamiento de esta información y su transmisión a una interfaz WEB que permite el acceso y visualización a los usuarios y la generación de alarmas en caso de irregularidades.



Figura 34. Esquema de detección de fugas por medición de flujo [50].

En la figura 35 se puede apreciar la estructura básica a seguir para un sistema domiciliario determinado y la comparación entre las mediciones de entrada y salida.

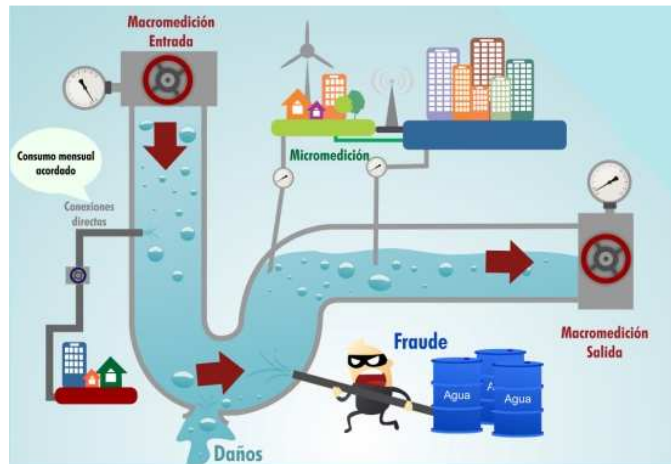


Figura 35. Esquema domiciliario y medición de fugas en el sistema [51].

La macro medición de entrada representa el medidor en el punto de ingreso de flujo al domicilio indicado que permite verificar que efectivamente el caudal de agua sea el correcto. El tramo en la tubería se ve afectado por distintas posibles fallas como por ejemplo la ruptura de la tubería, la desviación indebida de líquido (fraude), una mala conexión en los acoples de la tubería, etc. Causas que ocasionan pérdida de líquido, dinero y tiempo tanto al usuario como a la empresa que provea el servicio.

De esta manera, se validan los comportamientos de los medidores mediante una gráfica implementada en la interfaz de usuario, la cual permite la verificación de la medición de los dos medidores en volumen de agua, tiempo y hora de la medición, tomando un rango de lectura cada minuto (la escala de tiempo en la gráfica de la interfaz está determinada cada 4 minutos), tiempo en el cual el sistema refresca el estado actual de la lectura efectuada por cada medidor.

5.2 pruebas para validación de fugas

A continuación se realiza un análisis gráfico de una situación de fuga presentada en el modelo diseñado que simula el estado de un domicilio actual y una posible fuga de agua en su tubería.

Como representaba el esquema de la figura No. 38, en el sistema se implementan dos medidores que permiten la valoración del estado de flujo de caudal circulante por el tramo de tubería específica que cubre su medición. En condiciones ideales la medición debe ser efectuada en valores aproximadamente iguales, teniendo en cuenta las pérdidas que se puedan ocasionar por efectos de rozamiento, acoples y demás.

Los diferentes estados del flujo de agua por las tuberías se pueden apreciar en las lecturas que se analizan a continuación:

5.2.1 lectura de la gráfica de medición en la interfaz



Figura 36: interfaz presentada con las diferentes lecturas de los medidores de flujo del sistema.

Esta interfaz muestra todas las posibles variaciones del sistema ante cambios en el comportamiento ya sea del mando central o de los medidores por irregularidades presentadas en la lectura efectuada por estos.

En la parte superior, el campo lectura tanto en el medidor inicial como en el final deben tener un valor acorde que indica que el sistema se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento. En la imagen de la figura 36 se aprecia los dos medidores que registran una lectura de 0 cm^3 . Por otro lado la gráfica inferior muestra en color azul los datos de medición efectuados por el medidor inicial y en naranja los datos del medidor final.

En el tramo de tiempo entre las 13:29 y las 13:42 la lectura de ambos medidores es 0 cm^3 , entre las 13:42 y las 14:01 el medidor azul registra un valor de lectura de 2 cm^3 y en ese mismo rango de tiempo el medidor final presenta distintas variaciones en su lectura, y finalmente desde las 14:02 hasta el último registro a las 14:10 la lectura vuelve a estabilizarse en 0 cm^3 para los dos medidores. La lectura en el instante actual se verifica al final de la gráfica en la línea de tiempo y esta debe coincidir con el registro de la última lectura efectuada por los medidores en el campo fecha y hora del último registro.

5.2.2 desconexión de medidores

En la interfaz presentada en la figura No. 36, se muestra la lectura de los medidores en tiempo real. En este primer análisis se ha tomado el sistema en desconexión, que implica que la electroválvula se encuentra activa para cierre y la electrobomba en estado off. En la parte de control se encuentra el botón con la opción de activar, además los registros de lectura de ambos medidores se encuentran en 0 cm^3 , y la gráfica muestra un comportamiento en la línea de medida de 0, esta situación se presenta en el caso ideal en el cual los dos sensores registran un cierre completo del paso de flujo por la tubería.

5.2.3 Sistema activo, medidores activos



Figura 37: lectura de medición activa.

En la figura 37, se muestra el sistema activo, la lectura de los medidores activa y establecida en 2 cm³ y la misma lectura de los medidores en la gráfica inferior desde las 14:42 establecida en 2 cm³ hasta el instante de lectura actual.

5.2.4 medidor inicial activo, medidor final con lectura irregular



Figura 38: lectura del medidor inicial activa, medidor final en 0 cm³.

Un estado de alerta de posible fuga se muestra en la gráfica 38, el sistema está activo y la lectura del medidor inicial se encuentra en 2 cm^3 . En la gráfica se registra la lectura del medidor inicial desde las 14:39 en 2 cm^3 y el medidor final sin embargo continúa en 0 cm^3 , esto se analiza como una posible avería en la tubería que conduce el flujo de agua en otro sentido impidiendo su paso por el medidor final. En la práctica esta fuga fue representada mediante la acción del cierre de la válvula manual en la cual el flujo circulante se desvía por la tubería alterna. Este evento se muestra en la figura 39.

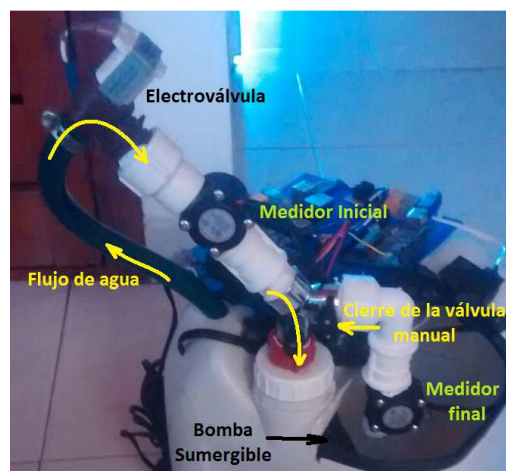


Figura 39. Situación simulada de fuga en el sistema diseñado.

Si se prolonga el tiempo en que la medición de los sensores no concuerda, el sistema lanzará un mensaje de alerta cada minuto hasta que se tomen las medidas pertinentes y el sistema vuelva a funcionar correctamente. En la figura 40 se muestra el mensaje de error y en la figura 41 se restablece nuevamente el sistema y la medición de los sensores vuelve a medir 2 cm^3 .

Las pruebas realizadas sobre el sistema se entregan en material digital con su respectivo funcionamiento y resultados.

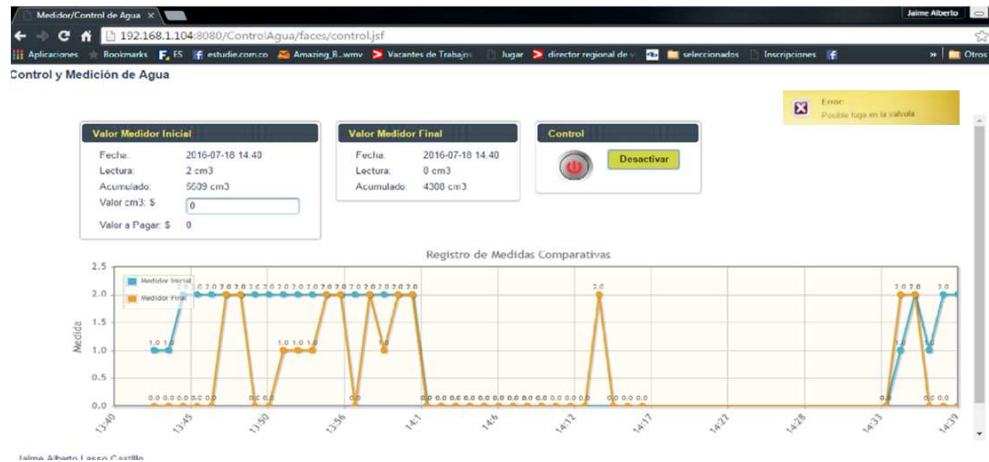


Figura 40. Mensaje de posible fuga en el sistema.



Figura 41. Restablecimiento de las mediciones de los sensores inicial y final.

5.3 Resultados

Para evaluar las pruebas realizadas en el funcionamiento normal del sistema y en la detección de fugas, se realizó una tabla con los parámetros a considerar para determinar la estabilidad del sistema con tipologías específicas.

Estas características fueron determinadas de acuerdo a los conceptos detallados en capítulos anteriores y que permiten apreciar la funcionalidad y factibilidad del diseño. En la tabla 17 se presenta dicha evaluación. La calificación de los

procedimientos de acuerdo a su cumplimiento se denotan como: Aprobado o No Aprobado.

Tabla 17: Prueba de funcionamiento del sistema y criterios de evaluación.

Variable de prueba	Criterio de aceptación	Resultado
Transmisión de datos de lectura en tiempo oportuno.	El sistema muestra los datos adquiridos mediante su interfaz en el tiempo configurado para tal fin.	Aprobado
Sistema confiable, seguro y rápido.	La programación de los dispositivos escogidos ha mostrado estabilidad a pesar de utilizar software libre y ejecutando las acciones propuestas con un tiempo de respuesta eficiente.	Aprobado
Costos de transmisión, instalación y mantenimiento bajos.	Los costos para el montaje del sistema, los recursos de programación y la implementación de los elementos adicionales (red, internet, cable, energía, etc.) se ajustan al presupuesto planteado inicialmente.	Aprobado
Almacenamiento de datos en una base de datos de forma digital	El sistema genera un archivo plano de fácil utilización que contiene todos los registros de lectura de los medidores de forma digital denominada base de datos bd.txt	Aprobado
Factible y sencillo de implementar	El sistema operativo Linux provee herramientas para aprender a programar en Java de manera fácil al igual que la plataforma que soporta Arduino. Las instrucciones de funcionamiento muestran que es un sistema sencillo de implementar y de manejar para un usuario con poco conocimiento en programación y existen múltiples tutoriales y manuales para efectuar proyectos de este tipo.	Aprobado
Programación propia del sistema que permite su modificación	Al trabajar una plataforma libre, el software utilizado fue implementado de acuerdo a los requerimientos del	Aprobado

de ser necesario	proyecto lo cual permite una variación en su estructura o la ampliación de funciones de acuerdo a la necesidad.	
Acceso a la interfaz de usuario desde cualquier punto que provea una red de internet	Solamente es necesario tener acceso a una red de internet y un navegador que permita desde cualquier dispositivo acceder al sistema, conociendo la dirección ip a la que apunta el dispositivo diseñado.	Aprobado
Reducción en tiempo y costos por concepto de medición	Los datos adquiridos son obtenidos en tiempo real, almacenados y procesados de igual manera. Los costos solo son representados por los valores de operación como internet, energía y la persona que se encargue del análisis de la información.	Aprobado
Actuar de forma oportuna ante daños en el sistema hidráulico	Los mensajes de alerta permiten actuar de forma oportuna ante daños en el sistema hidráulico.	Aprobado
Permitir al cliente tener acceso a la información de su consumo	Otros sistemas proveen la posibilidad de lectura de datos únicamente a quien administre el sistema, este diseño se puede adaptar para que el cliente verifique su consumo y la tarifa a pagar por el servicio, además de posibles irregularidades en estos procedimientos de forma oportuna.	Aprobado
Incentivar al cliente o usuario al ahorro de agua	Esto permite cultivar en el cliente la política de ahorro y cuidado en el consumo de este recurso.	Aprobado

La comunicación con el hardware de corte y reconexión se realizó por medio de un cable USB teniendo en cuenta que la interfaz HMI estuvo determinada mediante una red de Internet y su protocolo de comunicación fue TCP, todo estructurado en un lenguaje Java. La información obtenida fue procesada y administrada por los usuarios, y almacenada en servidores con aplicación en la nube. Este diseño desarrolló las funciones de medición, corte y reconexión del flujo de agua además de la detección de fugas, todo de forma remota.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El aporte a la innovación, desarrollo y ahorro energético de recursos se hizo bajo determinadas características con el propósito de apreciar de la mejor manera el funcionamiento del sistema de medición, corte y reconexión del flujo de agua del servicio domiciliario.

El sistema de medición, corte y reconexión por acceso remoto para el sistema domiciliario de agua puede ser aplicado a sistemas industriales, residenciales, edificios y demás que requieran la optimización en los procesos de medición y distribución de agua en tiempo oportuno, acceso remoto y con un registro de datos almacenados para el procesamiento de dicha información.

Estos sistemas pueden ser utilizados en la distribución de servicios como gas y electricidad con variaciones en el sistema de medición, tomando la plataforma diseñada como modelo para efectuar las mismas acciones que con el servicio de agua.

El sistema diseñado le permite al usuario conocer de forma clara y completa la información de los consumos de agua en su domicilio, reduce los errores por facturación y agiliza los procedimientos de corte y reconexión del servicio.

El personal designado para realizar las mediciones de forma manual y presencial puede ser capacitado para manejar el sistema y su procesamiento desde un ambiente seguro y con menor riesgo laboral.

Se genera la modernización de las empresas prestadoras del servicio de agua empleando las tecnologías existentes como internet, servidores con almacenamiento en la nube y demás que se encuentran en su mayor auge en la actualidad.

Se logra concientizar tanto a empresas como a clientes la importancia de aplicar las políticas para el ahorro del recurso hídrico y el cuidado en el consumo del mismo.

Existen desventajas en el sistema que se pueden trabajar como mejoras en un futuro, situaciones como la alimentación energética al sistema de forma continua e ininterrumpida se pueden solucionar de forma oportuna y con costos mínimos.

El trabajo con software libre genera riesgos en el soporte de su plataforma, pero también genera gran libertad de construcción en la programación y utilización de los recursos que estos proveen para el diseño de sistemas como el expuesto en este proyecto.

Estos sistemas se pueden aplicar en sistemas de riego controlando no solo variables como la distribución de agua, sino también el nivel de humedad, la temperatura de agua, etc.

Al emplear una base de datos en un archivo plano se logra la eficiencia en la utilización de recursos tanto de memoria como en el acceso a los datos que estos contienen.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Congreso de Colombia. 11 de junio de 1997. Ley 373 de 1997. Programa para el uso eficiente y ahorro del Agua. Diario Oficial No. 43.058. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=342#>
- [2] F, Giraldo. *El Estado del Arte de la Regulación en el sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia*. Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico CRA. Colombia: Tercer mundo editores, 2001, cap. 6, pp. 215 – 217
- [3] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones MINTIC. Plan Vive Digital, 2010 - 2014. [En línea] Disponible en: <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-1510.html>
- [4] Hidrocentro. Tecnología de Agua Potable. Monitoreo Remoto de Variables para Plantas de Tratamiento. Octubre 2014 [En línea] Disponible en: <http://www.hidrocentro.co/Monitoreo.aspx>
- [5] G, Berenz, et al " Lectura Remota de las Variables de un Invernadero usando Telemetría" Universidad Nacional de Ingeniería. 2009
- [6] DISCAR Telecom & Energy. El Sistema de Gestión de la Energía Mr.DiMS. 2014. [En línea] Disponible en: <http://www.metering.com.ar/es/index.php>
- [7] A. L, Ekuakille et al "Measurement - Pipeline flow measurement using real-time imaging" Science Direct Elsevier. vol 47, pp. 1008–1015, 2014.
- [8] S, Lakshmanan et al "Flow Measurement and Instrumentation - Measurement of an oil–waterflow using magnetic resonance imaging" Science Direct Elsevier. pp. 0955-5986. 2016.
- [9] T, Koppel et al "Advances in Engineering Software - Estimation of real-time water fluxes in water distribution system on the basis of pressure measurements" Science Direct Elsevier. vol 66, pp. 19–23. 2013.
- [10] A, Vassiljev et al "Advances in Engineering Software - Real-time demands and calibration of water distribution systems" Science Direct Elsevier. vol 89, pp. 108–113. 2015.

- [11] J, González et al “Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura” *Scientia Et Technica*. vol. XVII, no. 50, pp. 128-131. abril, 2012.
- [12] M, Albarrán et al, “Reducción de pérdidas en Sistemas de Agua Potable” Proyecto, Ministerio de Planificación y Cooperación MIDEPLAN, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, noviembre, 1997.
- [13] B, M. Brentan et al “Journal of Computational and Applied Mathematics - Hybrid regression model for near real-time urban water demand forecasting” *Science Direct Elsevier*. pp. 377-427. 2016.
- [14] P, C. Calero, et al, “Medidor electrónico de consumo de agua con Interfaz Inalámbrica” Tesis, Fac. Ing. Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Julio 2008.
- [15] C, A. Lozano et al “Lectura automática de medidores de consumo de agua con tecnología bluetooth” *Avances en Sistemas e Informática*, vol 6, no 1, Junio 2009.
- [16] [16] C, M. Durán et al “Automatización de un sistema de suministro de agua potable a través de la Tecnología ZIGBEE” *Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol 2, no. 20, Mayo 2012.
- [17] M, R. Álvarez, et al, “Diseño de un sistema de telemetría inalámbrico para automatizar la lectura de consumos en los medidores de agua” Tesis, Esc. Ing. Eléctrica, Electrónica y Comunicaciones, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2007.
- [18] Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P. Institucional, Infraestructura, Plantas de Tratamiento [En línea] 2016. Disponible en: <http://www.acueductopopayan.com.co/institucional/infraestructura/plantas-de-tratamiento/>
- [19] Manual para Construcciones de Redes de Acueducto y Alcantarillado en el Municipio de Popayán, Edición 1. Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, Popayán, 2009, pp 13, 25,30.
- [20] “Tuberías de los acueductos” Curso. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Santiago de Cali, agosto 2006 [En línea] Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/tuberias-de-los-acueductos.html>

- [21] Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EPM, Edición 1. Empresas Públicas de Medellín E. S. P, Medellín, 2009, pp 5-124,5-133,5-137
- [22] Contranspower Co, Ltd. (2016). Solenoid valve. Invensys solenoid valve.[Online] Disponible en:
- [23] http://www.contranspower.com/index.php?route=product/product&path=107_199&p%20%20roduct_id=3304
- [24] J, A. Ordoñez. (2016). Medidores de flujo. Monografias.com. [En línea] Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos31/medidores-flujo/medidores-flujo.shtml#ixzz4FBuRbLZH>
- [25] ElectroniLab. (2016). Sensor De Flujo De Agua G1/2 1 a 30L/min. [Online] Disponible en: <http://electronilab.co/tienda/sensor-de-flujo-de-agua-g12-1-30lmin/>
- [26] Mercado Libre. (2016). Sensor De Flujo De Agua Arduino. [En línea] Disponible en: http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-424877518-sensor-de-flujo-de-agua-arduino-_JM
- [27] Mercado Libre. (2016). Sensor Flujo De Agua Sht-100 30l. [En línea] Disponible en: http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-425536948-sensor-flujo-de-agua-sht-100-30l-_JM
- [28] Olimex. Products, components, sensors, Water_flow_sensor_datasheet. Mayo 2008. [En línea] Disponible en: https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-FLOW201/resources/Water_flow_sensor_datasheet.pdf
- [29] Guía para la selección de equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Organización Panamericana de la Salud OPS, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE. Lima. 2007, pp
- [30] Capítulo I Dimensión Ambiental. Plan de Ordenamiento Territorial. Municipio de Popayán. 2016. p 86.
- [31] Aliexpress. (2016). Sunsun hj-1541 bomba sumergible multifuncional 220 V. [Online] Disponible en:

- [32] <http://es.aliexpress.com/item/Sunsun-sensen-hj-1541-multifunctional-submersible-pump-aquarium-fish-tank-pump-water-pump-filter-pump-28w/1102951018.html>
- [33] http://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/clientes_y_usuarios/personas/aguas/vinculacion/Criterios%20para%20definir%20el%20diametro%20de%20acometida%20y%20medidor.pdf -]
- [34] Aprendiendo Arduino, Microcontroladores. 26 de junio, 2016 [En línea] Disponible en:
- [35] <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/26/microcontroladores-2/>
- [36] M, Verle. (2009, 01,01). Microcontroladores PIC – Programación en C con ejemplos. (MikroElektronika) [En línea] Disponible en: <http://learn.mikroe.com/ebooks/microcontroladorespic/>.
- [37] ABC Innovación y Tecnología S. (2016). ¿Qué es un PLC? [En línea] Disponible en: <http://www.abcinnova.com/articulos-e-informacion/18-ique-es-un-plc-y-que-beneficios-tiene.html>
- [38] QuimiNet. (20-Ene-2006). Características de PLC's. [En línea] Disponible en: http://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-de-plcs-2671303.htm?mkt_source=22&mkt_medium=2421141438&mkt_term=66&mkt_content=&mkt_campaign=1
- [39] SIDE Automatización (Servicio Industrial de Electrónica, S.A.), (2016). Pc industrial. [En línea] Disponible en: <http://www.side-automatizacion.com/es/pc-industrial>
- [40] “PC Industriales” Presentación. Escola Técnica Superior d’ Enginyeria. Universitat d’ Valencia. España [En línea] Disponible en: <http://www.uv.es/rosado/courses/CINS/PCindustriales.pdf>
- [41] ARDUINO USA only. (05 de Mayo de 2016). Descargar guía de Arduino [En línea] Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software#>
- [42] Raspberry Pi en Español. (2016). Hardware Raspberry Pi. [En línea]. Disponible en: <http://www.raspberrypi.es/hardware-raspberrypi.php>
- [43] Culturacion. Raspberry Pi: definición y características. [En línea]. Disponible en: <http://www.raspberrypi.es/hardware-raspberrypi.php>

- [44] Hacedores Maker Community (2014, febrero 14) ¿Cuántos tipos diferentes de Arduino hay? [En línea]. Disponible en: <http://hacedores.com/cuantos-tipos-diferentes-de-arduino-hay/>
- [45] Amazon Try Prime. (Septiembre 2015) Arduinos [En línea]. Disponible en: https://www.amazon.com/s/ref=nb_sb_noss_1?url=search-alias%3Dcomputers&field-keywords=arduinios
- [46] I, Pe (2014, julio 29) Análisis comparativo de las placas Arduino (oficiales y compatibles). [En línea]. Disponible en: <http://comohacer.eu/analisis-comparativo-placas-arduino-oficiales-compatibles/>
- [47] Conectrol S.A (2016) Raspberry Pi tipo B 512 MB con Procesador ARM. [En línea]. Disponible en: <http://www.conectrolinformatica.com/placa-raspberry-pi/2756-raspberry-pi-tipo-b-512-mb-con-procesador-arm.html>
- [48] W3C. (19 de mayo de 2015) 2 Introduction to HTML 4. [En línea] Disponible en: <https://www.w3.org/TR/REC-html40/intro/intro.html#h-2.2>
- [49] J, L. Martínez “Diseño y desarrollo de un sistema de medición y monitoreo remoto enfocado al uso doméstico” Tesis, Facultad de Ingenierías, Universidad Tecnológica de Pereira 2015.
- [50] AL FINAL (Diciembre 2015). Modelo TCP/IP. [En línea] Disponible en: <http://www.alfinal.com/Temas/tcpip.php>.
- [51] Hispavila. (Septiembre, 2015) Circuitos prácticos. [En línea] Disponible en: <http://hispavila.com/total/index tutores.html>
- [52] FRAMBUESA PI COLOMBIA. (05 de Mayo de 2016). *Conexión remota al Raspberry pi* [En línea] Disponible en: <http://www.frambuesapi.co/category/youtube/raspberry-pi-en-5-minutos/>
- [53] L, A. Gama et al (2010, febrero). Diseño de un Interfaz para la detección de fugas de agua. Revista Digital Universitaria [En línea] vol (11), no (2). Disponible: <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num2/art23/int23b.htm>
- [54] Tecno marketing news. (Mayo 2016). Un sistema inteligente para gestionar el agua no contabilizada. [En línea] Disponible en: <http://tecnomarketingnews.com/un-sistema-inteligente-para-gestionar-el-agua-no-contabilizada/#sthash.Flx2Y30s.dpuf>.