



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y**  
**ALERTA DEL CONSUMO Y FUGAS DE AGUA POTABLE**  
**APLICABLE A UNA RESIDENCIA ESTUDIANTIL.**

**Trabajo de titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**AUTOR:** JOSUÉ DAVID ALTAMIRANO CALAPUCHA

**DIRECTOR:** ING. PABLO LOZADA YÁNEZ

Riobamba-Ecuador

2020

©2020, Josué David Altamirano Calapucha

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Josué David Altamirano Calapucha declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de septiembre de 2020.

**Josué David Altamirano Calapucha**  
**0604128934**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y ALERTA DEL CONSUMO Y FUGAS DE AGUA POTABLE APLICABLE A UNA RESIDENCIA ESTUDIANTIL**, de responsabilidad del Señor **JOSUÉ DAVID ALTAMIRANO CALAPUCHA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos , técnicos , legales en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b> (año-mes-día)
Ing. José Luis Morales Gordón <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
Ing. Pablo Eduardo Lozada Yáñez <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

## **DEDICATORIA**

Dedicado al Creador, la familia y a mí mismo.

Josué

## **AGRADECIMIENTO**

Al acabar esta jornada de aprendizaje, le doy las gracias a mis padres que siempre me apoyaron en todo momento. A los profesores que compartieron su pasión por su trabajo, Ing. Aliaga, Ing. Lozada, Ing. Rodríguez, Ing. Gavilánez. A esos compañeros que me tendieron la mano en momentos de enfermedad, y a aquellos con los que se festejó la juventud, la libertad y el aprendizaje. A la vida misma que nos proporciona este momento, el ahora.

Josué

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY .....	xx
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	3
1.1.	Caso de estudio: La residencia estudiantil AC.....	3
1.2.	Importancia y alcance .....	6
1.3.	Formulación del problema.....	6
1.4.	Objetivos.....	6
1.5.	Aclaración legal y delimitación.....	7

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.	Antecedentes.....	8
2.1.1.	<i>Lineamientos de desarrollo por Naciones Unidas y Estado Ecuatoriano .....</i>	8
2.1.2.	<i>El servicio de agua potable en el cantón Riobamba .....</i>	9
2.2.	Estado del arte .....	12
2.2.1.	<i>Investigación académica.....</i>	12
2.2.1.1.	<i>UTA: Tipán – 2017 .....</i>	12
2.2.1.2.	<i>ESPOCH: Gusqui &amp; Chaglla – 2016 .....</i>	13
2.2.1.3.	<i>UNL: Chuquimarca – 2014 .....</i>	13
2.2.1.4.	<i>UNIANDES: Masaquiza - 2018.....</i>	14
2.2.1.5.	<i>UDLA: Marcillo 2019 .....</i>	14
2.2.2.	<i>Soluciones comerciales.....</i>	15
2.2.2.1.	<i>Flo by Moen.....</i>	15

2.2.2.2.	<i>Leak Smart y Fortrezz</i> .....	16
2.2.2.3.	<i>Hydrosense</i> .....	16
2.3.	<b>Los sistemas de aprovisionamiento de agua</b> .....	17
2.3.1.	<b>Fundamentos</b> .....	17
2.3.2.	<b>La demanda del agua</b> .....	18
2.3.2.1.	<i>Categorías de consumo</i> .....	18
2.3.2.2.	<i>Patrones de demanda</i> .....	19
2.3.3.	<b>El diseño de sistemas de agua doméstico</b> .....	21
2.3.3.1.	<i>Conceptos fundamentales</i> .....	21
2.3.3.2.	<i>Diseño por caudal y factor pico</i> .....	21
2.3.3.3.	<i>Principales tipos de sistemas de agua</i> .....	22
2.3.4.	<b>Diagnóstico y supervisión</b> .....	23
2.3.4.1.	<i>Fallas comunes</i> .....	23
2.4.	<b>La supervisión de un sistema hidráulico</b> .....	25
2.4.1.	<b>Sensores para medir el caudal y la presión hidráulica</b> .....	25
1.5.1.1	<i>Sensores de presión hidráulica</i> .....	25
1.5.1.2	<i>Sensores de flujo (Caudalímetro)</i> .....	26
1.5.1.3	<i>Caudalímetro de turbina</i> .....	26
1.5.1.4	<i>Caudalímetro ultrasónico</i> .....	26
2.4.2.	<b>Tarjetas de desarrollo</b> .....	26

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	28
3.1.	<b>Requerimientos del sistema</b> .....	28
3.2.	<b>Concepción general del prototipo</b> .....	29
3.3.	<b>Etapas que conforman a todo el sistema</b> .....	29
3.4.	<b>Etapas de adquisición de datos</b> .....	30
3.5.	<b>Etapas de indicadores y alerta</b> .....	30
3.6.	<b>Descripción general de los elementos <i>hardware</i> para SISUA</b> .....	30
3.7.	<b>Elección de los sensores de caudal y presión</b> .....	31
3.7.1.	<b>Criterios fundamentales</b> .....	31
3.7.2.	<b>Sensores de caudal</b> .....	31
3.7.2.1.	<i>YF-S201</i> .....	31
3.7.2.2.	<i>DN15 -Trantech</i> .....	32
3.7.2.3.	<i>SBG234 - IFM</i> .....	33
3.7.3.	<b>Sensores de presión</b> .....	35

3.7.3.1.	<i>HK3022</i> .....	35
3.7.3.2.	<i>MPX5500</i> .....	36
3.7.3.3.	<i>PN7594 -IFM</i> .....	37
3.7.4.	<i>Escogimiento de sensores</i> .....	38
3.8.	<b>Elección de las tarjetas de desarrollo</b> .....	38
3.8.1.	<i>Arduino Nano</i> .....	39
3.8.2.	<i>Node MCU</i> .....	40
3.9.	<b>Ordenador</b> .....	41
3.10.	<b>Punto para acceso inalámbrico</b> .....	42
3.11.	<b>Electroválvula</b> .....	43
3.12.	<b>Esquema de conexiones electrónicas</b> .....	44
3.13.	<b>Etapas de procesamiento de datos</b> .....	45
3.14.	<b>Entorno de desarrollo IDE Arduino 1.8.12</b> .....	46
3.15.	<b>Adquisición de datos</b> .....	46
3.15.1.	<i>Interrupciones</i> .....	48
3.16.	<b>Indicadores y alertas</b> .....	53
3.16.1.	<i>Generalidades</i> .....	53
3.16.2.	<i>Interfaz de usuario</i> .....	54
3.16.3.	<i>Interfaz de administrador</i> .....	55
3.16.3.1.	<i>Telegram</i> .....	56
3.16.3.2.	<i>Thingspeak</i> .....	57
3.17.	<b>Programación del software</b> .....	57
3.18.	<b>Procesamiento de datos</b> .....	57
3.19.	<b>Diseño e implementación de la placa en PCB</b> .....	59
3.20.	<b>Fabricación de la PCB</b> .....	60
3.21.	<b>Diseño del chasis e implementación final</b> .....	62

## CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	63
4.1.	<b>Instalación del módulo SISUA</b> .....	63
4.1.1.	<i>Instalación de los sensores, electroválvula y el módulo electrónico</i> .....	64
4.1.2.	<i>Calibración de sensores</i> .....	64
4.1.2.1.	<i>Protocolo</i> .....	64
4.1.2.2.	<i>HK3022</i> .....	65
4.1.2.3.	<i>YF-S201</i> .....	67
4.1.3.	<i>Inicialización</i> .....	69

<b>4.1.4. Prueba de funcionamiento .....</b>	<b>72</b>
<b>4.1.4.1. Generalidades.....</b>	<b>72</b>
<b>4.1.4.2. Prueba de presión.....</b>	<b>73</b>
<b>4.1.4.3. Prueba de caudal.....</b>	<b>74</b>
<b>4.1.5. Prueba de repetitividad del módulo SISUA .....</b>	<b>76</b>
<b>4.1.5.1. Protocolo .....</b>	<b>76</b>
<b>4.1.5.2. Resultados.....</b>	<b>80</b>
<b>4.1.6. Prueba de tiempo de respuesta de comandos .....</b>	<b>80</b>
<b>4.1.7. Consumo energético .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1.8. Costos del Módulo SISUA .....</b>	<b>82</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Consumo ponderado por actividades en litro.....	19
<b>Tabla 2-2:</b>	Agentes de fallo en las tuberías.....	24
<b>Tabla 3-2:</b>	Tipos de comunicación para tarjetas .....	27
<b>Tabla 1-3:</b>	Requerimientos generales de SISUA.....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	Características del sensor YF-S201.....	32
<b>Tabla 3-3:</b>	Características del sensor DN-15 .....	33
<b>Tabla 4-3:</b>	Características del sensor SBG234 .....	34
<b>Tabla 5-3:</b>	Características del sensor HK3022 .....	35
<b>Tabla 6-3:</b>	Características del sensor MPX5500.....	36
<b>Tabla 7-3:</b>	Características del sensor PN7594 .....	37
<b>Tabla 8-3:</b>	Tipos de tarjetas de desarrollo.....	38
<b>Tabla 9-3:</b>	Tipos de tarjetas de desarrollo.....	39
<b>Tabla 10-3:</b>	Características de Arduino nano .....	40
<b>Tabla 11-3:</b>	Características de Node MCU.....	41
<b>Tabla 12-3:</b>	Características de Asus X456UA.....	42
<b>Tabla 13-3:</b>	Características técnicas del router .....	43
<b>Tabla 14-3:</b>	Características de la electroválvula .....	44
<b>Tabla 15-3:</b>	Leds indicadores en SISUA .....	55
<b>Tabla 16-3:</b>	Comandos Telegram para SISUA .....	56
<b>Tabla 1-4:</b>	Respuesta del sensor HK3022.....	65
<b>Tabla 2-4:</b>	Estadísticos para HK3022 .....	66
<b>Tabla 3-4:</b>	Correlaciones para HK3022.....	66
<b>Tabla 4-4:</b>	Cantidad de Pulsos por litro en el caudalímetro.....	67
<b>Tabla 5-4:</b>	Estadísticos para YF-S201 .....	68
<b>Tabla 6-4:</b>	Correlaciones para YF-S201 .....	69
<b>Tabla 7-4:</b>	Prueba de presión .....	73
<b>Tabla 8-4:</b>	Prueba de caudal .....	75
<b>Tabla 9-4:</b>	Prueba de repetitividad.....	78
<b>Tabla 10-4:</b>	Prueba de tiempo de respuesta .....	80
<b>Tabla 11-4:</b>	Consumo energético.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Residencia Estudiantil AC .....	3
<b>Figura 2-1:</b>	Indicios de fugas y humedad .....	4
<b>Figura 3-1:</b>	Fuga hallada en un codo .....	4
<b>Figura 4-1:</b>	Sistema original de la Residencia estudiantil AC(caso de estudio .....	5
<b>Figura 1-2:</b>	Trasvase “Maguazo - Alao” .....	10
<b>Figura 2-2:</b>	Tarifario residencial EP-EMAPAR .....	12
<b>Figura 3-2:</b>	Concepción general de Hydrosense .....	17
<b>Figura 4-2:</b>	Ribagua – Taylor Francis.....	23
<b>Figura 1-3:</b>	Concepción general del sistema SISUA .....	29
<b>Figura 2-3:</b>	Concepción por etapas del sistema .....	30
<b>Figura 3-3:</b>	Sensor YF-S201 .....	32
<b>Figura 4-3:</b>	Sensor de caudal DN15.....	33
<b>Figura 5-3:</b>	Sensor de caudal DN15.....	34
<b>Figura 6-3:</b>	Sensor HK3022.....	35
<b>Figura 7-3:</b>	Sensor MPX5500.....	36
<b>Figura 8-3:</b>	Sensor PN7594 .....	37
<b>Figura 9-3:</b>	Arduino Nano .....	40
<b>Figura 10-3:</b>	Node MCU.....	40
<b>Figura 11-3:</b>	Asus X456UA.....	41
<b>Figura 12-3:</b>	Router TL-WR841HP.....	42
<b>Figura 13-3:</b>	Electroválvula .....	43
<b>Figura 14-3:</b>	Esquema de diagrama electrónico .....	45
<b>Figura 15-3:</b>	Entorno IDE Arduino.....	46
<b>Figura 16-3:</b>	Adquisición de datos.....	47
<b>Figura 17-3:</b>	Sensor Hall en YFS201.....	48
<b>Figura 18-3:</b>	Adquisición de datos.....	49
<b>Figura 19-3:</b>	Algoritmo para adquisición por Interrupciones .....	52
<b>Figura 20-3:</b>	Indicadores y alertas .....	53
<b>Figura 21-3:</b>	Interfaz de usuario LCD - SISUA.....	55
<b>Figura 22-3:</b>	Leds de interfaz de usuario SISUA.....	55
<b>Figura 23-3:</b>	Conexión de canal a ThingSpeak.....	57
<b>Figura 24-3:</b>	Procesamiento de datos.....	58

<b>Figura 25-3:</b>	Placa PCB del sistema .....	59
<b>Figura 26-3:</b>	Perforación de PCB .....	60
<b>Figura 27-3:</b>	Revelado de pistas en PCB .....	60
<b>Figura 28-3:</b>	Inmersión en ácido.....	61
<b>Figura 29-3:</b>	Impresión de posición de elementos .....	61
<b>Figura 30-3:</b>	Colocación de los elementos electrónicos .....	61
<b>Figura 31-3:</b>	Diseño del chasis para la circuitería.....	62
<b>Figura 32-3:</b>	Implementación final de SISUA .....	62
<b>Figura 1-4:</b>	Aplicación al departamento A1 de la Residencia estudiantil AC .....	63
<b>Figura 2-4:</b>	Instalación de los sensores y electroválvula .....	64
<b>Figura 3-4:</b>	Ecuación para sensor analógico HK3022 en el código.....	66
<b>Figura 4-4:</b>	Inicialización: Telegram .....	69
<b>Figura 5-4:</b>	Primera prueba con presión 93 PSI.....	70
<b>Figura 6-4:</b>	Instalación de manorreductor en la toma principal.....	71
<b>Figura 7-4:</b>	Interfaz Telegram activa en el corte.....	74
<b>Figura 8-4:</b>	Resultado prueba de caudal .....	75
<b>Figura 9-4:</b>	Notificación Telegram tras exceso de caudal .....	76
<b>Figura 10-4:</b>	Comportamiento extraño detectado en el acumulador de caudal .....	79
<b>Figura 11-4:</b>	Cambio de tipo de variable .....	79

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Modelado matemático de sistemas de agua .....	20
<b>Gráfico 2-2:</b>	Patrón de consumo zonas urbanas sector hotelero .....	20
<b>Gráfico 1-4:</b>	Curva del sensor HK3022 en campo.....	65
<b>Gráfico 2-4:</b>	Curva del sensor YF-S201 en campo.....	68
<b>Gráfico 3-4:</b>	Resultados al iniciar el sistema con una presión de 93 PSI.....	70
<b>Gráfico 4-4:</b>	Pico de presión observado al iniciar el sistema SISUA .....	72
<b>Gráfico 5-4:</b>	Rango de funcionamiento en presión .....	74
<b>Gráfico 6-4:</b>	Reporte mensual de consumo en litros.....	77
<b>Gráfico 7-4:</b>	Reporte mensual de nivel de presión en el sistema de tuberías.....	77

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2:</b> Ecuación de consumo de caudal .....	18
<b>Ecuación 2-2:</b> Ecuación de caudal total .....	21
<b>Ecuación 3-2:</b> Factor de consumo .....	22
<b>Ecuación 1-3:</b> Error relativo.....	31
<b>Ecuación 2-3:</b> Criterio de muestreo de Nyquist .....	50
<b>Ecuación 1-4:</b> Ecuación de presión para sensor HK3022 .....	66
<b>Ecuación 2-4:</b> Ecuación de caudal para sensor YF-S201 .....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** Código en NODE ESP8266

**ANEXO B:** Código en Arduino Nano

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>A:</b>	Amperios
<b>ADC:</b>	Convertor analógico - digital
<b>API:</b>	Interfaz de programación
<b>CNC:</b>	Control numérico computarizado
<b>CPU:</b>	Unidad de procesamiento central
<b>CSV:</b>	Extensión de archivo de “valores separados por comas”
<b>DAES:</b>	Departamento de asuntos económicos y sociales
<b>DB9</b>	Conector RS232
<b>EMAPA:</b>	Empresa Municipal de Agua Potable Ambato
<b>EMAPAR:</b>	Empresa Municipal de Agua Potable Riobamba
<b>ENAS:</b>	Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento
<b>EP:</b>	Empresa pública
<b>GAD:</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado
<b>GB:</b>	Gigabyte
<b>GPIO:</b>	Entrada/Salida de propósito general
<b>IDE:</b>	Entorno de desarrollo integrado
<b>Key:</b>	Llave
<b>LCD:</b>	Pantalla de cristal líquido
<b>Lts:</b>	Litros
<b>Mbps:</b>	Megabits por segundo
<b>MHz:</b>	Mega hercios
<b>mm:</b>	Milímetros
<b>Mpa:</b>	Megapascals
<b>OCDE:</b>	Organización para la cooperación y el desarrollo económicos
<b>ONU:</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>PSI:</b>	Libras por pulgada (Medida de presión)
<b>RAM:</b>	Memoria de acceso aleatorio
<b>RX:</b>	Recepción
<b>s:</b>	Segundos
<b>SD:</b>	Tarjeta SD (secure digital)
<b>SENAGUA:</b>	Secretaría del agua
<b>SISUA:</b>	Sistema de supervisión del agua
<b>SPI:</b>	Interfaz periférica central
<b>TX:</b>	Transmisión

<b>UART:</b>	Receptor/transversal universal asíncrono
<b>UNL:</b>	Universidad Nacional de Loja
<b>V:</b>	Volteos
<b>VDC:</b>	Voltaje corriente directa
<b>W:</b>	Vatios

## **RESUMEN**

En una residencia estudiantil que reportó consumos inusuales y continuos fallos, se propuso un proyecto técnico que ayude a la supervisión del uso de agua potable aplicable a la residencia en particular. Mediante el método heurístico se establecieron pasos para determinar el desarrollo del proyecto; una revisión bibliográfica del estado de arte, se establecieron requerimientos, se realizó el diseño de un prototipo y el escogimiento del hardware y software del mismo. Se implementó un sistema de supervisión y alerta del consumo y fugas de agua potable en una residencia universitaria. El sistema monitorea constantemente el nivel de presión en la tubería y cantidad de litros consumidos diariamente por un abonado. En caso de presentarse comportamientos indeseados tales como exceso de presión o consumo excesivo se notifica al administrador del edificio mediante mensajería instantánea Telegram e interrumpe la entrada de caudal. Permite visualizar la información de la red a través de gráficos en la plataforma Thingspeak; a fin de identificar patrones de consumo inusual, y problemas en la red. Proporciona visualización de consumo al usuario mediante una pantalla de cristal líquido. El sistema fue construido con las tarjetas Node ESP8266, Arduino Nano, sensores HK3022 y YF-S201. El sistema detectó comportamientos inusuales en la residencia de aplicación del proyecto, permitiendo a los dueños por medio de estos resultados tomar las acciones correctivas. Se recomienda realizar una fase de minería de datos con los archivos .csv generados por el proyecto.

**PALABRAS CLAVE** < TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO >, < AGUA POTABLE >, < SUPERVISIÓN DE CONSUMO >, < DETECCIÓN DE FUGAS >, < MINERÍA DE DATOS >,

## **SUMMARY**

In a student residence that reported unusual consumptions and continuous failures, a technical project was proposed to help to supervise the use of potable water applicable to the residence in particular. Using the heuristic method, steps were established to determine the development of the prototype; a bibliographic review of the state of the art, requirements were established, and the design of a prototype and the choice of its hardware and software. It was implemented a system for monitoring and alerting the consumption and leaks of drinking water in a residence university. The system constantly monitors the pressure level in the pipeline and the amount of liters consumed daily by a subscriber. In case of behaviors unwanted such as excess pressure or excessive consumption, the administrator of the building using Telegram instant messaging and interrupts the flow input. It allows visualize the network information through graphics on the Thing speak platform; for the purpose of Identify unusual consumption patterns, and network problems. Provides visualization of consumption to the user through a liquid crystal display. The system was built with the Node ESP8266 boards, Arduino Nano, HK3022 and YF-S201 sensors. The system detected unusual behaviors in the project application residence, allowing owners through these results take corrective actions. It is recommended to carry out a phase of data mining with the .csv files generated by the project.

**KEYWORDS:** <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <DRINKING WATER>, <CONSUMPTION SUPERVISION>, <LEAK DETECTION>, <DATA MINING>.

## INTRODUCCIÓN

La Asamblea de Naciones Unidas reconoció el derecho de todos los seres humanos a tener acceso a una cantidad de agua suficiente para el uso doméstico y personal (entre 50 y 100 litros de agua por persona y día) segura, aceptable y asequible (el coste del agua no debería superar el 3% de los ingresos del hogar). (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Organización de las Naciones Unidas (DAES -ONU) 2019) Es prioritaria la investigación en optimización, concienciación, ahorro, monitoreo y gestión en general del agua.

Para las ciudades en las cuales las empresas de agua potable realizan el abastecimiento desde su captación hasta una acometida, la responsabilidad del uso del agua corre por el abonado. Pudiendo este hacer el libre uso de la cantidad deseada. Ya sea en buen uso o desperdicio el abonado recibe una factura. Sin embargo existen indicadores de “Uso racional del agua” definidos. Estos establecen lineamientos para consumir este importante recurso de una manera consciente. Como muestra (Beltrán 2015), en la capital del Ecuador entre el 2010 y 2015 la cantidad de líquido consumido por persona sobrepasa el promedio nacional y de la región. En el último año, el promedio de consumo pasó de 200 a 220 litros por persona, al día; cantidad superior a datos registrados en otras ciudades estudiadas como: Bogotá, 168; Medellín, 150; y La Paz, 120.

El aprovechamiento responsable de los recursos hídricos es uno de los principales desafíos enfrentados por el ser humano. El desperdicio del agua en las ciudades se trata, por lo tanto, de un gran problema. La OCDE realizó un informe del desperdicio de agua (Organisation for Economic Co-operation and Development 2016) en una selección de 48 urbes del mundo basándose en criterios de seguridad del agua, abastecimiento, saneamiento, manejo de aguas residuales, drenajes y tratamiento. principal causa de desperdicio de agua en las ciudades suele ser una infraestructura deficiente, aunque muchos otros factores influyen en el escaso aprovechamiento del agua.

La infraestructura deficiente está presente en el mal diseño de sistemas de tuberías, cavitación, golpe de ariete, materiales de baja calidad, vibraciones entre otras.

Se han desarrollado algunos proyectos en contribución a una mejor gestión y uso y preservación del agua en países como Estados Unidos, Israel, entre otros. En Ecuador no existen estadísticas sobre sistemas de supervisión, monitoreo & control del uso del agua a nivel general.

En el marco de los negocios de alojamiento como hotelería, pensiones, y residencias en la ciudad no se utilizan micromedidores por usuarios, ni sistemas de supervisión y monitoreo del uso del

agua. No existe una solución comercial alineada con la problemática local. En particular con la población específica de las residenciales estudiantiles y sus administradores.

La ciudad de Riobamba – Chimborazo es una ciudad de destino académico contando con 34000 estudiantes en los centros de educación superior principales de los cuales el 63% es migrante en su mayoría de las otras provincias del país. La afluencia de estudiantes es un motor económico influyente en el desarrollo del comercio y del sector inmobiliario. La vida universitaria es parte de la identidad Riobambeña. (Márquez 2017)

El presente proyecto busca solucionar un problema común entre las residencias estudiantiles, la falta de control sobre información de consumo de los inquilinos, sobre todo cuando son pequeñas habitaciones que no ameritan comprar un medidor estándar. Los administradores de residencias estudiantiles necesitan información de consumo a fin de tomar decisiones ante comportamientos inusuales en el consumo de agua, alertas de mantenimiento en caso de excesivas fugas. Y soluciones varias ante el comportamiento particular de los usuarios de residencias estudiantiles tales como, cerrar las llaves de paso en periodos de vacaciones Esto con el fin de remitir informes en caso de mal función a un administrador, y realizar cierre de flujo en caso de emergencia.

El **objetivo general** del presente trabajo de titulación es

- Implementar un sistema de supervisión del uso de agua potable aplicable a una residencia estudiantil.

Los **objetivos específicos** planteados para el desarrollo de este proyecto son:

- Analizar los sistemas y métodos existentes de supervisión del uso del agua potable aplicables a una residencia estudiantil.
- Establecer cuáles son los requerimientos que debe satisfacer un sistema de supervisión del consumo de agua potable aplicable a una residencia estudiantil.
- Definir el diseño prototipo que cumple con los requerimientos establecidos.
- Seleccionar el hardware y software que cumple con los requerimientos de diseño del prototipo
- Evaluar si el prototipo cumple los requerimientos planteados.

El presente documento consta de cuatro capítulos. El primer capítulo describe el diagnóstico del problema en una residencia, detallando los inconvenientes sufridos en el inmueble. El segundo capítulo provee un marco teórico referencial como fundamento bibliográfico para el desarrollo del proyecto. El tercer capítulo describe el desarrollo y construcción de un sistema de supervisión que ayude a solucionar el problema indicado. En el cuarto capítulo se evalúan los resultados obtenidos mediante la aplicación del sistema construido para la residencia estudiantil, ejecutando pruebas de funcionamiento.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Caso de estudio: La residencia estudiantil AC



**Figura 1-1:** Residencia Estudiantil AC

**Realizado por:** Altamirano, 2020

La residencia estudiantil AC, ubicada en Riobamba – Ecuador, en las coordenadas -1.658359, -78.680657, funciona hace 18 años, y reporta que desde el 2017, han existido picos de consumo de agua potable exagerados que se reflejan en el costo de las facturas mensuales. Partiendo desde una media de factura que oscilaba entre \$35 a \$60 USD en el 2017; en el año siguiente empezó a pagar picos de \$100 USD y hasta \$170 USD (más del 200% ).

Las facturas elevadas de consumo de agua, sucedieron casi al mismo tiempo que se empezó a notar daño en las paredes de varios sectores de la residencia. (Véase <https://youtu.be/eisC5fzhwlQ>)



**Figura 2-1:** Indicios de fugas y humedad

**Realizado por:** Altamirano, 2019

El malestar principalmente en los varios usuarios de la residencia se dio ante un total de 8 fallas en tres diferentes pisos del edificio, en un espacio de 3 meses desde diciembre del 2017. Problemas que empezaron como pequeñas erosiones en la pintura, terminaron erosionando la pared e inundado habitaciones enteras, produciéndose un desperdicio de agua excesivo. Los dueños realizaron las reparaciones que resultaron tediosas para los usuarios y muy costosas en tiempo y dinero.

Se han corregido los problemas sucedidos en la residencia hasta mediados de 2018, sin embargo a finales del 2019 empezaron nuevamente a producirse nuevamente roturas y hasta inundaciones en cuartos, causando desperdicio del líquido vital, descontento en los inquilinos y cuantiosas reparaciones.

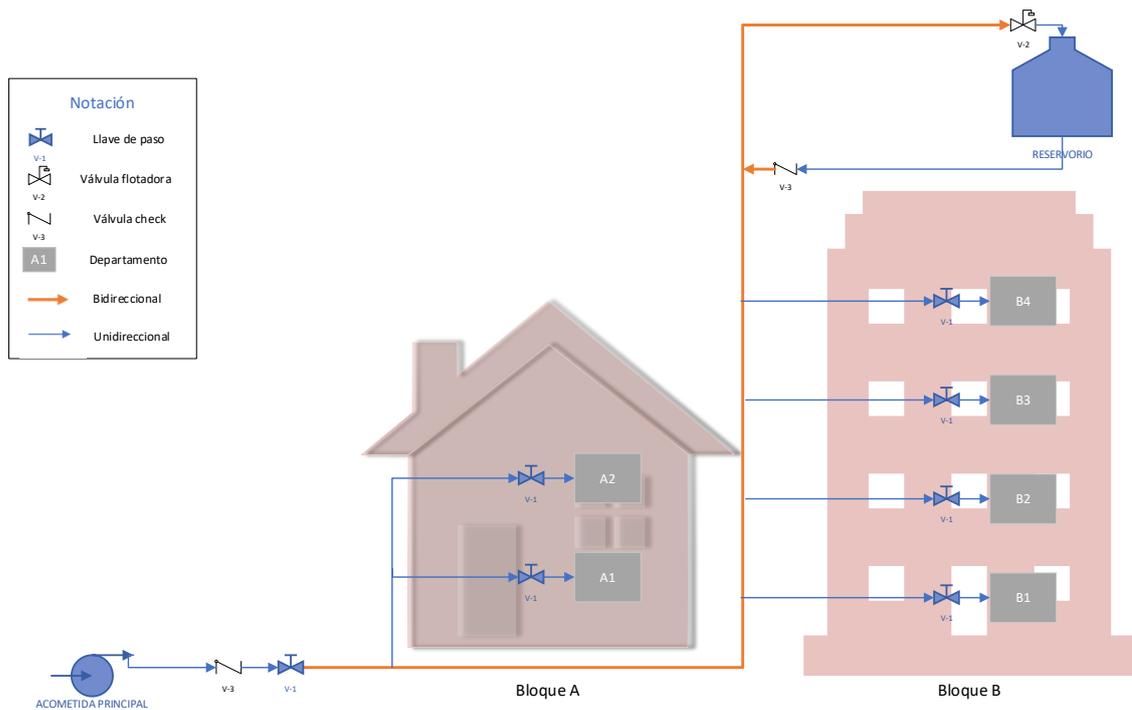


**Figura 3-1:** Fuga hallada en un codo

**Realizado por:** Altamirano, 2019

También existe problemas con las válvulas de desfogue de los tanques de agua de los inodoros que algunas veces se han quedado abiertas durante periodos de vacaciones generando un consumo elevado en desperdicio de agua. Llaves abiertas olvidadas suceden rara vez, pero también implican desperdicio.

La configuración del sistema de agua en esta residencia estudiantil tiene una configuración de reservorio sencilla (véase 2.3.3.3), que puede ilustrarse de la siguiente manera.



**Figura 4-1:** Sistema original de la Residencia estudiantil AC(caso de estudio)

**Realizado por:** Altamirano, 2020

A diferencia de las configuraciones de caída elevada en los cuales el agua de la calle directamente va al tanque, y después es repartida el agua desde el tanque. Esta residencia contiene una sola tubería que reparte el agua directamente a cada uno de los apartamentos, y al final llena un reservorio de 1000 litros que a su vez se controla con una válvula de flotador.

La residencia estudiantil es habitada en su capacidad máxima por 16 inquilinos, en su totalidad estudiantes universitarios, que por lo general abandonan el inmueble los fines de semana, y en temporada vacacional. De modo que los frecuentes problemas con el sistema de agua de la residencia, han ocurrido en ciertas ocasiones cuando ellos están ausentes, sin manera de poder reportar los problemas y corregirlos a tiempo

## **1.2. Importancia y alcance**

La ciudad de Riobamba – Chimborazo es una ciudad de destino académico contando con 34000 estudiantes en los centros de educación superior principales de los cuales el 63% es migrante en su mayoría de las otras provincias del país. La afluencia de estudiantes es un motor económico influyente en el desarrollo del comercio y del sector inmobiliario. La vida universitaria es parte de la identidad Riobambeña. (Márquez 2017)

El desarrollo de una solución aplicable a la numerosa cantidad de residencias universitarias en la ciudad ayudaría a identificar problemas pronto y evitar excesivo desperdicio y daño en los inmuebles.

## **1.3. Formulación del problema**

Para poder definir las metas de este proyecto de investigación, se plantean fundamentalmente la siguiente pregunta:

¿Cómo implementar un sistema de supervisión del uso del agua potable aplicable a una residencia estudiantil?

El desarrollo de esta pregunta requiere específicamente las siguientes preguntas.

- ¿Existen sistemas y métodos de supervisión del uso del agua potable aplicables a una residencia estudiantil?
- ¿Cuáles son los requerimientos que debe satisfacer un sistema de supervisión del consumo de agua potable aplicable a una residencia estudiantil?
- ¿Cuál es diseño prototipo que cumple con los requerimientos establecidos?
- ¿Cuál es el hardware y software que cumple con los requerimientos de diseño del prototipo?
- ¿Cumple el prototipo los requerimientos planteados?

## **1.4. Objetivos**

Mediante la formulación del problema se procede a definir el objetivo general del presente proyecto de investigación.

- Implementar un sistema de supervisión del uso de agua potable aplicable a una residencia estudiantil.

Y se infieren objetivos específicos para el mismo.

- Analizar los sistemas y métodos existentes de supervisión del uso del agua potable aplicables a una residencia estudiantil.
- Establecer cuáles son los requerimientos que debe satisfacer un sistema de supervisión del consumo de agua potable aplicable a una residencia estudiantil.
- Definir el diseño prototipo que cumple con los requerimientos establecidos.
- Seleccionar el hardware y software que cumple con los requerimientos de diseño del prototipo
- Evaluar si el prototipo cumple los requerimientos planteados.

### **1.5. Aclaración legal y delimitación**

Cabe resaltar que el presente proyecto no restringe el consumo del agua de los usuarios, ni la cantidad u horario que cada persona considera para su consumo del líquido vital. El estado ecuatoriano garantiza la protección del consumidor de agua, luz y todo el conjunto de servicios públicos y su distribución, obligando a las entidades a cargo a responder a varios principios determinados en la misma constitución de la república vigente desde el 2008. Entre los cuales se determina que la misma es un bien público.

El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley. El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador 2008)

La implementación del sistema se da mediante el consentimiento de los arrendatarios en la residencia estudiantil prevista mediante la siguiente cláusula del contrato.

“Las partes acuerdan un compromiso para realizar estudios de domótica, medición, y optimización de servicios de agua y luz, así como recolectar información de consumo para servicio de la investigación y construcción del conocimiento, en la residencia estudiantil. A fin de aportar no solamente a la comunidad académica con un servicio de alojamiento, sino de un medio para lograr investigación”

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presentan los lineamientos fundamentales del proyecto de investigación, así como su importancia en el contexto global, regional y local, también el “estado del arte” de los sistemas de gestión de agua y tuberías residenciales, y una breve revisión bibliográfica de hidráulica, diseño doméstico de tuberías y tecnologías necesarias para llevar a cabo el presente proyecto.

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. *Lineamientos de desarrollo por Naciones Unidas y Estado Ecuatoriano*

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. Esta forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es el vínculo crucial entre la sociedad y el medioambiente. El agua es, además, una cuestión de derechos. A medida que crece la población mundial, se genera una necesidad creciente de conciliar la competencia entre las demandas comerciales de los recursos hídricos para que las comunidades tengan lo suficiente para satisfacer sus necesidades. (Naciones Unidas 2015)

El Gobierno del Ecuador, a través del Plan Nacional del Buen Vivir y la Estrategia Nacional para la Igualdad y Erradicación de la Pobreza (ENIEP), ha situado al sector del agua potable y saneamiento en un espacio importante dentro de la agenda de desarrollo del país, consiguiendo que las diferentes estructuras del Estado alineen sus esfuerzos para incrementar significativamente el acceso a estos servicios básicos. Para esto la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) presentó la Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento (ENAS) con objeto de re dinamizar estos esfuerzos y establecer la hoja de ruta a seguir para alcanzar, en los próximos diez años, el acceso universal a unos servicios de agua potable y saneamiento de calidad, dignos y sostenibles. Como meta del plan ENAS, se decide “Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento”. (Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) 2016)

Como miembro de la comunidad ecuatoriana, académica y usuario de residencias universitarias se propone un sistema que promueva una mejor gestión del agua en la comunidad local; si bien,

de acuerdo a la legislación nacional, la principal responsabilidad del manejo del agua recae sobre los gobiernos autónomos descentralizados (GADs) cantonales, la consecución de tan ambiciosa meta requiere del concurso de todos los niveles de gobierno, de la economía popular y solidaria y la sociedad civil.(Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) 2016)

### **2.1.2. *El servicio de agua potable en el cantón Riobamba***

A inicios del siglo XX, se desarrolla el proyecto de captación en la localidad de San Pablo a 14 kilómetros de la ciudad. De aquí se obtienen hasta la actualidad, vertientes provenientes del progresivo deshielo del nevado Chimborazo. En 1912 la tubería estaba constituida por hormigón simple en ciertos tramos, para luego ser complementada con canales abiertos de mampostería. Las primeras reservas se localizaban en el sector “Loma de Quito”. En 1964 se realizaron mejoras al instalar nuevas redes de tuberías de asbesto, y una planta de tratamiento para aireación y cloración. La planta se construye en la parte norte, a 5 kilómetros de la ciudad. Se construye también en los sectores de la Saboya y Tapi 3 tanques de 1000 metros cúbicos como reserva. El Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias en 1984 presentó un estudio de mejoras y ampliación que proveyó una nueva fuente subterránea proveniente de pozos subterráneos en la localidad de Lilo, que también se originan de caudales subterráneos provenientes del nevado Chimborazo. También se construyen dos tanques más en el sector “El Carmen” y la salida a Guano. Hasta inicios del siglo XXI se presentaba un grave problema de desabastecimiento en la ciudad, debido a la frecuente rotura de la tubería de cemento asbesto. También se registraron en un trayecto de 10 kilómetros de conducción varias conexiones clandestinas que producían pérdidas estimadas hasta en un 30% en las redes de distribución y conexiones domiciliarias.(Empresa Publica -Empresa Municipal de Agua Potable Riobamba (EP-EMAPAR) y Municipio de Riobamba 2006)

A partir del año 2004 la municipalidad, como responsable de la dotación de los servicios básicos en su jurisdicción, toma la decisión de convertir al Departamento de Agua y Alcantarillado del Municipio, en una Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EP-EMAPAR) con el objetivo de perfeccionar la prestación de los servicios, considerando el crecimiento de la ciudad y con el propósito de optimizar la operación de los sistemas de agua potable y alcantarillado.(Ríos García 2011)

Desde que la nueva administración asumió la dirección de la Empresa Pública de Agua potable y Alcantarillado de Riobamba (EP-EMAPAR), poco a poco han ido apareciendo ciertas circunstancias que explicarían el mal funcionamiento del servicio básico. “El Plan Maestro de Agua Potable no contaría con planos de las tuberías de la red, lo cual ha hecho que al momento de surgir algún inconveniente, se haya tenido que escarbar a ciegas para encontrar el problema”, expuso Gonzalo Ruales, concejal y representante ante el Directorio de la empresa. El edil señaló

que se ha solicitado una fiscalización completa del Plan, ya que existe la posibilidad de que no se cumpla con el ofrecimiento hecho por el ex -Alcalde Juan Salazar de proveer a la ciudadanía del líquido las 24 horas del día. (Diario «El Telégrafo» 2013)

El Municipio de Riobamba el 4 de junio de 2015 realizó la firma del contrato de financiamiento para la construcción del proyecto “Trasvase de Agua Superficial Alao - Maguazo y construcción de la reserva San Martín de Veranillo”, con una inversión que bordea los 40 millones de dólares. Se planificó la ejecución para 2 años (el 2017 recién empezaría la construcción) y se desarrolló a través de la Empresa Pública Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado. Mediante este proyecto se logrará la captación del agua proveniente de los ríos Maguazo y Alao y permitirá incrementar los caudales de distribución de agua potable de Riobamba, a 500 litros por segundo. De esta forma la Municipalidad de Riobamba garantizará a toda la población de la ciudad el servicio del líquido vital en forma permanente hasta el año 2040. Mediante la implementación de tuberías de acero se conducirá el agua de los ríos Maguazo y Alao, al sector de Molobog, donde se construirá la respectiva planta de tratamiento de agua potable. Este proyecto beneficiará a 225741 habitantes de Riobamba. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Riobamba (GADM) 2015)



**Figura 1-2:** Trasvase “Maguazo - Alao”

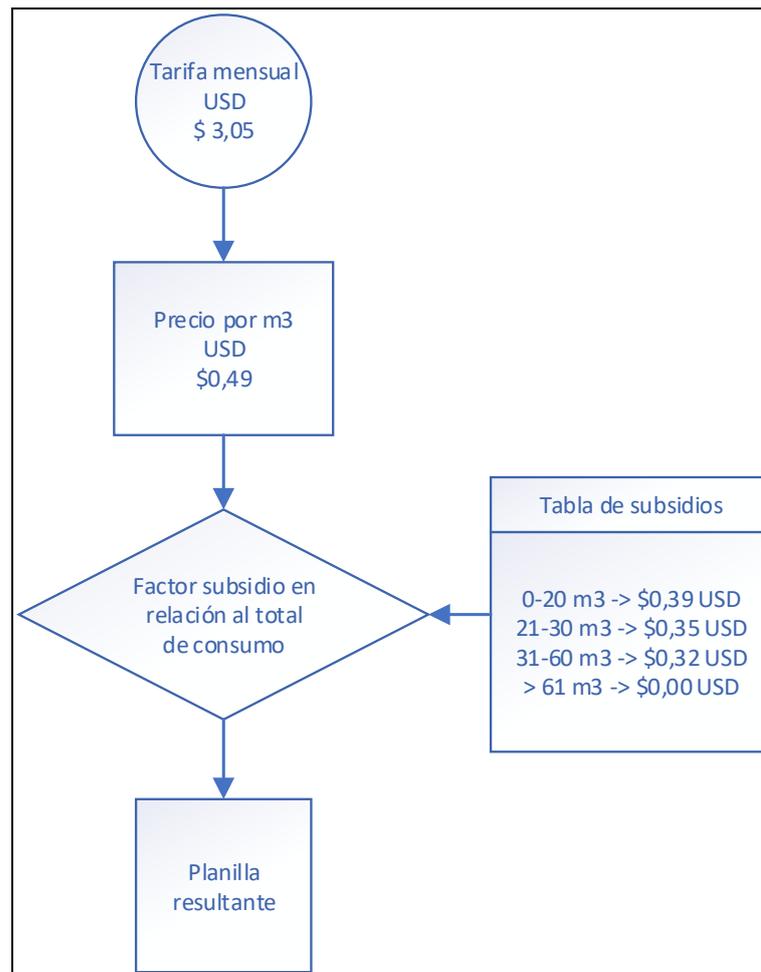
**Fuente:** Diario “La Prensa”, 2018

Actualmente (febrero del 2018) varios sectores de Riobamba tienen inconvenientes con la dotación de agua potable, los habitantes del complejo “La panadería” reportan que el agua llega ya sea en la mañana y tarde, o en la tarde y noche. El proyecto en el sector Maguazo tiene un avance del 60%, la planta de tratamiento de Licto tiene un 65% de avance. El fiscalizador José

Cedeño estimó que el proyecto culminaría en abril del 2019, con lo que se brindaría a toda la ciudadanía agua las 24 horas del día. (Diario «La Prensa» - Chimborazo 2018)

El servicio racionado de agua potable conlleva a crear situaciones que complican aún más la problemática del sistema, ya que la mayoría de hogares en la ciudad manejan una reserva, generalmente a través de tanques plásticos elevados o cisternas, que en términos prácticos, permiten a los usuarios contar con un servicio permanente, pero que al mismo tiempo provoca que cuando la ciudad se abastece, se produzca un alto desperdicio y consumo a la vez; desperdicio, porque a fin de tener agua “fresca”, algunos usuarios vierten el agua que existe en la reserva para renovarla (como el costo es tan bajo, no tienen problema en hacerlo) y alto consumo porque ese momento llenan las cisternas y reservas. El sistema de agua potable ha presentado otros problemas por años. Entre las principales causas se encuentra el hecho de atender a poblaciones ubicadas fuera del límite urbano e incluso fuera del límite cantonal; el desperdicio del líquido en razón al bajo precio, los elevados porcentajes de pérdidas por agua no contabilizada. Se puede interpretar en los datos de consumo una marcada tendencia de la población al sobreconsumo, provocada por el bajo costo de la tarifa que genera un incremento en la demanda a niveles tan altos que no pueden ser abastecidos por la producción efectiva (producción menos pérdidas) del sistema. Esta situación en los años anteriores conllevó a tomar la decisión de brindar un servicio racionado, es decir que no existe continuidad en la dotación del servicio, sino que está limitado a horarios y turnos en la distribución. (Ríos García 2011)

El directorio de la Empresa Pública Empresa Municipal de Agua Potable y alcantarillado de Riobamba, EP-EMAPAR, tiene la función de aprobar las tarifas por la prestación de servicios, sobre la base de los estudios técnicos que presenten las direcciones respectivas según en el artículo 8 de la ordenanza de la creación de la EP-EMAPAR; función basada en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos: Usos y Aprovechamiento del Agua que establece por tarifa, la retribución que un usuario debe pagar por la prestación de servicios y autorización para usos y aprovechamiento del agua; define la tarifa dividida en dos partes: una tarifa fija mensual de conexión y un cargo variable por metro consumido. A fin de incentivar el ahorro de agua y consumo moderado se establece una tabla de subsidios en función del consumo de agua. (El Directorio de la Empresa Pública -Empresa Municipal de Agua Potable Riobamba (EP-EMAPAR) 2015)



**Figura 2-2:** Tarifario residencial EP-EMAPAR

Fuente: EMAPAR, 2015

Realizado por: Altamirano, Josué, 2019

## 2.2. Estado del arte

### 2.2.1. Investigación académica

A continuación se presentan algunas investigaciones por la comunidad académica del país, tanto en educación pública como privada en varias provincias, respecto a temas similares o relacionados. De estas investigaciones se ha podido recabar, varias ideas, consejos y hasta datos útiles para el desarrollo del presente proyecto de titulación.

#### 2.2.1.1. UTA: Tipán – 2017

El trabajo experimental se basa en realizar mediciones de las demandas de agua potable que permitan, generar curvas de consumo diario, patrones de consumo, caudales máximos diarios,

para posteriormente hacer un mapeo de los resultados obtenidos en un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para el desarrollo del presente proyecto experimental se inició recolectando información necesaria en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato “EMAPA” sobre la red de distribución “Panimboza”, como el área de distribución que abarca la red, las ciudadelas que son abastecidas y el número de usuarios que pertenecen a la misma. Posteriormente se realizó el análisis estadístico e interpretación de resultados como: el número promedio de habitantes, número promedio de puntos hidráulicos, la semana típica de consumo, patrones de consumo y caudales máximos instantáneos por casas y departamentos para cada zona de estudio mediante gráficas y tablas para posteriormente generar un mapeo en el sistema de información geográfica.(Tipan 2017)

#### *2.2.1.2. ESPOCH: Gusqui & Chaglla – 2016*

Se implementó un medidor de agua con módulos Arduino que mide el consumo de un usuario y emite una alarma en una pantalla; puede cerrar una válvula de paso de agua, en el umbral de 150 litros de consumo.

El proyecto tuvo como objetivo el minimalismo, implementándose mediante módulos y sensores económicos. La tecnología de comunicación fue radiofrecuencia, la información esta centralizada en una tarjeta SD, que para acceder a sus datos, se requiere extraerla y conectarla a un ordenador, donde los datos están rudimentariamente clasificados y no expuestos en forma de información sencilla y concisa.

El proyecto fue apremiado en concursos tecnológicos del año 2016, pero su arquitectura pudo haber sido implementada con las nuevas tendencias tecnológicas como lo es el internet de las cosas, y la interconectividad por aplicaciones. El proyecto carece totalmente de medición y análisis en la presión del sistema hidráulico que es un dato fundamental para el análisis de sistemas de tuberías.

Este proyecto podría reemplazar al medidor tradicional gracias a la precisión de las lecturas de agua potable y los múltiples beneficios adicionales que presentan. (Gusqui y Chaglla 2016)

#### *2.2.1.3. UNL: Chuquimarca – 2014*

Este trabajo investigativo midió el consumo de agua potable en un hogar a través de internet en tiempo real y con reportes de correo electrónico hacia el usuario. Está compuesto por un sensor de flujo basado en el fenómeno de efecto de Hall, este sensor envía los datos de medición al núcleo principal del sistema de medición que es una Raspberry Pi. Este sistema embebido procesa

la información, la almacena y la envía hacia un servidor en internet que desplegará los datos hacia el usuario en una página web. Además la Raspberry Pi permite visualizar la información a través de una pantalla LCD tipo resistiva. Se tiene un fin específico: manejo de los sensores, envío de la información hacia internet, la creación de reportes de consumo por correo electrónico, alarmas por mensajes de texto y la creación de la interfaz web que funciona en la red local. El prototipo de medición se implementó en una vivienda común de la ciudad de Loja a un lado del medidor de agua convencional. El sistema funciona las 24 horas sin interrupciones. Todos los días a las 23:59 se crean tablas de consumo diario que después son consultadas por el sistema para los reportes de correo electrónicos y cada minuto el sistema envía el consumo agua potable hacia un servidor en internet. Las alarmas por medio de mensajes ocurren bajo parámetros específicos como por ejemplo: la temperatura del CPU de la Raspberry Pi o la velocidad de flujo del agua potable rebasa un límite. (Chuquimarca 2014)

#### *2.2.1.4. UNIANDES: Masaquiza - 2018*

El proyecto de investigación tiene como objetivo implementar un portal web informativo para la parroquia Salasaka y un medidor digital con conexión a internet para automatizar el control de consumo de agua. Se implementó con un sensor de flujo YF-201, un Arduino uno, y un módulo de transmisión SIM900. Los datos adquiridos son presentados en un sitio web. (Masaquiza 2018)

#### *2.2.1.5. UDLA: Marcillo 2019*

Este proyecto pretende optimizar los procesos de control y toma de lecturas de medidores de agua potable, para la Empresa Municipal De Agua Potable del cantón Pimampiro - Imbabura. El proyecto se desarrolló mediante el concepto de aplicaciones web progresivas, esta tecnología permitió el desarrollo de un módulo web donde un usuario con rol administrativo registra los medidores con marcadores, sobre un área dibujada por el usuario dentro de un mapa georreferenciado. El módulo web administra información de usuarios, abonados, cuentas, sectores y permite verificar el recorrido de los lectores en una jornada. Lo progresividad permitió al mismo tiempo el desarrollo de una aplicación móvil donde un usuario con el rol lector tiene acceso a un mapa georreferenciado. El aplicativo especifica la ubicación geográfica de un medidor de agua; el usuario debe dirigirse al punto de medición para identificar a un abonado mediante un código QR para registrar la lectura, determinar los valores de consumo y pago. Esta solución se propuso para evitar la recolección manual de lecturas, evitar la digitación de lecturas, mejorar tiempos de toma de lecturas, controlar lectores, favorecer tiempos de emisión y mejorar la productividad en

general. El desarrollo de este proyecto de basa en el uso de herramientas con licencia libre, una arquitectura definida y la aplicación de metodologías ágiles. El estudio de usabilidad del proyecto recogió resultados favorables, los usuarios expresaron satisfacción con la interfaz, la información, la facilidad de uso y la interacción, para completar sus tareas eficientemente. Este proyecto, es un estudio que plantea la automatización de procesos de gestión de lecturas de agua potable, y puede ser viable para futuras implementaciones en otros municipios del país. (Marcillo 2019)

### **2.2.2. Soluciones comerciales**

Algunas soluciones comerciales se han desarrollado en los últimos años, muchas de ellas buscan implementar un control independiente mediante un solo sensor, monitoreado por aplicaciones móviles, también en mercados virtuales se encuentran electroválvulas remotas, controlables mediante Google assistant, u otros dispositivos concentradores TextToSpeech. En las investigaciones académicas del país, aún no se ha realizado un análisis más allá de la medición de los datos y estadística sencilla. Nuevas técnicas como el análisis por clústeres en BIG DATA, la nueva ola de tecnologías en domótica accesibles para el usuario común requieren una base de investigación que serviría como una plataforma para desarrollar mejores dispositivos de código abierto en posteriores investigaciones académicas. Los siguientes productos son una selección de los más notables servicios en el mercado para el monitoreo y control doméstico de sistemas hidráulicos.

#### **2.2.2.1. Flo by Moen**

Es un sistema monitor, control y alarma para el sistema de agua doméstico. Continuamente analiza tres cosas: Temperatura, Presión-PSI – y Flujo. Litros/min, mediante un solo sensor en la tubería principal del domicilio. Da un informe básico con la compra del producto, pero solicita una mensualidad de \$ 5 USD en la detección de irregularidades en los patrones de consumo y salud de las tuberías como el goteo leve, permite el cierre de llave principal de agua de manera remota, llama al plomero por si sola. Convierte en gráficos informativos los datos adquiridos. Provee total certeza de cuánta agua se consume y dónde. Necesita señal WIFI. Para calibrar el módulo se necesita vaciar toda el agua de las cañerías como calibración, (Con la llave de paso cerrada). Se encuentra en el mercado por un precio de \$400 USD. El sistema de Flo, es compatible con Alexa de Amazon o también el asistente de Google, sin requerir ningún hub inteligente. (Moen Incorporated 2019)

Este sistema es óptimo para ayudar en casas unifamiliares, pero el problema que busca solucionar este proyecto de investigación está enfocado en las residencias estudiantiles, donde es común ver

viviendas con varias habitaciones pequeñas, hasta 5 o 6 por casa, donde los datos que se requiere medir y analizar requerirían, hasta 6 de estos complejos sensores inteligentes, requiriendo una inversión sumamente grande, además de modificación al código fuente privado y monetizado para su análisis.

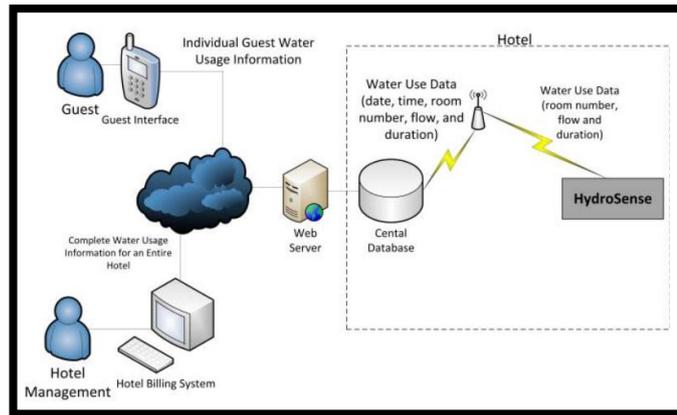
#### *2.2.2.2. Leak Smart y Fortrezz*

Estos dos sistemas tienen un funcionamiento similar al de flo. Constan de un control en la llave de paso principal para cerrarla en caso de fugas. Y un sistema de ingreso de información mediante sensores, estos pueden ser colocados en lugares donde puedan producirse fugas. LeakSmart también realiza medición de temperatura, alertando a los usuarios sobre condiciones de ruptura de la tubería.

El sensor de LeakSmart tiene un punto débil, es que las sondas de detección de agua están juntas y son pequeñas. Eso significa que, a diferencia de los dispositivos de detección de fugas sencillos de venta en mercados virtuales tales como los “Fibaro”, D-Link o Roost, el sensor LeakSmart no cubre muchas áreas. Así que se debe tener cuidado donde dejas exactamente el dispositivo, especialmente en pisos desiguales. La válvula de cierre conectada es tan funcional como el sensor. Responde de manera confiable a los comandos al cerrarse la válvula se apenas a los 5 segundos de haber detectado el agua. (Priest 2017)

#### *2.2.2.3. Hydrosense*

Uno de los casos más aproximados a la solución de problemas como el propuesto, fue el proyecto de ingeniería “Hydrosense”, una investigación multidisciplinar impulsado por la universidad de Tulsa. El consumo del agua de los huéspedes o inquilinos en el sector hotelero actualmente no tiene ninguna restricción, consejo o información en la mayoría de hoteles. Además de la terrible sequía que afectó la parte oeste de Canadá, Estados Unidos y México en el 2012. Se empezó a buscar una solución para este problema en el sector hotelero. Se planteó medir datos sobre el consumo de agua en las regaderas de los hoteles, transmitir inalámbricamente estos datos y presentarlos como una información descriptiva a fin de concientizar a huéspedes sobre un buen uso del agua. El proyecto se terminó parcialmente, no se pudo concretar a la medida de sus objetivos planteados. (Hawrylak et al. 2015)



**Figura 3-2:** Concepción general de Hydrosense

Fuente: Hydrosense, 2017

### 2.3. Los sistemas de aprovisionamiento de agua

Por miles de años el aprovisionamiento de agua ha sido una necesidad indispensable para las civilizaciones, desde la antigüedad quedan vestigios de grandes obras para este fin tales como el acueducto romano.

#### 2.3.1. Fundamentos

Los tres pilares principales en el aprovisionamiento de agua son

- Extracción de agua no potable y transporte
- Tratamiento de agua y almacenamiento
- Transporte de agua limpia y distribución

El presente trabajo de investigación se centra en los sistemas de distribución de agua potable desde el criterio de la micro medición

Los sistemas de distribución de agua consisten en una red de tuberías más pequeñas con numerosas conexiones que suministran agua directamente a los usuarios. Las variaciones de flujo en tales sistemas son mucho más amplias que en los casos de sistemas de transporte de agua. Para lograr una operación óptima, se pueden instalar diferentes tipos de depósitos, estaciones de bombeo, torres de agua, así como varios accesorios (válvulas, hidrantes, equipos de medición, etc.) Los objetivos principales de los sistemas de transporte y distribución de agua son comunes: el suministro de cantidades adecuadas de agua, el mantenimiento de la calidad del agua lograda por el proceso de tratamiento de agua. Cada uno de estos objetivos debe satisfacerse para todos los consumidores en cualquier momento y, teniendo en cuenta la escala masiva de dichos

sistemas, a un costo aceptable. Esto supone una capacidad de suministro de agua para fines domésticos básicos, comerciales, industriales y otros tipos de uso y, cuando sea posible y económicamente justificado, para protección contra incendios. (Trifunovic 2006)

### **2.3.2. La demanda del agua**

La afluencia de agua en un sistema de aprovisionamiento depende en los ratios de producción, entrega, consumo y fugas. En teoría la demanda del agua debe coincidir con el consumo de agua para haber equilibrio; sin embargo también existen mediciones por la administración que se realizan en ciertos puntos, donde se incluyen datos como medida de fugas, como también, la cuantificación de llenado de ciertos tanques de almacenamiento.

La demanda de agua (comúnmente medida en  $m^3/h$ ), se rige por la siguiente ecuación:

$$Q_d = Q_{ca} + Q_{fa} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde:

- $Q_d$  es el caudal demanda
- $Q_{ca}$  es el caudal de consumo de agua
- $Q_{fa}$  es el caudal de fugas de agua

El valor medio que se obtiene de registros de demanda anual representa la “demanda promedio”; cuando se divide la demanda por el número de consumidores, se obtiene la demanda específica (unidad de consumo per cápita)

En varios registros de consumo existe el factor “agua no cuantificada” que es el agua libre de cargos en los sistemas de transporte y distribución de agua, llegando en ciertos países en desarrollo a cerca del 50% de la entrega total de agua.

#### **2.3.2.1. Categorías de consumo**

El consumo de agua se clasifica principalmente entre tipo doméstico, para agricultura; también suele clasificarse en el tipo uso industrial o comercial.

Según la base de datos de concesiones de SENAGUA desde el año 2011, las demandas sectoriales, el uso consuntivo predominante en el país es el agrícola, pues representa el 80% del caudal utilizado, seguido por el uso doméstico (13%) y la industria (7%). (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) 2012)

### 2.3.2.2. Patrones de demanda

El consumo de agua tiene muy marcada periodicidad en la forma de consumo, en la que se puede extraer patrones de demanda, factores pico, ya sea a nivel anual, por estación, semanal diario anual e incluso por horas.

La demanda instantánea, a veces también llamada “simultánea” se considera a la variación de caudal en un diferencial de tiempo. Donde mientras más pequeño sea el número de consumidores, menos predecible serán los patrones de consumo.

En la tabla 1-2 se presenta un estimado de la cantidad promedio de litros consumidos por tiempo en las actividades domésticas.

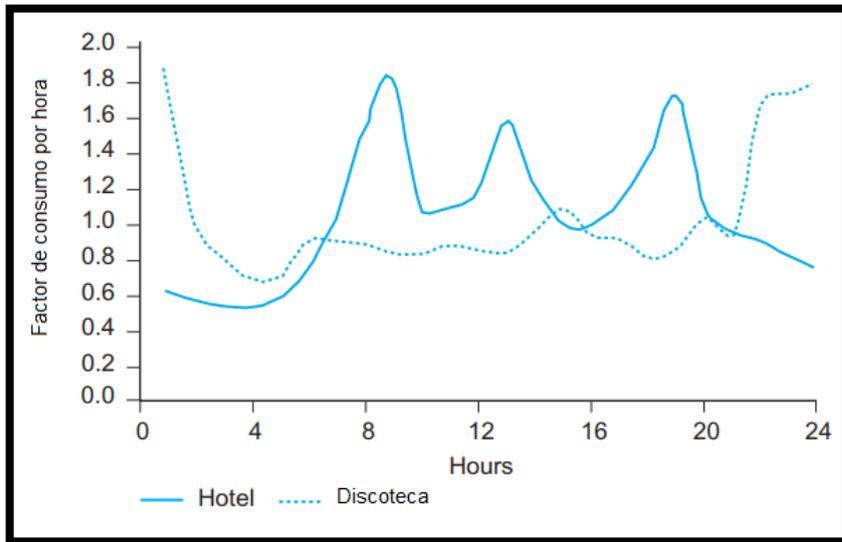
**Tabla 1-2:** Consumo ponderado por actividades en litro

	Tipo	Cantidad (litros)	Tiempo (minutos)	Caudal (Lts/hora)
A	Lavandería	60	6	600
B	Tanque Inodoro	8	1	480
C	Cocina	15	5	180
D	Platos	40	6	400
E	Ducha	50	6	500
F	Lavado de manos	2	0,5	240
G	Lavado de cara y dientes	3	1	180

**Realizado por:** Josué Altamirano (2019)

Esta es la base en la que los patrones de consumo diarios se constituyen además de variaciones fuertes en los fines de semana; para esto se toma en cuenta los patrones de demanda diarios. Que son importantes en el diseño de tuberías primarias y secundarias. Los diagramas de patrón de consumo diario reflejan la combinación de los siguientes factores como subdimensionamiento de la red y niveles de fuga y goteo.

En el siguiente ejemplo se muestra un diagrama de patrones de consumo en una zona turística en Croacia

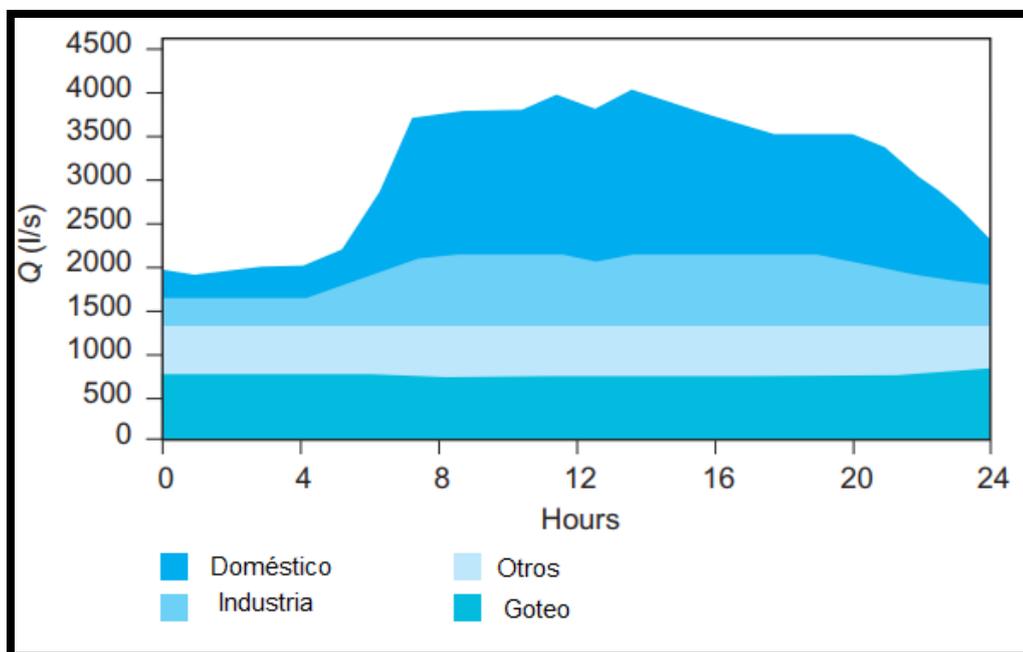


**Gráfico 1-2:** Modelado matemático de sistemas de agua

Fuente: Obradovic, D. 1991

En el diagrama se presentan 2 curvas, una pertenecientes una a un hotel y otra a una discoteca. En el hotel los factores de consumo están casi solo a las 8 am, el medio día y las 7 pm. Mientras que en la discoteca hay un solo pico que parte desde las 10 pm hasta las 2 am.

Un patrón muy común en las zonas urbanas se muestra en la figura 2-2.



**Gráfico 2-2:** Patrón de consumo zonas urbanas sector hotelero

Fuente: Trifunovic 2006

Los patrones de demanda semanales y temporales son influenciados, por días laborables, vacaciones, eventos sociales y deportivos entre otros.

### **2.3.3. El diseño de sistemas de agua doméstico**

#### *2.3.3.1. Conceptos fundamentales*

El diseño y análisis de tuberías se simplifica en gran manera al considerar en los sistemas que:

- El agua es incomprensible
- El sistema se llena con agua a presión
- El agua tiene un flujo laminar y uniforme
- No existe deformación en las tuberías (no elasticidad)

Los principios hidráulicos fundamentales aplicados en el diseño y construcción de sistemas de transporte y distribución de agua parten de:

- Principio de conservación de masa: Punto de partida para la obtención de “La ecuación de continuidad”
- Principio de energía cinética: Punto de partida para la “Ecuación Bernoulli” y otras ecuaciones similares
- Conservación de la cantidad de movimiento: Sirven para el cálculo de las fuerzas dinámicas en fluidos en movimiento.

#### *2.3.3.2. Diseño por caudal y factor pico*

Existen métodos de cálculo integrales para el diseño de sistemas de agua, algunos asistidos por computadora y métodos numéricos, sin embargo el método que mejor se ajusta al propósito de esta investigación es el diseño por caudal y factor pico

El diseño de las tuberías parte de varios criterios, uno de ellos es el factor pico instantáneo, en el cual se proyecta el consumo en un momento pico, para esto se usa de referencia la tabla 1-1. Por ejemplo, si se usa en la mañana (literal E), además de (literales B, F, G), se obtiene el caudal pico:

$$Q_p = \sum \text{literales} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

$$Q_p = E + B + F + G$$

$$Q_p = 500 + 480 + 240 + 180 = 1400 \text{ lts/hora}$$

Entonces la tubería debe ser capaz de proveer el flujo especificado de la suma de los caudales parciales

El cálculo presentado no toma en cuenta el número de personas que vivan en la casa o simultaneidades que puedan suceder, para esto se utiliza la ecuación

$$Fp = \frac{Q_p}{ce \times \frac{n}{24}} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde n es el número de personas, y ce es el consumo específico.

Si en el ejemplo anterior se calcula para 5 personas con un consumo específico de 120 l/c/d

$$Fp = \frac{1400}{120 \times \frac{5}{24}} = 56$$

Esto significa que hay un momento en las 24 horas del día cuando el flujo instantáneo de la casa será 56 veces más alto que el promedio diario.

#### 2.3.3.3. Principales tipos de sistemas de agua.

Existen algunas configuraciones usadas para sistemas de agua,

En el primer caso, construcciones que toman el agua directamente del proveedor de servicios, sin ningún tipo de reservorio (cisterna o tanque) en la que se depende totalmente de la provisión continua de la empresa de distribución de agua potable, hace una década Riobamba no constaba con agua potable las 24 horas, razón por la cual esto generaba intermitencias en el usuario.

En segundo caso, para solucionar este problema de intermitencias es común usar un tanque elevado, que almacena el agua durante el periodo que existe servicio para que cuando exista el corte de agua, se mantenga una reserva hasta que regrese el aprovisionamiento.

El tercer método es un reservorio de agua tanque o cisterna con sensor de nivel, donde se almacena el suministro de agua desde la toma, y mediante una bomba de agua se llena un tanque elevado para repartir mediante caída de agua. Este tanque elevado por lo general tiene una válvula flotadora o un sistema de nivel para controlar el ingreso de agua

El cuarto método es el uso de tanques hidroneumáticos que mediante una cisterna bombean en un tanque híbrido de agua y aire una cierta cantidad de agua que genera una presión controlada en el sistema. Este es el sistema más recomendado ya que permite una operación totalmente confiable para el sistema de agua.

### 2.3.4. Diagnóstico y supervisión

#### 2.3.4.1. Fallas comunes

El deterioro por condiciones inusuales, fenómenos físicos meteorológicos suele presentarse a menudo en los sistemas de abastecimiento de agua, esto se manifiesta en forma de lagrimeos o roturas.

Entre las herramientas más óptimas para realizar un estudio en el sistema de abastecimiento existe el sistema de muestreo Wengstrom, con un análisis de fiabilidad, con registros de roturas como el utilizado por (Martínez-Codina, Gómez and Fuente, 2018) de donde se obtiene importantes datos y recomendaciones para el presente estudio. El método antes mencionado es un método bastante costoso pero a su vez muy preciso.

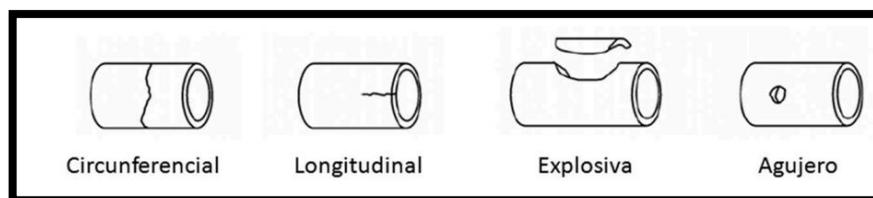
Las causas de fallo más comunes, se deben a los

- Factores externos: Referentes al entorno donde se ubica la tubería.
- Factores intrínsecos: Referentes a las características propias de la tubería.
- Factores Operacionales: Referentes a la operación de la red.

En el estudio de Martínez et al. Con muestreo y análisis en laboratorio de un municipio en España, se obtuvo que .

En la tubería general, las principales causas de fallo son:

- Corrosión: Forma de agujero
- Presiones excesivas: Roturas longitudinales y de tipo explosivas, Maniobras no habituales.
- En acometidas, la causa de fallo más frecuente es de defectos del material de la tubería:
- Roturas en forma circunferencial.



**Figura 4-2:** Ribagua – Taylor Francis

Fuente: Martínez-Codina et Al. (2018)

También se infirieron ciertas observaciones: Las roturas circunferenciales se pueden deber a tensiones longitudinales producidas por contracciones térmicas y esfuerzos provocados por heladas (bajas temperaturas) a movimientos diferenciales del suelo a tensiones de flexión sobre las tuberías, al tener instalación defectuosa (zanja y cama de apoyo) y a otras interferencias como roturas accidentales. Las roturas longitudinales están provocadas por tensiones transversales, las cuales pueden ser debidas a la presión del a congelada del terreno sobre la tubería. La probabilidad de ocurrencia de roturas es mayor cuando los diámetros son más reducidos. se ha corroborado en el estudio de Martínez et al. que la probabilidad de ocurrencia de roturas es mayor cuando menores son los diámetros, especialmente menores o iguales a 125 mm en diámetro, lo cual algunos autores justifican al decir que la tubería resiste menos por tener un espesor más reducido. Se ha observado que el material que mejor se comporta frente a las roturas es la fundición dúctil, y que su índice de roturas es mucho menor en comparación con el correspondiente a las tuberías de fundición gris y de fibrocemento. Generalmente las roturas explosivas fueron debidas a presión interna y a corrosión, mientras que los agujeros en las tuberías solían producirse principalmente por corrosión. (Martínez-Codina, Gómez and Fuente, 2018).

En este estudio se presenta una tabla con los principales agentes de fallo en las tuberías

**Tabla 2-2:** Agentes de fallo en las tuberías

Agrupación	Número	Causas de fallo
Agentes externos a la tubería	1	Presencia de raíces
	2	Provocada
	3	Heladas u otras condiciones climáticas extremas
	4	Sobrecargas externas (árboles, tráfico pesado, etc.)
	5	Otras (incendios, roedores, etc.)
Características intrínsecas del material	6	Corrosión
	7	Defecto del material por causa desconocida
	8	Defecto del material por edad avanzada
Operación de la red	9	Presiones o maniobras no habituales
Condiciones de instalación	10	Vibraciones o fuerzas continuadas
	11	Asentamientos del terreno cercano a arquetas
	12	Asentamientos del terreno – otros
	13	Defecto de instalación de la tubería
Otras causas	14	Desconocida

Fuente: Martínez- Codina et Al, (2018)

El flujo continuo de agua con exceso de presión puede erosionar críticamente las tuberías y reducir la vida útil y funcionamiento de lavabos, lavamanos, lavadoras e inodoros. Las presiones altas causan que ciertas válvulas se deterioren como por ejemplo, los tanques de inodoro que ya no cierran. Otra de los efectos que tiene es el “golpe de ariete”, que a bajas presiones es amortiguado por cámaras de aire internas, sin embargo en tuberías sobre presurizadas, los cambios bruscos en la abertura o cierre de válvulas resultan en golpes críticos que deterioran cada uno de los elementos en los sistemas de tuberías, con un estándar de 40 PSI para flujo normal, se recomienda que la presión no exceda de 50 PSI. (Heinselmann 2015)

## **2.4. La supervisión de un sistema hidráulico**

Como se cita en los ápices anteriores, para conocer el consumo de agua se basa netamente en dos magnitudes esenciales que son el caudal y la presión de agua en una tubería domiciliaria.

El caudal es un parámetro importante en el concepto de conocer la cantidad de agua puesto que indica la cantidad de este fluido que pasa en una sección por unidad de tiempo. Dicha magnitud puede ser expresada en m<sup>3</sup>/h, L/min, L/h, etc. De la misma manera se utiliza un parámetro importante que es la presión, la cual indica la fuerza con la que fluye un líquido en un área determinada, se puede medir en bares, psi, etc.

### **2.4.1. Sensores para medir el caudal y la presión hidráulica**

Las magnitudes de caudal y presión son necesarias para el estudio del consumo, a continuación, se presentan varios de los sensores que ayudan a conocer estas magnitudes.

#### *1.5.1.1 Sensores de presión hidráulica*

La presión se define como la fuerza dada por unidad de área requerida para detener la expansión de un fluido. Los transductores de presión, se encargan de transformar la magnitud de presión hidráulica en otros tipos de señales, ya sea un manómetro o una salida digital. El principio de funcionamiento más simple es mediante deformación física o flexión mecánica. Los tipos más comunes son las galgas extensiométricas y la película gruesa/delgada. (WTWH Media LLC 2020)

#### *1.5.1.2 Sensores de flujo (Caudalímetro)*

Es un instrumento usado para medir la masa o caudal volumétrico de un líquido o gas; la base de una buena selección de caudalímetro es una clara comprensión de los requisitos de la aplicación en particular. El primer paso en la selección del sensor de caudal es para determinar si la información de la velocidad del caudal debe ser continua o totalizada, y si esta información es necesaria de forma local o remota. (Omega Engineering 2020)

#### *1.5.1.3 Caudalímetro de turbina*

Es un medidor muy preciso y se puede utilizar para líquidos limpios y líquidos viscosos hasta 100 centistokes. Se requiere un tramo recto en la entrada de la tubería igual o superior a 10 veces el diámetro de tubería. Los sensores se componen de un rotor de múltiples palas montado en ángulo rectos con el caudal y suspendido en la corriente de fluido sobre un cojinete de marcha libre.

#### *1.5.1.4 Caudalímetro ultrasónico*

Un caudalímetro ultrasónico (caudalímetro Doppler no intrusivo) es un caudalímetro volumétrico que requiere partículas o burbujas en el flujo. El caudalímetro ultrasónico es ideal para aplicaciones de aguas residuales o cualquier líquido sucio que sea conductivo o a base de agua. Requieren aireaciones en las aplicaciones de líquidos limpios.

### **2.4.2. Tarjetas de desarrollo**

Son herramientas en hardware y software que proveen una plataforma de programación mediante un microcontrolador provisto con varios puertos de entrada y salida de datos. Entre las más conocidas en el mercado se tiene:

- Tarjetas Arduino
- Tarjetas Raspberry
- Tarjetas Intel
- PIC
- PLC

Cuando se habla de sensores o elementos externos que se comunicarán con un controlador como periféricos de entrada o salida, sus funcionamientos son independientes al sistema central. Por

lo cual a veces es necesario una comunicación con los dispositivos externos, varias de estas comunicaciones se mostrarán a continuación.

**Tabla 3-2:** Tipos de comunicación para tarjetas

<b>Distintos tipos de comunicación</b>	
<b>Puerto UART</b>	Comunicaciones asíncronas universales que permite comunicar con dispositivos en serie mediante la utilización de pines RX y TX para conectarse al PC o a otras placas que mantienen el mismo tipo de comunicación
<b>I2C</b>	Un tipo de comunicación para interfaz de dos cables con la finalidad de conectar dispositivos de baja velocidad, permite conectar hasta 128 dispositivos a una sola tarjeta. Es usado por la mayoría de fabricantes de circuitos integrados.
<b>SPI</b>	Interfaz periférica central la principal diferencia con I2C es que este puede tener múltiples maestros y esclavos. Mientras que con SPI solamente un maestro 4 esclavos. Es más rápido que I2C, las líneas de datos y reloj pueden compartir, pero se requiere un cable de dirección único.
<b>Bluetooth</b>	Operan en la banda ISM de 2.4 GHz, una velocidad máxima de 2 Mbps y es un tipo de comunicación inalámbrica con ciertas dificultades para atravesar obstáculos como paredes, por lo general su potencia depende de la distancia que se va a utilizar.
<b>WIFI</b>	Es una tecnología inalámbrica para transmitir datos basada en ondas de radio similares a las de tv, telefonía etc. Utiliza 2.4 GHz y 5 GHz basado en el protocolo 802.11. Llevan velocidades de 600 Mbps, con una distancia mucho mayor a la de bluetooth, permite la conectividad de varios dispositivos entre si dentro de una red
<b>ZigBee</b>	Usa ondas de radio de baja energía, es posible crear una malla conectándose entre sí, sin la necesidad que cada uno se conecte individualmente a un router. Evita la saturación de redes cuando son muchos dispositivos conectados .requiere de un puente o hub, ofrece un bajo consumo energético, alcance reducido de 10 a 15 metros, uso para proyectos donde no se necesite una alta velocidad.

**Fuente:** Concepción, (2020)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se abordan los distintos ítems correspondientes al diseño e implementación en *hardware* y *software* del sistema de supervisión y alerta del uso del agua potable aplicable a una residencia estudiantil. Se detalla los requerimientos planteados a desempeñar, la selección de los elementos que lo conforman, el lenguaje de programación, las características técnicas, el esquema electrónico e implementación total del dispositivo

#### 3.1. Requerimientos del sistema

Después de un análisis minucioso en el capítulo anterior, se puede llegar a especificar de manera general los requerimientos para el diseño e implementación del sistema. Para hacer una estructura más prolija se opta la utilización de un nombre para referirse al sistema en este caso las siglas de SISUA (Sistema de supervisión de agua).

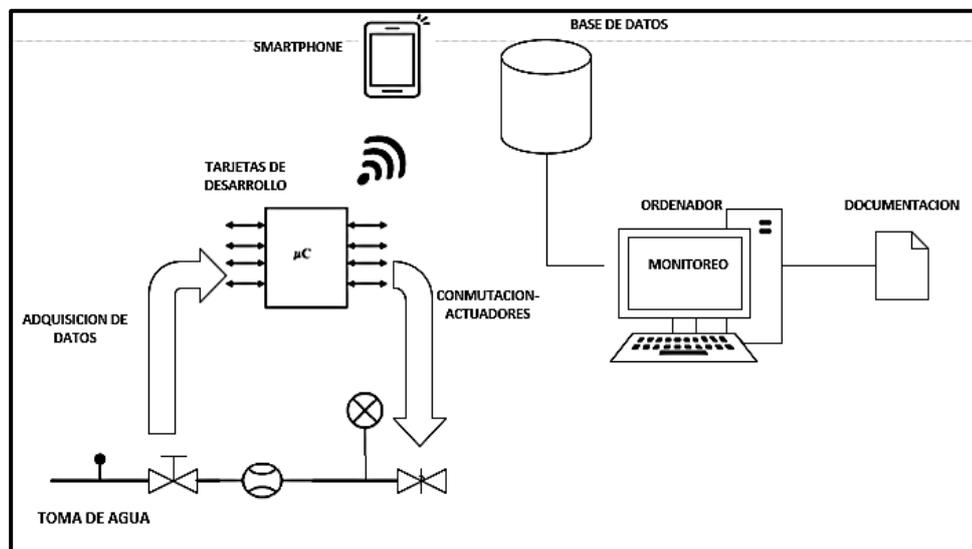
**Tabla 1-3:** Requerimientos generales de SISUA

NOMBRE DEL SISTEMA		SISUA
Requerimiento	Descripción	
Inspección	Obtener valores de caudal y presión en un circuito de tubería para agua potable	
Procesamiento	Recibir datos de las magnitudes censadas para un adecuado acondicionamiento de datos de valores obtenidos.	
Monitoreo	Tener la capacidad de subir los valores medidos a una base de datos para un monitoreo frecuente en cualquier tiempo, mediante la comunicación inalámbrica en una red	
Señales de alerta	Expedir mensajes de alerta de consumo de agua en función a límites en condiciones normales de trabajo, con la opción a elegir si cerrar o no el paso del líquido vital.	

**Realizado por:** Altamirano, Josué, 2020

### 3.2. Concepción general del prototipo

En la figura 1-3 se puede observar al concepto general de SISUA la funcionalidad del sistema empieza con la adquisición de datos mediante sensores para conocer el caudal y la presión de una tubería, una vez adquiridos estos valores serán procesados a través de una tarjeta de desarrollo y mediante un módulo de comunicación inalámbrica en una red para el monitoreo. El sistema enviará mensajes de alerta al usuario para que pueda tomar acciones de activación o desactivación del flujo de agua.

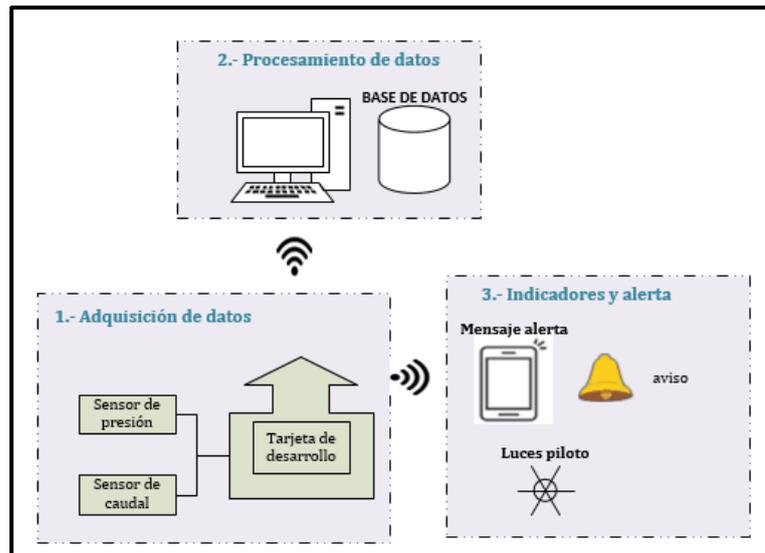


**Figura 1-3:** Concepción general del sistema SISUA

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

### 3.3. Etapas que conforman a todo el sistema

Una vez realizada la noción general del sistema, se procede a realizar un diseño en etapas que conformarán su funcionamiento. En la figura 2-3 se puede visualizar al sistema que consta de tres etapas: la adquisición de datos, procesamiento de datos y los indicadores con alerta. A continuación, se puede observar las características detalladas para cada etapa.



**Figura 2-3:** Concepción por etapas del sistema

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

### 3.4. Etapa de adquisición de datos

En esta etapa el sistema capta los datos de presión y caudal mediante sensores colocados en la red de tubería de agua potable de la residencia. La disposición de los sensores depende de la arquitectura del sistema de tuberías, ya sea entrada directa, tanque y caída, o un sistema de tanque hidroneumático. Los valores de adquiridos serán recopilados en una tarjeta de desarrollo para su posterior acondicionamiento por medio de *software*.

### 3.5. Etapa de indicadores y alerta

Esta etapa consta de indicadores visuales que se activan cuando una actividad se haya realizado o una acción ejecutado. Los mensajes de alerta son recibidos directamente al administrador con su única identificación donde puede realizar acciones o consultas hacia el sistema mediante una interfaz sencilla y amigable en su teléfono celular.

### 3.6. Descripción general de los elementos *hardware* para SISUA

En el presente ápice se detallan las características más relevantes de los elementos que han sido seleccionados para la implementación en *hardware*.

### 3.7. Elección de los sensores de caudal y presión

#### 3.7.1. Criterios fundamentales

Para realizar la medición del nivel de caudal y presión en el sistema de tuberías se tienen los requisitos puntuales:

- Adecuado para mediciones en el rango de presión de distribución de agua. Según normas de estandarización en el Ecuador, es decir que no excedan de los 100 PSI (presión estática máxima) (Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) 1992)
- Los sensores deben ser acoplados a una tubería de ½ pulgada de diámetro, medida en la tubería de entrada provista por la empresa de agua potable local, así como estándar en el edificio a implementarse
- Un rango de medición de caudal adecuado para medir flujos de consumo doméstico; en un domicilio que oscila su presión estándar alrededor de 30 PSI la ecuación Bernoulli estima flujos de 20 Lts/min.
- Los rangos de presión recomendados para una instalación doméstica señalados en 2.3.4.1. es de 40 PSI, considerándose tolerable hasta los 50 PSI. Si existiese un error inferior al porcentaje al error relativo entre la presión de funcionamiento y el máximo de presión tolerable, los objetivos del sistema en ningún momento estarían comprometido

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{X} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

$$\varepsilon_r = \frac{40-50}{40} = 25\%$$

#### 3.7.2. Sensores de caudal

##### 3.7.2.1. YF-S201

El sensor de caudal YF-S201 es un flujómetro de tipo turbina, que mediante un contador efecto hall (magnético), recibe pulsos digitales a medida que va girando la turbina obteniéndose un tren de pulsos con una determinada frecuencia en función del caudal instantáneo. Tiene 3 conductores, dos de alimentación y uno de salida de señal (digital). Es unidireccional y necesita ser instalado horizontalmente. En la figura 3-3. se puede observar este tipo de sensor y en la tabla 2-3 sus características técnicas.



**Figura 3-3:** Sensor YF-S201

Fuente: Altamirano, Josué, 2020

**Tabla 2-3:** Características del sensor YF-S201

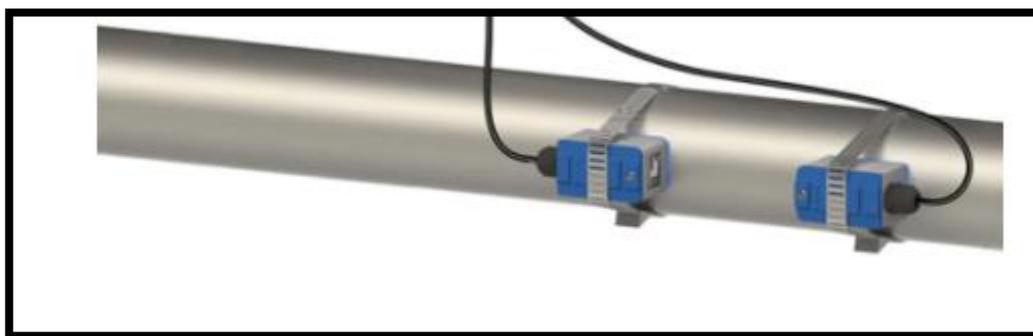
Descripción	Características
Voltaje	5V - 18V
Corriente	15 mA
Pulsos por litro	450
Presión de trabajo Max.	1,75MPa (250 PSI)
Temperatura de operación	-25°C a 80°C
Rango de flujo	1-30L/min
Tolerancia	1-25 L/min $\pm$ 3%
Rosca externa	½ Pulgadas

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Fuente: Blue PCB Electronics

### 3.7.2.2. DN15 -Trantech

El sensor DN15 es un flujómetro ultrasónico, que funciona mediante la medición del tiempo transcurrido entre el envío y recepción de señales ultrasónicas a través de una tubería. Se basa en el principio que las ondas del sonido que viajan en el mismo sentido que el flujo de agua viajarán más rápido que aquellas ondas que van en contra. La diferencia resultante en el tiempo de tránsito es directamente proporcional a la velocidad del flujo del líquido es decir el caudal.



**Figura 4-3:** Sensor de caudal DN15

Fuente: Trantech, 2020

Este sensor es montado directamente sobre la tubería, sin flujómetro ultrasónico. Funciona en tuberías de acero, hierro, cemento, cobre, PVC, entre otras. Puede detectar flujos de alcohol, agua de mar, ácidos, líquidos alcalinos, cerveza, y todo tipo de aceite. Al no depender de una turbina no tiene limitaciones en presión o tamaño de caudal, siendo adaptable para cualquier tipo de tubería.

**Tabla 3-3:** Características del sensor DN-15

Descripción	Características
Voltaje	24V
Corriente	4-20 mA
Temperatura operación	-40 -90°C
Tolerancia	$\pm 1 a \pm 2\%$
Temperatura de operación	-25°C a 80°C
Protocolo	MODBUS
Consumo de potencia	1.5W

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Fuente: Blue PCB Electronics

### 3.7.2.3. SBG234 - IFM

El sensor de caudal opera según el principio del pistón sostenido sobre un muelle. El pistón situado en el asiento de la válvula en la carcasa, es elevado por el caudal del fluido contra la fuerza del muelle, la detección de la posición del pistón se lleva a cabo a través de un sensor magnético

y se emite como señal analógica. La fuerza del muelle provoca un retorno seguro del pistón a la posición de salida en caso de disminución de caudal. Con ello se permite un montaje del sensor de caudal independiente de la posición y se evita el reflujo. El cabezal del sensor se puede girar 360°, y por tanto, la información puede ser leída en cada posición. (ECUAINSETEC 2019)



**Figura 5-3:** Sensor de caudal DN15

Fuente: IFM, 2020

**Tabla 4-3:** Características del sensor SBG234

Descripción	Características
Voltaje	18 -30 VDC
Corriente	<50 mA
Temperatura operación	-10 -100°C
Tolerancia	± 4%
Rango de operación	1 a 50 Lts/min
Presión máxima	580 PSI
Conexión de proceso	G1/2
Salida	Analógica /Digital

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Fuente: Blue PCB Electronics

### 3.7.3. Sensores de presión

#### 3.7.3.1. HK3022

Sensor de presión. Trabaja en un rango de 0 a 0.5 MPa, usado en procesos de neumática y con presión constante en agua, aceite. Su salida analógica es compatible con distintos tipos de tarjetas de desarrollo. En la figura 6-3 se puede observar este tipo de sensor y en la tabla 5-3 se pueden apreciar sus características técnicas.



**Figura 6-3:** Sensor HK3022

Fuente: NAYLAMP, 2020

**Tabla 5-3:** Características del sensor HK3022

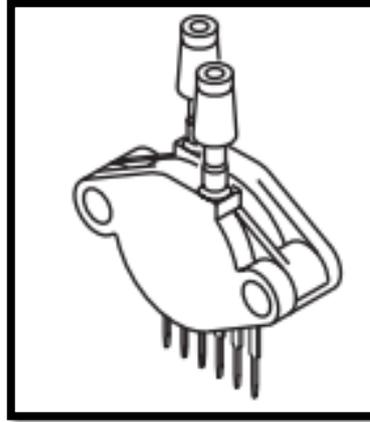
Descripción	Características
Voltaje	5 V
Corriente	10 mA
Rango de presión	0-0,5 MPa
Presión máxima	2,4 MPa
Tiempo de respuesta	2.0 ms
Temperatura de trabajo	0-85°C
Rosca de conexión	Macho G1/4
Salida	0-5 a 4-5 VCD
Tolerancia	± 1%

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Fuente: (Naylamp, 2020)

### 3.7.3.2. MPX5500

El MPX5500 es un transductor piezoresistivo monolítico de silicón, está diseñado con salidas, cobertura durable de epoxi, y entradas para manguera abrazadera de 1/8,



**Figura 7-3:** Sensor MPX5500

Fuente: NXP, 2020

**Tabla 6-3:** Características del sensor MPX5500

Descripción	Características
Voltaje	5 V
Corriente	10 mA
Presión máxima	500 KPa (73 PSI)
Tiempo de respuesta	1.0 ms
Temperatura de trabajo	0-85°C
Rosca de conexión	G1/8
Tolerancia	± 2.5%
Salida	Analógica 0-5 a 4-5 V

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Fuente: (NXP, 2020)

### 3.7.3.3. PN7594 -IFM

IFM lanzó el sensor PN7594 con protección IP67, y visualización en una pantalla en la parte superior del sensor, se puede visualizar mediante leds la conmutación de niveles del sensor. Una vez enroscado, se lo puede girar en cualquier sentido y con tranquilidad en ambientes exteriores.



**Figura 8-3:** Sensor PN7594

Fuente: IFM, 2020

**Tabla 7-3:** Características del sensor PN7594

Descripción	Características
Voltaje	18 -30 VDC
Corriente	< 35 mA
Rango de medición	-14,5 a 145 PSI
Tiempo de respuesta	< 3 ms
Temperatura de trabajo	-25 a 80° C
Rosca de conexión	G1/4
Tolerancia	± 0,25%
Salida	Señal de conmutación, IO-Link

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Fuente: (IFM, 2020)

### 3.7.4. Escogimiento de sensores

Considerando los criterios expuestos en 3.7.1, se evalúan los sensores a usarse en el proyecto.

Respecto a los sensores de caudal, los tres sensores cumplen con los requisitos planteados para el uso en el proyecto, el sensor DN15 incluso facilitaría la instalación al no tener que realizarse cortes en la tubería para lograr las mediciones, sin embargo la relación costo beneficio de la primera opción el sensor YF-S201, es superior ya que provee todas las condiciones necesarias para el monitoreo de consumo.

En lo que respecta al sensor de presión, ninguno viene a la medida de G1/2 necesaria para acoplar a la tubería principal, en cualquier caso se necesitan adaptaciones. La mejor relación costo - beneficio es la del sensor MPX5500, sin embargo una adaptación de 1/16 a G1/2 no se puede encontrar en el mercado, además de que la normativa de SENAGUA es que la presión de distribución puede llegar hasta los 100 PSI, lo mejor en el mercado es el PN7594, pero en relación costo beneficio final, el sensor HK3022

**Tabla 8-3:** Tipos de tarjetas de desarrollo

	Rango de presión	Rango de caudal	Tolerancia ±%	Acople a tubería	Precio USD
Caudal					
YF-S201	0-250 PSI	1-30 L/min	3%	G1/2	10
DN15	-	-	2%	Universal	550
SBG234	< 580 PSI	1-50 L/min	4%	G1/2	264
Presión					
HK3022	0 - 248 PSI	-	1%	G1/4	15
MPX5500	0 - 73 PSI	-	2,5%	1/16	10
PN7594	-14,5 a 145 PSI	-	0,25%	G1/4	486

Realizado por: Altamirano Josué, (2020)

### 3.8. Elección de las tarjetas de desarrollo

Dentro de las tarjetas de desarrollo existe una amplia variedad de modelos dependiendo las necesidades que el usuario necesite. Por lo general se busca tener un lenguaje de programación abierto la disponibilidad de las herramientas necesarias de los mismos. A continuación, algunas tarjetas de desarrollo más utilizadas en el mercado.

**Tabla 9-3:** Tipos de tarjetas de desarrollo

<b>Diferentes tipos de tarjetas de desarrollo Arduino</b>	
Arduino uno	Microcontrolador Atmega328, funciona a 5 V, 14 pines I/O digitales, 6 pines analógicos, frecuencia 16 MHz
Arduino Leonardo	Microcontrolador ATmega32u4, funciona a 5 V, 20 pines I/O digitales, 12 pines analógicos, frecuencia de 16 MHz
Arduino mega	Microcontrolador ATmega2560, funciona a 5 V, 54 pines I/O, 16 pines analógicos, frecuencia de 16 MHz
Arduino nano	Microcontrolador ATmega168, funciona a 5 V, 14 pines I/O digitales, 8 pines analógicos, frecuencia de 16 MHz
Arduino pro mini	Microcontrolador ATmega168, funciona a 3.3 V, 14 pines I/O digitales, 8 pines analógicos, frecuencia de 8 MHz
Arduino micro	Microcontrolador ATmega32u4, funciona a 5 V, 20 pines I/O digitales, 12 pines analógicos, frecuencia de 16 MHz

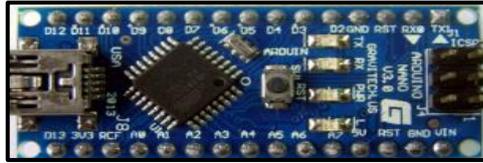
**Realizado por:** Altamirano Josué, (2020)

**Fuente:** Fuente especificada no válida.

Para el presente proyecto se presentan varias opciones, sin embargo, entre ellas, se escoge el Arduino nano gracias a su tamaño reducido, sin dejar su frecuencia de trabajo de 16 MHz como la versión pro mini, los 14 pines I/O son más que suficientes para la realización de este proyecto, los precios difieren no mucho uno del otro.

### **3.8.1. *Arduino Nano***

Para la implementación con los requerimientos mencionados en la tabla 1-2 en el capítulo anterior, se ha seleccionado la tarjeta de desarrollo Arduino nano, por las características propias del mismo, su pequeño tamaño no impide que tenga las mismas entradas y salidas que un Arduino uno, posee el tipo de comunicación RX y TX necesaria para poder realizar una transmisión de datos exitosa y soportando las características de funcionalidad de los componentes que pueden estar conectados en él. (Panamahitek, 2013) En la figura 9-3 se puede observar a la tarjeta de desarrollo y en la tabla 10-3 sus características técnicas.



**Figura 9-3:** Arduino Nano

Fuente: Altamirano, Josué, 2020

**Tabla 10-3:** Características de Arduino nano

Descripción	Características
Voltaje	5V
Corriente por cada pin	40 mA
Pines I/O digital	14
Pines I/O analógico	8
Memoria flash	32 KB
Controlador	ATmega328
Frecuencia de reloj	16 MHz

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Fuente: (Panamahitek, 2013)

### 3.8.2. Node MCU

Según la concepción general del prototipo definida en 2.2, se necesita una herramienta de conectividad, el módulo WIFI para las placas Arduino es el Node MCU -ESP82766. Es una placa desarrollada en el contexto de ESP8266, su facilidad de programación hace que sea una tarjeta muy amigable en su programación que puede ir en lenguajes como Lua o Arduino. Ideal en procesos que requieren una conexión a internet mediante WIFI por sus facilidades y tamaño. (Crespo, 2016) En la figura 10-3 se puede observar al Node MCU y en la tabla 11-3 sus características técnicas.



**Figura 10-3:** Node MCU

Fuente: Altamirano, Josué, 2020

**Tabla 11-3:** Características de Node MCU

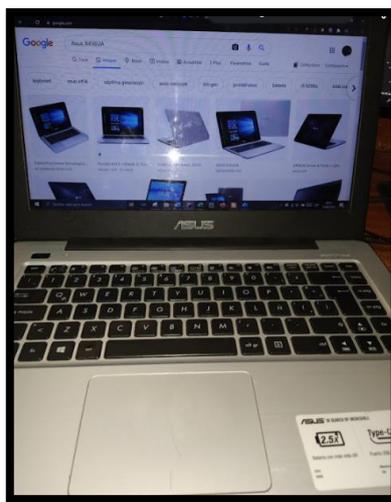
Descripción	Características
Arquitectura	DevKit V2
Voltaje	3.3 V
Corriente	15 mA
Protocolo	802.11
Procesador	32 bits
Pines I/O	11 x GPIO
Comunicación	SPI, Serial UART

**Realizado por:** Altamirano, Josué, 2020

**Fuente:** (Crespo, 2016)

### 3.9. Ordenador

En la figura 11-3 se puede visualizar al ordenador designado para el monitoreo de los datos, para este caso se utilizó un laptop Asus X456UA, con un procesador Intel Core i5 7200U con sistema operativo Windows 10 de 64 bits. Dado que el monitoreo es realizado en la plataforma web Thingspeak, el único requisito necesario para la selección del ordenador, es poder cargar y manipular correctamente la página [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com) para lo cual es más que suficiente.



**Figura 11-3:** Asus X456UA

**Fuente:** Altamirano, Josué, 2020

**Tabla 12-3:** Características de Asus X456UA

Descripción	Características
RAM	8 GB
Procesador	Intel core i5
Sistema operativo	64 bits
Disco duro	250 GB
Conectividad	WIFI-Ethernet

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

### 3.10. Punto para acceso inalámbrico

La utilización de un router para una comunicación inalámbrica es esencial en este caso, para el tráfico continuo de datos obtenidos por los sensores hacia la plataforma, el router es el encargado de generar una red en un espacio designado para la comunicación WIFI. La distancia de ubicación de los sensores se encuentra a 20 metros, por lo tanto, el router escogido debe tener la capacidad de conectarse desde el centro del edificio donde está ubicado hasta la puerta de entrada de la calle donde estará ubicado el sistema. Se puede observar en la figura 12-3 y sus características en la tabla 13-3 respectivamente



**Figura 12-3:** Router TL-WR841HP

Fuente: Altamirano, Josué, 2020

**Tabla 13-3:** Características técnicas del router

Descripción	Características
Voltaje	9 V
Corriente	0.6 A
Velocidad	300 Mbps
Dimensiones	182*134*33 mm
Antenas	3, desmontables, de alta ganancia

**Realizado por:** Altamirano, Josué, 2020

**Fuente:** (TP-LINK, 2020)

Mediante la aplicación medidora de calidad de señal de WIFI Phuongpn, se obtienen los resultados, señal de -65dBm en el punto de ubicación de los sensores, un nivel suficiente para el envío y recepción de datos.

### 3.11. Electroválvula

Es una válvula solenoide para uso exclusivo de agua o aire, ideal para tuberías de diámetro de media pulgada usualmente usadas en residencias domiciliarias. Esta electroválvula sirve como actuador para el paso de flujo de agua en ciertas condiciones. En la figura 13-3 se puede observar al dispositivo y en la tabla 14-3 sus características más relevantes.



**Figura 13-3:** Electroválvula

**Fuente:** Altamirano, Josué, 2020

**Tabla 14-3:** Características de la electroválvula

Descripción	Características
Voltaje	12 V
Corriente	420 mA
Potencia	5 W
Presión de funcionamiento	< 116 PSI
Temperatura máx. fluido	100 °C
Tipo de válvula	Diafragma
Tipo de acople	Manguera de ½"

**Realizado por:** Altamirano, Josué, 2020

**Fuente:** (CDMX ELECTRONICA, 2016)

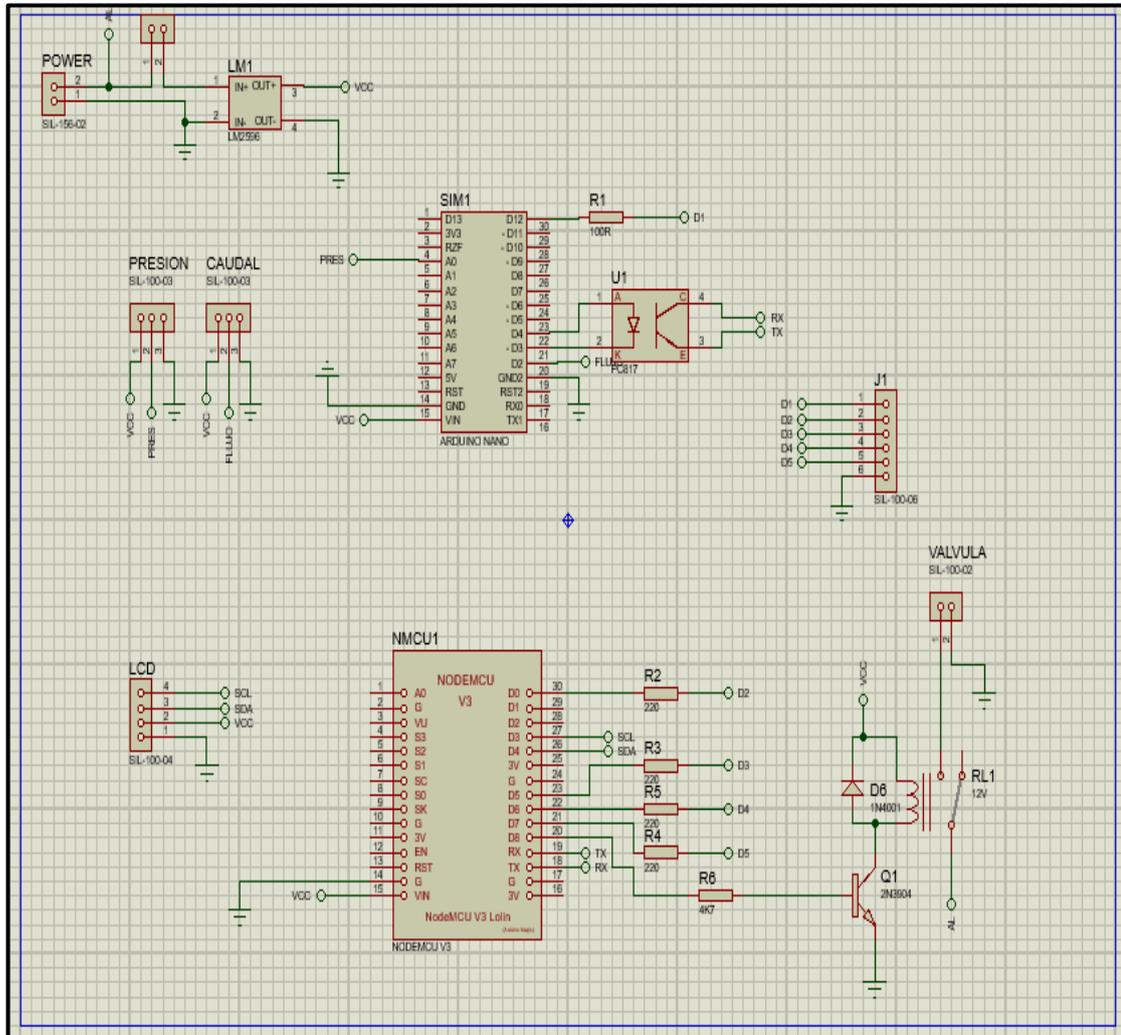
La electroválvula cumple con los requisitos descritos del funcionamiento de la tubería (presiones hasta de 100 PSI), y tiene la rosca de G1/2 pulgada, en la misma medida que la tubería

### 3.12. Esquema de conexiones electrónicas

En la figura 14-3 se puede observar el esquema electrónico del sistema. Consta de dos tarjetas de desarrollo la primera un Arduino nano y la segunda el módulo NodeMCU. A continuación, ciertas características del esquema electrónico, se utiliza el programa Proteus8.8.

- Las señales son captadas por dos sensores de caudal y presión, dichos valores ingresan por el pin digital D2 y el pin analógico A0 respectivamente hacia la placa de desarrollo Arduino, El pin digital D12 es un indicador de envío de datos a través de la comunicación serial.
- Mediante una comunicación serial a partir de los pines digitales D3 y D4 se asignan los pines RX y TX para la comunicación serial entre las tarjetas. El módulo MCU es el cerebro de todo el sistema encargado de procesar datos y realizar las acciones determinadas en los requerimientos como también el control de acciones de apertura y cierre de flujo.
- El pin digital D0 se encarga de indicar que el sistema este encendido, los pines D3 y D4 son los designados para la comunicación I2C SCL(clock) y SDA(data) son los encargados de la impresión en la pantalla LCD.

- El pin D8 proporciona la energía necesaria para la conmutación de un transistor NPN el cual al entrar en operación acciona el relé que se encarga de dar la energía para que la electroválvula opere.



**Figura 14-3:** Esquema de diagrama electrónico

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

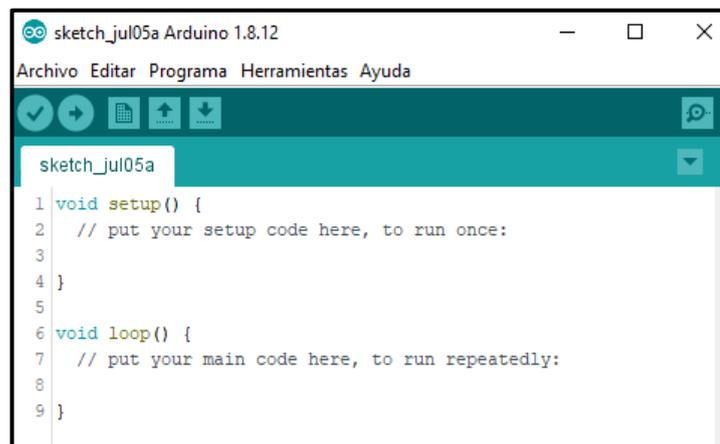
### 3.13. Etapa de procesamiento de datos

La tarjeta de desarrollo se encarga de subir los datos obtenidos a través de un módulo que tenga conexión inalámbrica con WIFI hacia una plataforma donde el usuario tiene acceso al monitoreo de los valores desde cualquier ordenador que tenga acceso a internet. Los datos subidos a la plataforma serán visibles en gráficos para un minucioso estudio por parte del usuario propietario.

### 3.14. Entorno de desarrollo IDE Arduino 1.8.12

Su plataforma de código abierto hace posible que sea el óptimo para programar las tarjetas de desarrollo seleccionadas en ápices anteriores. Su entorno de programación amigable con el usuario, permite que las aplicaciones sean diversas y sencillas al momento de realizar tareas con distintos dispositivos de comunicación externos como sensores, actuadores, ordenadores entre otros.

En la figura 15-3 se puede observar el entorno de programación IDE Arduino, esta plataforma sirve para programar las dos tarjetas de desarrollo puesto que son compatibles con el lenguaje de programación. Solo se debe prestar atención en la selección de la tarjeta a programar y el puerto al que se esté conectado.



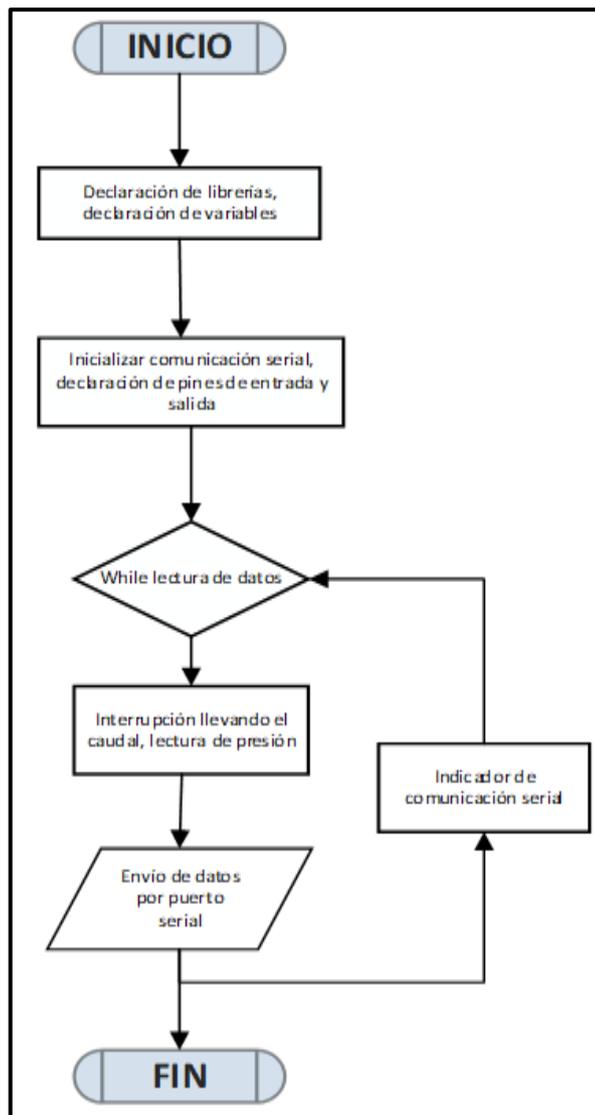
**Figura 15-3:** Entorno IDE Arduino

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

A continuación, se presenta los diagramas de flujo que fueron la base fundamental para que el sistema opere como se espere.

### 3.15. Adquisición de datos

En la figura 16-3 se detalla el algoritmo de programación para primera etapa que manifiesta la adquisición de datos del sistema SISUA.



**Figura 16-3:** Adquisición de datos

**Realizado por:** Altamirano, Josué, 2020

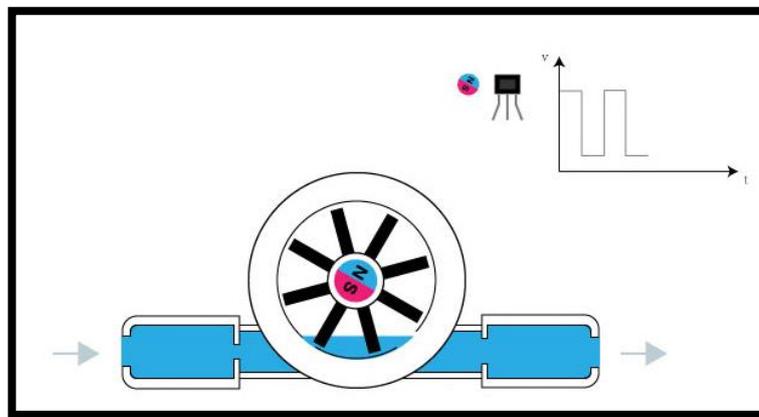
- Se declara la librería SoftwareSerial.h la cual inicializa la comunicación serial entre las tarjetas de desarrollo.
- Se establece una comunicación serial a través de puertos digitales que trabajaran como TX (3) y RX (4) en la tarjeta Arduino además se establece la velocidad de comunicación en 9600 baudios que es el standard predeterminado de Arduino.
- Se procede a realizar una interrupción para la lectura de datos que se obtienen a través del pin digital D2, en esta interrupción se realiza la calibración correcta del sensor, se guarda sus

valores y se procede a enviar los datos ya procesados a través de la comunicación serial establecida anteriormente.

- La lectura del sensor de presión se lo realiza a través del puerto analógico A0 donde se realiza la conversión (resolución de 10 bits para Arduino nano) y acondicionamiento de datos para ser transformados a valores en PSI que el usuario pueda interpretar enviándolos a través de la comunicación serial anterior, en las placas Arduino nano la velocidad de lectura del ADC es de 100 microsegundos.

### 3.15.1. Interrupciones

A diferencia del sensor de presión HK3022, el flujómetro es de tipo digital y funciona por efecto hall de la siguiente manera.



**Figura 17-3:** Sensor Hall en YFS201

Fuente: Seeeds Studio, 2020

El agua que fluye desde el orificio de entrada mueve la turbina magnética generando un tren de pulsos (señal digital) detectados por un sensor de efecto Hall (magnético). El nivel de pulsos generado es directamente proporcional al caudal fluyendo a través de la turbina.

La función de lectura digital en las placas microcontroladoras detecta e ingresa información respecto a señales digitales en un puerto determinado, sin embargo, durante la ejecución de un código en el microprocesador, se toma un tiempo determinado, y pueden perderse ciertos pulsos de lectura durante este tiempo. Para evitar este problema se requiere el uso de rutinas de servicio de interrupciones.

Las rutinas de servicio de interrupciones son métodos de programación en los que existe una suspensión temporal de la ejecución del código principal de un programa en el microprocesador, a fin de ejecutar otro programa prioritariamente (este es el servicio de interrupción).

Algunos tipos de sensores necesitan estas rutinas de servicio de interrupciones para poder funcionar correctamente, como los encoders, infrarrojos, detectores de señales de entrada en tiempo crítico (como sistemas de air-bags). Necesitan establecer una prioridad elevada sobre las demás partes del código que se esté ejecutando en microprocesador.

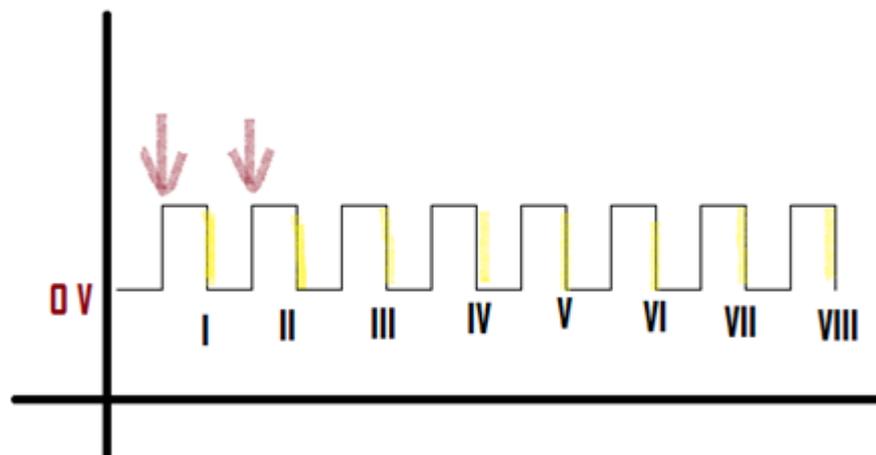
Con este método en uso, no se perderán pulsos enviados por el sensor, debido a la prioridad elevada en las interrupciones de ingreso de datos, con respecto al código restante.

La adquisición de datos se realizará utilizando la tarjeta de desarrollo previamente escogida “Arduino Nano”, esto implica que solo están disponibles los pines 2 y 3 que son aptos para trabajar con interrupciones.

Para los programas que funcionan con rutinas de servicio de interrupciones se requiere usar variables de tipo volátil, ya que el compilador de esta manera entiende que existe cualquier tipo de variación en cualquier momento, lo que implica que se recargará la variable cuando se la referencie antes que invocará una copia desde el registro del procesador.

Un punto importante a considerar es el tipo de interrupción que se realizará. Considerando que cada pulso iniciado es un indicador de consumo, y que el indicador de haber recibido un pulso completo es el flanco bajo -alto, las interrupciones se consideraran con el parámetro (RISING), que es cambio de estado BAJO-ALTO.

Considerándose la entrada digital del sensor también se tiene dos opciones de configuración para el pin de entrada, el pull-up y el pull-down. Para este caso se escoge el pull-up que provee Arduino nano, y que se activa mediante el comando `digitalWrite(pin, HIGH)`.



**Figura 18-3:** Adquisición de datos en flanco de subida

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Ya que los datos deben ser enviados a la nube de Thingspeak mediante la conexión wifi provista por la placa ESP8266, se requiere comunicar las 2 placas mediante comunicación serial; para esto se imprimirá periódicamente el consumo registrado por el sensor.

Para definir el tiempo de muestreo del sensor de flujo, se consideran los siguientes parámetros.

- Se debe tener una información fidedigna adquirida a una velocidad lo suficientemente rápida como accionar la electroválvula y evitar desperdicio considerable de agua.
- El criterio de muestreo de Nyquist establece que la mínima resolución de muestreo de una señal es el doble de la frecuencia mas alta de entrada de la señal

$$F_s > 2B \quad \text{Ecuación 2-3}$$

- El muestreo de datos no debe ser de una resolución excesiva, causando lentitud en el funcionamiento del microprocesador, y saturación del canal serial de envío de datos.

Considerando que se desea obtener el menor desperdicio de agua, y que el flujo de consumo doméstico promedio definido en 3.7.1 es de 20 Lts por minuto; un muestreo del sensor enviado cada segundo permitiría controlar la electroválvula en caso de alerta produciéndose un desperdicio de apenas 0.333 litros por cada segundo de retardo en activar el actuador. Por tal razón se considera que se cumple correctamente el primer parámetro al procesar la información del sensor de caudal en un intervalo de un segundo.

Es importante mencionar que la interpretación de la señal digital enviado por el sensor flujómetro YF-S201 no se basa en su muestreo en función del tiempo propiamente, sino que provee pulsos que son la señal de incremento en un acumulador, que representa el volumen de agua consumida.

Se definió la velocidad estándar predeterminada(ratio de baudios) para el funcionamiento del puerto serial de Arduino, considerando que cada carácter requiere 10 bits para el envío de datos considerando los bits de inicio, fin y los 8 bits de datos. Una velocidad de 9600 baudios permitiría tener 960 caracteres por segundo, que basta y sobra para enviar la información del sensor.

El criterio de Nyquist requiere que la frecuencia de muestreo de una señal sea el doble de la frecuencia máxima de la señal de ingreso, para lo cual se toma en consideración las características del sensor.

Considerando que la especificación del sensor YF-S201, en capacidad de medición de caudal es de 1 a 30 Litros por minuto; y que cada genera 427 pulsos digitales por cada litro consumido, se calcula que la frecuencia máxima de la señal será de:

$$30 \frac{Lts}{min} \times \frac{1 \cancel{min}}{60 s} = 0,5 \frac{Lts}{s}$$

Pero cada litro equivale a 427 pulsos, entonces reemplazando

$$0,5 \frac{\cancel{Lts}}{s} \times \frac{427 \text{ ciclos}}{1\cancel{Lts}} = 214 \frac{\text{ciclos}}{s} = 214 \text{ Hz}$$

El criterio de Nyquist para esta señal según la ecuación 2-3 requiere duplicar el valor de esta frecuencia por lo cual la tasa de muestreo requerida sería:

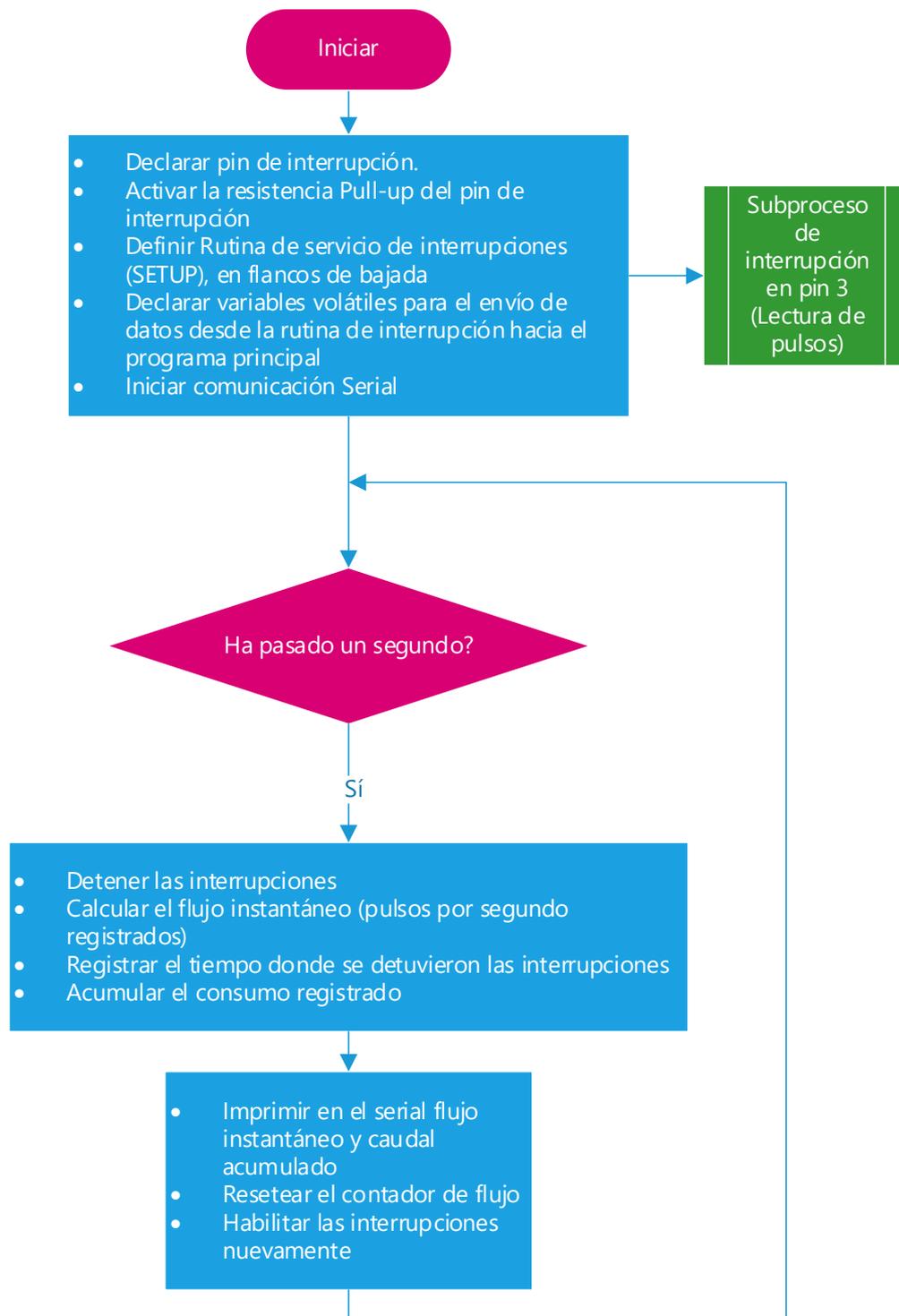
$$F_s > 2B$$

$$F_s > 2 \times 214 \text{ Hz}$$

$$F_s > 428 \text{ Hz}$$

Ahora considerando la velocidad del reloj de la placa escogida Arduino Nano, con un reloj de 16 MHz, Lleva con holgura la realización de la tarea trabajando en su mejor esfuerzo (Best Effort).

Ya que se realizará la lectura cada segundo se propone el siguiente algoritmo para el conteo de los pulsos.



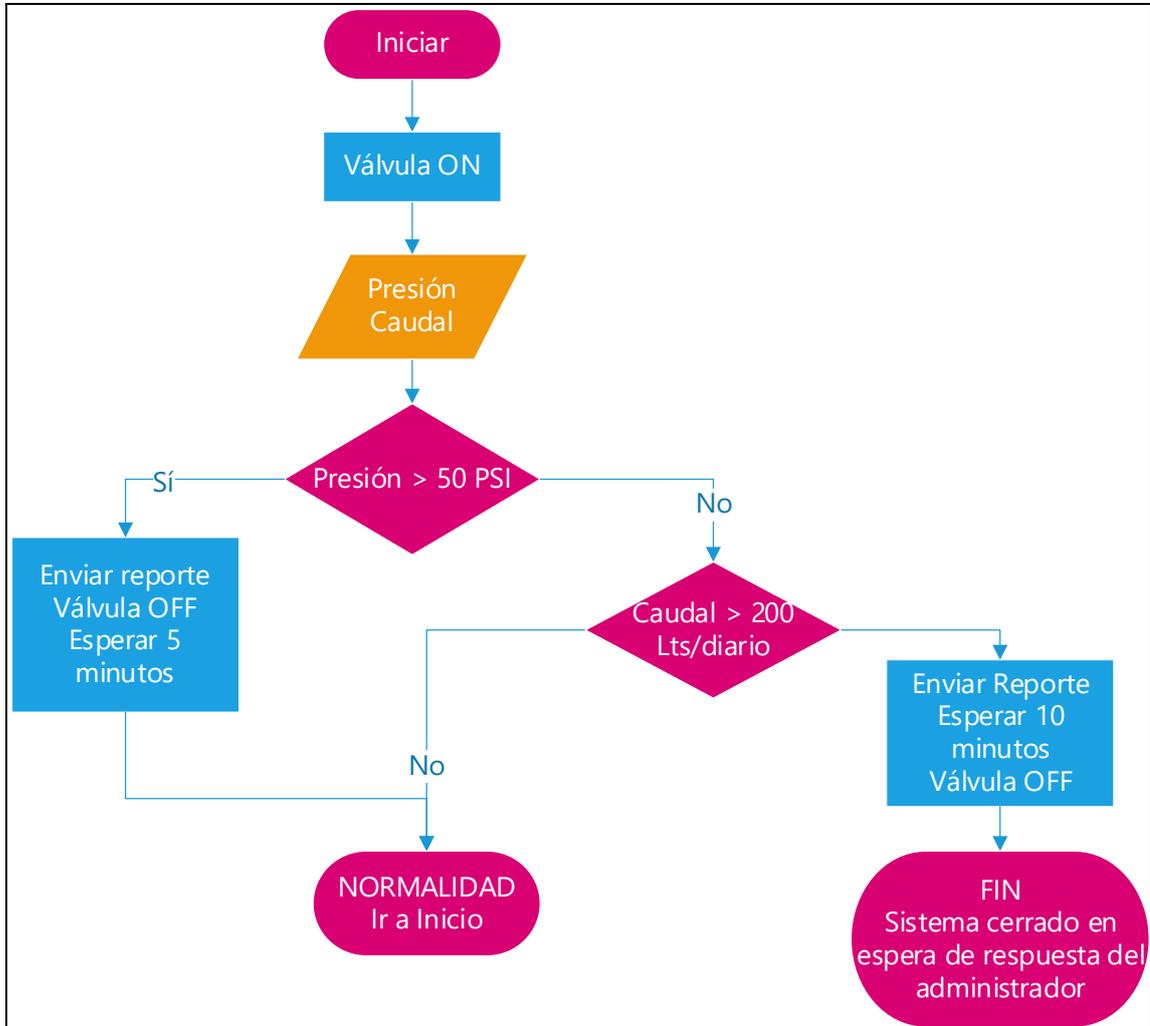
**Figura 19-3:** Algoritmo para adquisición por Interrupciones

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

El código completo de la lectura del sensor YFS201, se adjunta en el anexo B.

### 3.16. Indicadores y alertas

#### 3.16.1. Generalidades



**Figura 20-3:** Indicadores y alertas

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

En la figura 17-3 se establece el diagrama de flujo del procesamiento de los indicadores y alertas, a continuación se explica cómo arranca el módulo SISUA.

- Se declara las librerías WiFiUdp.h la cual establece la comunicación entre la placa de desarrollo y el cliente del servidor, CTBot.h establece la comunicación con el Token personal del usuario en la app Telegram, Wire.h la cual ayuda a establecer una comunicación I2C necesaria para la impresión de datos, y LiquidCrystal\_I2C.h con la cual se controlan todas las funciones de la pantalla de impresión de datos.

- La ejecución del sistema empieza aquí en esta tapa, con el acceso a la red con sus credenciales correctas, si en un caso no se realiza la conexión el sistema simplemente no arrancará.
- Una vez realizado el encendido el sistema, se abre la electroválvula y se lee los datos de los sensores de caudal y presión. Si la presión es excedida de un límite de 50 PSI que empieza a ser nocivo para un sistema de tuberías (véase 2.3.4.1), el sistema cerrará la válvula por emergencia, enviará un reporte mediante Telegram al administrador y esperará 5 minutos antes de volver a abrir la válvula e iniciar las mediciones nuevamente. Esto se hace ante un posible pico de presión instantáneo que amenace el sistema, pero para asegurar la continuidad del suministro, intentará 5 minutos después volver a realizar mediciones
- Si la presión en el sistema es correcta, se procede a medir la cantidad de agua que el usuario utiliza durante un día. Para esto todos los días a las 3 AM se activa un acumulador que almacena en memoria los litros consumidos por el usuario diariamente. El primer capítulo presenta un informe por la ONU que recomendaba el consumo de 50 -100 Lts diarios por persona. En Ecuador se presentó un estudio mostrando un exceso de hasta el 40% más de consumo referente a la región, con un promedio de 249 Lts/persona.(Alarcón y El Comercio 2018), Considerando esta información, para el presente proyecto se define un valor excesivo el consumo empieza cuando se supera los 200 Lts de consumo diarios, en caso de superarse este umbral, el sistema SISUA enviará una notificación al administrador, y si no hay respuesta en un plazo de 10 min, se cerrará la electroválvula hasta que el administrador pueda realizar una inspección ante una posible fuga.
- Al administrador se le provee todos los comandos en la interfaz de mensajería Telegram para habilitar, deshabilitar o resetear los estados del sistema, tras lo cual se pondrá de nuevo en marcha el aprovisionamiento de agua, una vez los problemas se hayan solucionado

### **3.16.2. Interfaz de usuario**

Para el inquilino usuario del sistema SISUA, se provee una pantalla LCD, donde se muestra el consumo diario, hasta la hora presente, el estado de la válvula abierta o cerrada y la presión actual en el sistema



**Figura 21-3:** Interfaz de usuario LCD - SISUA

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

También se añaden leds indicadores para indicar:

**Tabla 15-3:** Leds indicadores en SISUA

Número	Color	Función
1	Amarillo	Reset
2	Azul	Sistema Encendido
3	Rojo	Accionamiento de válvula
4	Verde	Conexión a la nube
5	Blanco	Mensajería Telegram activa

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020



**Figura 22-3:** Leds de interfaz de usuario SISUA

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

### 3.16.3. Interfaz de administrador

El administrador será capaz de recibir información (indicadores y alertas) sobre el funcionamiento del sistema de agua en la residencia estudiantil. Las aplicaciones de mensajería instantánea son

ampliamente usadas en la actualidad, por lo cual se decide enviar y recibir comunicaciones por este medio. Entre las más populares entre los usuarios se tiene Whatsapp y Telegram.

La comunicación del sistema requiere crear un “bot” que es una aplicación de terceros que interactúa dentro de la plataforma de mensajería, en este caso SISUA se comunicaría mediante la plataforma de mensajería seleccionada.

Telegram tiene herramientas de creación de bots robustas que además permiten utilizar esta opción de manera gratuita contrario a Whatsapp que genera costos. Cabe mencionar que existen librerías ya escritas para Telegram dispuestas para su uso en la plataforma Arduino. Por lo cual se escoge la plataforma de mensajería Telegram

Y para la minería de datos se tiene algunas opciones, como Beebotle, Androidthings, dweet.io, y la plataforma ThingSpeak. Sin embargo para la recolección de datos y almacenamiento de información en la nube se escoge Thingspeak pues mediante una cuenta Mathworks permite acceso gratuito a sus funcionalidades además de varias herramientas de procesamiento de datos, y tiene versatilidad con Matlab.

### 3.16.3.1. *Telegram*

El servicio de Telegram se ejecutará sobre el sistema SISUA en todo momento. Y permitirá al administrador no solo recibir información sobre el sistema de agua, sino también tomar acción sobre el actuador de cada abonado.

Se definen los siguientes comandos:

**Tabla 16-3:** Comandos Telegram para SISUA

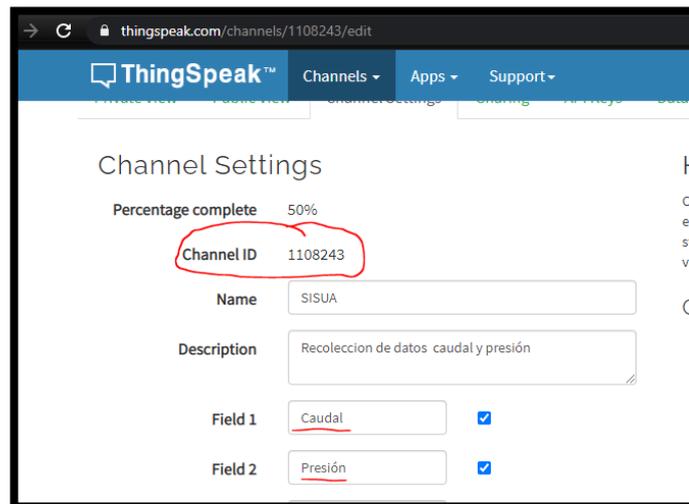
Número	Código	Función
1	Check	Mensaje verificación
2	Consumo	Total de litros consumidos
3	Presión	Nivel de presión en el sistema
4	R1	Resetear presión excedida
5	Reset	Resetear todo el sistema
6	Cerrar	Cierra la electroválvula
7	Abrir	Abre la electroválvula

**Realizado por:** Altamirano, Josué, 2020

### 3.16.3.2. Thingspeak

Mediante el uso de la red WIFI de la casa, se enviará la información recolectada sobre la red de tuberías a un concentrador de datos llamado ThingSpeak, una plataforma gratuita, que permite visualizar la información, con gráficos y presentarla en archivos .xml, json o .csv.

Para lo cual se definen canales que recibirán los datos de los sensores, la llave de la conexión es un número designado como la identificación del canal.



**Figura 23-3:** Conexión de canal a ThingSpeak

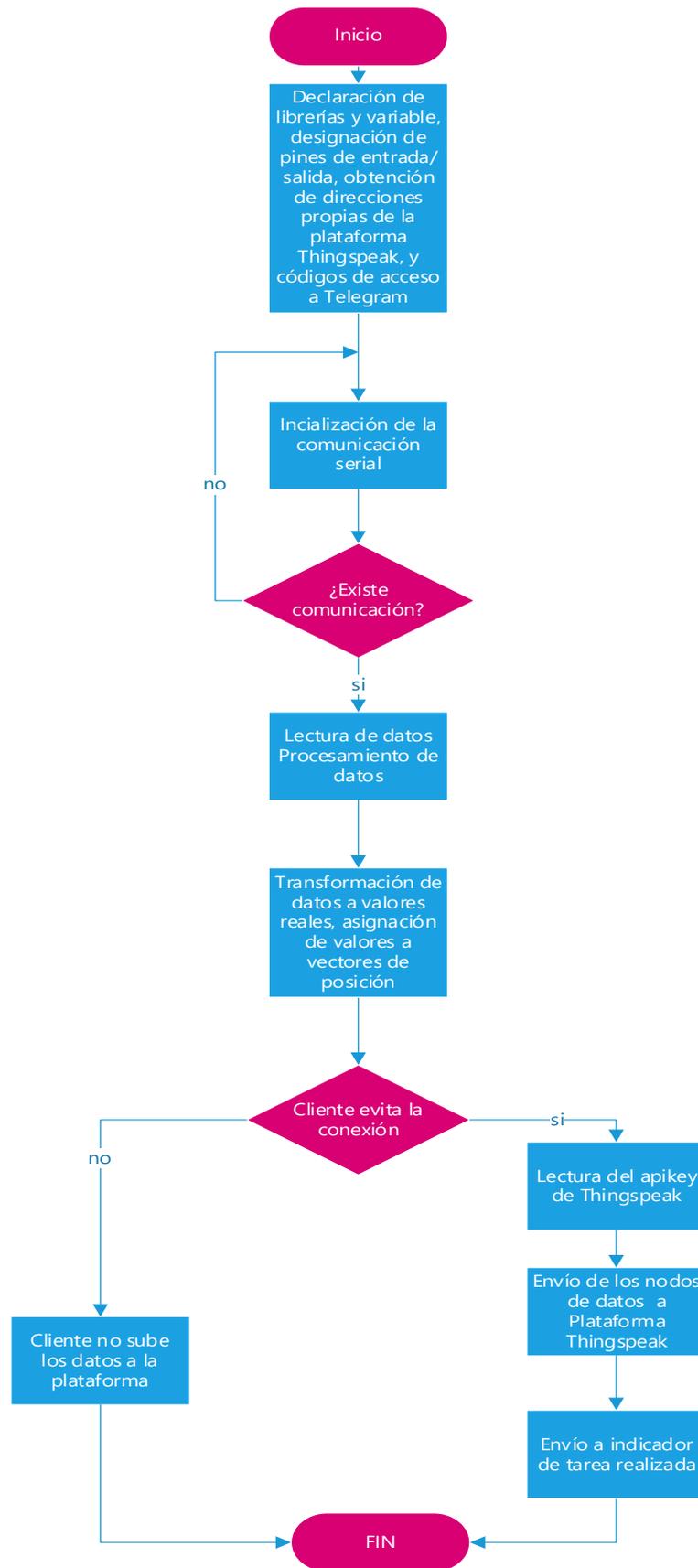
Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

## 3.17. Programación del software

Para la implementación del sistema SISUA se ha recurrido a la utilización del entorno de desarrollo Arduino IDE el cual al basar su código abierto ofrece muchas herramientas para incorporar a las tarjetas como información suficiente para llevar los requerimientos planteados.

## 3.18. Procesamiento de datos

En la figura 21-3 se puede observar el diagrama para el procesamiento de datos recibidos a través de la comunicación serial entre las tarjetas de desarrollo.



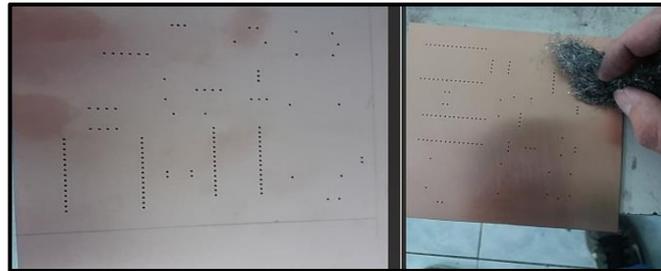
**Figura 24-3:** Procesamiento de datos

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020



### 3.20. Fabricación de la PCB

Una vez realizado el diseño se procede a perforar los respectivos pines de los elementos. En la figura 23-3, se puede observar la placa perforada en la posición correcta de los elementos. La perforación se realizó al inicio para poder cuadrar los agujeros con las pistas respectivas para no tener inconvenientes después.



**Figura 26-3:** Perforación de PCB

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

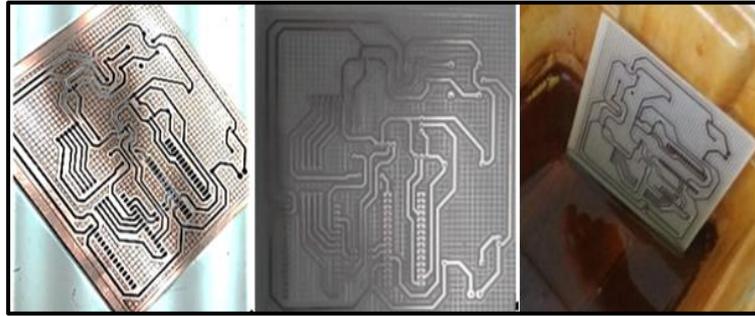
Una vez realizados los agujeros se procede a limpiar la placa para poder realizar la impresión de las pistas. En la figura 24-3 se puede observar el proceso de revelado de pistas el cual se realiza mediante la transferencia de las pistas mediante calor hacia la fibra de vidrio (FR4). Una vez hecha la transferencia se procede a limpiar el exceso de papel.



**Figura 27-3:** Revelado de pistas en PCB

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

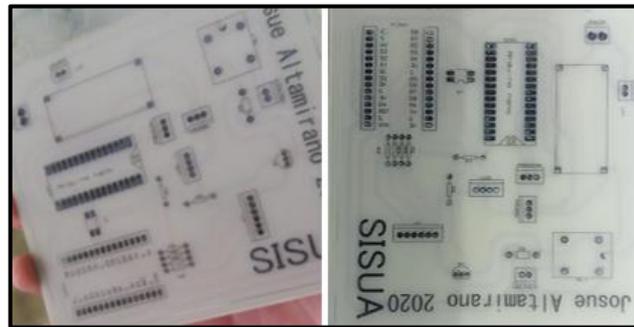
Después de tener la transferencia se procede a poner en ácido férrico la placa para que se elimine el exceso de cobre. Como se puede ver en la figura 25-3.



**Figura 28-3:** Inmersión en ácido

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

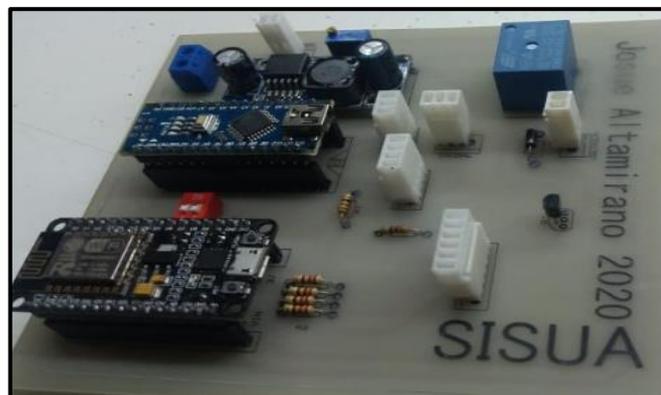
Realizado el revelado completo de las pistas en la placa, se procede a imprimir la otra cara de la PCB para indicar el orden correcto de los elementos a soldar como se puede ver en la figura 26.3.



**Figura 29-3:** Impresión de posición de elementos

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Una vez realizada la transferencia revelado de las dos caras de la placa se procede a montar los elementos y a soldarlos en su respectivo sitio como se puede observar en la figura 27-3.

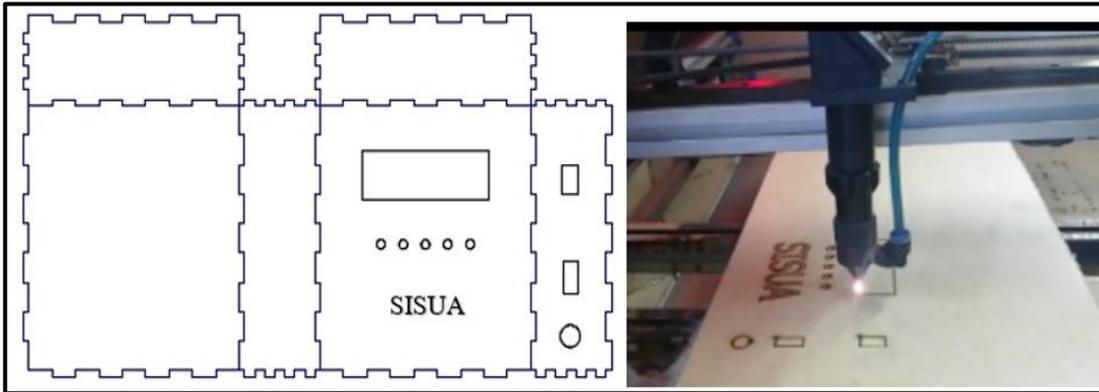


**Figura 30-3:** Colocación de los elementos electrónicos

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

### 3.21. Diseño del chasis e implementación final

La placa mostrada en la figura 27-3 deberá estar en un lugar seguro para evitar que la humedad o el ambiente en el que se instale el sistema afecte la circuitería, para esto se ha decidido colocar el circuito dentro de un chasis específicamente para su protección. En la figura 28-3, se muestra el diseño del chasis que será armado por medio de un corte a láser para su respectivo ensamble.



**Figura 31-3:** Diseño del chasis para la circuitería

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

Una vez realizado el diseño del chasis se procede a realizar el corte en láser, para este caso se ha escogido un material resistente a efectos de ambiente, teniendo en cuenta siempre que solo estarán cerca del fluido los sensores mas no el circuito principal. En la figura 29-3 se puede visualizar la implementación del sistema.



**Figura 32-3:** Implementación final de SISUA

Realizado por: ALTAMIRANO, Josué, 2020

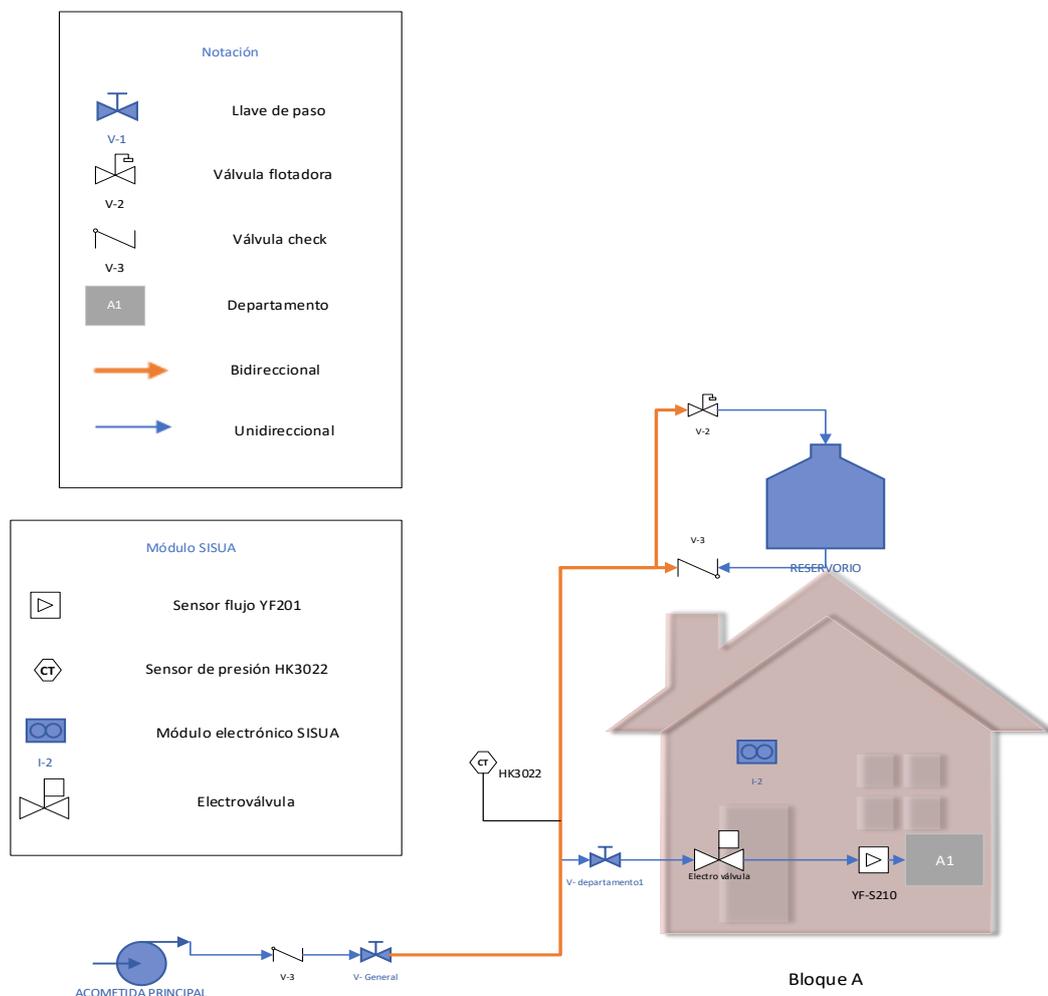
## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Instalación del módulo SISUA

Una vez concluido el prototipo, se instaló el proyecto técnico en una residencia estudiantil, para probar su funcionamiento, para esto se tomó en cuenta las particularidades propias del edificio donde va a ser instalado el dispositivo.

Por motivos de tiempo y de presupuesto, se realizó el estudio de manera simplificada solamente considerando el departamento A1, a fin de que posteriormente el módulo pueda expandirse a cada uno de los departamentos de la residencia.



**Figura 1-4:** Aplicación al departamento A1 de la Residencia estudiantil AC

Fuente: Altamirano, 2020

#### 4.1.1. *Instalación de los sensores, electroválvula y el módulo electrónico*

Se realizó la instalación de cada uno de los componentes del módulo SISUA según la figura 4-4, La electroválvula y el sensor YF-201 son de media pulgada de diámetro y se instalaron mediante corte en la tubería principal por medio de uniones y neplos. El sensor HK3022 se lo instaló transversal a la tubería mediante una pieza T y una reducción a G $\frac{1}{4}$ ". Cada una de las conexiones eléctricas fueron enviadas al módulo electrónico central mediante un cable UTP a un conector DB9. Los conductores internos de un cable UTP tienen calibre 24 que según la tabla AWG, pueden soportar hasta 0,557 Amperios, considerando el actuador de mayor consumo requerido es la electroválvula con un consumo de 450 mA, se estableció que los diámetros de los cables son apropiados.



**Figura 2-4:** Instalación de los sensores y electroválvula

Fuente: Altamirano, 2020

#### 4.1.2. *Calibración de sensores*

##### 4.1.2.1. *Protocolo*

Para afirmar que: “Los sensores usados en el sistema SISUA están calibrados”, se estableció el siguiente protocolo.

- a. Usar un sensor patrón para obtener mediciones del sensor a calibrarse
- b. Realizar un análisis estadístico de correlación entre el valor medido por el sensor y el valor patrón, para esto se usa el método “Coeficiente de Pearson” ya que permite obtener la significancia bilateral para variables correlacionadas.

- c. Establecer un nivel de significancia alfa del 5%
- d. Comparar el error obtenido en la correlación con el porcentaje de error provisto en el manual del fabricante

4.1.2.2. HK3022

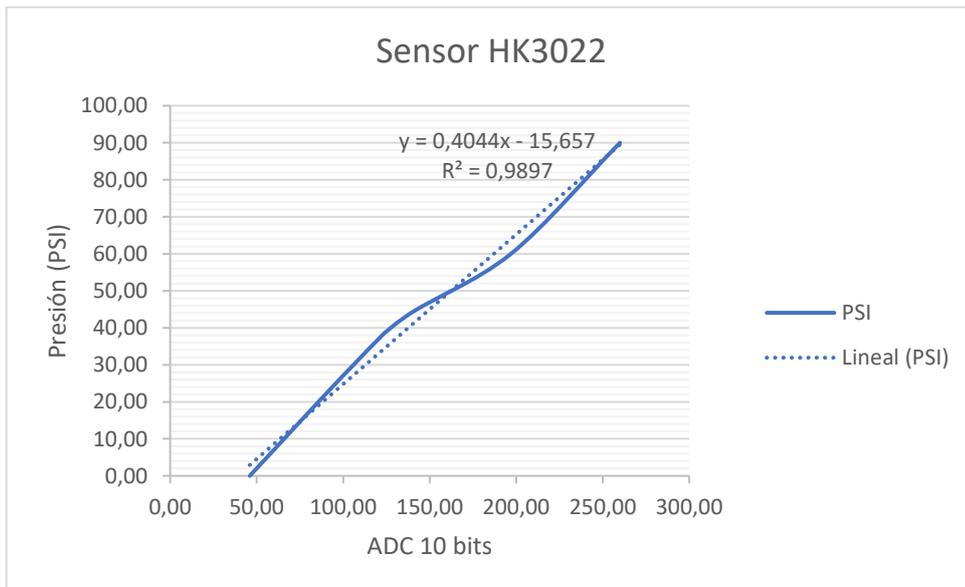
Se realizó una tabla de valores con las medidas provistas por un manómetro analógico Genebre  $\pm 2,5$  vs las medidas obtenidas por el conversor analógico-digital de la tarjeta de adquisición de datos

**Tabla 1-4:** Respuesta del sensor HK3022

Voltaje sensor	ADC	PSI
0,50	46,00	0,00
0,96	106,00	30,00
1,21	136,00	43,00
1,60	197,00	60,00
2,14	260,00	90,00

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

En base a estos resultados se infirió un gráfico y una ecuación lineal mediante la herramienta de regresión lineal de Excel.



**Gráfico 1-4:** Curva del sensor HK3022 en campo

Fuente: Altamirano, 2020

La ecuación que definió el funcionamiento para el sistema es:

$$Y = 0,4044x - 15,657 \quad \text{Ecuación 1-4}$$

```

155
156 //int sensorValue = analogRead(A0); //Lectura del ADC
157 |   presion = ( (analogRead(A0)) * 0.4044) - 15.657;
158 // presion = (analogRead(A0));
159 Serial.print(" p2= ");
160 Serial.println(presion);
161 DATOS[1]=flujo;
162 DATOS[2]=presion;
163

```

**Figura 3-4:** Ecuación para sensor analógico HK3022 en el código

Fuente: Altamirano, 2020

Para la prueba del valor  $\rho$  se ingresó los datos correspondientes en el software IBM SPSS Statistics,

**Tabla 2-4:** Estadísticos para HK3022

		SalidaSensorVolts	PresionPSI
N	Válido	5	5
	Perdidos	0	0
Media		1,2820	44,6000
Error estándar de la media		,27908	15,00533

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

**Tabla 3-4:** Correlaciones para HK3022

		SalidaSensorVolts	PresionPSI
SalidaSensorVolts	Correlación de Pearson	1	,998**
	Sig. (bilateral)		0,000149
	N	5	5
PresionPSI	Correlación de Pearson	,998**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

La correlación resultó significativa en el nivel 0,01 bilateral. El valor  $\rho$  resultante obtenido fue de 0,0149%, menor que un alfa de 0.05.

El valor dado de tolerancia por el fabricante fue de  $\pm 1\%$  como se puede ver en 3.7.4, por lo tanto el sensor HK3022 se calibró correctamente y cumple con los parámetros establecidos por su fabricante.

#### 4.1.2.3. YF-S201

De acuerdo al protocolo definido en 4.1.2.1, se calibró el sensor YF-S201.

Para lo cual se comparó las mediciones adquiridas con un medidor patrón (recipiente medidor en litros)

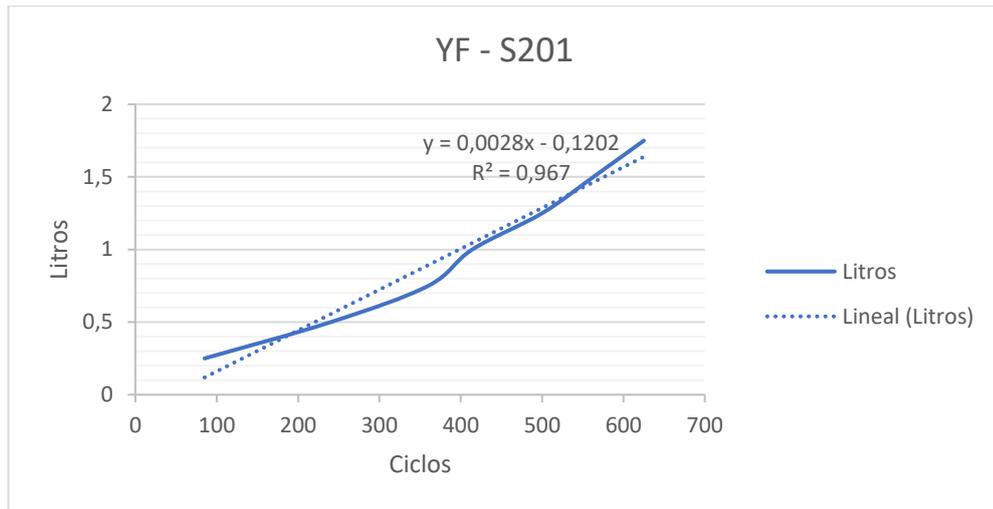
El caudalímetro sensor YF-S201 al ser de efecto Hall, digital, por pulsos, contó los pulsos generados en una turbina interna, a fin de determinar el caudal instantáneo. El conteo de pulsos se dió en un acumulador mediante interrupciones.

La medición de un recipiente medidor de volumen de agua se comparó con la cantidad de pulsos recibidos.

**Tabla 4-4:** Cantidad de Pulsos por litro en el caudalímetro

Litros	Pulsos
0,25	119
0,5	201
0,75	311
1	422
1,5	542
2	845
2,5	956

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020



**Gráfico 2-4:** Curva del sensor YF-S201 en campo

**Fuente:** Altamirano, 2020

En base a estos resultados se infirió un gráfico y una ecuación lineal mediante la herramienta de regresión lineal de gráficos de Excel, para usarse en el código del programa de la tarjeta de adquisición de datos.

$$Y = 0,0026x - 0,0355 \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Para la prueba del valor  $\rho$  se ingresaron los datos en el software IBM SSPS Statistics,

**Tabla 5-4:** Estadísticos para YF-S201

		Pulsos	Litros
N	Válido	7	7
	Perdidos	0	0
Media		1,2143	485,1429
Error estándar de la media		,31067	119,87562

**Realizado por:** Altamirano, Josué, 2020

**Tabla 6-4:** Correlaciones para YF-S201

		Pulsos1	Litros1
Pulsos1	Correlación de Pearson	1	,994**
	Sig. (bilateral)		0,000005
	N	7	7
Litros1	Correlación de Pearson	,994**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	7	7

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

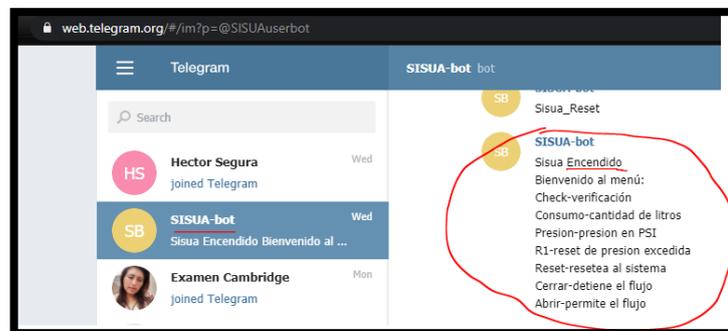
La correlación es significativa en el nivel 0,01 bilateral. El valor  $\rho$  resultante es de 0,0005%, menor que un alfa de 0.05.

El valor dado de tolerancia por el fabricante es de  $\pm 3\%$  como se puede ver en 3.7.4, por lo tanto el sensor YF-S201 esta calibrado correctamente y cumple con los parámetros establecidos por su fabricante.

#### 4.1.3. Inicialización

Se comprobó las siguientes respuestas

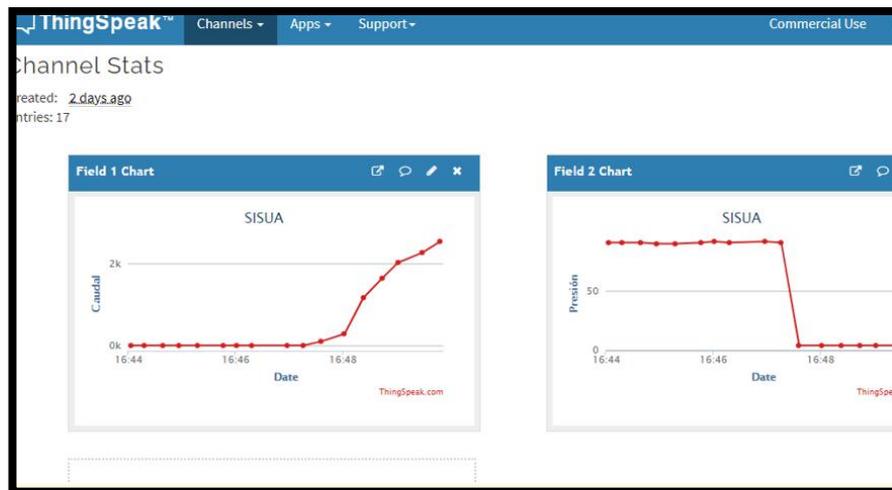
- Secuencia de leds indicadores de usuario
- Indicación de hora y estado actual de los sensores en la pantalla LCD de usuario
- Notificación de Telegram automática al iniciarse el sistema
- Apertura de la válvula
- Ingreso de datos en los canales de Thingspeak



**Figura 4-4:** Inicialización: Telegram

Fuente: Altamirano, 2020

Para la inicialización del sistema la secuencia de leds funcionó correctamente parpadeando cada uno de ellos de izquierda a derecha según la configuración descrita en 2.16.2. El display interfaz de usuario mostró la hora y la información instantánea de los sensores. También llegó el mensaje de inicio del sistema a Telegram como se ve en la imagen 8-3, pero la electroválvula se abrió momentáneamente para segundos después cerrarse de golpe, provocando un sonido fuerte y un pico de presión momentáneo en el manómetro, esto se debió a la presión actual de la calle que marcó 93 PSI, un valor por demás elevado sobre el umbral de presión tolerable. Estos datos iniciales quedaron registrados en la plataforma Thingspeak en el gráfico 3-4.



**Gráfico 3-4:** Resultados al iniciar el sistema con una presión de 93 PSI

Fuente: Altamirano, 2020

El corte del paso de agua ante la presión excesiva responde, pero con esta presión natural de la calle la tubería estará cerrada todo el tiempo, sin variación alguna.



**Figura 5-4:** Primera prueba con presión 93 PSI

Fuente: Altamirano, 2020

El sistema de agua de la residencia AC, requiere una válvula manorreductora a fin de mantener niveles moderados de presión y evitar el daño en el sistema de agua.



**Figura 6-4:** Instalación de manorreductor en la toma principal

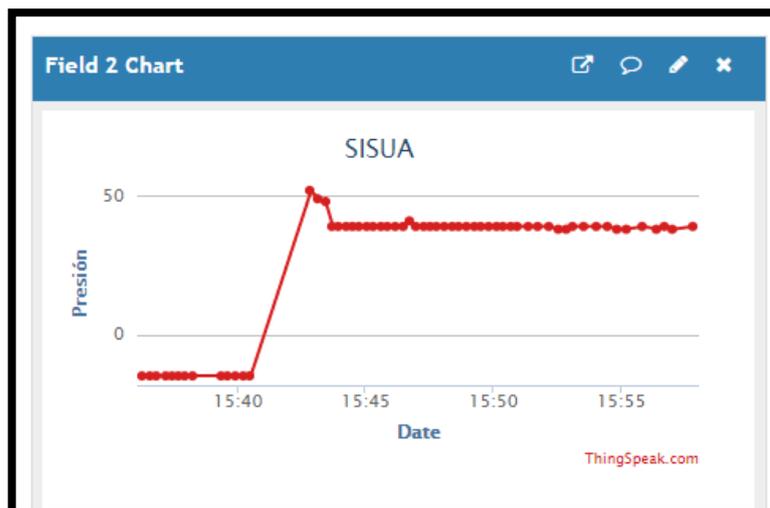
Fuente: Altamirano, 2020

De este modo la presión se estableció en un nivel moderado de 40 PSI el valor adecuado tanto como para mantener el buen estado del sistema de tuberías, así como para poder realizar las pruebas del módulo SISUA desde un nivel de presión estándar, pues con una presión excesiva estaría siempre cerrado el sistema.

Los dueños del inmueble afirman que desde que se construyó la casa, nunca hubo algún dispositivo regulador de presión de ningún tipo, sino que esta presión alta, entraba directamente a las tuberías; se preguntó a los residentes de las casas aledañas en la misma cuadra si es que ellos conocían que la presión que entraba de la calle era excesiva, todos respondieron que no, constatando además que sus instalaciones de entrada de agua no constan con una válvula reductora de presión.

Una vez corregido este problema se inicia el sistema SISUA. Se cumplen nuevamente todos los pasos de inicialización

Se verifica los datos que se están recolectando en la nube mediante la plataforma de adquisición de datos ThingSpeak en sus respectivos canales, de consumo y niveles de presión



**Gráfico 4-4:** Pico de presión observado al iniciar el sistema SISUA

Fuente: Altamirano, 2020

Nótese en el gráfico 4-4, que durante los cambios de estado (apertura – cierre) de las válvulas se producen picos de presión, similares a los que se producen en un corte de servicio. Estos picos pueden considerarse como comportamiento indeseado, por lo que se decide añadir como regla de funcionamiento una pausa de 5 minutos para reactivar la válvula, cada vez que exista un pico de presión

#### 4.1.4. Prueba de funcionamiento

Una vez terminadas las configuraciones y ajustes preliminares al sistema SISUA se procedió a realizar la prueba general de funcionamiento

##### 4.1.4.1. Generalidades

El sistema SISUA tiene por objetivo verificar el correcto funcionamiento de un sistema de aprovisionamiento de agua, aplicado a una residencia estudiantil. Protege el sistema en caso ingreso de agua de la calle con muy alta presión, ya sea constante o por picos de presión, y advierte sobre un uso excesivo de agua por los consumidores, que podría significar fugas en tuberías, sanitarios, o llaves abiertas.

Dependiendo de las mediciones de los sensores de caudal y presión se definen tres tipos de funcionamiento en el sistema de tuberías.

- Tipo 1- Funcionamiento normal: Cuando la válvula está abierta, la presión es menor a 50 PSI y el consumo diario no excede de 200 Lts.
- Tipo 2 – Presión excesiva: Cuando la presión supera los valores estándar (véase sección 2.3.4) la tubería es propensa a fuertes golpes de ariete, goteo en uniones y rotura de tuberías, se define un umbral de mayor que 50 PSI para determinar un riesgo.
- Tipo 3 - Exceso de consumo: Cuando se supera el límite de 200 Lts de consumo diario, es una señal de posible fuga en el sistema, o consumo desmedido

En cada uno de los casos se envía la información constantemente a la nube de Thingspeak. En la sección (2.10 Indicadores y alertas) se explica detalladamente en un diagrama de flujo los fundamentos del sistema SISUA, y sus acciones.

#### 4.1.4.2. Prueba de presión

La prueba de presión determinó si el sistema cumple su control de presión excesiva ( umbral de los 50 PSI) para lo cual se variará la presión desde el mínimo posible regulable en la válvula mano reductora instalada en 3.1.4 que es 20 PSI, hasta los 60 PSI que es una presión por demás excesiva en un sistema de tuberías.

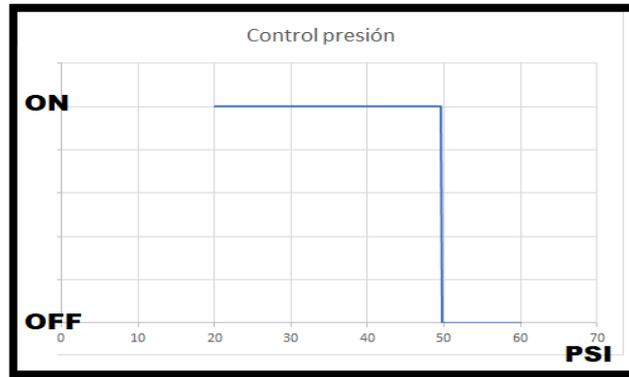
Se realizó la prueba primero sin flujo de caudal y después con flujo de caudal con el objetivo que el sistema cierre la electroválvula al superarse el umbral de los 50 PSI.

**Tabla 7-4:** Prueba de presión

Caudal cero			Caudal variable		
Presión (PSI)	Consumo (Lts)	Válvula	Presión (PSI)	Consumo (Lts)	Válvula
20	0	ON	20	0	ON
25	0	ON	25	3	ON
30	0	ON	30	7	ON
35	0	ON	35	11	ON
40	0	ON	40	26	ON
45	0	ON	45	48	ON
50	0	OFF	50	54	OFF
55	0	OFF	55	54	OFF
60	0	OFF	60	54	OFF

Realizado por: Altamirano, Josué, 2020

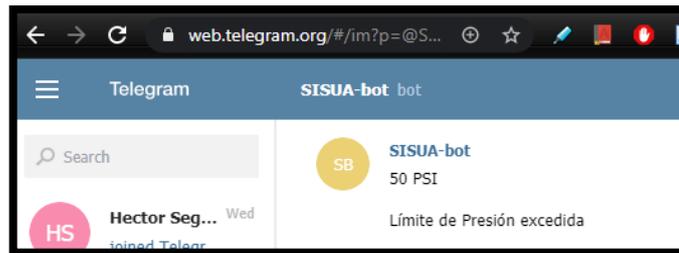
En ambos casos cuando la presión marca 50 PSI la electro válvula interrumpió el paso de agua protegiendo el sistema de tuberías, cumpliéndose satisfactoriamente la prueba.



**Gráfico 5-4:** Rango de funcionamiento en presión

Fuente: Altamirano, 2020

Cuando se produce el cambio de estado, llega una notificación al administrador.



**Figura 7-4:** Interfaz Telegram activa en el corte

Fuente: Altamirano, 2020

#### 4.1.4.3. Prueba de caudal

La prueba de caudal determinó que el sistema cumple la función de interrumpir el paso de agua al detectar consumos excesivos. (Véase 3.16.1)

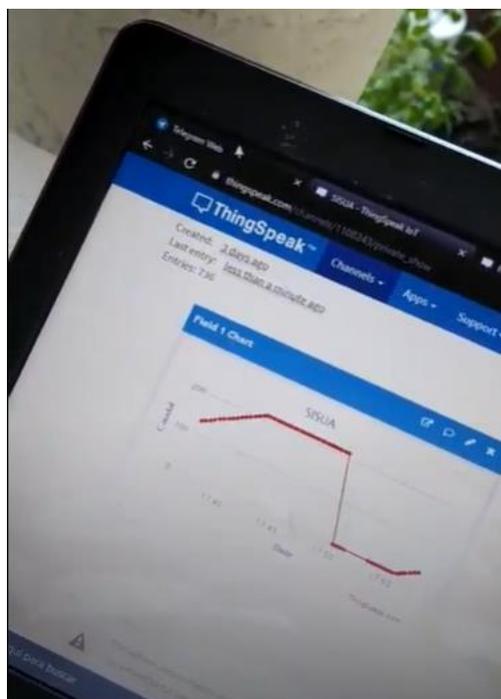
Se realizó la prueba de caudal teniendo por objetivo cerrar la electroválvula al detectarse un consumo superior a 200 Lts/día.

**Tabla 8-4:** Prueba de caudal

Presión (PSI)	Consumo (Lts)	Válvula
38	0	OFF
40	20	ON
40	40	ON
40	60	ON
39	80	ON
39	100	ON
39	120	ON
40	140	ON
40	160	ON
39	180	ON
40	200	ON
40	206	OFF

Fuente: Altamirano, 2020

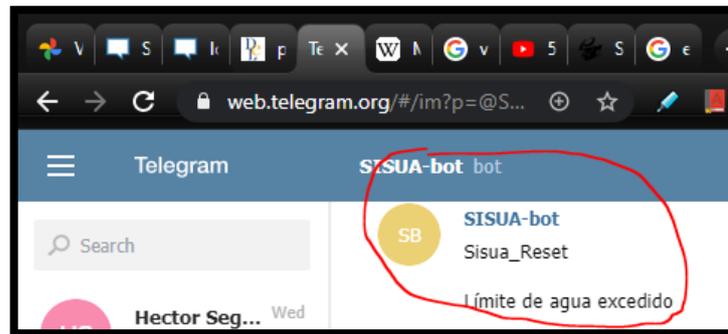
Se obtuvo la tabla 8-4 como resultado donde se verifica que el sistema SISUA una vez que llega al límite de consumo, cierra la electroválvula. (véase gráfico 8-4).



**Figura 8-4:** Resultado prueba de caudal

Fuente: Altamirano, 2020

También se confirma la recepción de datos en la aplicación de mensajería Telegram de límite de consumo excedido, y su respectivo análisis en ThingSpeak



**Figura 9-4:** Notificación Telegram tras exceso de caudal

Fuente: Altamirano, 2020

#### 4.1.5. Prueba de repetitividad del módulo SISUA

##### 4.1.5.1. Protocolo

Para verificar la estabilidad y efectividad del módulo SISUA, se realizó una prueba de repetitividad.

Se definió como tiempo de prueba el mismo tiempo que utiliza la empresa de agua potable local para entregar la factura de consumo que son aproximadamente 30 días, a fin de obtener un porcentaje de confiabilidad para un periodo de prueba de un mes.

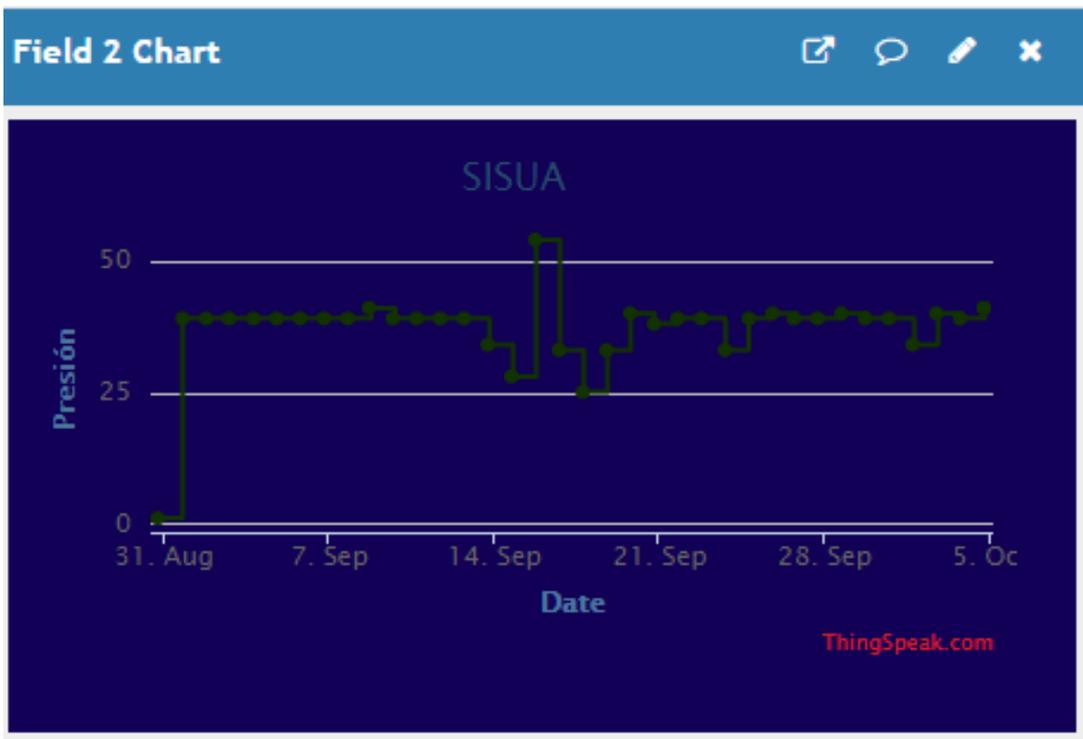
Se generó artificialmente los comportamientos tipo 1, tipo 2 y tipo 3 descritos en 4.1.5.1, cuando se modificó los umbrales de consumo a un nivel menor a fin de verificar el funcionamiento del sistema SISUA.

A continuación se muestran los gráficos condensados del monitoreo mensual en los gráficos 6-4 y 7-4



**Gráfico 6-4:** Reporte mensual de consumo en litros

Fuente: Altamirano, 2020



**Gráfico 7-4:** Reporte mensual de nivel de presión en el sistema de tuberías

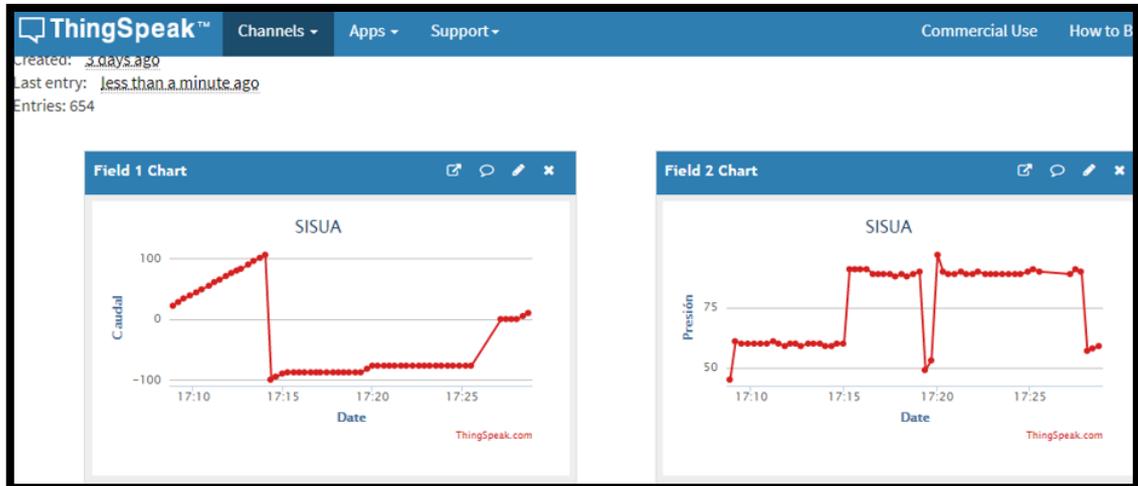
Fuente: Altamirano, 2020

**Tabla 9-4:** Prueba de repetitividad

Día	Tipo de funcionamiento		
	Tipo 1 Normal	Tipo 2 Exceso de presión	Tipo 3 Exceso de consumo
Día 1	ok	ok	ok
Día 2	ok	ok	ok
Día 3	ok	ok	ok
Día 4	ok	ok	error
Día 5	ok	ok	ok
Día 6	ok	ok	ok
Día 7	ok	ok	ok
Día 8	ok	ok	ok
Día 9	ok	ok	ok
Día 10	ok	ok	ok
Día 11	ok	ok	ok
Día 12	ok	ok	ok
Día 13	ok	ok	ok
Día 14	ok	ok	ok
Día 15	ok	ok	ok
Día 16	ok	ok	ok
Día 17	ok	ok	ok
Día 18	ok	ok	ok
Día 19	ok	ok	ok
Día 20	ok	ok	ok
Día 21	ok	ok	ok
Día 22	ok	ok	ok
Día 23	ok	ok	ok
Día 24	ok	ok	ok
Día 25	ok	ok	ok
Día 26	ok	ok	ok
Día 27	ok	ok	ok
Día 28	ok	ok	ok
Día 29	ok	ok	ok
Día 30	ok	ok	ok

Fuente: Altamirano, 2020

El día 3 se produjo el siguiente error en el sistema SISUA. La variable caudal al llegar a los 100 litros aproximadamente, cambia de signo el total del consumo acumulado, esto se da durante un pequeño pico de variación de presión. Nótese que marca -100 litros (negativos) causando resultados incoherentes.



**Figura 10-4:** Comportamiento extraño detectado en el acumulador de caudal

Fuente: Altamirano, 2020

Se revisó el código de adquisición de datos en búsqueda de algún bug de programación que provoque errores en el funcionamiento. Se decidió declarar las variables acumuladoras de tipo Unsigned, que hace que los datos sean enteramente reales positivos, además de ocupar menos memoria en operación.

```
15 volatile byte pulseCount;
16
17 float flowRate;
18 unsigned int flowMilliLitres;
19 unsigned int totalMilliLitres;
20 unsigned int totalLitres;
21 unsigned int real;
22
```

**Figura 11-4:** Cambio de tipo de variable

Fuente: Altamirano, 2020

Tras realizar esta corrección el sistema funciona correctamente sin mostrar errores hasta el día 30

#### 4.1.5.2. Resultados

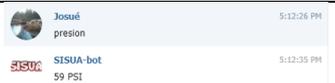
Se realizaron pruebas de funcionamiento cada día, durante el periodo de 20, generando los tres tipos de comportamiento a fin de confirmar el funcionamiento correcto del sistema SISUA. En total 60 tipos de observaciones, de las cuales una solamente reportó errores. Por lo cual la confiabilidad esta dada en una razón de 59 a 1, es decir 98,3%.

#### 4.1.6. Prueba de tiempo de respuesta de comandos

Se midió la velocidad de respuesta de la interfaz de administrador mediante Telegram, para al finar obtener una medida del tiempo medio de respuesta.

El administrador puede en cualquier momento utilizar los comandos de Telegram para resetear la información, abrir o cerrar la válvula de paso o consultar información. Se realizó la siguiente tabla, en la que se ejecutan varios comandos y se mide el tiempo de respuesta dado por cada una de sus funciones

**Tabla 10-4:** Prueba de tiempo de respuesta

	Comandos	Tiempo de retraso en segundos
1		9s
2		7s
3		8s
4		7s
5		9s
		Media = 8s

Fuente: Altamirano, 2020

El sistema SISUA tiene un retraso en ejecución de comandos en la interfaz de administrador de 8s.

#### 4.1.7. Consumo energético

Todos los módulos de SISUA son alimentados por un adaptador 110 AC a 12 VDC, donde el consumo general cuando está el sistema está en presión y caudal correctos es de 0,49 amperios, es decir que la potencia consumida es de 5,88 W. Sin embargo, en caso de que se active el relevador y el cambio de estado de la electroválvula, se genera cambios en el de consumo total de energía. Se presenta la siguiente tabla para resumir el consumo energético en promedio

**Tabla 11-4:** Consumo energético

Ítem	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
Electroválvula	12	0,42	5,04
Fuente Buck DC	12	0,002	0,024
Arduino Nano	3,5	0,009	0,0315
Node ESP 8266	3,5	0,008	0,028
Sensor YF S201	3,5	0,001	0,0035
Sensor HK3022	3,5	0,001	0,0035
LCD yw robot	3,5	0,01	0,035
Relay (Cuando activo)	12	0,15	1,8
Led	5	0,015	0,075
		Total	7,0405

Fuente: Altamirano, 2020

#### 4.1.8. Costos del Módulo SISUA

Los costes del módulo SISUA, se resumen en la siguiente tabla

**Tabla 12-3:** Consumo energético

Ítem	Cantidad	Costo (USD)
Arduino Nano	1	8
Node ESP 8266	1	8
Fuente Buck DC	1	3
Fibra de vidrio	1	20
Sensor YF S201	1	10
Sensor HK3022	1	35
Electroválvula 12V	1	12
Caja CNC	1	30
LCD yw robot	1	10
Circuitería: Molex & switches.	S/N	5
Led, resistencias, entre otros componentes	S/N	20
Adaptador 110AC a 12v – 1200mA DC	1	5
		166

**Fuente:** Altamirano, 2020

## CONCLUSIONES

Se analizaron los sistemas y métodos existentes de supervisión del uso del agua potable aplicables a una residencia estudiantil, y ante la necesidad de un sistema de supervisión de sistemas de tuberías aplicables a una residencia estudiantil, se desarrolló el proyecto SISUA.

Se establecieron los requerimientos que debe satisfacer un sistema de supervisión del consumo de agua potable aplicable a una residencia estudiantil, tomando como base los problemas y necesidades de los dueños un edificio, con problemas en su sistema de tuberías.

Se definió el diseño prototipo que cumple con los requerimientos establecidos, así como el software y el hardware requerido para su constitución

Se implementó un Sistema de supervisión y alerta del consumo y fugas de agua potable aplicable a una residencia estudiantil, en la cual se da solución a un problema común en las casas de inquilinos, y en especial estudiantes que es falta de información sobre el estado y salud de los sistemas de tuberías y consumo diario por parte de los inquilinos.

El sistema SISUA, permite el flujo de agua en una presión correcta en un sistema de tuberías, mide el consumo diario de cada abonado, envía reportes y cierra el paso de agua en la tubería en caso existir consumos excesivos que podrían significar mal función de alguna llave o inodoro, y fugas en general.

La conectividad del sistema SISUA funciona correctamente ya sea por su interfaz de mensajería Telegram o su visualización en la plataforma ThingSpeak.

El sistema SISUA provee al usuario información sobre su consumo diario a través de una pantalla LCD, además de un resumen en tiempo real sobre su consumo en la plataforma ThingSpeak.

.

## RECOMENDACIONES

Para mejorar el tiempo de respuesta de la ejecución de comandos del sistema SISUA, se podría experimentar elevando la velocidad del ratio de baudios, pues SISUA trabajó en el ratio estándar de 9800 baudios que usa Arduino por defecto para el procesamiento del código adjuntado en anexos, teniendo siempre en cuenta que una velocidad excesiva podría generar una comunicación defectuosa

Las empresas de aprovisionamiento de agua, mediante el control de zonas presurizadas buscan el balance entre la presión de distribución y el nivel de consumo, la minería de datos provista por SISUA permitiría determinar los niveles de consumo por hora, para configurar una zona presurizada regulable de acuerdo a la demanda.

Los datos adquiridos por SISUA también están disponibles en tiempo real en formato .xml, y conectar con una página web o una aplicación mejoraría aún mucho más la experiencia del usuario y su concientización en el uso del agua.

El módulo SISUA podría adjuntarse a una válvula manorreductora servo controlada, para controlar totalmente un sistema de agua doméstico; como controlar un sistema de agua de tanque elevado en un rango de operación correcto, con el beneficio que usaría mucha menos energía que un tanque hidroneumático, o un sistema cisterna – bomba.

Es escaso el uso manorreductores en los sistemas de tuberías en la zona de aplicación del proyecto, razón lo cual se produce un grave daño a las casas y estructuras en general mediante presiones excesivas que generan goteos, fugas y golpes de ariete. Existe desconocimiento en la ciudadanía sobre los riesgos que genera tener una conexión de agua desprotegida.

## **GLOSARIO**

**Abonado** : Usuario del servicio de agua potable

**Aprovisionamiento** : Adquisición de un bien o servicio

**Archivo separado por comas** : Archivo de extensión csv utilizado para guardar información a manera de tablas.

**Centistokes** : Unidad de presión

**Electroválvula** : Actuador ON-OFF, en la tubería

**Entorno de desarrollo integrado** : Interfaz de programación

**Entrada/Salida de propósito general (GPIO)** : Puertos de comunicación en entrada y salida en las tarjetas electrónicas

**Interrupciones** : Suspensión temporal de ejecución de cualquier código para realizar un determinado proceso, manejada por un gestor de interrupciones

**Nube** : Almacenamiento de datos en espacios virtualizados, por lo general en internet

**Printed circuit board (PCB)** : Placa donde se construye la circuitería de un dispositivo electrónico

**Reset** : Función de resetear

**Telegram** : Plataforma de mensajería instantánea

**TextToSpeech** : Función texto a voz

**Thingspeak** : Plataforma de adquisición y visualización de datos en la nube

## BIBLIOGRAFÍA

**ALARCÓN, I. y EL COMERCIO.** En Ecuador se gasta 40% más agua que el promedio de la región. *El Comercio* [en línea], 2018, [Consulta: 16 septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-gasto-agua-cifras-latinoamerica.html>.

**ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE DE ECUADOR,.** *Constitución de la República del Ecuador* [en línea], 2008, 28 septiembre 2008. S.l.: s.n. Disponible en: [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf).

**BELTRÁN, B.** La media diaria de consumo de agua en Quito subió 20 litros. *El Comercio* [en línea], 2015, [Consulta: 13 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/media-diaria-consumo-agua-subio.html>.

**CHUQUIMARCA, E.,.** *Diseño e implementación del prototipo de un sistema domótico para la medición del consumo de agua potable a través de internet y correo electrónico*. S.l.: Universidad Nacional de Loja. 2014

**COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL),.** Diagnóstico de la información estadística del agua. [en línea], 2012, S.l.: Ilc, 2. Disponible en: <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIC%202012-2.pdf>.

**DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LA ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (DAES -ONU).** Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015. Áreas temáticas: Derecho humano al agua y al saneamiento. [en línea], 2019, [Consulta: 13 octubre 2019]. Disponible en: [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml).

**DIARIO «EL TELÉGRAFO»,.** Redes de agua potable de Riobamba sin planos. *El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo* [en línea], 2013, [Consulta: 10 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/redes-de-agua-potable-de-riobamba-sin-planos>.

**DIARIO «LA PRENSA» - CHIMBORAZO.** “Maguazo-Alao” está casi listo. [en línea], 2018, [Consulta: 10 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.laprensa.com.ec/interna.asp?id=14945#.XciCSDNKjty>.

**ECUAINSETEC, SBG234-IFM.** *Catálogo General - IFM*, vol. 1, no. Catálogo general BINMASTER, 2019, pp. 291.

**EL DIRECTORIO DE LA EMPRESA PUBLICA -EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE RIOBAMBA (EP-EMAPAR).** *Resolución 070 - Pliego Tarifario* [en línea], 2015, 8 diciembre 2015. S.l.: s.n. [Consulta: 10 noviembre 2019]. Disponible en: [http://www.epemapar.gob.ec/wp-content/uploads/lotaip/2019/junio/literal3/resolucion%20070\\_pliego\\_tarifario.pdf](http://www.epemapar.gob.ec/wp-content/uploads/lotaip/2019/junio/literal3/resolucion%20070_pliego_tarifario.pdf).

**EMPRESA PUBLICA -EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE RIOBAMBA (EP-EMAPAR) y MUNICIPIO DE RIOBAMBA.** Planificación de objetivos & procesos. [en línea], 2006, S.l. [Consulta: 10 noviembre 2019]. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/3369salvador.pdf>.

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN RIOBAMBA (GADM).** Riobamba tendrá servicio permanente de agua potable. [en línea], 2015, S.l. [Consulta: 10 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/noticias/boletines-de-prensa/8-boletines-de-prensa-enero-julio-2016/444-riobamba-tendra-servicio-permanente-de-agua-potable>.

**GUSQUI, G. y CHAGLLA, A.** *Implementación de un sistema electrónico inteligente de asignación, medición y alerta del consumo de agua potable para hogares residenciales de la ciudad de Riobamba.* S.l.: ESPOCH, 2016.

**HAWRYLAK, P.J., NICHOLS, W., LI, X., JOHANNES, T., DECOOK, R., MONGOLD, K., CORNELL, C., FLINT, L.A. y SINGH, A.** HydroSense: A self-powered wireless device for monitoring water usage in hotel showers. *2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* [en línea], 2015, Seattle, WA, USA: IEEE, pp. 314-320. [Consulta: 21 noviembre 2019]. ISBN 978-1-4673-6561-1. DOI 10.1109/GHTC.2015.7343990. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7343990/>.

**HEINSELMAN, W.** Can High Water Pressure Damage Pipes? [en línea], 2015, [Consulta: 14 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.expresssewer.com/blog/bid/361187/can-high-water-pressure-damage-pipes>.

**MARCILLO, W.** *Desarrollo de un sistema web progresivo para el control y toma de lecturas de agua potable.* S.l.: UDLA. 2019

**MÁRQUEZ, C.,** Dos universidades dan identidad a Riobamba. *El Comercio* [en línea], 2017, [Consulta: 13 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/universidades-identidad-riobamba-ecuador-fiesta.html>, 2017

**MARTÍNEZ-CODINA, Á., GÓMEZ, P. y FUENTE, G.,** Relación entre las causas y los modos de fallo de tuberías en la red de distribución de Canal de Isabel II en Madrid. *Ribagua*, 2018, vol. 5, no. 1, pp. 16-28. ISSN 2386-3781. DOI 10.1080/23863781.2018.1442188.

**MASAQUIZA, H.** *Automatización del consumo de agua potable para la junta de aguas de la parroquia Salasaka*. S.l.: UNIANDES. 2018

**MOEN INCORPORATED.** FLO by Moen. [en línea], 2019, [Consulta: 21 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.moen.com/flo/how-it-works>.

**NACIONES UNIDAS.** Agua - Generalidades. *Asuntos que nos importan/agua* [en línea], 2015, [Consulta: 13 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>.

**OMEGA ENGINEERING.** ¿Que es un caudalímetro y cómo elegirlo? *Caudalímetros* [en línea], 2020, [Consulta: 9 marzo 2020]. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/caudalimetros.html>.

**ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT.** *Water governance in cities*. Paris: OECD Publishing, 2016, OECD studies on water. ISBN 978-92-64-25108-3. TD345 .W2635 2016

**PRIEST, D.** Complete Home Water Protection System review. *CNET* [en línea], 2017, [Consulta: 21 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.cnet.com/reviews/leaksmart-complete-home-water-protection-system-review/>.

**RÍOS GARCÍA, I.A.** *Desarrollo institucional y su incidencia en la estructura administrativa de la empresa municipal de agua potable de Riobamba. EP-EMAPAR*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 2011.

**SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA (SENAGUA).** *Código Ecuatoriano de la construcción de parte IX - Obras sanitarias* [en línea]. 1992. S.l.: s.n. [Consulta: 15 septiembre 2020]. Disponible en: [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma\\_urbana\\_para\\_estudios\\_y\\_disenos.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf).

**SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA (SENAGUA).** *Estrategia nacional de agua potable y saneamiento.* 2016. S.l.: Gobierno Nacional del Ecuador.

**TIPAN, J.** *Estudio del consumo de agua potable en sectores residenciales de la zona centro de la ciudad de Ambato y su incidencia en la curva de consumo diario.* S.l.: Universidad Técnica de Ambato. 2017

**TRIFUNOVIC, N.** *Introduction to Urban Water Distribution: Unesco-IHE Lecture Note Series* [en línea]. 0. S.l.: CRC Press, 2006. [Consulta: 28 diciembre 2019]. ISBN 978-0-429-22450-8. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781134158102>.

**WTWH MEDIA LLC.** What are hydraulic pressure transducers? *mobileHydraulictips.com* [en línea], 2020, [Consulta: 6 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.mobilehydraulictips.com/what-are-hydraulic-pressure-transducers/>.

## ANEXOS

### ANEXO A: CÓDIGO DE SISUA: NODE ESP8266

code3

```
1 #include <SoftwareSerial.h>
2 #include <ESP8266WiFi.h>
3 #include <NTPClient.h>
4 #include <WiFiUdp.h>
5 #include "CTBot.h"
6 #include "Wire.h"
7 #include "LiquidCrystal_I2C.h"
8 CTBot myBot;
9
10 //declaraciones para leds indicadores
11 int cero=5;//salida para resetear lectura del arduino D1
12 int led2=16;//led indicador de sistema encendido D0
13 int led3=14;//led indicador accionamiento de rele D5
14 int led4=12;//led indicador thingspeak D6
15 int led5=13;//led indicador telegram D7
16 int valvula=15;//salida a electrovalvula D8
17 int32_t id=1149096651;//id del telegram puesto por necesidad
18 //declaraciones para datos receptados
19 String dato="";
20 int flujo=0;
21 int presion=0;
22 float auxiliar=0;
23 int tel=0;//variable para enviar mensajes a telegram
24 int alert=0;
25
26 unsigned long tiempo1 = 0;
27 unsigned long tiempo2 = 0;
28 unsigned long tiempoSegundos = 0;
```

```

29 unsigned long tiempo3 = 0;
30 unsigned long tiempo4 = 0;
31 unsigned long tiempoSegundos2 = 0;
32
33 //
34 /// declaraciones para la conexion wifi
35
36 String apiKey = "OCKUMST7D1PC4SV5"; //apiKey para subir datos a la plata
37 int hora=0;
38 int minuto=0;
39 int segundos=0;
40
41 const char *ssid = "RedMantenimiento";
42 const char *pass = "#aislar7894";
43 const char* server = "api.thingspeak.com";
44 String token = "1306787378:AAHBHiZzLWdzXzBte7oWv2wn5JZqRtYfAxE"; //token pa
45
46 String Cadena="";
47 String Cabecera="";
48 String DATOS[5];
49 int aux=0;
50 int z=0;//condición para no repetir envío mensajes
51 int p=0; //condicion para no redundar en comandos de apertura de valvula
52 int umbral=60;
53
54 TMessage msg;//declaracion para enviar mensajes a telegram
55 WiFiClient client;

56 const long utcOffsetInSeconds = -18000;//utc ubicacion para la hora
57 WiFiUDP ntpUDP;
58 NTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org", utcOffsetInSeconds);
59 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
60 ///
61
62 void setup() {
63   myBot.wifiConnect(ssid, pass);
64   myBot.setTelegramToken(token);
65   digitalWrite(valvula, HIGH);//encendemos la valvula
66   myBot.sendMessage(id, "Sisua Encendido\nBienvenido al menú:\nCheck-verificaci
67   //myBot.sendMessage(id, "Válvula abierta");
68   lcd.init();
69   lcd.backlight();
70   lcd.clear();
71   // digitalWrite(led2, HIGH);//
72   pinMode(cero, OUTPUT);
73   pinMode(led2, OUTPUT);
74   pinMode(led3, OUTPUT);
75   pinMode(led4, OUTPUT);
76   pinMode(led5, OUTPUT);
77   pinMode(valvula, OUTPUT);
78   tiempo1 = millis();
79
80   Wire.begin(D4, D3);//pines para SDA y SCL en display
81   Serial.begin(9600);
82   delay(100);

```

---

```

83
84 ///
85 Serial.println("Connecting to ");
86 Serial.println(ssid);
87
88
89     WiFi.begin(ssid, pass);
90
91     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
92     {
93         delay(500);
94         Serial.print(".");
95     }
96     Serial.println("");
97     Serial.println("WiFi connected");
98     timeClient.begin();
99 ///
100 digitalWrite(led2, HIGH);//
101 delay(500);
102 digitalWrite(led3, HIGH);//
103 delay(500);
104 digitalWrite(led4, HIGH);//
105 delay(500);
106 digitalWrite(led5, HIGH);//
107 delay(500);
108 digitalWrite(led2, LOW);//
109 delay(500);


---


110 digitalWrite(led3, LOW);//
111 delay(500);
112 digitalWrite(led4, LOW);//
113 delay(500);
114 digitalWrite(led5, LOW);//
115 delay(500);
116
117 }
118
119 void horario()
120 {
121     //se obtiene valores en hora, minutos y segundos ***
122     timeClient.update();
123     hora=timeClient.getHours();
124     Serial.print(hora);
125     minuto=timeClient.getMinutes();
126     Serial.print(minuto);
127     segundos=timeClient.getSeconds();
128     Serial.println(segundos);
129     lcd.setCursor(8, 0);
130     lcd.print(hora);
131     lcd.setCursor(16, 1);
132     lcd.print("");
133     if(hora==22 && minuto==0 && segundos<7){
134         digitalWrite(cero,HIGH);
135         delay(800);
136         digitalWrite(cero,LOW);

```

---

```

137   delay(50);
138
139   }
140   }
141
142 void lectura()
143 {
144 if (Serial.available() )
145 {
146   dato = Serial.readString();
147   Serial.print("dato");
148   Serial.println(dato);
149   auxiliar=dato.toFloat();
150   Serial.println(auxiliar);
151
152   flujo=auxiliar/1000;
153   //Serial.print("Caudal: ");
154   //Serial.println(flujo);
155
156   //int sensorValue = analogRead(A0); //Lectura del ADC
157   //int sensor1 =(( analogRead(A0))*12)/920);
158   presion = ( ((analogRead(A0))*0.4044)-15.657);
159   // presion =(analogRead(A0));
160   Serial.print(" p2= ");
161   Serial.println(presion);
162   DATOS[1]=flujo;
163   DATOS[2]=presion;

```

---

```

163   DATOS[2]=presion;
164
165   ///
166
167 }
168
169 }
170
171 void condicion()
172 {
173   if(presion>umbral )
174   {
175     if(z==0)
176     {
177       myBot.sendMessage(id, "Límite de Presión excedida");
178       z=1;
179
180     }
181     tiempo3 = millis();
182     if(tiempo3 > (tiempo4+60000)){ //Si ha pasado 1 segundo ejecuta el IF
183       tiempo1 = millis(); //Actualiza el tiempo actual
184       tiempoSegundos = tiempo4/100000;//5 minutos
185       Serial.print("han pasado: ");
186       Serial.print(tiempoSegundos2);
187       Serial.print(" minutos");
188       Serial.println(" valvula off");
189       digitalWrite (valvula,HIGH);
190       digitalWrite (led3,HIGH);

```

```

191     lcd.setCursor(13, 1);
192     lcd.print("OFF");
193
194     delay(500);
195 }
196
197 if(presion<umbral && p==0 && flujo<200){
198     digitalWrite(valvula,LOW);
199     digitalWrite(led3,LOW);
200     lcd.setCursor(13, 1);
201     lcd.print(" ON");
202     delay(500);
203 }
204
205     if(flujo>200)
206     {
207         if(alert==0)
208         {
209             myBot.sendMessage(id, "Límite de agua excedido");
210
211             delay(10);
212             alert=2;
213             delay(20);
214             tiempo2 = millis();
215             if(tiempo2 > (tiempol+600000)){
216                 tiempol = millis(); //Actualiza el tiempo actual
217                 tiempoSegundos = tiempol/300000;
218
219                 Serial.print("han pasado: ");
220                 Serial.print(tiempoSegundos);
221                 Serial.print(" minutos");
222                 digitalWrite(valvula,HIGH);
223                 digitalWrite(led3,HIGH);
224             }
225         }
226     }
227 }
228
229 }
230
231 void plataforma()
232 {
233
234         if (client.connect(server,80) // "184.106.153.149"
235         {
236             digitalWrite(led4,HIGH);
237             delay(300);
238             digitalWrite(led4,LOW);
239             delay(300);
240             apiKey = "OCKUMST7D1PC4SV5";
241             String postStr = apiKey;
242             postStr += "&field1=";
243             postStr += String(DATOS[1]);
244             postStr += "&field2=";

```

```

245     postStr += String(DATOS[2]);
246     postStr += "\r\n\r\n";
247     digitalWrite(led4,HIGH);
248     delay(300);
249     digitalWrite(led4,LOW);
250     delay(300);
251
252     client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
253     client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
254     client.print("Connection: close\n");
255     client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: "+apiKey+"\n");
256     client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
257     client.print("Content-Length: ");
258     client.print(postStr.length());
259     client.print("\n\n");
260     client.print(postStr);
261     Serial.println("NODO A ENVIADO a Thingspeak.");
262
263     }
264     client.stop();
265 }
266 }
...
266 }
267
268 void impresion()
269 {
270
271     //lcd.clear();
272     // lcd.backlight();
273     lcd.setCursor(0, 0);
274     lcd.print("SISUA ");
275     //
276     lcd.setCursor(10, 0);
277     lcd.print(":");
278     lcd.setCursor(11, 0);
279     lcd.print(minuto);
280     lcd.setCursor(0, 1);
281     lcd.print("C:");
282     lcd.setCursor(2, 1);
283     lcd.print(flujo);
284     lcd.setCursor(6, 1);
285     lcd.print("P:");
286     lcd.setCursor(8, 1);
287     lcd.print(presion);
288     lcd.setCursor(11, 1);
289     lcd.print("V:");
290     lcd.setCursor(16, 1);
291     lcd.print("");
292     delay(100);

```

```

293 }
294
295 void telegram()
296 {
297     if (myBot.getNewMessage(msg)) {
298         if (msg.text.equalsIgnoreCase("Consumo")) {           // if the
299             //digitalWrite(led, LOW);                          // turn
300             digitalWrite(led5, HIGH);
301             delay(300);
302             digitalWrite(led5, LOW);
303             delay(300);
304             myBot.sendMessage(msg.sender.id, DATOS[1]+(String) " Litros"); //
305         }
306
307         if (msg.text.equalsIgnoreCase("Presion")) {           // if the recei
308             //digitalWrite(led, HIGH);                          // turn
309             digitalWrite(led5, HIGH);
310             delay(300);
311             digitalWrite(led5, LOW);
312             delay(300);
313             myBot.sendMessage(msg.sender.id, DATOS[2]+(String) " PSI"); // no
314         }
315         if(msg.text.equalsIgnoreCase("Check")){
316             // generate the message for the sender
317             //String reply;
318             //reply = (String)"Check " + msg.sender.username + (String)"SISU.
319             digitalWrite(led5, HIGH);
320
321             delay(300);
322             digitalWrite(led5, LOW);
323             delay(300);
324             myBot.sendMessage(msg.sender.id, "Sisua Trabajando");           // and se
325         }
326         if(msg.text.equalsIgnoreCase("Cerrar")){
327             // generate the message for the sender
328             //String reply;
329             //reply = (String)"Check " + msg.sender.username + (String)"SISUA operando'
330             p=1;
331             digitalWrite(led3, HIGH);
332             delay(300);
333             digitalWrite(valvula, HIGH);
334             delay(300);
335             digitalWrite(led5, HIGH);
336             delay(300);
337             digitalWrite(led5, LOW);
338             delay(300);
339             myBot.sendMessage(msg.sender.id, "Valvula OFF");
340         }
341
342         if(msg.text.equalsIgnoreCase("Abrir")){
343             // generate the message for the sender
344             //String reply;
345             //reply = (String)"Check " + msg.sender.username + (String)"SISUA operando'
346             digitalWrite(led3, LOW);
347             delay(300);

```

```

347     digitalWrite (valvula, LOW);
348     delay (300);
349     digitalWrite (led5, HIGH);
350     delay (300);
351     digitalWrite (led5, LOW);
352     delay (300);
353     myBot.sendMessage (msg.sender.id, "Valvula ON");
354 }
355 if (msg.text.equalsIgnoreCase ("R1")) {
356     // generate the message for the sender
357     //String reply;
358
359     z=0;
360     alert=0;
361
362     digitalWrite (led5, HIGH);
363     delay (300);
364     digitalWrite (led5, LOW);
365     delay (300);
366     //Serial.println ('r');
367     //myBot.sendMessage (msg.sender.id, "Sisua_Reset");
368
369 }
370 if (msg.text.equalsIgnoreCase ("Reset")) {
371     // generate the message for the sender
372     //String reply;
373
374     z=0;
375     alert=0;
376     digitalWrite (led5, HIGH);
377     delay (300);
378     digitalWrite (led5, LOW);
379     delay (300);
380     digitalWrite (cero, HIGH);
381     delay (500);
382     digitalWrite (cero, LOW);
383     delay (50);
384     myBot.sendMessage (msg.sender.id, "Sisua_Reset");
385     lcd.clear ();
386     lcd.setCursor (16, 1);
387     lcd.print ("");
388 }
389 }
390 }
391
392
393
394 void loop() {
395     digitalWrite (led2, HIGH); //
396
397     horario ();
398     lectura ();
399     condicion ();
400     impresion ();
401 //resetear ();
402     telegram ();
403     plataforma ();
404
405 ///
406
407 }

```

## ANEXO B: CÓDIGO DE SISUA: ARDUINO NANO

CodigoFlujo \$

```
1 #include <SoftwareSerial.h>
2 SoftwareSerial BT1(4, 3); // RX | TX
3
4 byte sensorInterrupt = 0; // 0 = digital pin 2
5 byte sensorPin      = 2;
6
7 int led1=12;//indicador de comunicacion
8 int zero=10;//`pin para leer el reset del node
9 int value=0;// variable donde se guardara el cambio de res
10
11
12 float calibrationFactor =7.15;// 4.5;
13
14 volatile byte pulseCount;
15
16 float flowRate;
17 unsigned int flowMilliLitres;
18 unsigned int totalMilliLitres;
19 unsigned int totalLitres;
20 unsigned int real;
21
22 unsigned long oldTime;
23
24 void setup()
25 {
26
27
28 Serial.begin(9600);
29 BT1.begin(9600);//inicaalizacion de la comunicacion serial
30
31 pinMode(sensorPin, INPUT);
32 digitalWrite(sensorPin, HIGH);|
33
34 pulseCount      = 0;
35 flowRate        = 0.0;
36 flowMilliLitres = 0;
37 totalMilliLitres = 0;
38 oldTime         = 0;
39
40 attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, RISING) ;
41 }
42
43
44 void loop()
45 {
46   value = digitalRead(zero);
47   /* if (BT1.available()) {
48     if(value==HIGH)
49     {
50       totalMilliLitres=0;//restablecemos el volumen si recibimos un pulso
51     }
52   */
```

---

```

53  if((millis() - oldTime) > 1000)    // Only process counters once per second
54  {
55
56      detachInterrupt(sensorInterrupt);
57
58      flowRate = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) / calibrationFactor;
59
60
61      oldTime = millis();
62
63
64      flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;
65
66      totalMilliLitres += flowMilliLitres;
67      totalLitres = totalMilliLitres/1000;
68      real=0.00324*totalMilliLitres-0.0022;
69
70      unsigned int frac;
71
72      // Print the flow rate for this second in litres / minute
73      Serial.print("Flow rate: ");
74      Serial.print(int(flowRate)); // Print the integer part of the variable
75      Serial.print("L/min");
76      Serial.print("\t");        // Print tab space
77
78      // Print the cumulative total of litres flowed since starting

```

---

```

79      Serial.print("Output Liquid Quantity: ");
80      Serial.print(totalMilliLitres);
81      Serial.print("mL");
82      Serial.print("\t");        // Print tab space
83      Serial.print(totalLitres);
84      Serial.println("L");
85      Serial.println(real);
86      BT1.println(totalMilliLitres);
87      delay(100);
88      digitalWrite(led1,HIGH);
89      delay(300);
90      digitalWrite(led1,LOW);
91      delay(300);
92
93
94      //Serial.print(totalMilliLitres/1000);
95      //Serial.print("L");
96      //Serial.print("\t");        // Print tab space
97      //Serial.print(totalMilliLitres/1000);
98      //Serial.print("L");
99
100
101      // Reset the pulse counter so we can start incrementing again
102      pulseCount = 0;
103
104      // Enable the interrupt again now that we've finished sending output

```

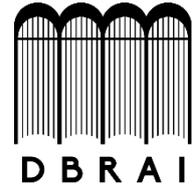
---

```
105     attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);
106   }
107 }
108
109
110 /*
111 Interrupt Service Routine
112 */
113 void pulseCounter()
114 {
115   // Increment the pulse counter
116   pulseCount++;
117 }
```

---



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS  
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

**Fecha de entrega:** Día / Mes / Año (registre la fecha de defensa de su trabajo)

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>	
<b>Nombres – Apellidos:</b>	JOSUÉ DAVID ALTAMIRANO CALAPUCHA
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>	
<b>Facultad:</b>	INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
<b>Carrera:</b>	INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
<b>Título a optar:</b>	INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b>	

