

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, _____

Señores:

Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Gabriel Bertarini con número de identificación 1-1628-0117 autor (a) del trabajo de graduación titulado Descripción de un sistema PPG presentado y aprobado en el año 2010 como requisito para optar por el título de Ingeniería Electrónica; SI / NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

Gabriel Bertarini 1-1628-0117
Firma y Documento de Identidad

UNIVERSIDAD

HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PRÁCTICA UNIVERSITARIA SUPERVISADA
PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO
EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Desarrollo de un sistema programable para
monitorear de forma remota el hidrómetro del
beneficio experimental del Instituto del Café de
Costa Rica, en Barva de Heredia**

Tutor:

Eduardo Sanabria

Estudiante:

Gabriel Bertarioni Barquero

Marzo, 2019

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	ii
CARTA DEL TUTOR	viii
CARTA DEL LECTOR	ix
CARTA DEL FILÓLOGO	x
DECLARACIÓN JURADA	xi
CARTA DE ACEPTACIÓN DE LA EMPRESA	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ABREVIATURAS	xx
RESUMEN	xxii
CAPÍTULO 1. PROBLEMA DEL PROYECTO	24
1.1 Antecedentes y justificación del proyecto.....	25
1.1.1. Antecedentes del contexto de la empresa	25
1.1.2. Misión.....	25
1.1.3. Visión	25
1.1.4. Reseña histórica.....	25
1.1.5 Justificación del proyecto	27
1.2. Definición del problema	29

1.2.1 Diagrama ishikawa	29
1.2.2 Problemática	31
1.3. Objetivos de la investigación	33
1.3.1 Objetivo general	33
1.3.2 Objetivos específicos	33
1.4. Alcances y limitaciones	34
1.4.1. Alcances.....	34
1.4.2. Limitaciones	34
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	36
2.1.1. Caudal	37
2.2.2 Microprocesador.....	38
2.2.3 Raspberry Pi.....	39
2.2.5 Dashboard	41
2.2.6 Sensor magnético.....	42
2.2.2. Huella de carbono	43
2.2.6. Microcontrolador.....	43
2.2.7. Arduino	44
2.2.8. Base de datos.....	46
2.2.9. Medidor de caudal	46
2.2.10. Grafana.....	48

2.2.11 SMTP	49
CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO	50
3.1. Tipo de investigación	51
3.1.1. Enfoque de la investigación	51
3.2. Fuentes de información	51
3.2.1 Fuentes primarias.....	51
3.2.2 Fuentes secundarias	52
3.3.3. Sujetos de información	52
3.3. Técnicas y herramientas	52
3.3.1. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	52
3.4. Factores del proyecto	54
3.5. Diseño de la investigación	56
4.1 Descripción de la situación actual	59
4.1.1. Diagnóstico organizacional	59
4.2 Recolección de datos	66
4.2.1 Instrumento para la recolección de datos.....	66
4.3 Requerimientos del proyecto	71
CAPÍTULO 5. PROPUESTA DEL PROYECTO	72
5.1. Diseño	73
5.1.1 Arduino	76

5.1.2. Raspberry Pi.....	77
5.1.3. Base de datos	78
5.1.4 Dashboard.....	79
5.2. Prototipo	80
5.2.1. Hardware.....	80
5.2.2. Software	84
5.3 Depuración de resultados.....	116
5.4 Implementación	116
5.4.1 Montaje del sistema	117
5.4.2. Montaje del circuito	120
5.4.3. Montaje del Raspberry Pi con el Arduino UNO	121
5.4.4 Lectura de datos del medidor	123
5.4.5 Monitoreo inalámbrico	123
5.4.6 Sistema de notificaciones.....	128
5.5. Análisis de costos.....	130
5.6 Condición de funcionamiento	131
5.7 Cumplimiento de requisitos	137
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
6.1. Conclusiones.....	139
6.2. Recomendaciones.....	142

BIBLIOGRAFÍA	144
ANEXOS	147

CARTA DEL TUTOR



CARTA DEL TUTOR

San José, 29 de Noviembre del 2019

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Gabriel Andrés Bertarioni Barquero, cédula de identidad número 1-1628-0117, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "DESARROLLO UN SISTEMA PROGRAMABLE PARA MONITOREAR DE FORMA REMOTA EL HIDRÓMETRO DEL INSTITUTO DEL CAFÉ DE COSTA RICA EN BARVA DE HEREDIA", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	8
b	Cumplimiento de entrega de avances.	20	19
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	18
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	18
Total:		100	91

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. Eduardo Sanabria Guerrero
Céd: 108610714
Tutor



Pl. Transferido
29-11-19

CARTA DEL LECTOR



CARTA DEL LECTOR

San José, 13 de Enero del 2020

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Gabriel Andrés Bertarioni Barquero, cédula de identidad número 1-1628-0117, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "*DESARROLLO DE UN SISTEMA PROGRAMABLE PARA MONITOREAR DE FORMA REMOTA EL HIDRÓMETRO DEL BENEFICIO EXPERIMENTAL DEL INSTITUTO DEL CAFÉ DE COSTA RICA EN BARVA DE HEREDIA*", el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

JOSETH GUILLEN Firmado digitalmente por JOSETH
AMADOR (FIRMA) GUILLEN AMADOR (FIRMA)
Fecha: 2020.01.13 19:13:18 -06'00'

Joseth Guillén Amador
Cédula de identidad: 1-1138-0984.
Carné colegio profesional: CPIC-6064

CARTA DEL FILÓLOGO

Coronado, 15 de enero de 2020

Señores

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
Escuela de Ingeniería Electrónica

Estimados señores:

Yo, Grettel María Ortiz Jiménez, cédula N° 1-1091-0693, hago constar que el estudiante Gabriel Andrés Bertarioni Barquero, cédula N° 1-1628-0117, me ha presentado su trabajo de graduación denominado: **"Desarrollo de un sistema programable para monitorear de forma remota el hidrómetro del beneficio experimental del Instituto del Café de Costa Rica, en Barva de Heredia"**; para optar por el grado académico en Ingeniería Electrónica.

He leído, revisado y corregido los aspectos gramaticales, ortográficos, semánticos y de estilo- propios del asesoramiento filológico-, para un total de ciento cuarenta y ocho páginas. Así mismo, he corroborado que se incorporaron los cambios a dicho documento.

Por lo tanto, considero que, en el ámbito lingüístico, dicho documento se encuentra listo para ser presentado a la **UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA** como parte de su trabajo de graduación.



Licda. Grettel Ortiz Jiménez
Filóloga
Carné 034014
Tel: 83444626
greortiz80@gmail.com

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Gabriel Andrés Bertoloni Berroterán, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-1628-0117 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado:

Desarrollo de un sistema programable para monitorear de forma remota el hidrómetro del beneficio experimental del instituto del café de Costa Rica en Barú de Heredia, es una obra original que ha respetado todo lo

preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los veintiseve días del mes de noviembre del año dos mil diecinueve.

Gabriel Bertoloni

Firma del estudiante

Cédula: 116280117

CARTA DE ACEPTACIÓN DE LA EMPRESA



Heredia, 29 de noviembre del 2019

Señores
UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
Presente

Estimados señores

Por este medio hacemos constar que el señor Gabriel Andrés Bertarioni Barquero, documento de identificación N.º 1-1628-0117 cuenta con la debida autorización del Instituto del Café de Costa Rica, para efectuar y desarrollar su Práctica Universitaria Supervisada en las instalaciones del Instituto, en San Pedro de Barva, Heredia.

El nombre de proyecto a desarrollar por el señor Gabriel Bertarioni, es el siguiente:

Desarrollo de un sistema programable para monitorear de forma remota el hidrómetro del Beneficio Experimental del Instituto del Café de Costa Rica.

Quedo a sus órdenes para cualquier consulta.

Atentamente.

Ing. Rolando Chacón Araya, Msc.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama ishikawa	30
Figura 2. Caudalímetro de ICAFE.....	31
Figura 3. Caudal de una tubería.	38
Figura 4. Primer microprocesador Intel 4004.....	39
Figura 5. Raspberry Pi 3 B+	40
Figura 6. Ejemplo Ilustrativo de una Dashboard de Grafana	41
Figura 7. Sensor magnético.....	42
Figura 8. Microcontrolador	44
Figura 9. Arduino UNO	45
Figura 10. Medidor de caudal de 4 pulgadas.....	47
Figura 11. Imagen ilustrativa de Grafana.....	48
Figura 12. Imagen ilustrativa de SMTP	49
Figura 13. Diagrama de bloques del desarrollo del proyecto.....	56
Figura 14. Diagrama de bloques de la toma de datos	60
Figura 15. Tabla para la toma de datos del medidor de caudal	62
Figura 16. Croquis de la ubicación del medidor de caudal	64
Figura 17. Pequeño croquis del cuarto del caudalímetro.....	65
Figura 18. Cuarto en donde se encuentra el medidor de caudal	66
Figura 19. Diagrama del diseño del proyecto	74
Figura 20. Conexión del medidor de caudal	80
Figura 21. Medición del cableado del medidor de caudal	81
Figura 22. Diseño del circuito implementado en el prototipo	82
Figura 23. Conexión del Raspberry Pi con el Arduino	83
Figura 24. Programación lógica del Arduino	85

Figura 25. Librerías de Arduino	86
Figura 26. Variables de Arduino	87
Figura 27. Lógica del código Arduino	88
Figura 28. Exportación de datos hacia el Raspberry Pi	89
Figura 29. Agujas del medidor	90
Figura 30. Datos observados en el Arduino IDLE del Raspberry Pi	91
Figura 31. Librerías de Raspberry	92
Figura 32. Diagrama de flujo con la conexión de la base de datos.....	94
Figura 33. Código para realizar la conexión con la base de datos MySQL	95
Figura 34. Diagrama de la lectura del Arduino en el Raspberry Pi	96
Figura 35. Código para la lectura de datos del Arduino UNO	97
Figura 36. Cálculo de variables en el Raspberry Pi	98
Figura 37. Variables asignadas para las operaciones matemáticas	99
Figura 38. Observación de datos mediante el terminal.....	101
Figura 39. Diagrama de flujo para enviar datos hacia la base de datos	102
Figura 40. Código para insertar valores a la tabla de la base de datos	104
Figura 41. Diagrama de flujo para el envío de notificaciones	105
Figura 42. Código para enviar notificaciones al correo electrónico.....	107
Figura 43. Notificación enviada desde el Raspberry Pi	108
Figura 44. Inicio de Phpmyadmin	109
Figura 45. Menú de Phpmyadmin.....	110
Figura 46. Opción para exportar los datos de la base de datos.....	110
Figura 47. Tabla de la base de datos en formato PDF.	111
Figura 48. Inicio de sesión en Grafana	112

Figura 49. Ícono para agregar base de datos	112
Figura 50. Configuración para utilizar la base de datos	113
Figura 51. Ícono para agregar una nueva “dashboard”	114
Figura 52. Múltiples interfaces con las que se pueden trabajar	114
Figura 53. Visualización de interfaces graficas en la “dashboard”	115
Figura 54. Menú principal de la “Dashboard”	115
Figura 55. Instalación de la caja del sistema programable	118
Figura 56. Construcción de cableado del medidor hacia el sistema	119
Figura 57. Caja pequeña donde se encuentra el circuito	120
Figura 58. Implementación del sistema programable.	122
Figura 59. Sistema programable implementado.	122
Figura 60. Visualización de los metros cúbicos desde el display LCD	123
Figura 61. Terminal para la visualización de datos	124
Figura 62. Menú principal de Grafana	125
Figura 63. Interfaz del tiempo	125
Figura 64. Interfaz de la tabla de la base de datos	126
Figura 65. Interfaz del caudalímetro	126
Figura 66. Interfaz de la gráfica de datos de la base de datos	127
Figura 67. Visualización de la “dashboard” desde el celular	128
Figura 68. Notificación vista desde el celular	129
Figura 69. Notificación vista desde el computador	129
Figura 70. Sensor magnético inactivo.....	132
Figura 71. Medición del voltaje cuando el circuito pull-up no emite el pulso...	133
Figura 72. Sensor magnético activo.	133

Figura 73. Medición del voltaje cuando el circuito pull-up emite el pulso.....	134
Figura 74. Terminal demostrando cuando se realiza la exportación de datos	135
Figura 75. Datos importados desde la base de datos en Grafana.....	135
Figura 76. Visualización de los datos en PhpMyAdmin	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuente de información	52
Tabla 2. Factores del proyecto	54
Tabla 3. Lista de chequeo de las características del prototipo	71
Tabla 4. Comparación de modelos de Arduino.....	76
Tabla 5. Comparación de modelos de Raspberry Pi	77
Tabla 7. Comparación de aplicaciones web	79
Tabla 8. Lista de materiales utilizados en el desarrollo del prototipo.....	130
Tabla 9. Lista de costos de mano de obra	131
Tabla 10. Lista de chequeo de las características del prototipo	137

ABREVIATURAS

Wi-fi: Wireless Fidelity.

I2C: Inter Integrated Circuits.

RAM: Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio).

ROM: Read Only Memory (Memoria de Solo Lectura).

USB: Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie).

IP: Internet Protocol (Protocolo de Internet).

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica).

HTTP: Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de transferencia de hipertexto).

VNC: Virtual Network Computing (Computación Virtual en Red).

LCD: Liquid Crystal Display (Pantalla de Cristal de Liquidido).

CPU: Central Processing Unid (Unidades Centrales de Procesamiento).

PC: Personal Computer (Computadora Personal).

GB: Gigabyte.

SMTP: Simple Mail Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Correo Simple).

IDE: Integrated Development Enviroment (Entorno de Desarrollo Interactivo).

UTP: Unshielded Twisted Pair (Par Trenzado no Blindado).

IDLE: Integrated Development Enviroment (Entorno de Desarrollo Integrado).

RESUMEN

Un medidor de caudal o caudalímetro es un instrumento utilizado para realizar mediciones de caudal, o bien, el volumen de un fluido que pasa a través de dicho medidor que se encuentra conectado en serie en una tubería.

La empresa ICAFE implementa el uso del medidor de caudal de $\frac{3}{4}$ de pulgadas; el cual está compuesto por un sensor magnético en la parte superior del medidor. Este medidor se utiliza para obtener el total de litros que se consumen por día, almacenan los datos de manera manual y luego realizan una serie de cálculos que se solicitan en parte administrativa de la empresa.

El desarrollo del presente trabajo se enfocará en la recolección de los datos para el control y monitoreo de la cantidad de litros que pasan a través del caudalímetro, por medio de un sistema programable. Una vez obtenidos los datos del sistema programable, este mismo sistema se encargará de almacenar los datos en una base de datos, también se realizarán los cálculos necesarios de manera automática, para mostrar, así mismo, los resultados en una “dashboard”, y al final se enviará una alerta al gerente del área de industrialización, cuando se sobrepase el límite de metros cúbicos establecido.

CAPÍTULO 1. PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes y justificación del proyecto

1.1.1. Antecedentes del contexto de la empresa

ICAFFE es una institución pública de carácter no estatal, fundada en 1933 como rectora de la caficultura costarricense, con el objetivo de promover un modelo de producción entre los productores, beneficios, tostadores y exportadores nacionales.

1.1.2. Misión

Ser una institución que regula, fomenta y defiende la actividad cafetalera, con el propósito de alcanzar su sostenibilidad, en procura del bienestar socioeconómico del sector (ICAFFE, 2015).

1.1.3. Visión

Ser una institución líder, a nivel mundial, en el desarrollo tecnológico para el mejoramiento de la productividad, la industrialización y la promoción de Café de Costa Rica, brindando servicios ágiles y efectivos que mantengan equidad en la agro cadena (ICAFFE, 2015).

1.1.4. Reseña histórica

En 1720 es la fecha de la introducción del café a América, cuando las primeras semillas de la especie Coffe Arábic, variedad Typica llegaron a la isla Martinica, luego fueron sembradas en la provincia de Costa Rica a finales del siglo XVIII. En 1808, el gobernador Tomás de Acosta empezó a implementar en el suelo costarricense el cultivo del café. Costa Rica fue el primer país centroamericano que estableció la industria cafetalera. El primer cafetal estuvo a 100 metros norte de la Catedral Metropolitana, en el cruce de la Avenida Central y Calle Cero.

Luego de la independencia de Costa Rica, en 1821 los gobiernos municipales fueron los primeros en incentivar este cultivo con las políticas de entrega y plantas de

concesión de tierras a quienes se interesarán en esta empresa. Conforme crecían las primeras plantas, se incrementaba el interés de los costarricenses por el cultivo del café.

La exportación del café se desarrolló desde 1832. En 1840 el comercio del café se consolidó con Europa, luego de que el inglés William Lacheur visitara Costa Rica para la compra de la cosecha de Santiago Fernández Hidalgo, dado que dicha persona era una de los principales cafetaleros de Costa Rica en esos tiempos.

En las primeras décadas del siglo XX se realizaron una serie de invenciones introducidas para reducir el tiempo de beneficiado y aumentar la calidad del café, donde también sobresalieron las máquinas secadoras, despulpadoras, pulidoras y clasificadoras. La mecanización de la agroindustria del beneficiado continuó a lo largo de todo el siglo XX. Con la extensión cultivada creció la capacidad de las plantas beneficiadoras.

Posteriormente, en el año 1933, se funda el Instituto de Defensa del Café, como ente rector de la caficultura; luego, en el año 1948, se cambió el nombre a Oficina del café y desde 1985 hasta hoy en día se conoce como el Instituto del Café de Costa Rica. ICAFE trabaja haciendo valer la Ley de la República de Costa Rica No. 2762, con el objetivo de promover un modelo de producción único y equitativo entre los productores, beneficios, torrefactores y exportadores nacionales.

La institución también tiene como objetivo apoyar la producción, proceso, exportación y comercialización del café costarricense, así como aprobar un precio mínimo justo que debe pagar el Beneficio de café al producto de este. Los párrafos anteriores de la reseña historia se tomaron de la página web de ICAFE.

1.1.5 Justificación del proyecto

Los usuarios responden a varios estímulos al visitar un sitio web. Conocer su comportamiento mediante el monitoreo y análisis de datos nos permite comprender qué significa cada interacción, cómo nos ayuda a cumplir los objetivos y cómo podemos optimizar la experiencia. Utilizar datos es primordial para las empresas.

Día a día, las empresas se ven enfrentadas a pequeños y grandes desafíos, siempre enfocados a mejorar la performance del sitio web y su presencia digital. Para ayudarlos, los analistas utilizamos diversas herramientas dedicadas al monitoreo de las métricas. Estas nos ayudan a realizar el análisis de los datos y sacar conclusiones, lo que le permitirá al cliente tomar decisiones, mejorar el sitio y aumentar sus números (Rojas, 2015).

Como bien lo menciona Rojas, para toda empresa es importante que los usuarios, además del personal autorizado, puedan observar los datos de lo que se está midiendo en la empresa, en este caso sería el caudal que fluye por las tuberías. Estos son los factores que justifican el problema de esta investigación, que son los siguientes:

- Se identificó que, para realizar las mediciones de caudal, los trabajadores requieren levantar una tapa donde se encuentra el medidor de caudal de agua, para acceder a la ventana de lectura del caudalímetro, además este mismo se encuentra encerrado en un pequeño cubo oscuro y húmedo, de ubicación algo difícil de acceder para algunos trabajadores. Esto genera un desperdicio de tiempo para poder anotar los resultados, porque una vez levantada la tapa, los trabajadores deben acercarse al caudalímetro que se encuentra a un metro de la tapa, luego de anotar los resultados, volver a tapar donde se encuentra el caudalímetro y al

finalizar, dirigirse hacia el área de industrialización para presentar los datos obtenidos.

Con este proyecto que pretende que no sea necesario que los trabajadores obtengan los valores del medidor, ya que más bien este proceso sería automatizado.

- Otra justificación del problema es que, según indicó el gerente, don Rolando Chacón, no todos los trabajadores anotan lo que indica el caudalímetro, es decir, algunos trabajadores han inventado los números, porque seguramente se les había olvidado ir a revisar el medidor o tampoco sabían si el número que anotaron era el correcto, por lo cual nuevamente procedían a volver a ir a tomar los valores que presentaba el medidor.

Al implementar este proyecto, será más confiable y rápido el momento de obtener los datos, ya que serán dirigidos hacia la base de datos de la empresa.

Una última justificación es que la empresa ICAFE realiza las mediciones de caudal cada 24 horas y con esos datos obtenidos empiezan a realizar cálculos para hacer comparaciones de cómo disminuir el consumo de agua que realizan. Esto es un problema, ya que, al realizar la toma de datos una vez al día, el personal de la empresa debe revisar cuánto fue lo que se consumió el día anterior y luego realizar una resta a lo que se consumió el día en que se toma el dato actual, y así determinar la diferencia del consumo entre un día y otro; y luego determinar las estrategias para un mejor aprovechamiento del recurso, lo que no

necesariamente considera los mejores rendimientos del consumo y sus variables.

Con la implementación de la propuesta de este proyecto, se realizarían mediciones cada hora desde que la empresa empieza sus labores, hasta que finalicen. Luego de obtener los datos del medidor, con este proyecto se podrán realizar comparaciones mediante una tabla diseñada en una dashboard, para que puedan analizar qué día en específico se consumió más agua en la empresa y considerar las razones, para establecer mejores estrategias para potenciar el rendimiento de este recurso.

Esto es importante tanto para el ahorro por parte de la empresa, como para unirse a las medidas proambientales, debido al ahorro en el consumo del agua.

1.2. Definición del problema

El problema de esta investigación consiste en automatizar el sistema mediante el cual se puedan observar los datos del caudal de agua que fluye por las tuberías en la empresa ICAFÉ, de manera que el proceso sea más rápido, con datos confiables y se logre un cálculo eficiente para el aprovechamiento de la información recolectada.

Para lograrlo, se considerará el siguiente diagrama.

1.2.1 Diagrama ishikawa

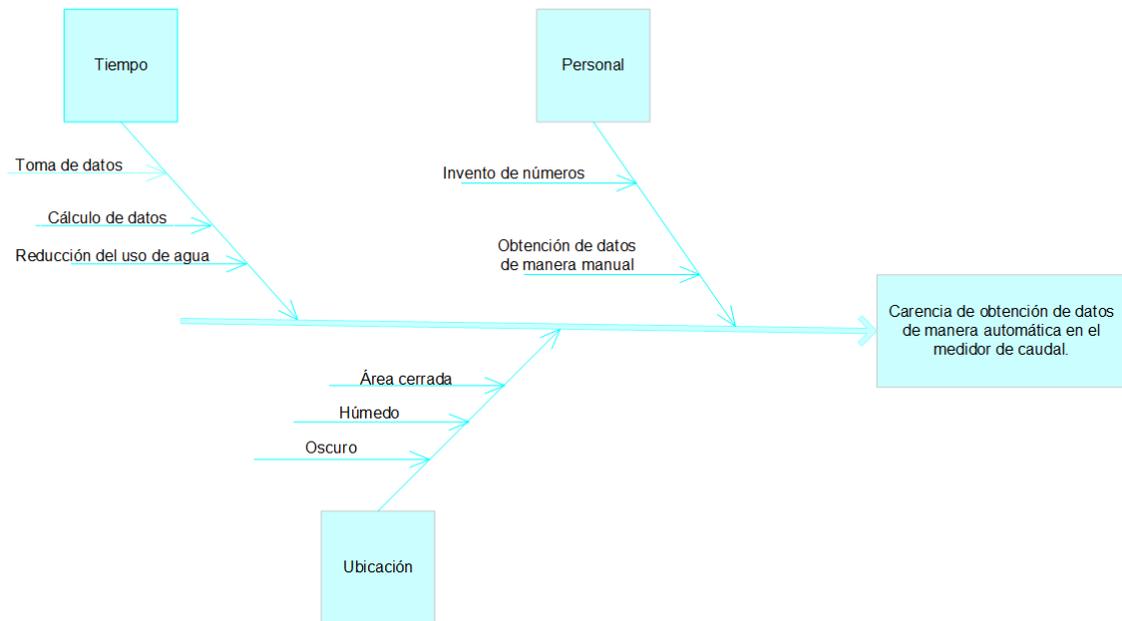


Figura 1. Diagrama ishikawa

Fuente: elaboración propia (2019).

A continuación, se explica la figura anterior:

- a) **Tiempo:** actualmente, para obtener los datos que se presentan en el medidor, suelen durar entre 5 y 10 minutos, ya que en donde se encuentra dicho medidor, se necesita levantar una tapa para observarlo y así anotar los datos en una tabla, para que luego los trabajadores del área de industrialización procedan a realizar una serie de cálculos que la empresa necesita hacer.
- b) **Personal:** como bien se mencionó, para la obtención de datos, actualmente se usa un procedimiento manual, donde los trabajadores enfrentan ciertas dificultades técnicas. También se debe agregar que algunos trabajadores inventan números porque se les olvida dirigirse hacia el medidor para anotar los datos brindados, o bien les da pereza dirigirse hacia el medidor. De esta

manera, también generaban errores al momento de realizar los cálculos, debido a los datos inventados.

- c) Ubicación:** debido a la ubicación del medidor, ya que este mismo se encuentra encerrado en un pequeño cubo oscuro y húmedo, a algunos trabajadores se les dificulta realizar la toma de datos, lo cual también es una de las razones de errores presentados en la recolección de datos del medidor.

1.2.2 Problemática

En el área de industrialización de la empresa de ICAFE, actualmente la tubería global, que es en donde se distribuye el 100% de agua (limpia, pero no potable) de la empresa, posee un medidor de caudal conocido como caudalímetro y que se puede observar en la siguiente figura 2.



Figura 2. Caudalímetro de ICAFE

Fuente: elaboración propia (2019).

Este medidor que se observa en la figura 2 se encuentra situado en la tubería global del sector de industrialización, en este medidor es en donde los trabajadores de la empresa ICAFE toman las mediciones de manera manual, es decir, para que se puedan obtener los valores de medición, un trabajador debe dirigirse hacia el área de industrialización, levantar una tapa de acero, luego bajar unos 30 cm para observar los valores que está mostrando el indicador, y apuntar los valores obtenidos en una tabla con un lápiz y papel.

Luego, el trabajador debe cerrar la tapa de acero, y para finalizar, dirigirse hacia la oficina y escribir en una computadora los valores que anotó; para que luego se puedan realizar los cálculos que desea realizar la empresa.

Esto es un gran problema por diferentes razones. En primer lugar, ya que conlleva bastante tiempo tomar esta medida, se puede decir como unos 10 o 15 minutos; en lo que dura en llegar un trabajador, también en lo que dura en visualizar bien los valores que está presentando el medidor y luego cerrar la tapa en donde se ubica el medidor para prevenir accidentes de ningún otro trabajador.

Aparte de eso, también se debe agregar que no siempre son correctos los valores que apuntan los trabajadores cuando observan el medidor, ya sea porque algunos trabajadores inventan los números, porque no anotaron bien los valores del medidor o porque se les olvidó tomar los valores del medidor; esto afecta a la empresa, porque la empresa requiere reducir el consumo de agua y no le sirve realizar cálculos diarios con valores inventados o mal escritos.

Por estos motivos, el problema a resolver sería:

¿Qué aspectos electrónicos y de programación deben considerarse para diseñar un prototipo de lectura de un caudalímetro de 4 pulgadas para el Instituto del

Café de Costa Rica, y enviar lecturas, fechas y cálculos del consumo de agua a una base de datos con acceso a internet?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Implementar un sistema electrónico de lectura para un caudalímetro de 4 pulgadas en el Área de Industrialización de ICAFE, para luego almacenar lecturas y cálculos en una base de datos, que puedan ser apreciados en una aplicación web, durante el último cuatrimestre del 2019.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos operativos solicitados por el Departamento de Industrialización del Instituto del Café de Costa Rica.
- Valorar los sistemas programables que se pueden implementar en el medidor de caudal.
- Diseñar un prototipo para leer los datos del caudalímetro de 4 de pulgadas del Instituto del Café de Costa Rica.
- Desarrollar una base de datos para almacenar la cantidad de metros cúbicos, hora y fecha de las mediciones del medidor de ICAFE.
Desarrollar el programa para realizar los cálculos necesarios de manera automática y a su vez exportarlos y almacenarlos en una base de datos
- Mostrar datos, fechas y cálculo en una aplicación web.
- Analizar el costo-beneficio de la implementación del proyecto propuesto en la empresa de ICAFE.

1.4. Alcances y limitaciones

1.4.1. Alcances

- Monitoreo de datos del caudalímetro global que se encuentra ubicado en las oficinas de industrialización de ICAFE.
- Exportación de datos obtenidos del medidor hacia una base de datos diseñada únicamente para el área de industrialización.
- Diseño de una aplicación web para visualizar los datos que se suministran en la base de datos.
- Establecimiento de un sistema de notificaciones para notificar al personal cuando se haya sobrepasado un límite de consumo establecido por el personal de industrialización.
- Visualización de datos que esté emitiendo el medidor de caudal mediante un display LCD.

1.4.2. Limitaciones

- El área de trabajo será únicamente en donde se encuentra el caudalímetro de la tubería global y la instalación se realizará en el poste que se ubica a un metro de distancia del cuarto donde está el caudalímetro en el área industrialización de ICAFE.
- Para la transmisión de datos obtenidos del medidor de caudal será únicamente vía red inalámbrica, ya que en el área de industrialización cuentan con red inalámbrica de alta capacidad disponible. Así se

efectuaría de manera rápida la lectura y escritura de datos en la base de datos.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de este proyecto, es importante conocer algunos conceptos tanto en el área de ingeniería electrónica como el tema del proyecto. Los conceptos más relevantes son los siguientes.

2.1.1. Caudal

Se conoce como caudal a la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un ducto, ya sea tubería, cañería, oleoducto, río, canal, por unidad de tiempo. Generalmente, el caudal se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área determinada en una unidad de tiempo específica. (Fibras y Normas, 2015). En otras palabras, el caudal es la medida que describe el movimiento de un fluido.

De esta manera,

Consideremos un tubo por el que se desplaza un fluido. La sección interna (o área, o luz) del tubo es A y la velocidad a la que se desplaza el fluido (cada molécula del fluido) es v . Ahora tomemos arbitrariamente un cierto volumen dentro del tubo. Ese volumen (un cilindro) es igual a la superficie de su base (que no es otro que la sección del tubo, A) por la altura (un cierto Δx):

$Vol = A \cdot \Delta x$. Al cabo de cierto intervalo de tiempo (Δt) todo el volumen habrá atravesado el área de adelante. Justamente así teníamos definido el caudal: $Q = Vol / \Delta t$ recordando que $v = \Delta x / \Delta t$ nos queda: $Q = A \cdot v$. El caudal es igual al producto entre la velocidad a la que se mueve el fluido y la sección del conducto (Cabrera, 2007).

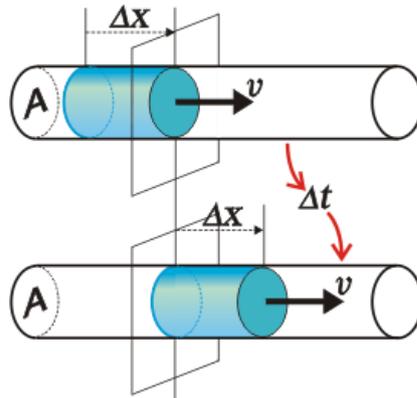


Figura 3. Caudal de una tubería.

Fuente: ricuti.com.ar (2007).

En la figura 3 se observan las variables de medición de un caudal en una tubería.

2.2.2 Microprocesador

Un microprocesador es un procesador al circuito integrado de un sistema informático, en donde se llevan a cabo una serie de operaciones lógicas para permitir la ejecución de los programas desde el sistema operativo (Raffino, 2018).

Un microprocesador es un componente que realiza las instrucciones y tareas diseñadas mediante un proceso. Este está compuesto por circuitos integrados que contiene una serie de transistores. También está diseñado para ejecutar operaciones típicas tales como operaciones matemáticas (sumas, restas, divisiones, multiplicaciones), comunicación de dispositivos, administración de entradas y salidas, etc. (Navas, 2018).

En otras palabras, un microprocesador es como un pequeño computador donde pueden realizar una serie de tareas por medio de un código de programación diseñado por el usuario.

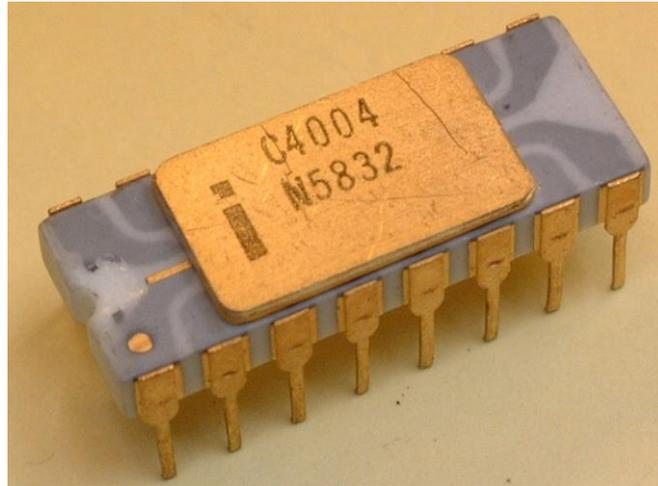


Figura 4. Primer microprocesador Intel 4004

Fuente: Profesionalinterview.com (2018).

En la figura 4 se puede observar el primer microprocesador inventado en la historia y es conocido como Intel 4004, en el año 1970, por una compañía japonesa llamada Busicom.

2.2.3 Raspberry Pi

Un Raspberry Pi es una placa de computadora de bajo coste, es un ordenador de tamaño reducido, desarrollado en Inglaterra por la Fundación Raspberry Pi, en la Universidad de Cambridge en el año 2011 (Valencia, 2013).

Este pequeño microprocesador puede ser utilizado por muchas cosas que el PC suele hacer (ejecutar programas, realizar trabajos de investigación, programar ciertos programas, trabajar con circuitos eléctricos, etc.) (Tecnología, 2013).



Figura 5. Raspberry Pi 3 B+

Fuente: arrow.com (2018).

En la figura 5 se observa un tipo de Raspberry Pi que en este caso sería un Raspberry Pi 3 B+. Para este proyecto se decidió trabajar con el modelo Raspberry Pi 3 B+, por las siguientes razones:

- Posee 1GB de RAM en comparación de los modelos anteriores. Al tener mayor capacidad de RAM, esto previene que los programas que se estén ejecutando de manera simultánea no paren de funcionar y a su vez, el microprocesador ejecuta los programas de manera más rápido.
- Posee 4 puertos de USB, donde uno será utilizado para realizar la conexión con el Arduino UNO para ejecutar el programa de Arduino desde el Raspberry.
- La manera de iniciar y cargar el sistema operativo es mucho más rápida en comparación de los otros modelos del Raspberry.
- Es capaz de diseñar y trabajar con alguna base de datos.
- Posee un módulo Wifi, esto es una gran ventaja ya que gracias a este

módulo, el Raspberry es capaz de trabajar con una aplicación web conocida como Grafana, para mostrar los datos obtenidos dentro de la base de datos.

- El Raspberry puede ser manipulado a través de la interfaz VNC desde cualquier ordenador. Gracias a esto no es necesario estar conectando un teclado, un mouse y un monitor para poder ser manipulado.

2.2.5 Dashboard

Una “dashboard” es una herramienta de gestión de la información que monitoriza, analiza y muestra la manera visual de los indicadores que el usuario desea mostrar, en métricas y datos fundamentales para hacer un seguimiento de algún tema elaborado dentro de la aplicación (Ortiz, 2019).

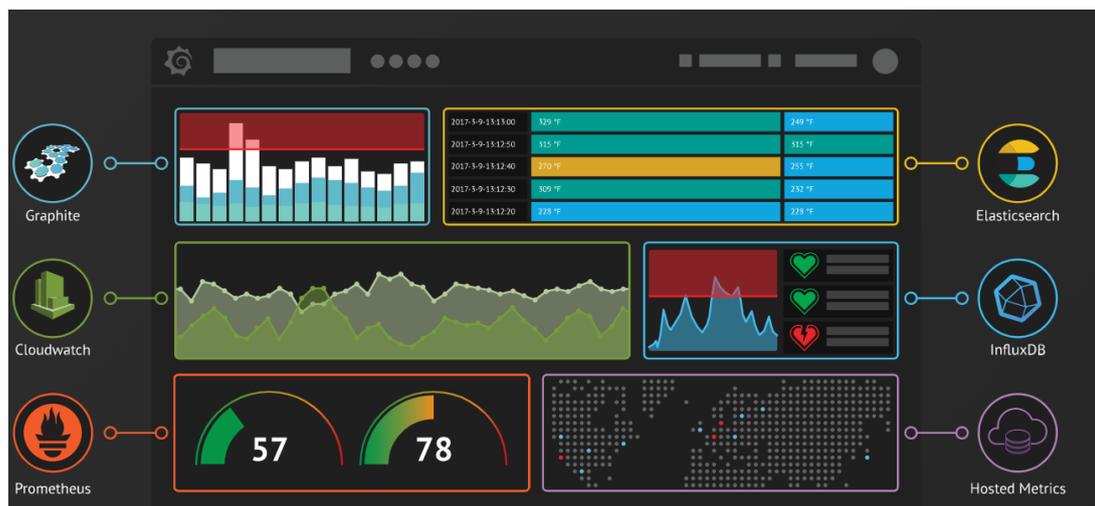


Figura 6. Ejemplo Ilustrativo de una Dashboard de Grafana

Fuente: Grafana.com (2018).

En la figura 6 se observa un claro ejemplo de cómo es una “dashboard” en la aplicación web de Grafana. En la “dashboard” que se diseñó para este proyecto incluye una tabla donde se podrán observar el total de metros cúbicos detectados a través del Arduino, el tiempo en que el Arduino envía dichos metros cúbicos hacia el

Raspberry Pi y una serie de resultados de algunas operaciones matemáticas que se realizaron en el Raspberry Pi.

También, dentro de la misma “dashboard”, el usuario podrá buscar de manera más rápida el mes, el día y la hora de cuántos metros cúbicos se determinaron en un tiempo establecido.

2.2.6 Sensor magnético

Un sensor magnético es un dispositivo capaz de detectar campos magnéticos de los imanes por medio de un material ferromagnético que posee dicho sensor. (Electrónica, 2019).

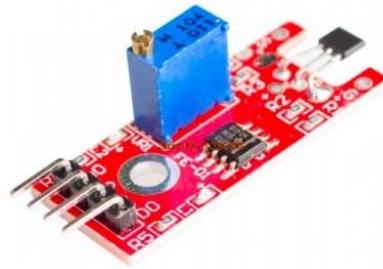


Figura 7. Sensor magnético.

Fuente: Kayene.com (2017).

En la figura 7 se muestra cómo es un sensor magnético, dicho sensor se encuentra instalado en el medidor de caudal que se va a encargar de realizar las mediciones de la tubería global. Este sensor se encargará de detectar cuándo pasa el imán que posee una espira del rotor.

2.2.2. Huella de carbono

La huella de carbono es una variable que indica el impacto del calentamiento global y se mide en CO₂eq. También se puede definir como la totalidad de gases de efecto invernaderos que son producidos por una empresa o individuo. (Estévez, 2017).

Las empresas realizan estos calculos de huella de carbono para disminuir la contaminacion ambiental, para identificar los posibles de ahorros en inversion y oportunidades de acceso a nuevos mercados.

2.2.6. Microcontrolador

El microcontrolador es un circuito integrado que es el componente principal de una aplicación embebida. Es como una pequeña computadora que incluye sistemas para controlar elementos de entrada o salida. Este microcontrolador incluye un procesador y una memoria donde se puede guardar el programa a ejecutar y sus variables (flash y RAM). Su función es automatizar procesos y procesar información(hepto-store, 2017).

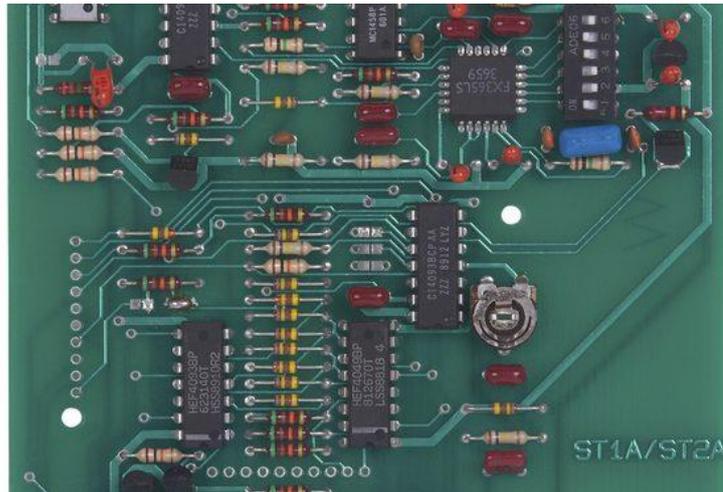


Figura 8. Microcontrolador

Fuente: techlandia.com (2018).

En la figura 8 se muestra el primer microcontrolador, creado por Texas Instruments en el año 1970. Los primeros microcontroladores eran microprocesadores que solo contaban con memorias RAM y ROM.

2.2.7. Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores o elementos electrónicos (Arduino).



Figura 9. Arduino UNO

Fuente: Arduino.com (2016).

En la figura 9 se puede observar un tipo de Arduino que en este caso sería el Arduino Nano. Para este proyecto se decidió trabajar con el Arduino UNO por las siguientes razones:

- Su costo es bastante accesible y es más sencillo de manipular.
- Es capaz de ejecutar varias operaciones y que estén conectados a dicho dispositivo a la vez, sin ningún problema.
- En comparación del Arduino Nano, este sí es capaz de ejecutar varias operaciones a la vez. En el caso del Arduino Nano, no, este presenta problemas cuando se le realiza más de una conexión al dispositivo, por lo cual no ejecuta el código diseñado.
- En comparación con el tamaño de otras plataformas, por ejemplo, con el Arduino Mega, este Arduino suele ser pequeño y más compacto para trabajar.
- El software de Arduino puede ser ejecutado en Windows, Macintosh OSX, Linux y ARM.
- Este modelo de Arduino trabaja al igual que otros modelos de Arduino (Nano, Mega, Yun y Leonardo).

2.2.8. Base de datos

El término de bases de datos fue escuchado por primera vez en 1963, en un simposio celebrado en California, USA. Una **base de datos** se puede definir como un conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada o estructurada (Valdez, 2007).

La base de datos es un sistema formado por un conjunto de datos almacenados en discos que permiten el acceso directo a ellos y un conjunto de programas que manipulen ese conjunto de datos (Valdez, 2007).

Se define una base de datos como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información de una empresa o negocio en particular (Valdez, 2007).

También, otra manera de definir la base de datos es como un lugar en donde lo que esté sucediendo en “x” aplicación que se esté ejecutando, esta aplicación por medio del computador va a estar registrando los resultados o lo que se esté ejecutando en la aplicación, para luego mantenerlos almacenados en una memoria interna del computador, donde también pueden ser observados en cualquier momento.

2.2.9. Medidor de caudal

Un caudalímetro es un instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Estos medidores se colocan en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros (AREC, 2019).



Figura 10. Medidor de caudal de 4 pulgadas

Fuente: valvulasthermovalve.cl (2015).

Las características del medidor son las siguientes:

- Resistencia a la actividad del polo magnético exterior, según la EN 14154-3.
- Bajo umbral del arranque.
- Amplio margen de mediciones.
- Facilidad de lectura en cualquier posicionamiento del totalizador, colocado giratoriamente en la protección con tapa.
- Posibilidad de verificación electrónica de parámetros metrológicos del contador de agua.
- Construcción modular.
- Mecanismo de medición extraíble.
- Embrague magnético.

2.2.10. Grafana

Grafana es un software que permite la visualización y el formato de datos métricos. También permite crear cuadros, ya sea graficas o tablas, a partir de múltiples fuentes, incluidas base de datos como lo son MySQL, InfluxDB, Graphine, etc. (Grafana, 2014).



Figura 11. Imagen ilustrativa de Grafana

Fuente: Grafana.com (2018).

En la figura 11 se observa un ejemplo ilustrativo de cómo se visualiza la interfaz de Grafana. En esta aplicación web conocida como Grafana, será en donde se mostrarán los valores almacenados en la base de datos de MySQL instalada ya en el Raspberry Pi. Ahí mismo se podrán observar, ya sea en una tabla o gráfico, los metros cúbicos obtenidos en un tiempo determinado y los cálculos realizados en dicho tiempo ya establecido.

2.2.11 SMTP

El protocolo de transferencia simple (SMTP) es un protocolo que se encarga de enviar y recibir correos electrónicos. La función principal de este protocolo es permitir que un usuario se comunice con un servidor, para que el mismo usuario pueda enviar un correo electrónico a uno o más correos deseados (IoTDesignPro, 2019).



Figura 12. Imagen ilustrativa de SMTP

Fuente: iotdesignpro.com (2016).

Mediante este protocolo, se notificará al usuario de cuándo se sobrepase el límite de litros que pasan por la salida de la tubería global por medio del sistema programable que ya tiene instalado. También, gracias a este protocolo, el sistema programable cuenta con una cuenta de correo electrónico de Gmail, esto es para enviar la notificación desde la cuenta del correo electrónico ya incorporado.

CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

El proyecto que se describió anteriormente presenta un tipo de investigación de campo, ya que este se enfoca en solucionar un problema de obtención de resultados en un medidor de caudal fuera de las oficinas de industrialización.

Se realizará una investigación para diseñar un sistema electrónico en la empresa ICAFE que logre capturar pulsos emitidos por el medidor de caudal, donde este mismo sistema envíe los datos obtenidos a una base de datos y luego puedan apreciarse mediante una aplicación web. De esta manera, se requerirá investigar a fondo sobre la creación de una base de datos en una aplicación web y la transferencia de datos hacia una aplicación web.

3.1.1. Enfoque de la investigación

Este tipo de investigación es descriptiva, ya que, como parte de los objetivos de este proyecto, se describe el funcionamiento de los elementos a utilizar; Arduino, módulo Wifi, caudalímetro, base de datos, transferencia de datos y el código a ejecutar en el Arduino.

3.2. Fuentes de información

3.2.1 Fuentes primarias

En este proyecto se cuenta con fuentes de información primarias, tanto en la parte técnica (conectividad del medidor de caudal con el sistema programable) como en la parte electrónica (funcionamiento adecuado del sistema programable). La información obtenida por parte del medidor de caudal es en la empresa donde se estarán obteniendo las pruebas reales en un tiempo determinado, tal como se mencionó anteriormente.

3.2.2 Fuentes secundarias

En el caso de las fuentes secundarias, serían más que todo la recolección de datos por internet y citas bibliográficas. También se obtendrán datos de la empresa, información recolectada del gerente en el momento que se visitó la empresa para recibir una charla de las problemáticas a resolver.

3.3.3. Sujetos de información

Tabla 1. Fuente de información

Puesto Laboral	Profesión	Experiencia	Relación con el tema
Ingeniero Industrial	Lic.Ingeniería Industrial	6 años	Encargado del proyecto
Ingeniero Industrial	Bach. Ingeniería Industrial	2 años	Supervisor de procesos
Ingeniero Industrial	Bach. Ingeniería Industrial	4 años	Supervisor de procesos

Fuente: elaboración propia (2019).

3.3. Técnicas y herramientas

3.3.1. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son mecanismos e instrumentos que se utilizan para reunir y medir información de forma organizada y con un objetivo específico. Usualmente, se usan en investigación científica y empresarial, estadística y marketing (Kawulich, 2005).

En este caso, la técnica a utilizar es la de observaciones, ya que es consiste en observar el desarrollo del elemento a analizar. Este método puede ser utilizado para obtener información cualitativa o cuantitativa (Saci, 2004).

Al utilizar este método, se obtendrán los valores deseados del medidor a través del tiempo, por lo cual, se estaría analizando y comparando los valores obtenidos para lograr reducir el consumo de agua en la empresa.

Para la recolección de datos e información de los componentes y otros aspectos necesarios para el desarrollo de esta investigación, se recolectaron datos de páginas web, libros, desarrollo del prototipo, hojas de datos de los componentes y entre otros.

3.4. Factores del proyecto

En el proyecto influyen una serie de factores asociados a los objetivos, los cuales se explicarán más adelante.

Tabla 2. Factores del proyecto

Objetivos específicos	Variables asociadas	Descripción
Definir el tipo de sistema programable con el que deseo leer y almacenar los datos que registra el medidor de agua cuando fluya el agua limpia en la tubería.	Dispositivo con el que capturara datos obtenidos del medidor de agua.	Este dispositivo se encargará de realizar el monitoreo cuando el medidor esté trabajando. Luego de obtener los datos, el dispositivo se encargará de enviar los datos obtenidos hacia una base de datos, dichos datos serán mostrados en una aplicación conocida como Grafana.
Desarrollar una base de datos para almacenar los litros y la hora en que se	Lugar en donde se almacenan los datos	Esta variable se encarga de guardar los datos que captura el Arduino y a la hora en que se estarán almacenando los datos.

Objetivos específicos	Variables asociadas	Descripción
realizaron las mediciones a través del medidor de agua.	obtenidos del medidor de caudal.	
Mostrar los datos obtenidos y el tiempo en que se obtuvieron, mediante una “dashboard” en la aplicación web de Grafana, que, a su vez, podrán ser observados únicamente por el área de industrialización de ICAFE.	Aplicación web en donde se podrán observar los valores obtenidos que captura el Arduino del medidor de caudal.	En esta variable se podrán visualizar los datos que se tienen almacenados en la base de datos. Se podría decir que es la manera más adecuada en donde se pueden apreciar los datos. También se podrá consultar el día y la hora de los datos que se obtuvieron del medidor de caudal.

Fuente: elaboración propia (2019).

3.5. Diseño de la investigación

En el siguiente diagrama se muestra el desarrollo, por medio de etapas, de la presente investigación:

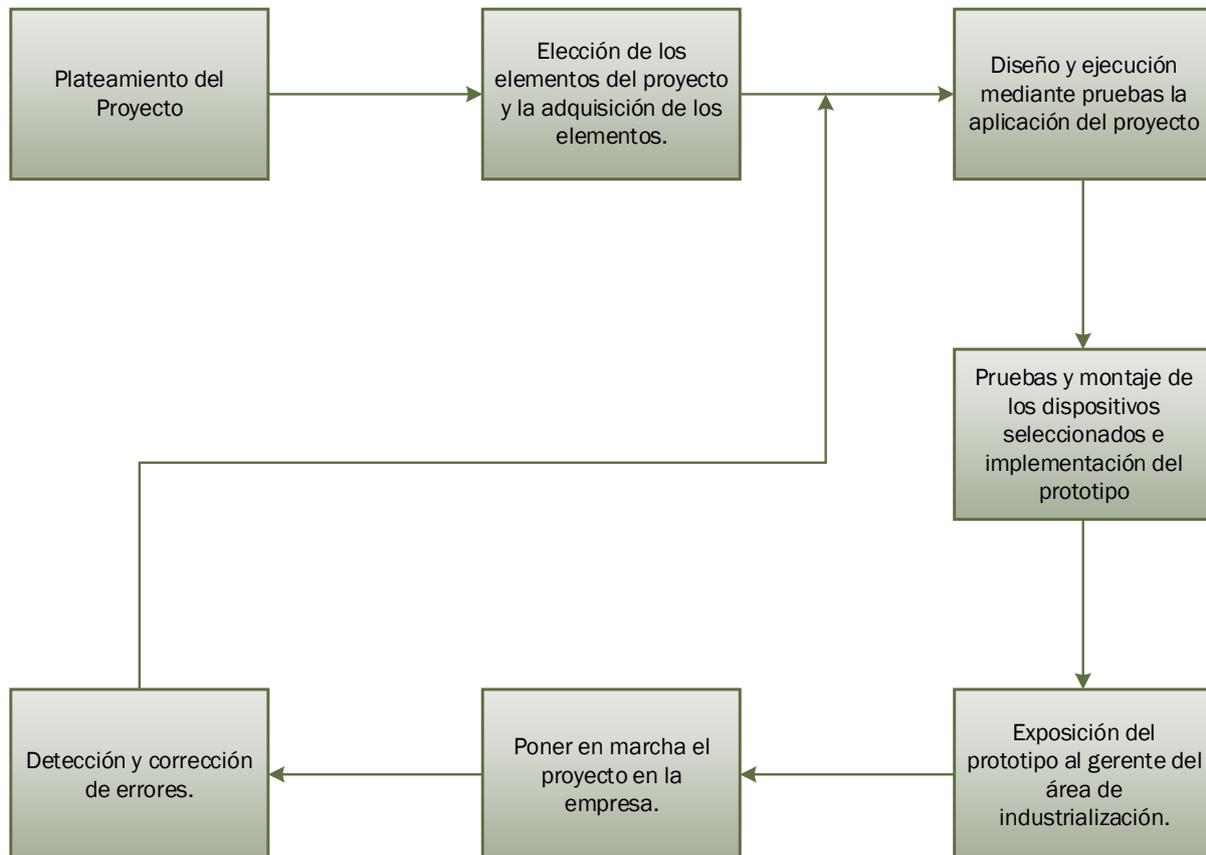


Figura 13. Diagrama de bloques del desarrollo del proyecto

Fuente: elaboración propia (2019).

En la etapa 2 se comienza la recolección de elementos a utilizar ya mencionados anteriormente; medidor de caudal, sistema programable (en este caso es el Arduino UNO y Raspberry Pi 3), protoboard, jumpers, carcasas protectoras (tanto para el Arduino UNO como para el Raspberry Pi), display LCD, etc...

En la etapa 3 se empieza el desarrollo del código de Arduino para luego ser implementado con el prototipo. El código incluirá las siguientes características o factores:

- Elaboración y explicación del funcionamiento del caudalímetro.
- Creación de la base de datos.
- Creación de una aplicación web para visualizar los datos que se obtienen en la base de datos.
- Comunicación adecuada del Arduino UNO con el Raspberry Pi.
- Transferencia de datos obtenidos hacia una base de datos y hacia la aplicación web.

En la etapa 4 se probarán los dispositivos adquiridos junto con el código de Arduino para el proyecto, tanto de manera individual como en conjunto. Luego de esto, se montará el prototipo junto con la aplicación ya creada y probada en la etapa número 3.

Capítulo 4. Diagnóstico

4.1 Descripción de la situación actual

4.1.1. Diagnóstico organizacional

Al realizar un pequeño estudio en la compañía en conjunto con el encargado de suministrar los datos que obtienen los trabajadores encargados de anotar los valores del medidor de caudal, se concluyó que la implementación del proyecto en cuestión es viable y aceptable, debido a que el sector de industrialización, que es el encargado en realizar los cálculos matemáticos con los litros obtenidos del medidor de caudal, podrán realizarlo de manera automática sin necesidad de hacer los cálculos manuales y con dicho proyecto, se obtendrán los datos de manera automática.

Esto se debe a que, al almacenar los datos obtenidos del medidor de agua, se facilita la revisión diaria, semanal, mensual, de los litros que pasan por dicho medidor, lo que reduciría el tiempo en la manera que se obtienen los datos y en los cálculos de datos del caudal.

A continuación, se demostrará por medio de diagramas de bloques cómo es la toma de datos de valores y los cálculos necesarios a realizar.

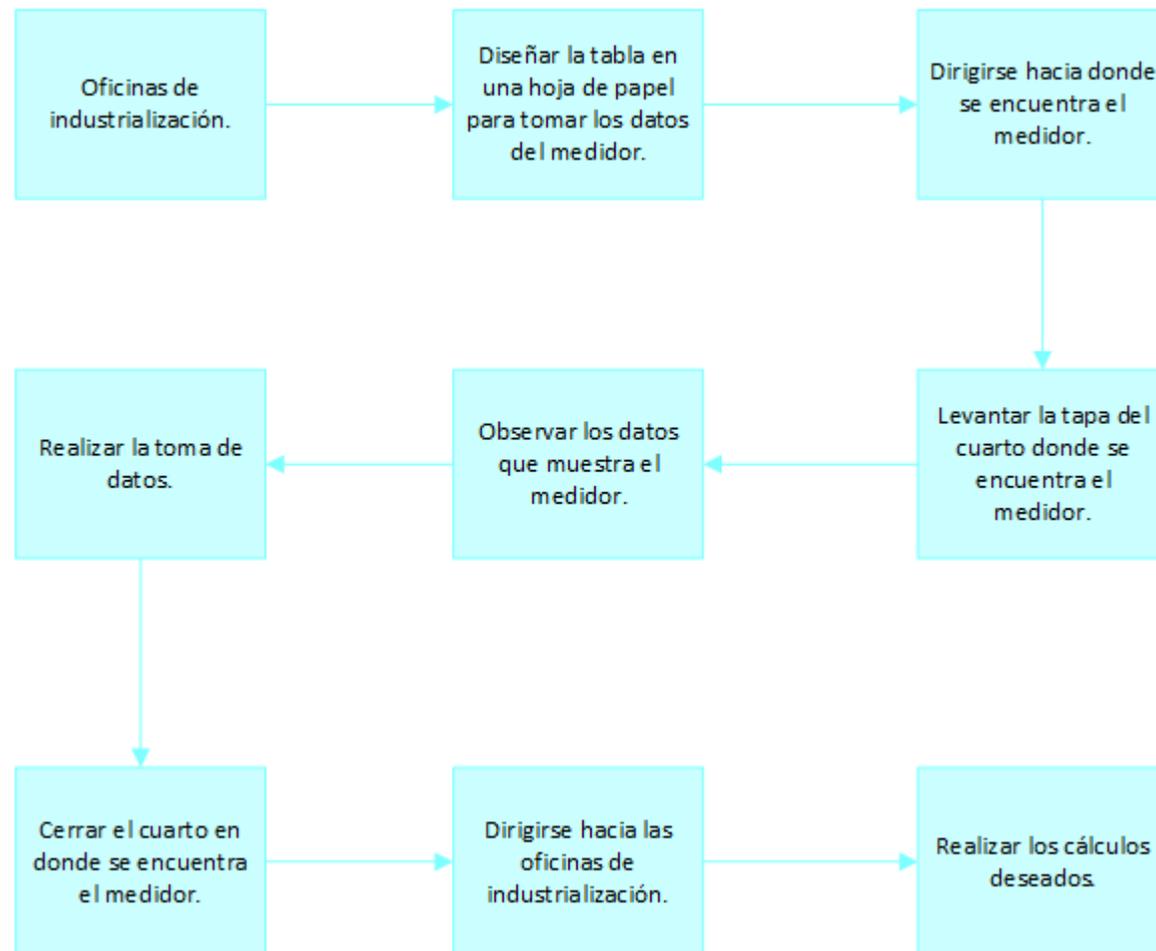


Figura 14. Diagrama de bloques de la toma de datos

Fuente: elaboración propia (2019).

Como se observa en el diagrama de bloques anterior, en la figura 14 se determina que el proceso de la toma de datos es muy tedioso porque primero la persona tiene que dirigirse hacia el área de industrialización para recibir las órdenes; incluso antes de eso debe diseñar una tabla para realizar los apuntes que presenta el medidor, la cual está compuesta por fecha, mediciones y observaciones (que son los mismos valores tomados en la columna de mediciones) tal y como se observa en la figura 15.

Instituto del Café de Costa Rica
Unidad Industrialización
Registro de Agua consumida por beneficio Icafe

Fecha	Medición	Observaciones
28/02/19	2948 3	2948 3
04/03/19	2948 3	2948 3
05/03/19	2948 3	2948 3
06/03/19	2948 3	2948 3
07/03/19	2948 3	2948 3
08/03/19	2948 3	2948 3
11/03/19	2948 3	2948 3
12/03/19	2948,5.3	2948,5.3
13/03/19	2948,5.3	2948,5.3
14/03/19	2948,5.3	2948,5.3
15/03/19	2948,5.3	2948,5.3
18/03/19	2948,5.3	2948,5.3
28/03/19	2948,5.3	2948,5.3
02/04/19	2948,5.3	2948,5.3
03/04/19	2948,5.3	2948,5.3
09/04/19	2948,5.3	2949,0.
10/04/19	2949,0.	2949,0.
22/04/19	2949,0.	2949,4.3
23/04/19	2949,4.3	2949,6.4
24/04/19	2949,6.4	2949,8.0
25/04/19	2949,8.0	2949,9.0

Responsable _____

Figura 15. Tabla para la toma de datos del medidor de caudal

Fuente: ICAFE (2019).

Una vez diseñada la tabla para realizar la toma de datos, el trabajador se debe dirigir hacia donde se encuentra el medidor, levantar la tapa, agacharse para visualizar los datos, anotarlos en la tabla elaborada por el trabajador y luego dirigirse hacia las oficinas para hacer los cálculos, tal como se describió en el capítulo uno.

En la figura 16 se elaboró un pequeño croquis en donde se encuentra exactamente el medidor de caudal de la empresa, con distancia y el recorrido a realizar.

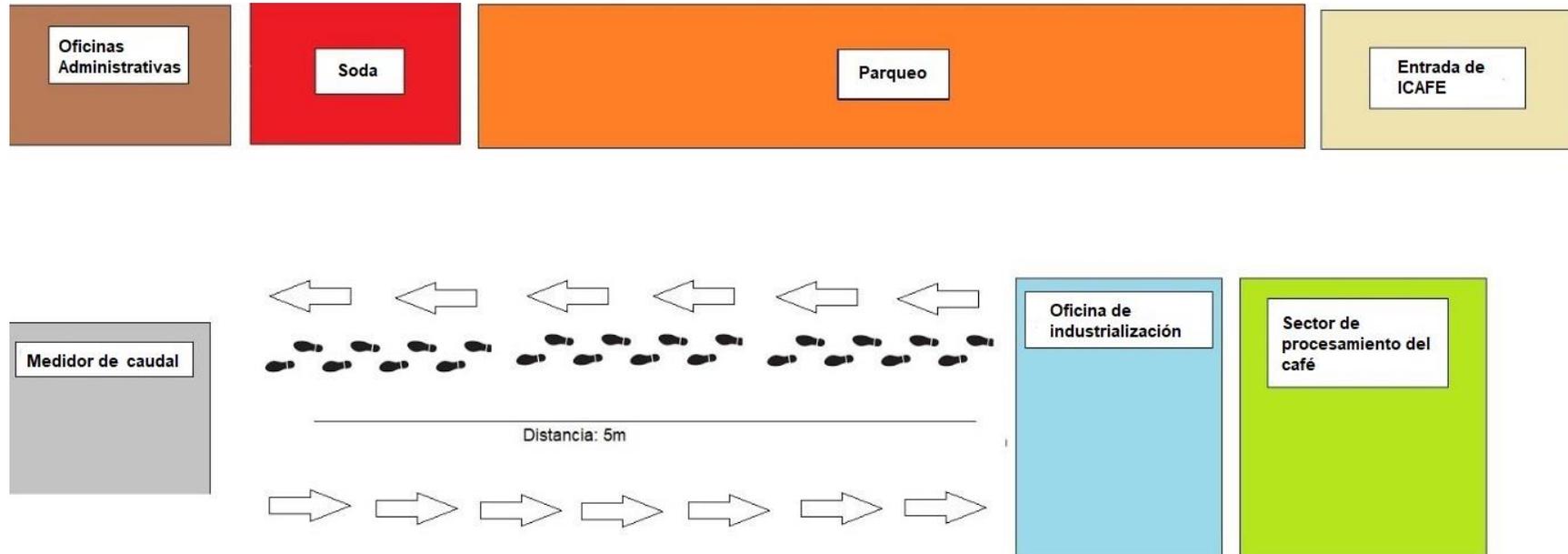


Figura 16. Croquis de la ubicación del medidor de caudal

Fuente: elaboración propia (2019).

En la figura 17 se puede observar una pequeña demostración de cómo está compuesto el cuarto del medidor, tanto la altura y cómo está conectado dicho medidor. También, en la figura 18 se puede observar de manera real el cuarto en donde está dicho medidor y cómo está conectado, la tubería superior es de donde proviene el agua limpia y la tubería inferior, es hacia donde se dirige el agua para el beneficio.

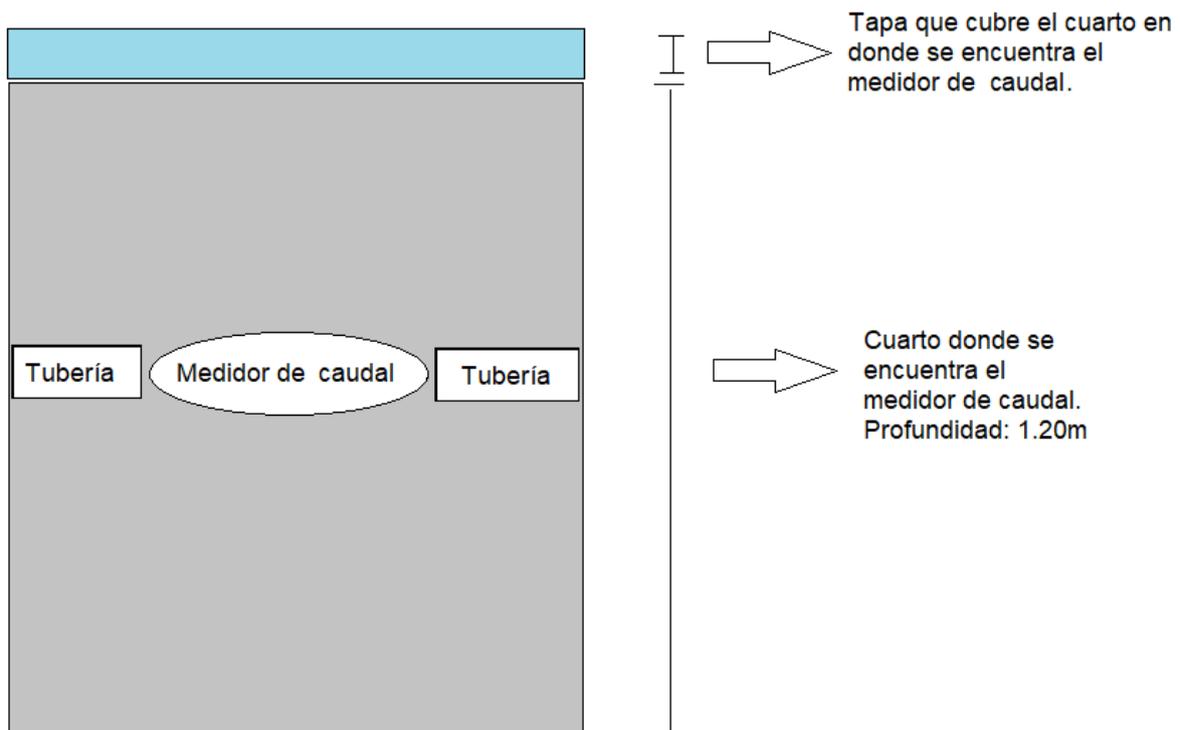


Figura 17. Pequeño croquis del cuarto del caudalímetro

Fuente: elaboración propia (2019).



Figura 18. Cuarto en donde se encuentra el medidor de caudal

Fuente: elaboración propia (2019).

4.2 Recolección de datos

Para recolectar las principales necesidades de la empresa, se procede a realizar reuniones y pequeñas encuestas en las cuales el personal del área de Industrialización de ICAFE expresó sus principales requerimientos para la obtención de datos y monitoreo del sistema programable que se establecerá en el medidor de caudal.

4.2.1 Instrumento para la recolección de datos

Como instrumento, se utilizó la encuesta a través de un cuestionario digital compuesto por ocho preguntas, donde tres preguntas son abiertas y las cinco restantes son preguntas cerradas. Las preguntas se realizaron a las personas que se encuentran en el área de industrialización y que conocen más del tema de la problemática actual que presenta la empresa ICAFE con el medidor. En el anexo Encuestas Gabriel Bertarioni.pdf se localiza la encuesta realizada en este documento.

A continuación, se mostrará la información más relevante adquirida por medio de la entrevista.

El mayor uso que se le da al agua en el Instituto del Café es en el beneficiado húmedo del café. El beneficiado húmedo del café es un proceso que consiste en quitarle la pulpa o la cáscara del café y la miel del grano que posee el grano de café por medio de una máquina especial (Salas, 2015). En otras palabras, el beneficiado consiste en limpiar lo que posee el grano del café para luego pasar por el secado del café.

Otros usos que se le da el agua son para realizar la limpieza de máquinas del Instituto del Café y para realizar el transporte de frutas.

Entre los problemas que presentan actualmente, el mayor problema que tienen es el consumo excesivo de agua. Esto se da por la falta de acceso al recurso hídrico que se encuentra en las afueras de las oficinas de industrialización. Debido a esta falta de acceso, el personal encargado del área de industrialización se somete a adquirir nuevos equipos constantemente para intentar de disminuir el consumo de agua en la empresa.

La manera de obtener los datos que presenta muestra el medidor de caudal es totalmente de manera manual, como se mencionó anteriormente, ya que para obtener los datos del medidor, una persona que se encuentra afuera de las oficinas de industrialización, debe dirigirse hacia donde se encuentra el medidor, levantar la tapa del pequeño cuarto, anotar los datos en una tabla, cerrar la tapa del cuarto y luego dirigirse hacia las oficinas de industrialización para presentar los datos obtenidos.

La obtención de datos se realiza de manera diaria, una vez al día, en una hora no específica, es decir, que en algunos días se toman los datos a las 3 de la tarde o

bien a las 10 de la mañana. Los datos que se obtienen del medidor son metros cúbicos, que esto equivale a 1000 litros. Con estos datos se realiza el cálculo del caudal, que en la siguiente figura se puede observar cómo se obtiene.

$$Caudal = \frac{Litros}{Minutos}$$

Una vez calculados los datos, el personal del área de Industrialización procede a realizar una documentación de cuánto caudal se calculó y en el día exacto en que se calculó, para luego realizar comparaciones, intentar disminuir el consumo de agua, etc.

Con respecto a la ubicación donde se desea tener el sistema programable encargado de realizar las mediciones y almacenar los datos obtenidos en una base de datos, optaron que la mejor opción es establecer dicho sistema en las afueras oficinas de Industrialización, a los dos metros de donde se ubica el medidor, ya que aquí es donde se podrá estar observando, mediante el display LCD, la lectura de metros cúbicos que ingresan al Arduino UNO.

Al principio, se había optado por tener dicho sistema programable en el pequeño cuarto donde se encuentra el medidor de caudal, alimentado por medio de una batería recargable pero el personal decidió cambiar de opinión por el tema de la humedad. El cuarto casi siempre está húmedo, no solo cuando fluye el agua, ya que por la tubería genera humedad en el cuarto, también cuando llueve ingresa el agua que proviene de la lluvia al cuarto.

En el caso de las características que el personal del área de Industrialización desea que tenga el sistema programable, se pueden observar en la siguiente gráfica.

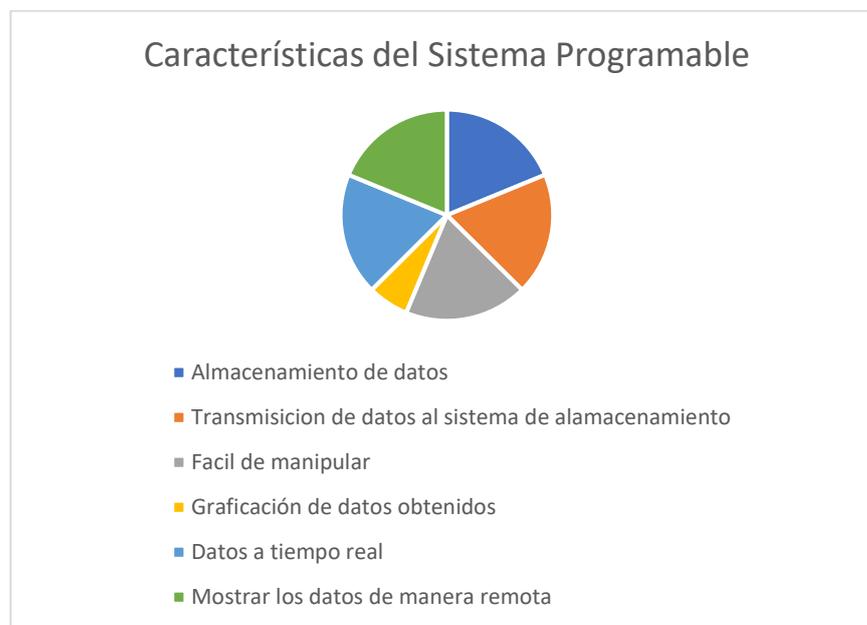


Gráfico 1. Características del Sistema programable

Fuente: elaboración propia (2019).

El almacenamiento de datos es primordial, ya que con dichos datos pueden realizar evaluaciones y comparaciones con el consumo de agua que se hace en la empresa diariamente.

La transmisión de datos al sistema de almacenamiento es otro fundamento para el sistema programable, porque hay un sistema encargado de capturar los datos a tiempo real y existe otro sistema de leer los datos capturados para ser enviados hacia una base de datos, tanto en línea como en la memoria interna del sistema.

Luego, otra característica que se desea es que el sistema sea fácil de manipular, es decir, que una vez que esté conectado a la corriente, el sistema empiece a trabajar sin problema alguno. También, la aplicación web será fácil de manipular, ya que no

requiere muchos requisitos, o estar abriendo, como por ejemplo 5 o 6 ventanas, para observar los datos de la base de datos.

En este caso, únicamente será necesario ingresar por medio de la IP establecida al sistema programable, luego ingresar el usuario y contraseña y listo, dentro de la página principal el usuario tendrá la opción para seleccionar la fecha exacta (segundos, minutos, horas, día, mes y año) donde se capturaron los litros ingresados en el medidor.

Otra opción que tendrá la aplicación web es la graficación de datos obtenidos del medidor, estos datos podrán ser observados en la página principal de este mismo recurso. Dicha gráfica se obtendrá en el eje “y” el valor de los litros por segundos y en el eje “x” tendrán los valores del tiempo, que pueden ser segundos, minutos, horas, días, meses o inclusive años. Ahí mismo, el usuario también podrá seleccionar el tiempo en específico en que desea ver la gráfica.

Con respecto a la actualización de datos de la base de datos (la exportación de datos hacia la base datos), el personal prefirió que se actualizara cada hora que el sistema programable se esté ejecutando. También en este caso, en la aplicación web se actualizará cada hora por los datos que ingresan en la base datos.

Para finalizar, el rango promedio de la inversión para el proyecto (en los costos de los materiales) en el Instituto del Café, abunda entre los 1000 dólares y 2000 dólares. Esto es bueno, ya que el proyecto no requiere de una cifra tan elevada que los personales de industrialización propusieron para invertir en el proyecto. Más bien, el proyecto constará entre unos 150 dólares o 200 dólares.

4.3 Requerimientos del proyecto

Mediante la encuesta previamente realizada y por medio de reuniones, se procede a analizar de manera cuidadosa la información recopilada y se realiza la siguiente tabla con los aspectos solicitados.

Tabla 3. Lista de chequeo de las características del prototipo

Criterio	Descripción	Cumplimiento
1	Lectura de datos del medidor	
2	Comunicación eficaz entre el Arduino UNO y Raspberry Pi	
3	Operaciones matemáticas realizadas en el Raspberry Pi	
4	Monitoreo en tiempo real de manera inalámbrica	
5	Exportación de datos hacia la base de datos	
6	Graficación de datos	
7	Tabla de datos	
8	Emulación del medidor	
9	Visualización del tiempo actual	
10	Sistema de notificaciones	

Fuente: elaboración propia (2019).

CAPÍTULO 5. PROPUESTA DEL PROYECTO

5.1. Diseño

A continuación, se muestra un diagrama de bloques en el cual se incluyen los componentes de hardware y software que integran el diseño del proyecto.

Se muestra además cómo se relacionan entre ellos para lograr el objetivo de realizar las lecturas del caudalímetro para luego almacenar lecturas y cálculos en una base de datos en el Instituto del Café.

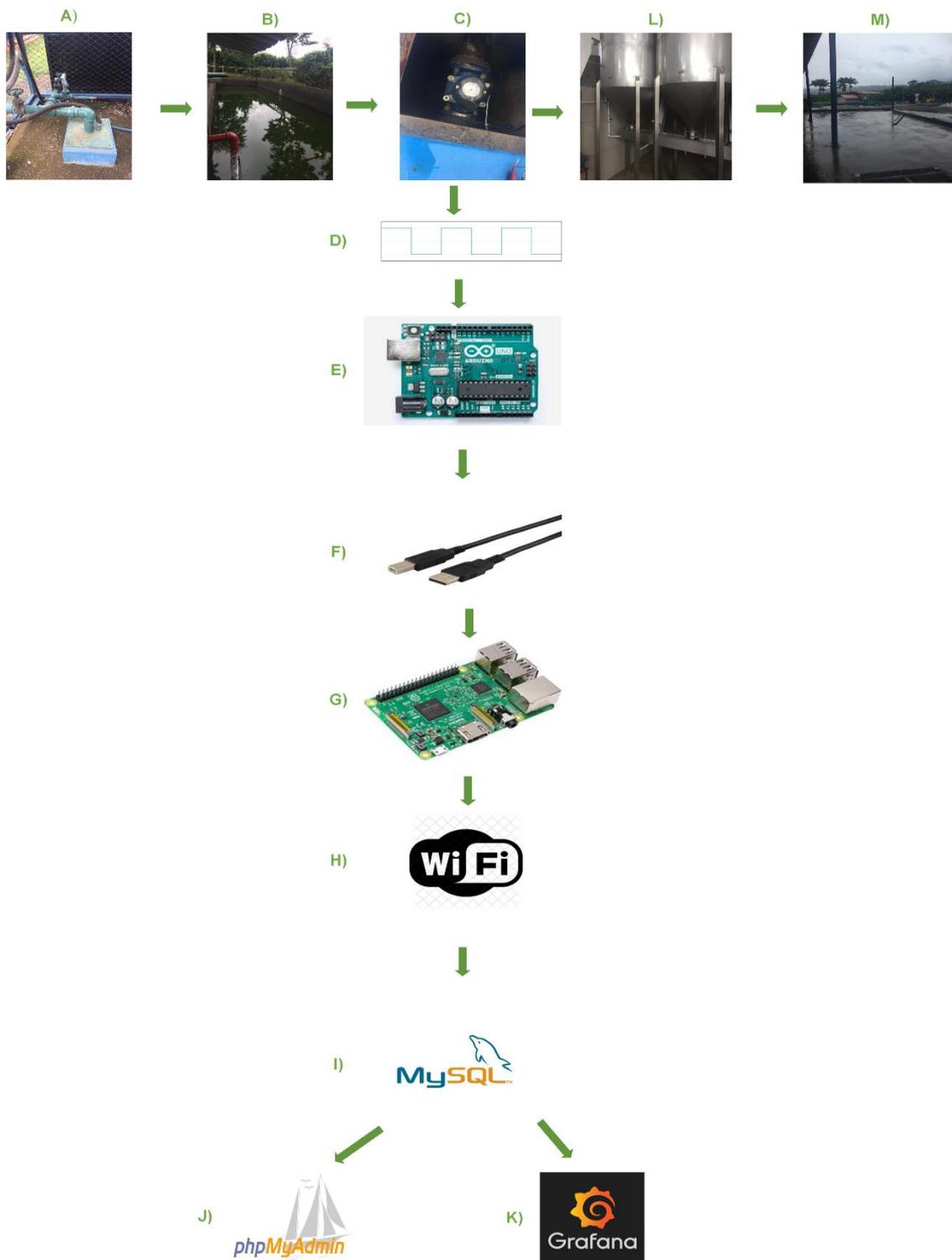


Figura 19. Diagrama del diseño del proyecto

Fuente: elaboración propia (2019).

La imagen “A” es en donde se obtiene el agua del Instituto del Café. En ese pequeño cuarto es en donde se substraer el agua de la tierra para luego ser dirigida

hacia el pozo, que en dado caso sería la imagen “B”. En el pozo se encuentra un sistema para bombear el agua para luego ser dirigida hacia la tubería global, donde ahí mismo se encuentra el medidor con el que se va a trabajar, en este caso sería la imagen “C”.

Luego de que el agua fluya por medio de la tubería global, esta se dirige hacia el beneficiado del café y esta se distribuye en diferentes tuberías. En la imagen “L” se observa una salida de la tubería global. El agua que pasa por aquí se utiliza para realizar el lavado del café por medio de las máquinas. Luego el agua que sale de ahí se dirige hacia la pequeña cabina que se observa en la imagen “M”.

La cabina que se aprecia en la imagen “M” es en donde llega el agua que se utilizó en el beneficiado del café. Aquí mismo también se bombea el agua para luego ser distribuida hacia la tierra o el pasto que la rodea.

Retornando a la imagen “C”, el medidor trabaja con un sistema de interruptor, es decir, cuando la aguja del medidor llegue a un cierto número, este activa el interruptor para enviar un pulso por medio de un circuito diseñando, como se observa en la imagen “D”. El circuito se encargará de enviar las señales de pulsos hacia el Arduino UNO. El Arduino UNO se encargará en realizar la lectura de pulsos emitidas por el circuito.

Una vez realizada la lectura de pulsos que provienen del circuito, este transferirá los datos por medio de conexión USB, hacia el Raspberry Pi para que el Raspberry Pi se encargue de realizar múltiples tareas.

Cuando el Raspberry Pi tenga los datos brindados por el Arduino, luego el Raspberry Pi se encargará de enviar los datos hacia la base de datos conocida como MySQL. Luego, una vez obtenidos los datos en la base de datos, estos se podrán

observar por medio, por medio de wifi, en una aplicación web conocida como Grafana para apreciar dichos datos.

En PhpMyAdmin se podrán exportar los datos obtenidos en MySQL en diferentes formatos; Excel, pdf, Json, etc.

5.1.1 Arduino

A continuación, se muestra una tabla comparativa de Arduino y se explica brevemente por qué se seleccionó el modelo de Arduino UNO.

Tabla 4. Comparación de modelos de Arduino

Modelos	Arduino Nano	Arduino UNO	Arduino Mega
Voltaje de operación	5V	5V	5V
Voltaje de entrada	7-12V	7-12V	7-12V
Entradas digitales	14	14	54
RAM	1KB	2KB	8KB
Entradas analógicas	8	6	16
Velocidad de reloj	16MHz	16MHz	16MHz
Memoria flash	16KB	32KB	256KB
Procesador	ATMega328	ATMega328	ATmega328
Precio	12\$	22.95\$	41.95\$

Fuente: elaboración propia (2019).

Como se observa en la tabla 4, el modelo más económico es el Arduino Nano, pero al momento de realizar una serie de pruebas, no es capaz de ejecutar el programa y encender el display LCD, porque no puede ejecutar varias tareas a la vez. Por otra parte, está el Arduino mega, es el que posee el precio más elevado pese a que suele ser un microcontrolador de gran espacio, por lo cual se descartó.

Al final se seleccionó el Arduino UNO, por su comodidad de trabajar, porque es un microcontrolador compacto, por ser capaz de ejecutar tareas simultáneamente y debido a que su precio es accesible.

5.1.2. Raspberry Pi

Tabla 5. Comparación de modelos de Raspberry Pi

Modelos	Raspberry Pi Zero W	Raspberry Pi 3 B+	Raspberry Pi 4
Procesador	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2837B0	ARM Cortex-A72
RAM	512MB	1GB	1GB/2GB/4GB
Wifi	Sí	Sí	Sí
Bluetooth	Sí	Sí	Sí
Ethernet	No	Sí	Sí
Puertos USB	1	4 (USB 2.0)	4 (2 USB 3.0 y 2 USB 2.0)
HDMI	Sí (requiere adaptador)	Sí	Sí
Velocidad del reloj	1GHz	1GHz	1.5GHz
Precio	26\$	35\$	99\$

Fuente: elaboración propia (2019).

Como se observa en la tabla 5 comparativa anterior, el modelo más económico es el Raspberry Pi Zero W. Al principio se utilizó este modelo para realizar las pruebas, pero no es capaz de ejecutar 2 programas a la vez, que en este caso sería la lectura de datos del Arduino y la exportación de los datos hacia la base de datos. Todo eso se dio debido a su poca memoria RAM que posee.

El modelo Raspberry Pi 4 no se tomó en cuenta debido a su elevado precio, además, las primeras versiones que salen al mercado suelen ser defectuosas y eso podría ser un problema grave en el Instituto del Café, ya que, si dicho dispositivo viene defectuoso, no será capaz de efectuar las operaciones establecidas para la exportación de datos hacia la base de datos.

El modelo elegido es el Raspberry Pi 3 B+. Este modelo es capaz de efectuar varias operaciones a la vez; es capaz de realizar la lectura de datos del Arduino y exportar los datos leídos del Arduino hacia la base de datos. También es capaz de tener

una aplicación web para visualizar los datos de la base de datos sin ningún problema y su costo es bastante económico.

5.1.3. Base de datos

Tabla 6. Comparación de modelos de Raspberry Pi

Base de datos	Influx DB	MySQL	Oracle
Aplicación web	Sí	Sí	Sí
Visualización en su aplicación web	No	Sí	Sí
Open source (código abierto)	Sí	Sí	No
Seguridad	Sí	Sí	Sí
Facilidad para manipulación	Sí	Sí	No
Estabilidad	No	Sí	Sí
Capacidad de almacenar datos	20-30GB	20-30GB	96TB
Precio	0\$	0\$	4000\$-100000\$

Fuente: elaboración propia (2019).

En la tabla 6 se muestra que la base de datos Oracle, es la única base de datos en que hay que pagar una licencia para poder utilizarse y su precio es sumamente elevado. En el caso de la base datos Influx DB es una base de datos totalmente gratuita y fácil de manipular en el Raspberry. El único problema con esta base de datos es que no existe alguna manera de visualizar los datos que uno exporte hacia dicha base de datos.

La base de datos MySQL es la mejor opción para trabajar con el Raspberry. Esta base de datos posee su propia aplicación web conocida como PhpMyAdmin. Con esta se pueden visualizar los datos que uno exporta hacia la base de datos. La base de datos MySQL es totalmente gratuita y fácil de manipular.

5.1.4 Dashboard

Tabla 6. Comparación de aplicaciones web

Aplicaciones web	Grafana	Thingspeak	Datadog
Soporte a bases de datos	Sí	No	Sí
Monitoreo a tiempo real	Sí	Sí	Sí
Amigable para el usuario	Sí	Sí	Sí
Gráficos	Sí	Sí	Sí
Tablas	Sí	No	Sí
Facil de programar	Sí	Sí	Sí
Soporte para Navegadores/Móviles	Sí	No	Sí
Precio	0\$	0\$	15\$ por mes.

Fuente: elaboración propia (2019).

En la tabla 7 se muestran 3 tipos de aplicaciones web más utilizadas hoy en día. Datadog es una buena aplicación web y es bastante completo, el único problema es que es el único que es de pago y al Instituto del Café no les sirve estar pagando mensualmente por una aplicación web que solo se va a utilizar para visualizar la lectura de datos del medidor.

La otra aplicación web es el Thingspeak, esta aplicación web es buena únicamente para visualizar datos en el tiempo actual, ya que, si se quiere volver a visualizar por ejemplo un mes completo de datos obtenidos, es un problema porque no se puede visualizar bien los datos. Una desventaja de esta aplicación web es que únicamente se pueden ver los datos mediante una gráfica, es decir, carece de otros diseños para observar los datos como por ejemplo tablas, dibujos, etc.

La aplicación web de Grafana es el mejor para trabajar, ya que posee diferentes maneras de trabajar. Maneja lo que es la importación de datos de muchas bases de datos, cosa que no posee el Thingspeak pero si el Datadog. Es totalmente gratuito y fácil de trabajar con el Raspberry. Además, posee diferentes interfaces gráficas para observar los datos de la base de datos de MySQL.

5.2. Prototipo

5.2.1. Hardware

5.2.1.1 Conexión del medidor con el circuito Pull-up

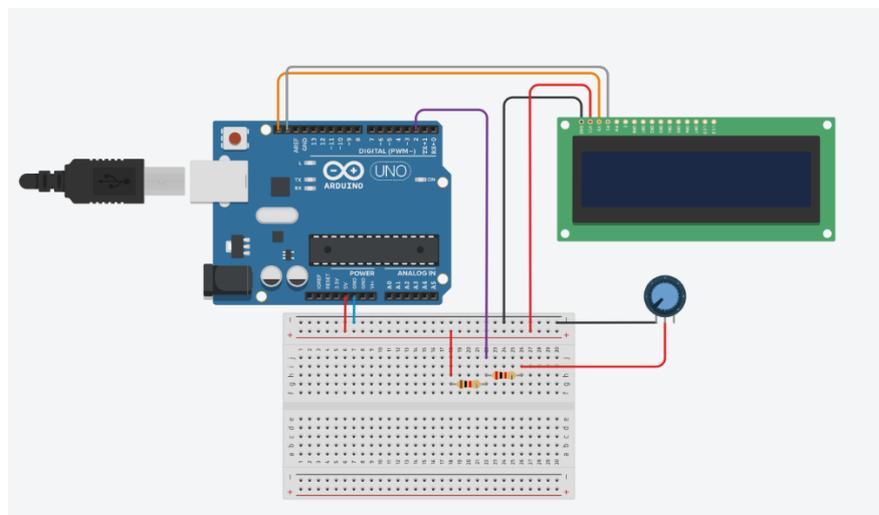


Figura 20. Conexión del medidor de caudal

Fuente: elaboración propia (2019).

En la figura anterior, se observa cómo se realizaron las conexiones de las salidas del sensor que se encuentran en el medidor de caudal. Para empezar, primero se realizaron una serie de pruebas para determinar cómo trabaja dicho sensor que posee el medidor de 4 pulgadas en las afueras de las oficinas de Industrialización de ICAFE. Más adelante se explicará cómo se diseñó dicho circuito.

Cabe destacar, tal como se mencionó anteriormente en el capítulo 2, que el sensor del medidor de caudal es un sensor magnético, es decir, conforme el rotor está girando, este hace que gire un pequeño imán que se encuentra en la parte superior del rotor. Si este imán pasa por el sensor magnético, por medio de los cables negro y rojo, este hace la función de un interruptor. A continuación, se describe cómo se realizaron las mediciones del medidor.

Primero se realizaron varias mediciones de voltaje en los 3 cables que posee dicho sensor y de diferente manera, es decir, rojo con verde, rojo con negro y verde con negro. En la figura 21 se observa de una manera cómo se realizaba dicha medición (en este caso, la medición se realizó entre el cable rojo y el verde del sensor).



Figura 21. Medición del cableado del medidor de caudal

Fuente: elaboración propia (2019).

Luego de realizar dicha medición se determinó que el voltaje que entrega entre el cable rojo y negro, cable verde con negro o rojo con verde, presentaba valores entre los 29.3mV y 32 mV.

Al realizar las pruebas en ohmnios, se determinó que el sensor se comporta como un circuito abierto y cerrado, o bien como un interruptor, es decir, cuando la aguja grande del medidor llega al valor de 1 y hasta el 2, este lo que hace es cerrar el circuito y comportarse como un interruptor. Luego de que la aguja grande pasara después del número 2, el medidor se comporta como un circuito abierto, ya que en el “tester” se observaba valores en mega ohmnios.

Al determinar que el medidor se comporta como un interruptor, se diseñó un circuito pull-up para emitir pulsos cuando se cierre el interruptor. Una vez que se imiten los pulsos, el Arduino UNO se encargará, por medio de una lógica programada, de realizar el conteo de pulsos emitidos por el circuito. En la figura 22 se muestra el diseño del circuito que se implementó en el prototipo.

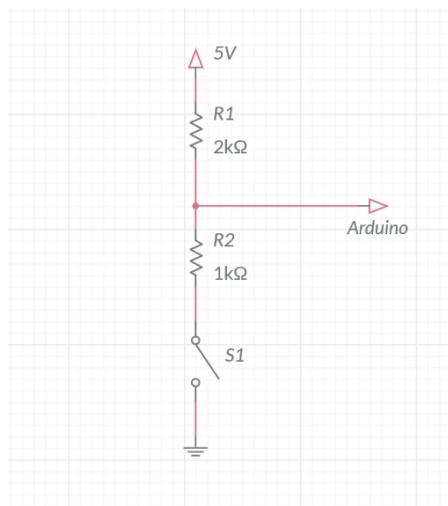


Figura 22. Diseño del circuito implementado en el prototipo

Fuente: elaboración propia (2019).

El funcionamiento de este circuito “pull-up” es bastante simple; cuando el interruptor se cierra, en este caso, cuando el sensor magnético del medidor de caudal se activa, este hace que el circuito se conecte por completo y por medio de

las resistencias R1 y R2, se emite una señal de 5V que recibe el Arduino UNO. En otras palabras, cuando el interruptor se cierra, el circuito estaría emitiendo un pulso para que el Arduino UNO, por medio de la entrada 2, reciba pulso.

Para finalizar, la conexión del display LCD es sumamente sencilla, ya que al ser por medio de I2C, solo requiere hacer conexión del SDA del LCD hacia el SDA del Arduino. La salida SCL se dirige hacia la entrada SCL del Arduino. Respecto a la alimentación, tanto voltaje positivo como negativo, este está siendo alimentado por medio de los 5V que brinda el Arduino y la tierra del Arduino.

5.2.1.2 Conexión del Raspberry con el Arduino

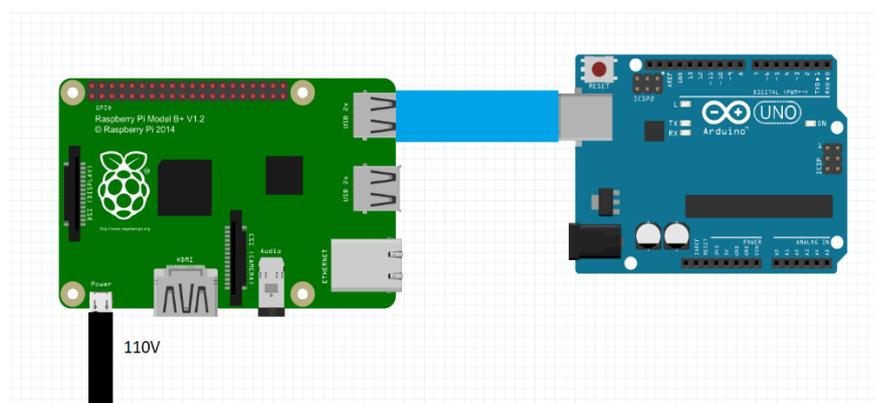


Figura 23. Conexión del Raspberry Pi con el Arduino

Fuente: elaboración propia (2019).

Como se observa en la figura 23, la conexión del Arduino hacia el Raspberry es por medio de USB. Por medio de esa conexión se alimenta el Arduino y transfiere los datos establecidos en la programación hacia el Raspberry por medio de esta misma conexión. El Raspberry se alimenta conectado a un tomacorriente de 110V que se encuentra en las afueras de las oficinas de industrialización.

5.2.2. Software

Para este inciso se demostrará un diagrama de flujo para introducir la lógica de la programación realizada.

5.2.2.1. Lectura de pulsos del medidor de caudal hacia el Arduino

Para empezar con la programación del Arduino ya recibiendo los pulsos del circuito, primero se realizó una instalación del Arduino IDE de la computadora. Una vez instalado el Arduino IDE, se descargaron una serie de librerías útiles que se van a utilizar, luego se procede a realizar un diagrama de flujo que se presenta en la figura 24, para determinar la lógica del funcionamiento del código a crear en el Arduino IDLE.

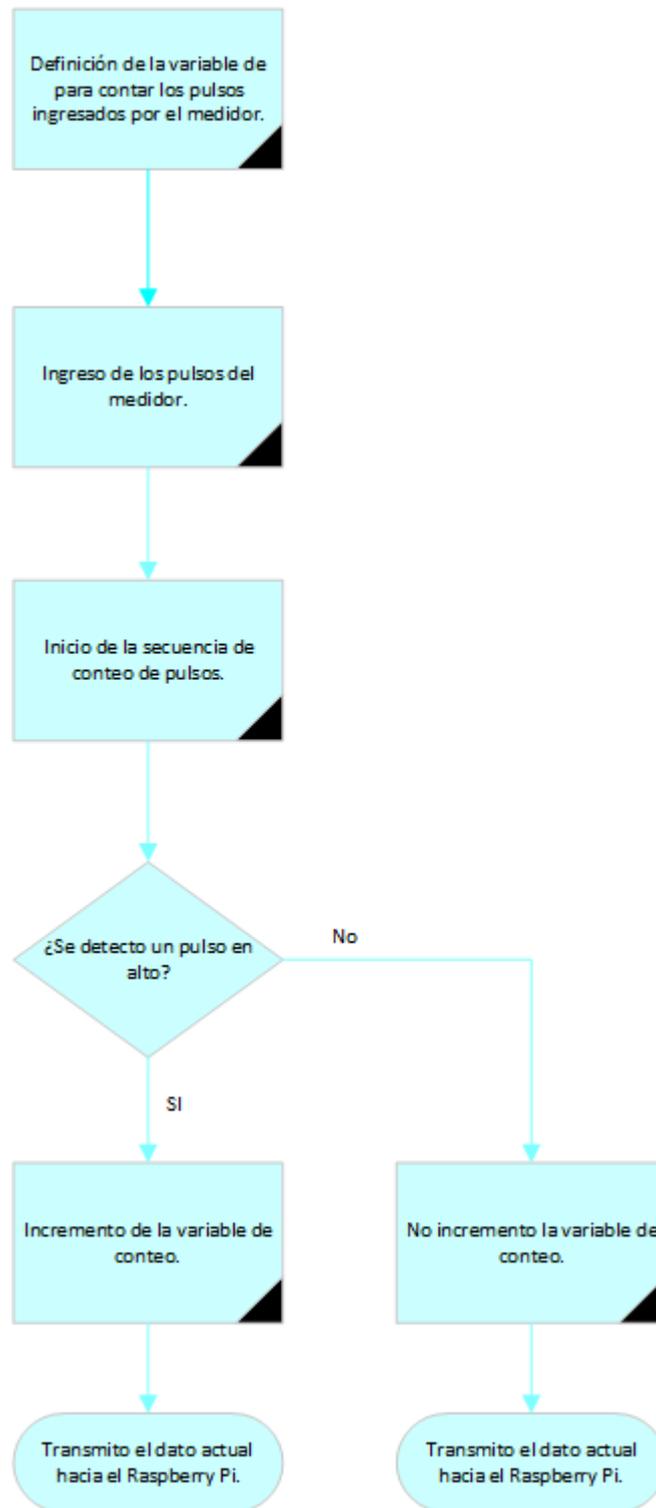


Figura 24. Programación lógica del Arduino

Fuente: elaboración propia (2019).

La lógica del diagrama de flujo consiste en lo siguiente, primero saber si el Arduino está detectando los pulsos ingresados por medio del circuito ya implementado. Una vez hecho eso, por medio de una programación, se crea un programa para rastrear el total de pulsos, que, por medio de conteos, está recibiendo el Arduino. Si el Arduino recibe o no los pulsos, estos datos suministrados en la variable de conteo, serán enviados, por medio del puerto USB, hacia el Raspberry Pi.

Para empezar con la programación, se incluyeron 2 librerías que son que se presentan en la figura 25. El funcionamiento de la librería “Wire.h” es para habilitar la comunicación y la habilitación del I2C, la conexión del SDA y SCL proveniente del I2C del display LCD. La librería “LiquidCrystal_I2C” es para habilitar los comandos para trabajar con el display LCD, es decir, para habilitar el posicionamiento de la escritura o el mensaje que se desea mostrar en el display LCD.

```
1 //Librerias
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <Wire.h>
```

Figura 25. Librerías de Arduino

Fuente: elaboración propia (2019).

Luego de añadir las librerías, se añadieron una serie de variables a trabajar que serían las que se observan en la figura 26. Primero se define la variable “medidoagua” como entrada del pin número 2. Luego la variable “x” es la encargada en leer los datos ingresados hacia la entrada del pin 2, en este caso estaría detectando los pulsos ingresados hacia ese pin. Luego la variable “pulsos”, es una variable utilizada como contador. Cada vez que ingrese un pulso, esta variable estará haciendo incrementos.

Luego la variable “últimoestado” es la variable condicional. Esta variable lo que hace es que cuando el pulso este en alto, esta cambie a un valor numérico, ya que

dependiendo del valor numérico se ejecuta una condición que se explicara más adelante. La variable “metroscub” es una variable que define una operación, esta operación es la encargada en determinar los metros cúbicos por medio de la variable “pulsos”.

La última variable “a” es la condicional para no permitir que el contador trabaje si el medidor ya se encuentra en un pulso alto sin haber pasado por un pulso bajo. Con esta variable, se omite el conteo instantáneo.

```
9 #define MedidorAgua 2
10 int x = 0;
11 int Pulsos = 0;
12 int UltimoEstado=0;
13 float MetrosCub = 0;
14 int a = 0;
```

Figura 26. Variables de Arduino

Fuente: elaboración propia (2019).

En la figura 27 se observa la lógica programable.

```

27  lcd.setCursor(0,0);
28  lcd.print("    ICAFE");
29  x=digitalRead(MedidorAgua);
30
31  if (a==0){
32      Pulsos=0;
33      UltimoEstado=1;
34      a=1;
35      delay(100);
36  }
37
38  //Configuracion Booleana.
39  if(UltimoEstado==0){
40      if(x==HIGH){
41          Pulsos++;
42          delay(100);
43          UltimoEstado=1;
44      }
45  }
46  if(UltimoEstado==1){
47      if(x==LOW){
48          UltimoEstado=0;
49          delay(100);
50      }

```

Figura 27. Lógica del código Arduino

Fuente: elaboración propia (2019).

Como bien se observa en la línea 29 de la figura anterior, ya la variable “x” está siendo asignada como lectura digital, esto quiere decir que se encargará de leer los pulsos que ingresan en el pin 2 del Arduino. Luego vienen una serie de condiciones. La condición de la línea 31 es la encargada en omitir el conteo cuando el programa inicie y el pin numero 2 esté emitiendo el pulso en alto el medidor.

Con esta condición se previene el error de realizar un conteo en falso. En la condición de la línea 39, quiere decir que cuando la variable encargada en determinar el último estado del pulso detectado (“últimoestado”), si el estado es igual a 0, y si la variable “x” detecta un pulso, este incrementará el conteo de la variable “pulsos” y

automáticamente “últimoestado” cambia de valor para prevenir que la variable “pulsos” siga incrementando, ya que el pulso emitido, suele durar bastante en alto.

La última condición que es en la línea 46, es viceversa a la condición de la línea 39. En esta, si la variable “últimoestado” se encuentra en 1 y cuando el pulso esté en bajo, este cambiará el valor de la variable “últimoestado” a 0, para poder iniciar el conteo nuevamente cuando el pulso se encuentre en alto.

La figura 28 es el código que se encarga en realizar la operación de convertir los pulsos ingresados en caudal. También incluye el comando para enviar datos a través del puerto serial. La variable “metrosCub” se define como “pulsos” multiplicado por 0.1. Este 0.1 es el dato cuando inicia un ciclo de la aguja mayor que posee el medidor de caudal, o bien, cada vez que incrementa en uno, la aguja pequeña del medidor de caudal. Dichas agujas se observan en la figura 29.

El comando utilizado para enviar los datos hacia el Raspberry Pi es el “serial.println()”. También, mediante esta variable se podrán observar los datos al momento de ejecutar el Arduino IDLE, tal como se aprecia en la figura 30. Este uso solo se podrá utilizar para verificar si el medidor está funcionando de manera adecuada.

```
52 | MetrosCub = Pulsos * 0.1;  
53 | Serial.println(MetrosCub);
```

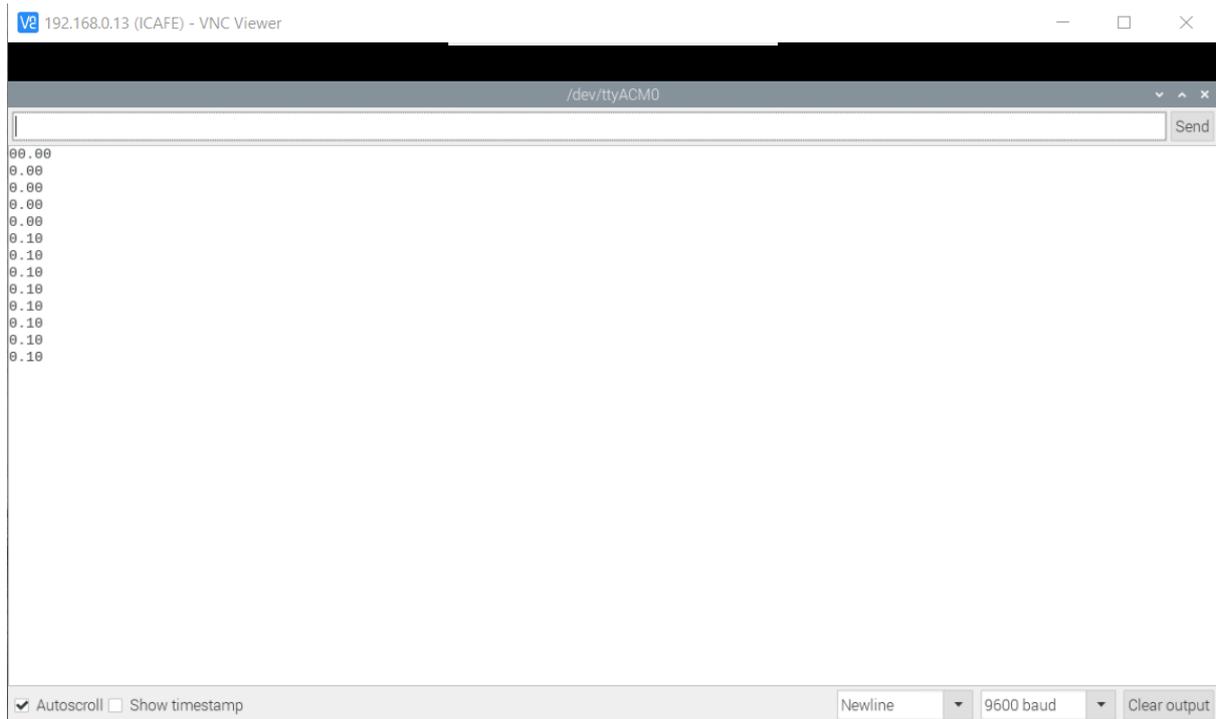
Figura 28. Exportación de datos hacia el Raspberry Pi

Fuente: elaboración propia (2019).



Figura 29. Agujas del medidor

Fuente: elaboración propia (2019).



```
00.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.10
0.10
0.10
0.10
0.10
0.10
0.10
0.10
0.10
0.10
```

Figura 30. Datos observados en el Arduino IDLE del Raspberry Pi

Fuente: elaboración propia (2019).

5.2.2.2. Librerías del Raspberry

```
1 import mysql.connector
2 import time
3 import datetime
4 import serial
5 import sqlite3
6 import smtplib
```

Figura 31. Librerías de Raspberry

Fuente: elaboración propia (2019).

En esta sección se explicará con detalle cada librería utilizada en el Raspberry Pi. La librería “mysql.connector” es la encargada en hacer un llamado a una serie de funciones para iniciar sesión en la base de datos MySQL que se desea trabajar dentro del Raspberry Pi. También, con esta función se cerrará la sesión con la base de datos a trabajar una vez ya finalizado el programa.

La librería “time” consiste en importar el tiempo actual (horas, minutos y segundos) con el que se encuentra configurado el Raspberry Pi. Esta librería también puede ser utilizada para realizar una serie de retardos para prevenir que el programa ejecute de manera rápida las líneas de programación y así evitar errores al momento de que el código esté trabajando.

La librería “datetime” consiste en hacer un llamado a la fecha actual en la que se encuentra el Raspberry Pi. Esta función es utilizada en el programa para enviar la fecha exacta en que se realizó la lectura del Arduino UNO y también, en la fecha exacta en que se exportaron los datos hacia la base de datos.

La librería “serial” consiste en activar, mediante una variable definida con una función, un llamado a la lectura de lo que se encuentre conectado al puerto serial o

bien el USB del Raspberry Pi. En este caso estaría leyendo datos que está brindando el Arduino UNO.

La librería “sqlite3” consiste en determinar, mediante una variable definida por una función, qué datos se van a exportar o importar hacia la base de datos, es decir, los datos deseados a exportar o importar a la base de datos en la columna específica ya diseñada para tal efecto.

La librería “smtplib” consiste en activar el SMTP para realizar el envío de notificaciones desde el Raspberry hacia un correo electrónico mediante una serie de instrucciones diseñadas en el proyecto.

5.2.2.3. Conexión del Raspberry con la base de datos

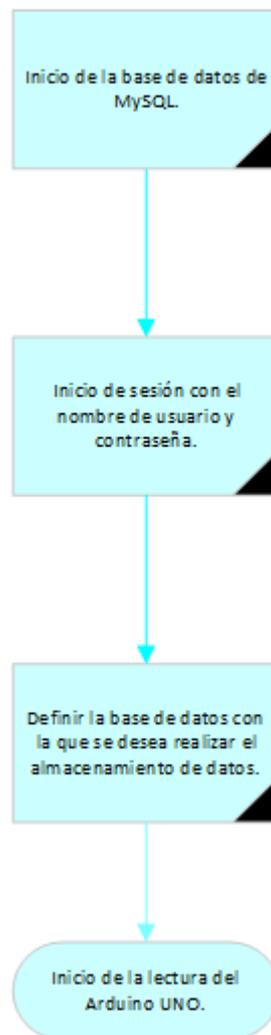


Figura 32. Diagrama de flujo con la conexión de la base de datos

Fuente: elaboración propia (2019).

El diagrama de flujo de la figura 32 consiste en realizar primero la conexión adecuada con la base de datos MySQL por medio del Raspberry Pi. Luego de realizar la conexión con la base de datos, iniciar la sesión con el usuario que se desea trabajar, en este caso solo requerirá nombre de usuario y contraseña. Una vez iniciada la sesión del usuario, se selecciona la base de datos que se desea trabajar. Finalmente, procede a realizar la lectura de datos del Arduino UNO.

En la figura 33 se observa el código encargado en realizar la conexión con la base de datos MySQL. La variable “Caudal” definida con el módulo “mysql.connector.connect()”. El módulo “mysql.connector.connect()” consiste en establecer, mediante usuario, contraseña, host y el nombre de la base de datos, todo dentro paréntesis, la conexión adecuada con la base de datos.

```
19 #Conexion con la base de datos MySQL
20 print("Iniciando la conexion con la base de datos...")
21 Caudal=mysql.connector.connect(user='ICAFE',
22                               password='2251',
23                               host='localhost',
24                               database='Medidor_Caudal')
25 cursor = Caudal.cursor()
```

Figura 33. Código para realizar la conexión con la base de datos MySQL

Fuente: elaboración propia (2019).

En este caso, el usuario definido es ICAFE, y el host sería el localhost del Raspberry Pi. La base de datos con la que se va a trabajar sería la que aparece en la figura, que sería “Medidor_Caudal”.

La variable “cursor” es definida como “Caudal.cursor()”. El módulo “Caudal.cursor()”, consiste en realizar múltiples tareas mientras se utiliza la base de datos en el programa, como lo es la lectura de datos con el Arduino UNO o bien los datos a calcular con la lectura de datos del Arduino.

Una vez establecida la conexión de manera adecuada con los módulos “mysql.connector.connector()” y la función “.cursor()” para permitir realizar múltiples tareas, a continuación se realiza la lectura de datos mediante el puerto USB del Raspberry Pi.

5.2.2.4. Lectura del Arduino mediante el puerto serial del Raspberry Pi

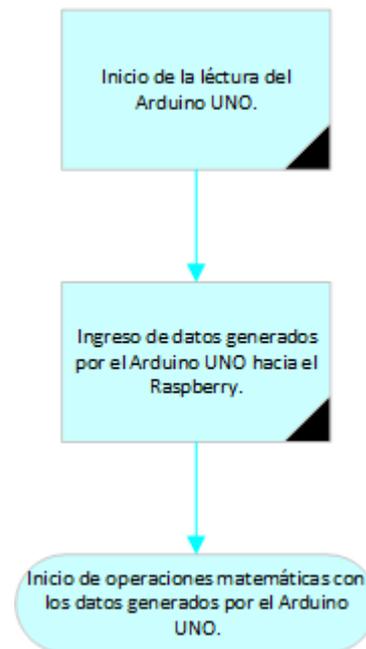


Figura 34. Diagrama de la lectura del Arduino en el Raspberry Pi

Fuente: elaboración propia (2019).

En la figura 34 se observa un pequeño resumen en la lógica programable a realizar con el Raspberry Pi. Al diseñar el programa de Arduino para la lectura de datos del circuito que se encuentra conectado con el medidor de caudal, como se mencionó anteriormente, este será alimentado y conectado hacia el Raspberry Pi para transmitir los datos de la lectura realizada por el medidor, mediante un código de programación, el Raspberry Pi realizará una lectura de datos del Arduino UNO.

En la figura 35 se observa el código con el que se realizó la lectura de datos del Arduino UNO. Primero, como se mencionó anteriormente, se agrega la librería conocida como “serial” para poder realizar la lectura de datos mediante el puerto serial; o bien, el USB del Raspberry Pi. Luego la variable “ser” se define como serial. `Serial('/dev/ttyACM0',9600)` para hacer el llamado, mediante la función “serial.Serial()” a los datos que está leyendo el Arduino UNO.

Dentro del paréntesis del módulo, se establece la ejecución del código del Arduino IDLE ya instalado en el Raspberry Pi. El código para ejecutar es que ya se encuentra programado dentro del Arduino UNO y después de esto, se realiza la lectura de datos.

```
99 #Ejecucion del programa de Arduino
100 print("Iniciando el programa de Arduino...")
101 ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0',9600)
```

Figura 35. Código para la lectura de datos del Arduino UNO

Fuente: elaboración propia (2019).

Una vez realizada la lectura de datos del Arduino UNO dentro del Raspberry Pi, el sistema procede a realizar los cálculos deseados mediante una serie de operaciones matemáticas diseñadas en el Raspberry Pi.

5.2.2.5. Cálculo de variables en el Raspberry

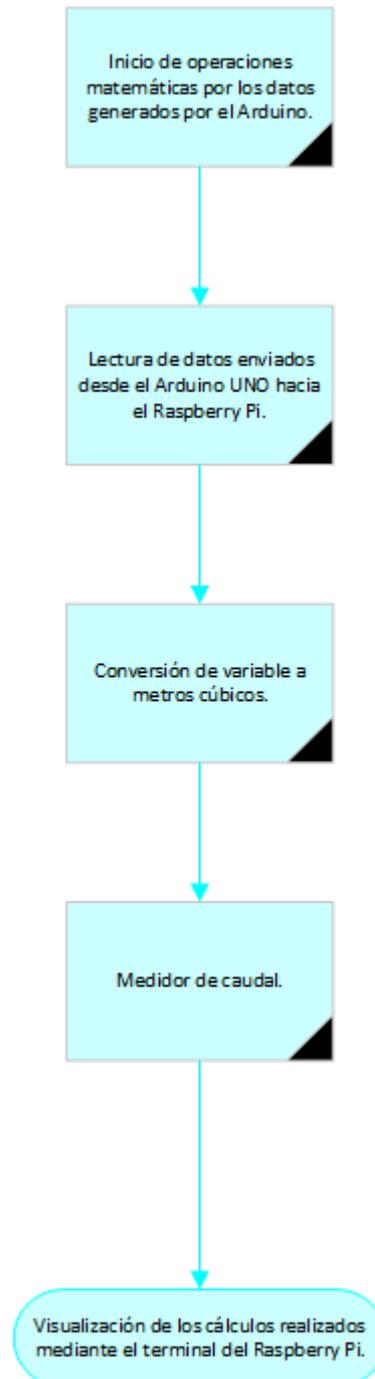


Figura 36. Cálculo de variables en el Raspberry Pi

Fuente: elaboración propia (2019).

En la figura 36 se observan los pasos a seguir para realizar las operaciones matemáticas deseadas, donde luego de haber realizado dichas operaciones, los

datos obtenidos son exportados hacia la base de datos MySQL del Raspberry Pi y se mostrarán los datos mediante la ventana de comandos. Ahí mismo también se podrán observar otros datos como el segundo, minuto, hora, día, mes y año en el que se están realizando la lectura del Arduino UNO.

```

110 try:
111     while True:
112         ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0',9600)
113         Dato = ser.readline()
114         Pulsos = Dato
115         Litros = float(Pulsos) * 1000
116         tstamp = datetime.datetime.fromtimestamp(time.time()).strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')
117         Calculo = float(Litros)/60
118         MetrosCubicos= float(Pulsos)

```

Figura 37. Variables asignadas para las operaciones matemáticas

Fuente: elaboración propia (2019).

En la figura 37 se observan las variables que se utilizaron para definir las operaciones matemáticas. Primero se incluyó la variable “try” que su definición en Python es hacer que se ejecute un bucle de manera infinita, seguidamente por un “while true”. Luego, en la línea 112 se vuelve a definir la variable “ser”, como se definió anteriormente.

Si no se incluye la variable “ser” dentro del bucle, el valor del dato que esté brindando el Arduino UNO va a ser el mismo sin que esté variando, esto es debido a que no se encuentra dentro del bucle para que se actualice de manera constante. Luego se define la variable “dato” como la variable “ser.readline()”. El módulo de esta variable es la encargada en definir los datos que estén ingresando dentro del puerto serial.

Luego, la variable “pulsos” es definida como “dato”, esto es para prevenir errores al momento en que se utilice la variable “dato” en alguna operación matemática, ya

que la variable “dato”, al realizar la lectura de datos del Arduino UNO, puede ingresar datos como string (letras) e int (números enteros), o bien varchar (letras con números mezcladas). En dado caso, la variable a ser manipulada para realizar las operaciones es la de “pulsos”.

Una vez definida la variable “Pulsos”, se define la variable “Litros”. La variable “Litros” se define según la variable “Pulsos” como flotante; esto es para obtener resultados en decimales, entonces el sistema multiplicará el dato “Pulsos” por 1000 para obtener el valor en metros cúbicos la variable “Litros”. La variable “Cálculo” es la variable encargada de obtener el caudal, que en este caso serían “Litros” dividido entre 60, asumiendo que el número 60 son segundos.

La variable “MetrosCubicos” consiste en convertir la variable “Pulsos” en una variable flotante, ya que si se tomaban en cuenta la variable “Dato”, la base de datos tenía un problema al momento de implementar el dato en la tabla ya que lo reconocía como un carácter y no un valor flotante.

La variable “tstamp” es la encargada de hacer un llamado, mediante el módulo “datetime.datetime.frontimestamp()” a la fecha actual en que se encuentra el Raspberry Pi ejecutando la aplicación. Las variables “Y%, %m, %d, %H, %M, %S” se definen como año, mes, día, hora, minuto y segundo.

Una vez obtenidos los resultados de los cálculos deseados, se mostrarán mediante el terminal del Raspberry Pi, los datos obtenidos y la hora, y fecha en el momento en que se realizaron dichos cálculos. En la figura 40 se puede ver cómo es el terminal del Raspberry Pi.

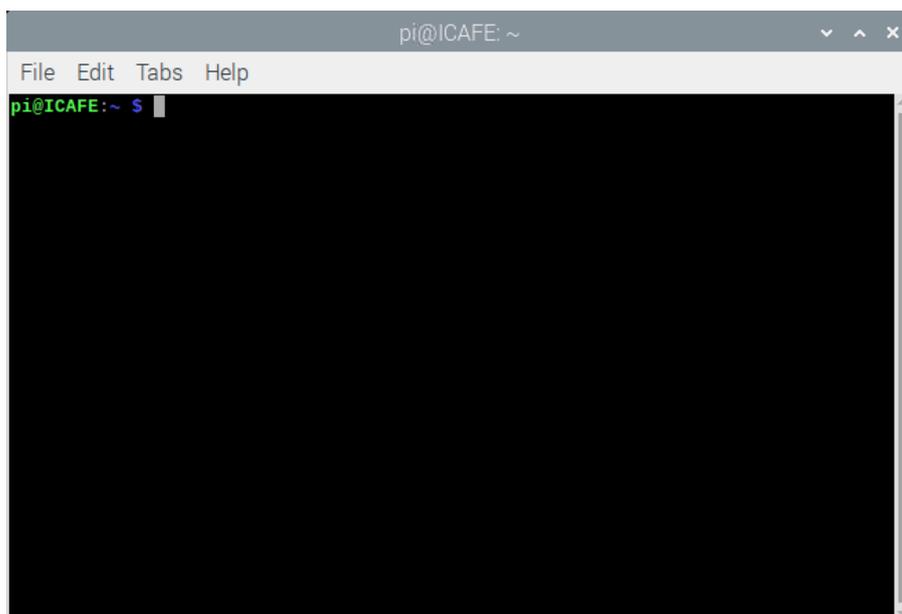


Figura 38. Observación de datos mediante el terminal

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, los datos obtenidos serán exportados hacia la base de datos mediante una condición. Esto se explicará en el siguiente inciso.

5.2.2.6 Exportación de datos hacia la base de datos

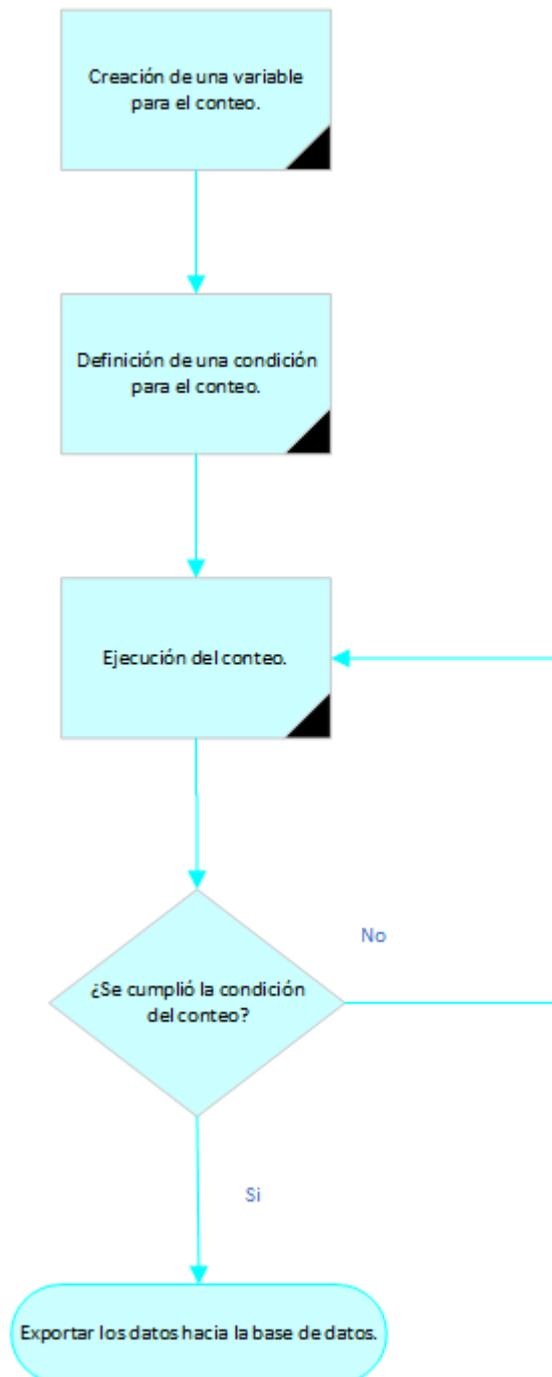


Figura 39. Diagrama de flujo para enviar datos hacia la base de datos

Fuente: elaboración propia (2019).

El diagrama de flujo de la figura 39, explica con resumen la lógica que se deseó establecer para enviar los datos exportados por el Arduino UNO hacia la base de

datos por medio del Raspberry Pi. Para empezar, se creó una variable de conteo que en este caso sería “Segundos”. En el capítulo 4, se establecieron las condiciones deseadas para actualizar la base de datos, el personal optó por actualizar la base de datos cada hora, cuando se esté ejecutando el programa.

Entonces, para hacer que se exporten los datos hacia la base de datos, se creó una variable que contaría los segundos, es decir, cada vez que se cumple un ciclo en el bucle del “try, while true” esta variable va a ir incrementando en uno en uno. Luego, cuando dicha variable llegue a 3600 (en este caso serían 3600 segundos que equivalen a una hora), por medio de un código, se exportarán los datos ya obtenidos desde el Arduino UNO.

Si la variable de conteo aún no llega a los 3600 segundos, no se exportan datos hacia la base de datos, pero de igual forma el Raspberry Pi estará realizando los cálculos adecuados; para cuando dicha variable condicional llegue a los 3600 segundos, esta hará que se cumpla la condición para exportar los datos actuales. Una vez cumplidos los 3600 segundos, esta variable de conteo se reiniciará para volver a exportar los datos hasta que pase la siguiente hora.

En la figura 42 se observan una variable y 2 módulos. La variable “Sql” es la variable encargada en especificar hacia cuál base de datos y tabla se desea ingresar los datos ya definidos o calculados. Para esto se utilizarán únicamente 2 variables que se encuentran en el lenguaje de programación SQL, que serían “INSERT INTO”, que este variable se basa en que base de datos se quiere trabajar y la tabla que se desea manipular, y la variable “VALUES” que consiste en los valores que se quieren ingresar a la tabla de la base de datos ya seleccionada.

```
32     sql=("INSERT INTO Caudalimetro(Tiempo, Metros_Cubicos, Caudal)
33         VALUES ('"+tstamp+"', '"+MetrosCubicos+"', '"+Calculo+"')")
34     cursor.execute(sql)
35     Caudal.commit()
```

Figura 40. Código para insertar valores a la tabla de la base de datos

Fuente: elaboración propia (2019).

Una vez definidas la base de datos y las tablas que se desea ingresar a la base de datos, se procede a utilizar el módulo “cursor.execute(sql)” que consiste en ejecutar las órdenes de la variable “sql”. Finalmente, se utiliza la función “Caudal.commit()” que consiste en notificar si se ejecutó la variable de manera correcta.

Una vez transferidos los datos hacia la base de datos, mediante el uso de la aplicación web de Grafana, se observan los datos del medidor por medio de una tabla, un dibujo que se trata como si fuera un caudalímetro virtual, una gráfica y la fecha actual. También se podrán visualizar los datos o en este caso exportar los datos en formato de Excel, PDF o bien en CSV, en la aplicación web PhpMyAdmin.

5.2.2.7 Notificación por medio de correo electrónico

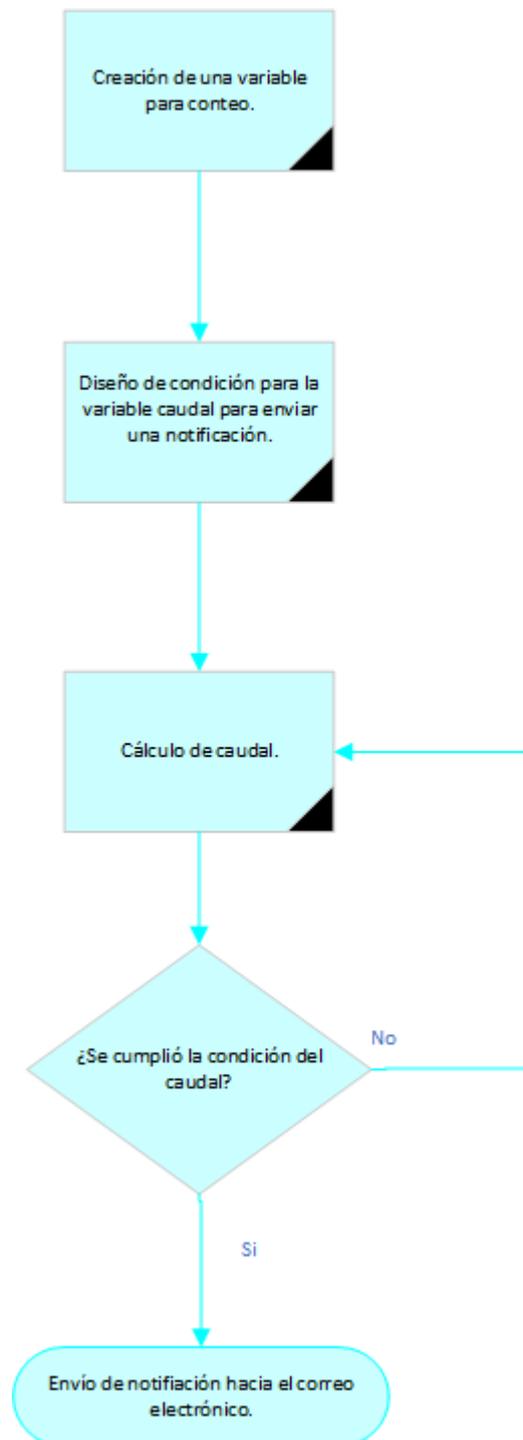


Figura 41. Diagrama de flujo para el envío de notificaciones

Fuente: elaboración propia (2019).

En la figura 41 se observa la lógica programable con la que se diseñó el sistema de notificaciones por medio de SMTP. Primero, se definió la variable “MetrosCúbicos” para realizar los cálculos necesarios del caudal, luego se diseñó una condición para solicitar el envío de la notificación hacia el correo electrónico. Luego se creó un correo electrónico de Gmail para el Raspberry Pi para ser el emisor de las notificaciones.

Una vez creado el correo electrónico, se procede a realizar la condición para realizar el envío de notificación hacia el correo electrónico. La condición establecida es la siguiente: si el valor de la variable “metroscúbicos” es igual al valor de la condición establecida, se ejecutará, mediante una función el envío de notificaciones hacia el correo electrónico definido en el código. A continuación, se explicará el uso de cada variable o función desarrollada dentro de la función de notificaciones.

En la figura 42 se observa el código en cargado en realizar el envío de notificaciones. La condición se encuentra en la línea, en este caso, si dicha variable “metroscúbicos” es mayor que 30, se ejecutará lo que se encuentra dentro de la condición. Primero se define la variable “server” como “stmplib.SMTP(smtp.gmail.com, 587)” como el servidor con el que se desea trabajar, en este caso es el gmail y el número 587 es el SSL de gmail.

```

131         if (float(MetrosCubicos)>30):
132             print('Iniciando conexion con el servidor de Gmail')
133             time.sleep(1)
134             server = smtplib.SMTP('smtp.gmail.com', 587)
135             server.starttls()
136             server.login("raspyemail26@gmail.com", "Gabob1457")
137             print('La conexion con el servidor se realizo de manera exitosa!')
138             time.sleep(1)
139             msg=('Se ha sobrepasado el limite de litro establecido.')
140             server.sendmail("raspyemail26@gmail.com", "rolochaconaraya@gmail.com",msg)
141             server.quit()
142             Base_Datos2()

```

Figura 42. Código para enviar notificaciones al correo electrónico

Fuente: elaboración propia (2019).

El módulo “smtplib.SMTP()” consiste en iniciar el servidor que se desea trabajar dentro del Raspberry Pi. Luego, el módulo “starttls()” consiste en establecer la seguridad para realizar el envío de datos hacia el correo electrónico del usuario que se desea enviar la notificación.

El módulo “login ()” se basa en realizar un inicio de sesión. En este inicio de sesión se requiere el correo electrónico con el cual se van a emitir las notificaciones y la contraseña de dicho correo.

La variable “msg” es el mensaje que se mostrará cuando se realice el envío de notificaciones hacia el correo electrónico. El módulo “sendmail()” consiste en realizar el envío de notificación. Para usar de manera adecuada el módulo, primero se establece el emisor (el correo que se encargará de realizar el envío de motivación), el receptor (el correo que recibirá la notificación) y, por último, el mensaje que incluya la notificación, en este caso sería la variable “msg”.

Por último, se utiliza el módulo “quit()” para cerrar la sesión con el SMTP. En la figura se observa la notificación enviada a través del correo electrónico establecido en el Raspberry Pi. En la figura 43 se observa como muestra la notificación que

ingresa al correo electrónico del receptor, es como un mensaje normal que proviene de un correo electrónico.

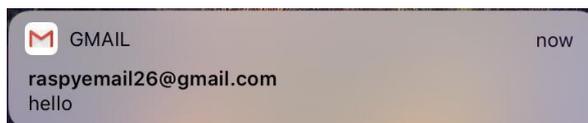


Figura 43. Notificación enviada desde el Raspberry Pi

Fuente: elaboración propia (2019).

5.2.2.8 Visualización de datos mediante Grafana y PhpMyAdmin

En este inciso se detalla cómo se instalaron ambas aplicaciones web, tanto el Grafana como el PhpMyAdmin en el Raspberry Pi. También se detalla cómo funciona la aplicación web de Grafana y cómo también importa los datos de la base de datos MySQL hacia alguna dashboard; del mismo modo, se mencionarán los “widgets” conocidos como interfaces, que se pueden agregar dentro de la misma Grafana.

Para utilizar la aplicación web PhpMyAdmin, es necesario tener instalada la base de datos de MySQL dentro del Raspberry Pi. Una vez teniendo instalada la base de datos MySQL, se procede a utilizar el PhpMyAdmin. PhpMyAdmin es simplemente una aplicación web donde se pueden alterar los valores de la base de datos de MySQL.

También, dentro de esta misma aplicación web, se podrán agregar bases de datos, columnas, datos a las columnas de manera más sencilla que programarlas en el Raspberry Pi. Con esta misma aplicación web también se podrán exportar los datos en otros formatos, como se mencionó anteriormente. También se podrán borrar los datos almacenados si el usuario lo desea.

Para ingresar a la aplicación web, se requieren 3 cosas que son: la dirección IP con el cual se encuentra conectado el Raspberry Pi con “/phpmyadmin”, un usuario y una contraseña para ingresar a dicha base de datos. En la figura 44 se observa cómo es el la interfaz gráfica para iniciar sesión. En la figura 45 se observa cómo es el menú principal de Phpmyadmin y en la figura 46 se observa la interfaz gráfica como es la interfaz para exportar la tabla en un formato deseado (PDF, CSV, Word, etc...).



The image shows the phpMyAdmin login page. At the top, there is a logo for phpMyAdmin featuring a sailboat. Below the logo, the text "Bienvenido a phpMyAdmin" is displayed. The page contains two main sections: a language selection dropdown menu labeled "Idioma - Language" with "Español - Spanish" selected, and a login section labeled "Iniciar sesión" with a help icon. The login section includes input fields for "Usuario:" and "Contraseña:", and a "Continuar" button at the bottom right.

Figura 44. Inicio de Phpmyadmin

Fuente: elaboración propia (2019).

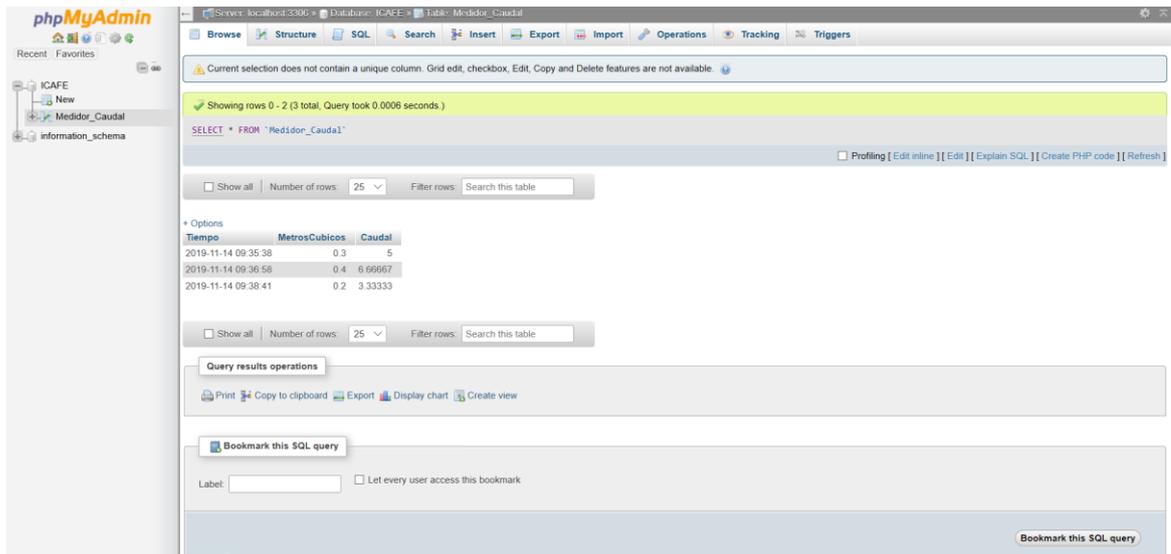


Figura 45. Menú de Phpmyadmin

Fuente: elaboración propia (2019).

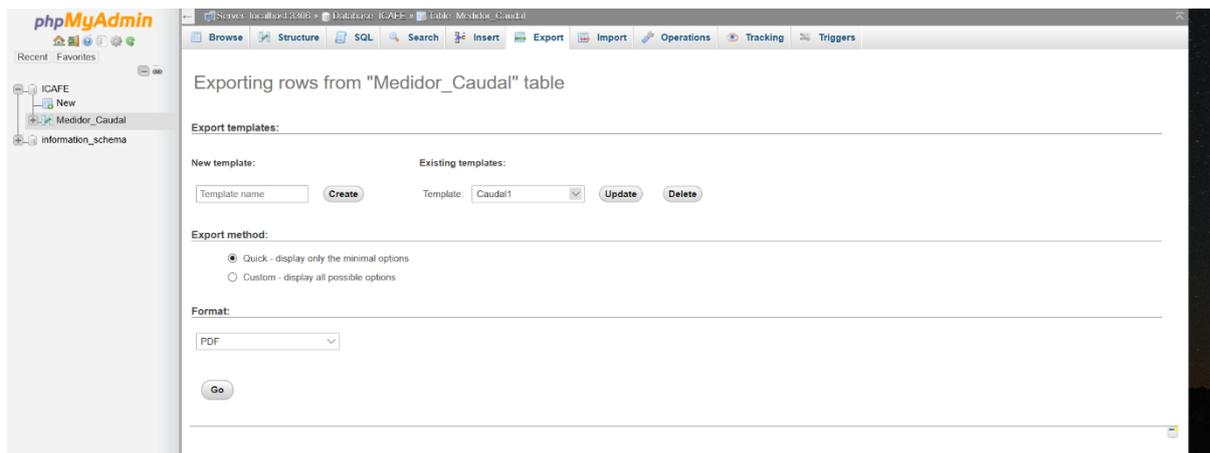


Figura 46. Opción para exportar los datos de la base de datos

Fuente: elaboración propia (2019).

Database: ICAFE, Table: Medidor_Caudal, Purpose: Dumping data

Tiempo	MetrosCubicos	Caudal
2019-11-14 09:35:38	0.3	5
2019-11-14 09:36:58	0.4	6.66667
2019-11-14 09:38:41	0.2	3.33333

Figura 47. Tabla de la base de datos en formato PDF.

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la figura 47 se observa cómo es el menú de la aplicación web de Phpmyadmin. Dentro del menú se puede observar la tabla que posee la base de datos de ICAFE. Ahora bien, en la figura 48 se muestra cómo se ve al momento de exportar la tabla en algún formato, ya sea Excel, PDF, CSV, Json, etc. En este caso se seleccionó la opción de que sea en PDF y en la figura 47 se observa cómo se ve dicha tabla en formato PDF.

En la figura 48 se puede observar cómo es el inicio de la aplicación web de Grafana. Al principio se solicita el nombre del usuario y la contraseña para ingresar a la aplicación web. Por defecto, el usuario y contraseña es "admin". Luego de ingresar el nombre de usuario y contraseña, el usuario podrá cambiar la contraseña.



Figura 48. Inicio de sesión en Grafana

Fuente: elaboración propia (2019).

En la figura 49 se observa el primer paso a realizar una vez ingresado, por primera vez a la dashboard Grafana. Primero se seleccionó la opción que dice “add data sources”, en esta opción se eligió la base de datos a trabajar que sería MySQL. Una vez seleccionada la base de datos a trabajar. En la figura 50 se observa cómo se establece la base de datos a trabajar, el nombre de usuario de la base de datos y la contraseña.

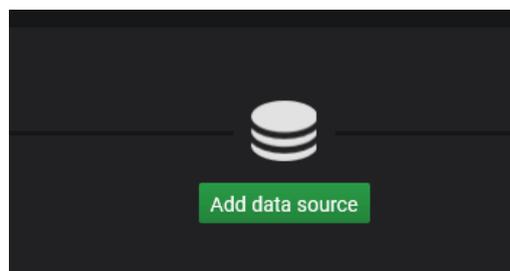


Figura 49. Ícono para agregar base de datos

Fuente: Elaboración propia (2019).

Data Sources / ICAFE
Type: MySQL

Settings

Name: ICAFE Default:

MySQL Connection

Host: localhost:3306

Database: ICAFE

User: ICAFE Password: configured reset

TLS Client Auth: With CA Cert:

Skip TLS Verify:

Connection limits

Max open: unlimited

Max idle: 2

Max lifetime: 14400

MySQL details

Min time interval: 1m

Figura 50. Configuración para utilizar la base de datos

Fuente: elaboración propia (2019).

Una vez establecida la base de datos que se desea trabajar en la “dashboard”, se procede a agregar una nueva “dashboard” mediante la opción “add new dashboard” que se observa en la figura 51. Una vez seleccionada esta opción, se agrega la interfaz con la que se desea trabajar, en la figura 52 se observan varias opciones para incluir en la dashboard.

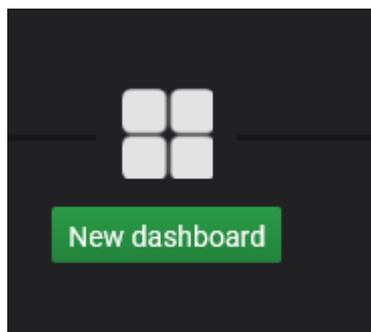


Figura 51. Ícono para agregar una nueva “dashboard”

Fuente: elaboración propia (2019).

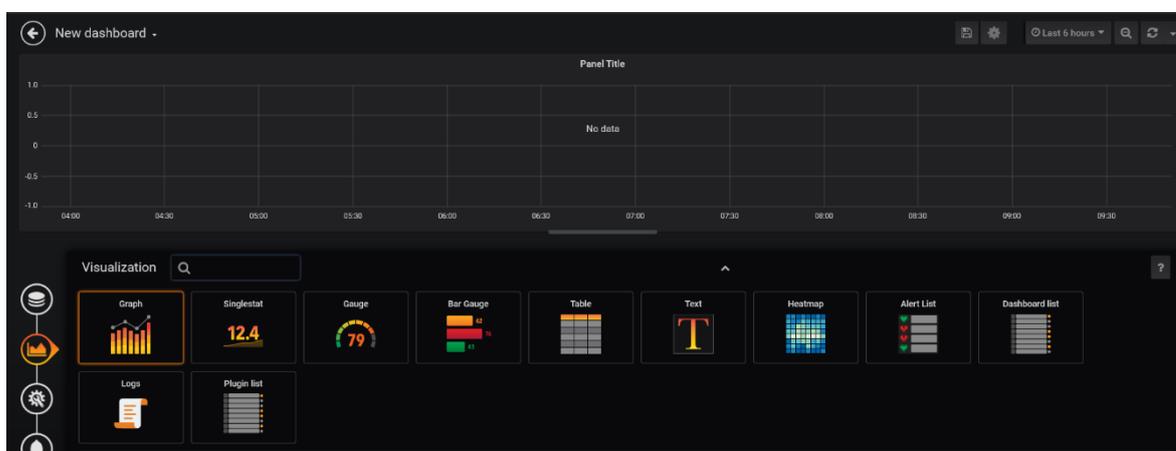


Figura 52. Múltiples interfaces con las que se pueden trabajar

Fuente: elaboración propia (2019).

Una vez seleccionadas las interfaces con las que se desea trabajar, se agregan los datos de la base de datos que uno desea visualizar mediante dichas interfaces. En dado caso, un ejemplo claro se observa en la figura 53 donde se agregaron una serie de interfaces para visualizar la manera en que se presentan en la dashboard.

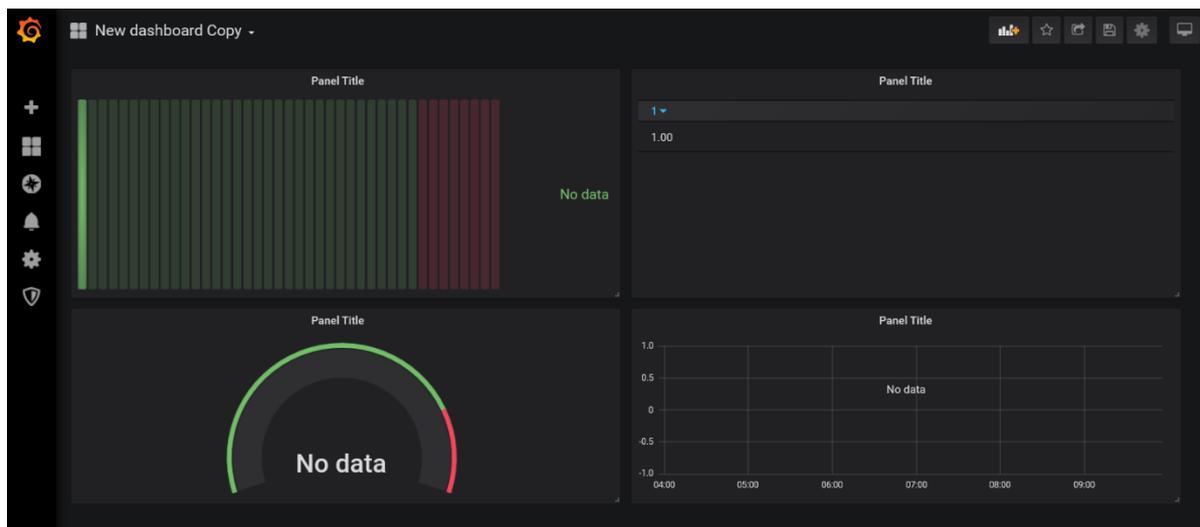


Figura 53. Visualización de interfaces graficas en la “dashboard”

Fuente: elaboración propia (2019).

Una vez finalizado el establecimiento de las interfaces con las que se desea trabajar, se guarda el documento con el nombre deseado y se vuelve al menú principal. Para visualizar la “dashboard” nuevamente, se selecciona la “dashboard” diseñada para trabajar, en este caso sería “New dashboard Copy”, ya que esta “dashboard” es con la que se realizaron las pruebas para determinar el uso del Grafana. Esta última parte se observa en la figura 56.

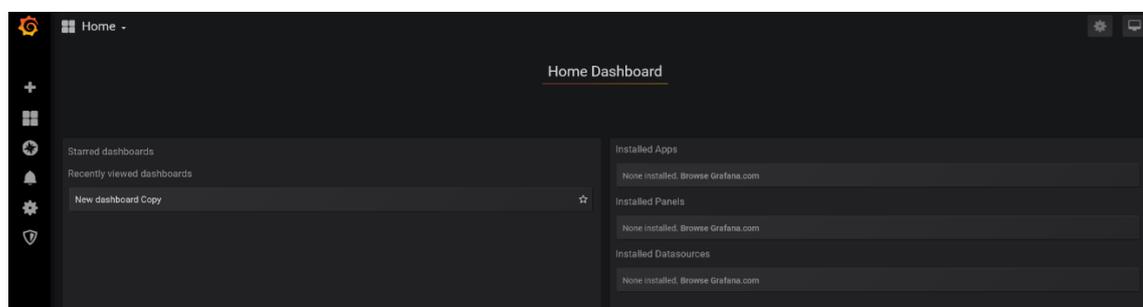


Figura 54. Menú principal de la “Dashboard”

Fuente: elaboración propia (2019).

5.3 Depuración de resultados

Durante las etapas de investigación e implementación, surgen ciertos detalles que obligan a realizar modificaciones o mejoras en el prototipo, tanto a nivel de hardware como de software.

En la parte del hardware, el cambio que se realizó fue con el tipo de cable con el que se realizó en la conexión del medidor de caudal hacia la “protoboard”. Anteriormente, se había realizado con cable UTP de menor calibre, en este caso se utilizó el mismo tipo de cable UTP, pero con mayor calibre, ya que, al utilizar un menor calibre, generaba falsos contactos al momento de realizar las conexiones entre elementos.

En el caso del software, las mejoras realizadas fueron mínimas, como el establecimiento de una IP fija al Raspberry Pi para que no esté variando de manera alterna. Otra modificación del software que se realizó es la eliminación de ciertas librerías que no van a ser utilizadas dentro del código del proyecto.

5.4 Implementación

Luego de realizar las pruebas adecuadas con el prototipo; las pruebas del medidor de caudal, la configuración del circuito “pull-up”, se puede reconocer la recepción de pulsos generados por el circuito hacia el Arduino, la transferencia de datos del Arduino hacia el Raspberry Pi, los cálculos necesarios a realizar, la exportación de datos hacia la base de datos, la visualización de datos mediante una aplicación web y el sistema de notificaciones funcionaron de manera adecuada.

De esta manera, se procede a realizar el montaje del prototipo en la empresa. A continuación, se explicará cómo se realizó el montaje del prototipo.

5.4.1 Montaje del sistema

El montaje del sistema se realizó en las afueras de las oficinas de industrialización, específicamente al metro de donde se encuentra el medidor de caudal. Ahí mismo, el Instituto del Café realizó un pequeño túnel para extraer los cables del medidor. Luego también realizaron la instalación eléctrica para conectar el Raspberry Pi mediante un cableado eléctrico, que como salida se tienen los 110V.

Otro aporte que realizó la empresa fue brindar una pequeña caja, donde también ellos mismos la instalaron en las afueras de las oficinas, para almacenar el sistema, dentro de esa misma caja se encontrarían el circuito diseñado para el medidor de caudal, el Arduino UNO y el Raspberry Pi.

En las figuras 55 y 56 se observa el pequeño túnel que le hicieron para el cableado y de manera que observa el cableado que se dirige hacia la caja en donde están ubicado el sistema.



Figura 55. Instalación de la caja del sistema programable

Fuente: elaboración propia (2019).





Figura 56. Construcción de cableado del medidor hacia el sistema

Fuente: elaboración propia (2019).

5.4.2. Montaje del circuito

El circuito quedó exactamente igual al circuito diseñado en el prototipo. La “protoboard” se colocó dentro de una pequeña caja. También se realizaron una serie de aberturas para extraer los cables de la “protoboard” que se dirigen hacia el Arduino UNO y los cables que se conectan hacia el medidor. En la figura 57 se puede observar en la caja en pequeña en donde se encuentra el circuito pull-up, junto con el display LCD.

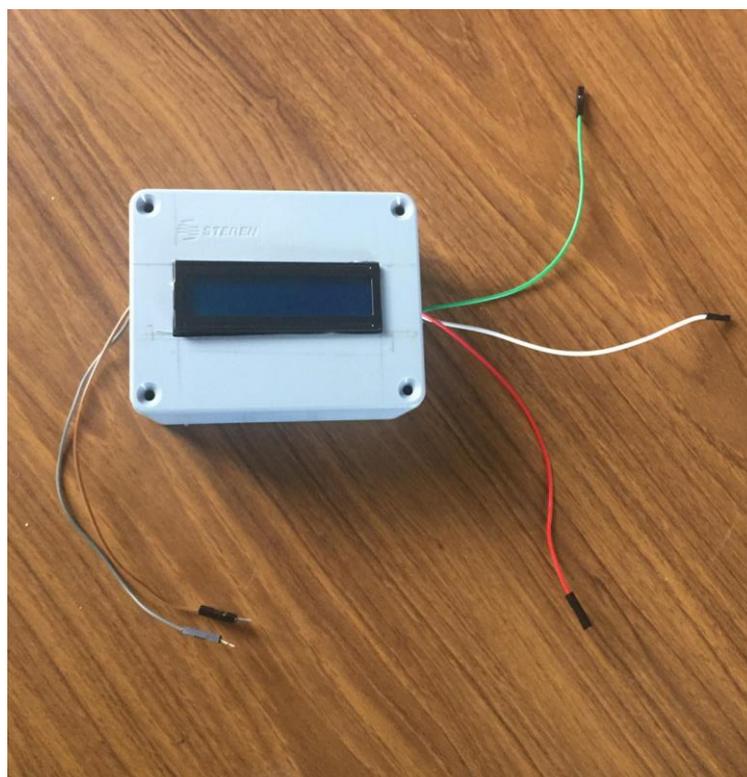
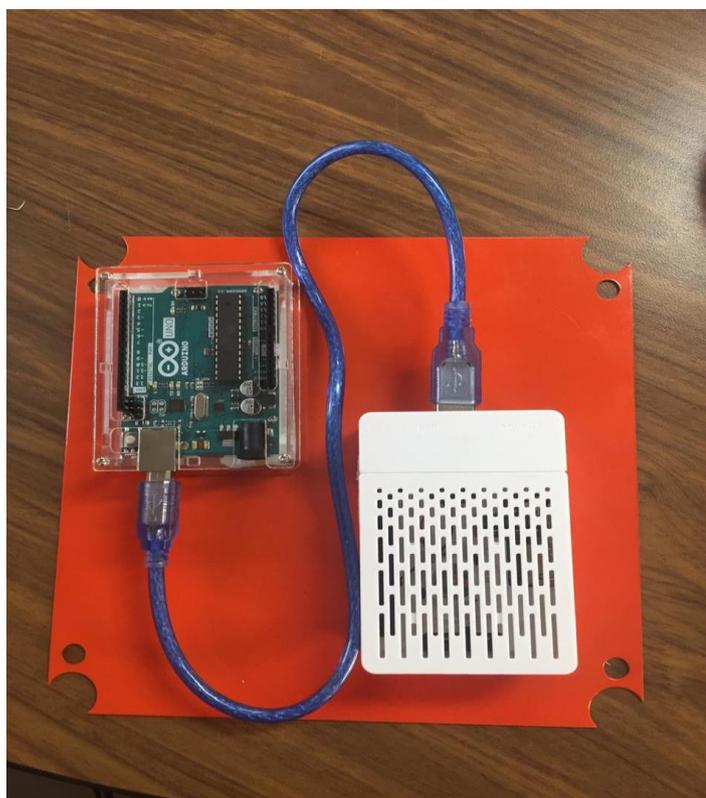


Figura 57. Caja pequeña donde se encuentra el circuito

Fuente: elaboración propia (2019).

5.4.3. Montaje del Raspberry Pi con el Arduino UNO

La caja en donde se va a instalar el sistema posee una lámina roja, en esa misma lámina se realizará el montaje de los 3 componentes (Arduino UNO, Raspberry Pi y el circuito) con cinta de doble capa. También se muestra, como en el prototipo, la conexión del Arduino UNO hacia el Raspberry Pi mediante el puerto USB. En las figuras 58 y 59 se observa cómo queda el sistema ya implementado en la caja del sistema de monitoreo.



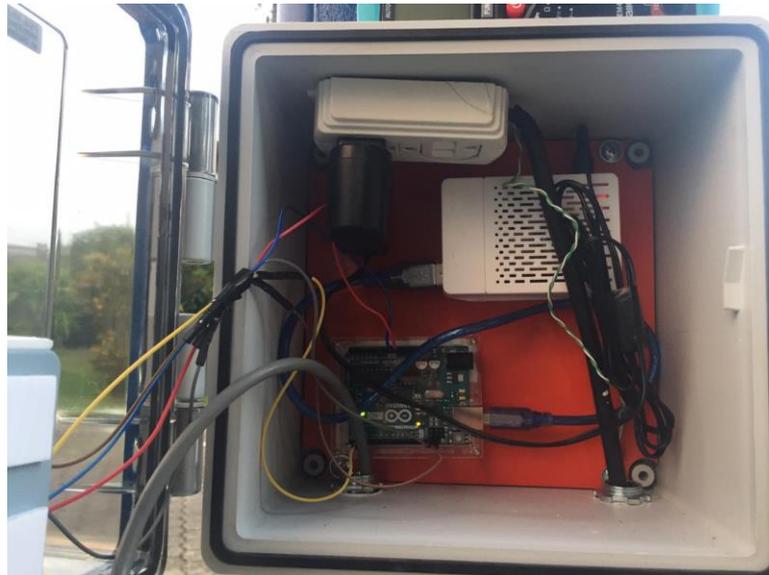


Figura 58. Implementación del sistema programable.

Fuente: elaboración propia (2019).



Figura 59. Sistema programable implementado.

Fuente: elaboración propia (2019).

5.4.4 Lectura de datos del medidor

En la figura 60 se pueden observar la cantidad de pulsos, tal como se mencionó anteriormente que un pulso equivale a 0.1 metros cúbicos, por medio del Display LCD que se encuentra en la parte superior de la caja pequeña y para finalizar se realizan los cálculos establecidos dentro del programa del Raspberry Pi.



Figura 60. Visualización de los metros cúbicos desde el display LCD

Fuente: elaboración propia (2019).

5.4.5 Monitoreo inalámbrico

Mediante el programa “VNC”, que ya se encuentra instalado en la computadora de la oficina de industrialización de ICAFE, se podrán observar los cálculos establecidos en el programa de Raspberry Pi. Dichos cálculos se podrán observar desde el terminal del Raspberry Pi tal como se muestra en la figura 61

A terminal window displaying data output. The text is as follows:

```
('Hora: ', '2019-11-25 12:44:05')  
( 'Caudal: ', '0.0')  
( 'Metros Cubicos: ', '0.0')  
  
(71, 'segundo(s)')  
  
( 'Hora: ', '2019-11-25 12:44:06')  
( 'Caudal: ', '0.0')  
( 'Metros Cubicos: ', '0.0')  
  
(72, 'segundo(s)')  
  
( 'Hora: ', '2019-11-25 12:44:07')  
( 'Caudal: ', '0.0')  
( 'Metros Cubicos: ', '0.0')  
  
(73, 'segundo(s)')  
  
( 'Hora: ', '2019-11-25 12:44:08')  
( 'Caudal: ', '0.0')  
( 'Metros Cubicos: ', '0.0')
```

Figura 61. Terminal para la visualización de datos

Fuente: elaboración propia (2019).

También se podrán observar los datos exportados hacia la base de datos en la aplicación web de Grafana tal como se observa en la figura 62, donde dentro de la misma aplicación web, se muestran una serie de interfaces para visualizar datos, tal como se muestra en las figuras 63, 64, 65 y 66. En la figura 67 se observa la manera en que se aprecia dicha aplicación web en un teléfono celular.

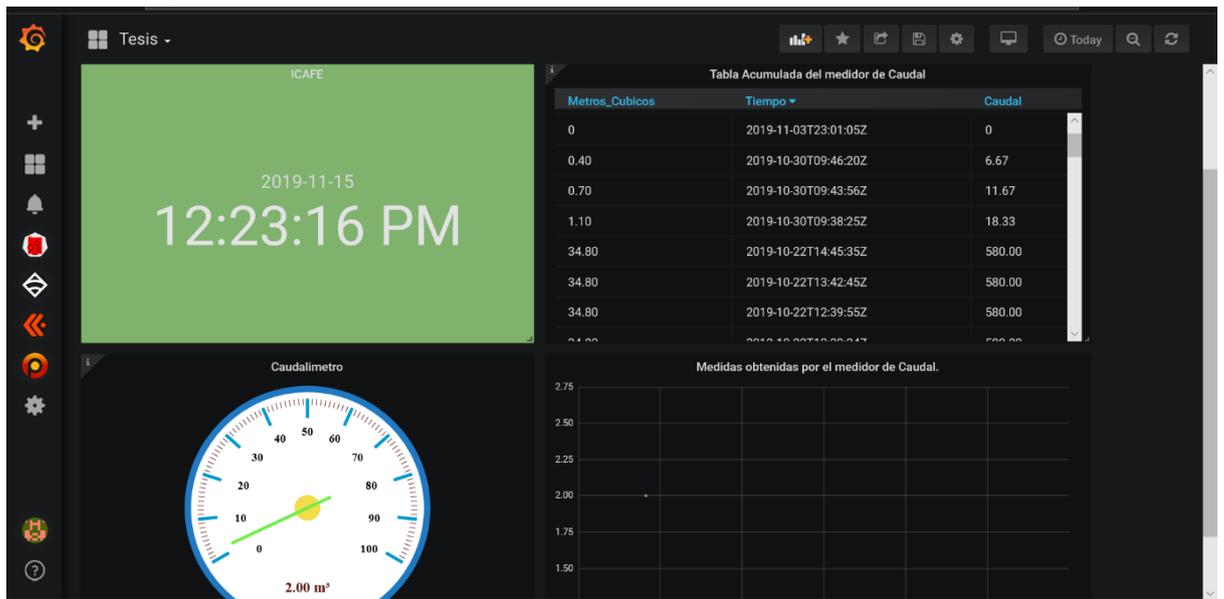


Figura 62. Menú principal de Grafana

Fuente: elaboración propia (2019).



Figura 63. Interfaz del tiempo

Fuente: elaboración propia (2019).

Metros_Cubicos	Tiempo	Caudal
0.30	2019-11-25T13:00:48Z	5.00
0.10	2019-11-25T12:19:09Z	1.67
0.60	2019-11-21T17:16:32Z	10.00

Figura 64. Interfaz de la tabla de la base de datos

Fuente: elaboración propia (2019).



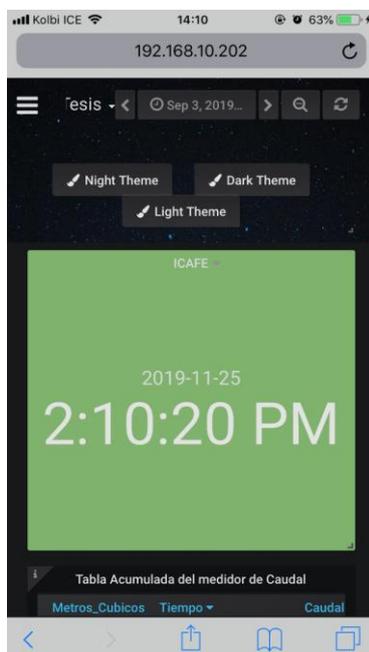
Figura 65. Interfaz del caudalímetro

Fuente: elaboración propia (2019).



Figura 66. Interfaz de la gráfica de datos de la base de datos

Fuente: elaboración propia (2019).



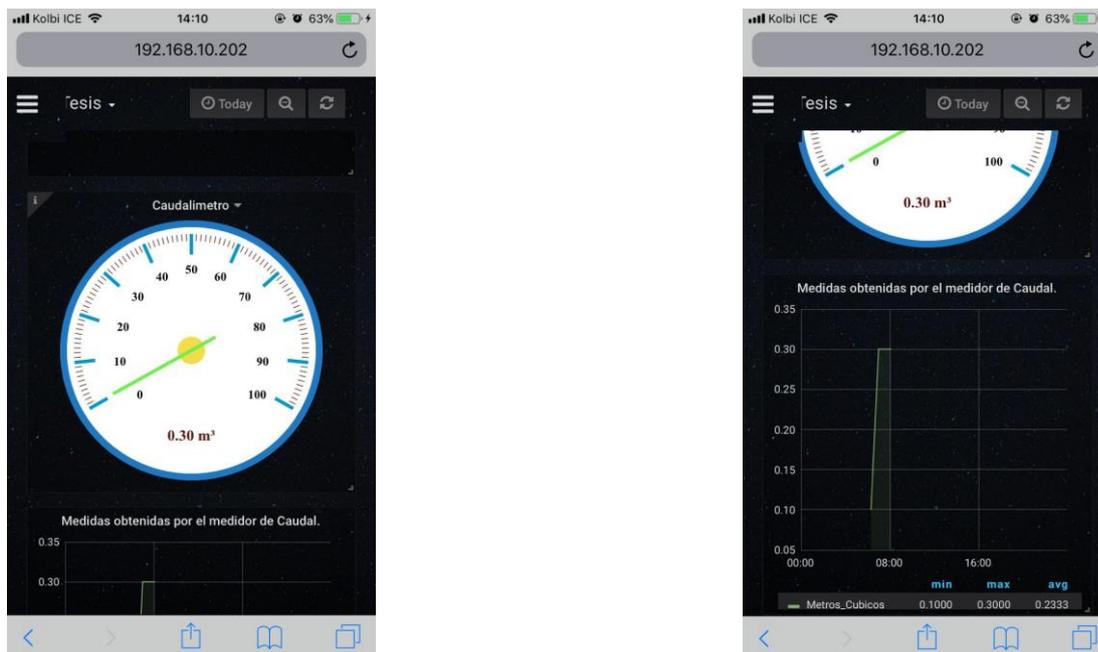


Figura 67. Visualización de la “dashboard” desde el celular

Fuente: elaboración propia (2019).

Cabe destacar que únicamente se puede ingresar a la aplicación web desde las oficinas de industrialización, ya que la IP compartida por el Raspberry es únicamente con el “router” que se encuentra en el área de industrialización.

5.4.6 Sistema de notificaciones

Como se mencionó anteriormente, la configuración del sistema de notificaciones se realizó mediante SMTP instalado en el Raspberry PI. En las figuras 72 y 73 se muestra cómo se visualizan las notificaciones mediante el celular o el computador. También se evidencia el mensaje a mostrar cuando el usuario recibe la notificación.

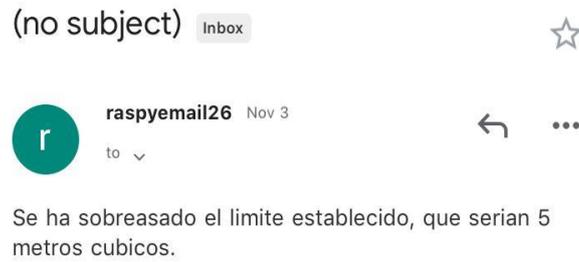


Figura 68. Notificación vista desde el celular

Fuente: elaboración propia (2019).

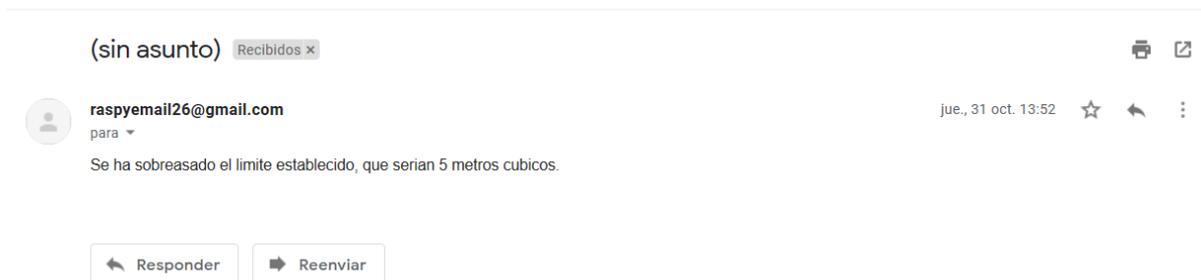


Figura 69. Notificación vista desde el computador

Fuente: elaboración propia (2019).

5.5. Análisis de costos

En la siguiente tabla se observa y detalla el costo de los materiales implementados en el prototipo del proyecto:

Tabla 7. Lista de materiales utilizados en el desarrollo del prototipo

Cantidad de elementos	Componente	Precio (USD)
1	Arduino UNO	27,95
1	Arduino Acrylic Case	3,5
40	Jumpers hembra - macho	2,45
40	Jumpers macho - macho	4,95
1	Display LCD I2C	5,95
1	Memoria SD 32 GB	16
1	Raspberry Pi 3 B+	64,95
1	Protoboard 400pts	5,95
10	Resistencia 1kohms	0,7
10	Resistencia 2kohms	0,7
	Total	133.1

Fuente: elaboración propia (2019).

El costo del montaje del prototipo de los dispositivos electrónicos y la programación se calculan por aparte. Para el establecimiento de los costos de programación y de la mano de obra del circuito, se calculó tomando en cuenta el salario mínimo mensual de un Bachiller Universitario, el cual es 984.20 USD, tomando en cuenta que un dólar equivale a 562 colones, el 24 de noviembre del año 2019.

Dicho monto es establecido por el Ministerio de Trabajo en su decreto No. 41434-MTS. Al realizar los cálculos, se obtiene que el monto que gana un Bachiller Universitario por hora es de 4.56 USD.

Tabla 8. Lista de costos de mano de obra

Rubro	Cantidad de horas	Costo unitario(\$)	Costo total(\$)
Programación Arduino	8	4.56	36.48
Programación Raspberry	115	4.56	410.4
Cálculos para diseñar el circuito	2	4.56	9.12
Montaje del sistema completo en la caja de control	2	4.56	9.12
Pruebas funcionales	16	4.56	72.96
Total			538.08

Fuente: elaboración propia (2019).

El monto de la mano de obra por la implementación del prototipo del proyecto es un poco elevado, debido a gran cantidad de horas dedicadas a la programación, además de las pruebas a realizar con el medidor de caudal de ICAFE para determinar si el prototipo funcionaba de manera correcta.

Las resistencias no se tomaron en cuenta debido a que estas salidas son tuberías de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgadas. Existen medidores que trabajan con dichas dimensiones de tuberías. Estos medidores ya trabajan a 5V, por lo cual no se requiere utilizar un amplificador de voltaje y tampoco un comparador de voltaje como el que se utilizó en la tubería global.

5.6 Condición de funcionamiento

Para empezar a realizar las pruebas de funcionamiento, primero se empezó a realizar una serie de mediciones en el circuito “pull-up” para determinar si el medidor, ya implementado en la tubería, emitía la señal cuando la aguja grande del medidor llega al número 1.

En las siguientes figuras se observan las pruebas realizadas para detectar los niveles de voltajes.



Figura 70. Sensor magnético inactivo.

Fuente: elaboración propia (2019).

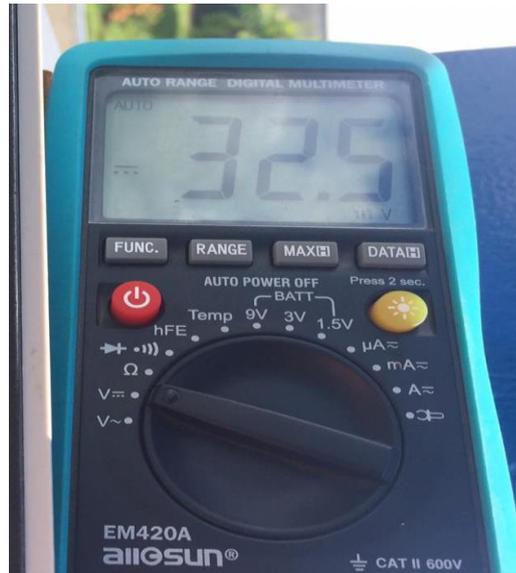


Figura 71. Medición del voltaje cuando el circuito pull-up no emite el pulso

Fuente: elaboración propia (2019)



Figura 72. Sensor magnético activo.

Fuente: elaboración propia (2019).



Figura 73. Medición del voltaje cuando el circuito pull-up emite el pulso

Fuente: elaboración propia (2019).

En las siguientes figuras se observa el terminal del Raspberry Pi cuando se encuentra realizando el envío de datos hacia la base de datos. También se aprecian en la aplicación web de Grafana y también en la aplicación web de PhpMyAdmin para visualizar que los datos que se encuentran en la tabla de la base de datos son exactamente los mismos que se encuentran en la tabla de la “dashboard”.

```

Tesis.py
Archivo Editar Pestañas Ayuda
('Hora: ', '2019-11-25 14:08:17')
('Caudal: ', '5.0')
('Metros Cubicos: ', '0.3')

(3599, 'segundo(s)')

('Hora: ', '2019-11-25 14:08:18')
('Caudal: ', '5.0')
('Metros Cubicos: ', '0.3')

(3600, 'segundo(s)')

('Hora: ', '2019-11-25 14:08:19')
('Caudal: ', '5.0')
('Metros Cubicos: ', '0.3')

Ha pasado 1 hora, por lo tanto se actualizará la base de datos!
Actualizando la base de datos...
('Se ha actualizado la base de datos con esta cantidad de litros: ', '0.30\r\n')
('En el tiempo de: ', '2019-11-25 14:08:19')
('Con los metros cubicos de: ', '0.3')
('Con un caudal de: ', '5.0')

```

Figura 74. Terminal demostrando cuando se realiza la exportación de datos

Fuente: elaboración propia (2019).

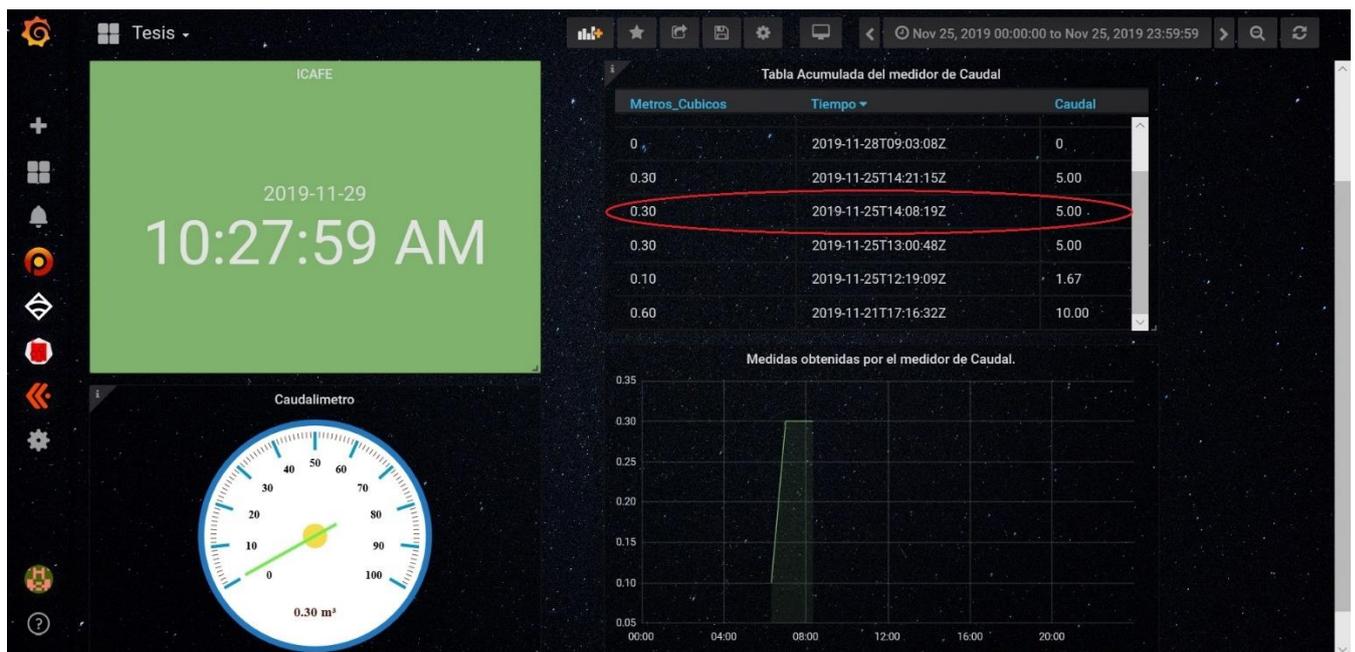


Figura 75. Datos importados desde la base de datos en Grafana

Fuente: elaboración propia (2019).

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'Medidor_Caudal' and a table named 'Caudalimetro'. The interface includes a navigation sidebar on the left with a tree view showing the database structure. The main area displays a table with the following data:

Metros_Cubicos	Tiempo	Caudal
0.6	2019-11-21 17:16:32	10
0.1	2019-11-25 12:19:09	1.66667
0.3	2019-11-25 13:00:48	5
0.3	2019-11-25 14:08:19	5
0.3	2019-11-25 14:21:15	5
0	2019-11-28 09:03:08	0
0	2019-11-28 09:55:20	0
0	2019-11-28 09:57:46	0

The row with values (0.3, 2019-11-25 14:08:19, 5) is circled in red. The interface also shows a query editor with the SQL statement 'SELECT * FROM `Caudalimetro`' and various control options like 'Show all', 'Number of rows', and 'Filter rows'.

Figura 76. Visualización de los datos en PhpMyAdmin

Fuente: elaboración propia (2019).

5.7 Cumplimiento de requisitos

A continuación, se muestra la tabla donde se asocia cada uno de los requerimientos solicitados por el personal del área de industrialización del Instituto del Café, con las secciones donde se cumplen dichas solicitudes.

Tabla 9. Lista de chequeo de las características del prototipo

Criterio	Descripción	Cumplimiento
1	Lectura de datos del medidor	5.3.4
2	Comunicación eficaz entre el Arduino UNO y Raspberry Pi	5.3.4
3	Operaciones matemáticas realizadas dentro del Raspberry Pi	5.3.4
4	Monitoreo en tiempo real de manera inalámbrica	5.3.5
5	Exportación de datos hacia la base de datos	5.3.5
6	Graficación de datos	5.3.5
7	Tabla de datos	5.3.5
8	Emulación del medidor	5.3.5
9	Visualización del tiempo actual	5.3.5
11	Sistema de notificaciones	5.3.6

Fuente: elaboración propia (2019).

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En el estudio realizado se determinó que la lectura se realizaba de forma manual y que el requerimiento técnico era convertir esa lectura manual a una lectura automática con acceso web.

Se estableció, satisfactoriamente, la comunicación del microcontrolador Arduino con el microprocesador Raspberry por medio del puerto serial mediante una serie de actualizaciones de firmware a la 4.19 versión Raspberry Pi y también agregando la librería “serial” para realizar la lectura de datos de manera adecuada.

Se determinó, mediante pruebas, que el Arduino Nano no es capaz de soportar múltiples tareas definidas por el usuario, ya que posee poca memoria RAM y falta de potencia, por lo cual, tampoco es capaz de soportar el display LCD cuando se esté ejecutando algún programa en el Arduino Nano. Tampoco puede enviar la cantidad de pulsos emitidos por el medidor de caudal hacia el Raspberry Pi.

Se decidió utilizar el Arduino UNO para la recepción de pulsos emitidos por el circuito que se encuentra conectado al caudalímetro global del Instituto del Café, para que el Raspberry Pi solo se encargara de enviar los datos calculados hacia la base de datos, para que también habilite la aplicación web de la “dashboard” y la manipulación de la base de datos, y también para realizar el envío de notificaciones.

Mediante pruebas, se determinó que el Raspberry Pi Zero no es capaz de realizar una lectura de datos brindada por el Arduino UNO, esto es debido a que el Raspberry Pi Zero posee únicamente un puerto USB y únicamente puede reconocer un teclado o bien un mouse. Tampoco es capaz de ejecutar algún programa donde tenga que estar transmitiendo datos hacia los batos, esto se dio debido a su pequeña memoria RAM que es únicamente de 512Kb.

Se reconoció que la mejor base de datos para trabajar en el Raspberry Pi es la de MySQL, ya que dicha base de datos posee una aplicación web conocida como “PhpMyAdmin”. Esta aplicación web es esencial ya que desde ahí se puede visualizar la base de datos y las tablas que posee dicha base de datos. También incluye la opción para exportar las tablas en diferentes formatos que se desea trabajar, como lo es el PDF, CSV o Json.

Se reconoció, que mediante el uso del comentario “#!/usr/bin/env python3” en la primera línea del código del proyecto a ejecutar, permite que el programa “.py” se pueda ejecutar sin necesidad de dirigirse hacia el terminal y escribir el siguiente comando “sudo Python Tesis.py”. Con esta configuración, el usuario podrá ejecutar el programa de una manera más sencilla.

Se seleccionó que el sistema de notificaciones sea por medio de SMTP. Esta opción se eligió ya que al principio se tenía planeado trabajar con la aplicación de notificaciones conocida como “Pushetta” presentaba problemas al momento de utilizarse, es decir, el servidor de “Pushetta” suele ser inestable, ya que a veces, en cualquier momento, este servidor dejaba de funcionar, lo cual se inhabilitaba y se habilitaba en un tiempo totalmente aleatorio.

Se eligió la “protoboard” para establecer el circuito encargado en amplificar el voltaje proveniente del sensor del medidor de caudal y el comparador de voltajes. Esta selección se dio ya que al realizar pruebas con las placas de soldadura que se pueden acoplar al Arduino UNO no son capaces de compartir una única tierra para el circuito. Aparte, si se llega a dañar alguna resistencia por alguna razón, es más sencillo cambiarla desde la “protoboard” que en una placa ya soldada.

Se obtiene el monitoreo remoto y en tiempo real de la cantidad de metros cúbicos que se consumen en la tubería global del Instituto del Café, utilizando la aplicación web de Grafana, debido a que esta aplicación web permite mostrar los datos obtenidos mediante una tabla, un gráfico y pueden ser visualizados mediante un computador o bien un dispositivo móvil.

En el código de programación del Arduino, se detectó que, al utilizar interrupciones para el conteo de pulsos generados por el sensor del medidor de caudal, generaba datos falsos o bien valores de conteos inesperados y totalmente aleatorios. Dado a este caso, se optó por realizar la lógica de que cuando el pulso estuviera en alto, no seguir contando más hasta que el pulso llegue a ser un pulso bajo y vuelva a ser un pulso alto.

Se realizó de manera efectiva los cálculos planteados a realizar mediante la transferencia de datos del Arduino UNO hacia el Raspberry Pi por medio del puerto serial. La lógica implementada para determinar los cálculos fue realizada mediante el Raspberry Pi con el lenguaje de programación en Python.

Para el desarrollo del prototipo se valoraron varias ubicaciones y se determinó una ubicación que está a 5 metros de distancia de la oficina, donde se instaló una caja Nema 3r ip 65, que contiene toda la electrónica y se alimenta vía corriente alterna.

Se redujo el presupuesto establecido por la empresa, de 1000 USD a 687.3 USD, incluyendo los materiales y la mano de obra implementados en el proyecto, cumpliendo con todas las expectativas del departamento de Industrialización de ICAFE.

En la relación de costo-beneficio se ganó haciendo la reducción del tiempo necesario para realizar las tomas de datos y los cálculos de datos, por lo cual hay una redistribución de funciones del personal mejorando el proceso.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda establecer el prototipo implementado en el medidor de caudal de la tubería global de ICAFE en las salidas que conectan con dicha tubería global para realizar una serie de comparaciones y determinar en qué tubería es en donde más se consume el agua.

También es importante condicionar al gerente encargado del área de Industrialización para enseñar a las personas que se encuentran laborando en dicha área, la manipulación de la base de datos de la aplicación web PhpMyAdmin y en la misma aplicación web de Grafana para apreciar los datos.

Se sugiere, además, establecer un sistema de respaldo de batería en el Raspberry Pi para prevenir que el Raspberry Pi no envíe los datos calculados hacia la base de datos y también para prevenir el daño del Raspberry Pi cuando se apague bruscamente.

Se recomienda realizar un proceso de mantenimiento preventivo dentro de la caja donde se encuentra el sistema programable. Esto es para prevenir errores al momento de ejecutar el programa del sistema programable o bien para prevenir daños en los componentes que se encuentran en la caja.

Se recomienda enlazar la base de datos del Raspberry Pi hacia la base de datos central del Instituto del Café para que el personal del área administrativa pueda tener información del consumo de agua sin necesidad de estar consultando a los del área de Industrialización.

BIBLIOGRAFÍA

Carrie Anne Philbin (2017). Adventures in Raspberry Pi, Tercera Edición.

John Nussey (2013). Arduino for Dummies a Wiley Brand. Primera Edición.

Warren Andrews (2017). Arduino Play Ground, Geeky Projects for the Experienced Maker, Segunda Edición.

Mark Geddes (2016), Arduino Project Handbook, 25 practical projects to get you started, Segunda Edición.

Brock Caft (2013), Arduino Projects for Dummies, Primera Edición.

James A. Langbridge (2015), Tools and Techniques for Programming Wizardry.

John Boxall (2013), Arduino Workshop, A Hands – On Introduction with 65 Projects, Primera Edición.

Earl Boysen + Harry Kybett (2012), Complete Electronics Self-Teaching Guide with Projects, Primera Edición.

Jeremy Blum (2013), Exploring Arduino, Tools and Techniques for Engineering Wizardry, Primera Edición

Luciano Ramalho (2015), Fluent Python, Clear, Concise, and Effective Programming, Primera Edición.

Matt Richardson and Shawn Wallace (2016), Make: Getting Started with Raspberry Pi, Tercera Edición.

Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C.; y Batista Lucio, P.(2010). Metodología de Investigación. 5 ed. México: McGraw Hill.

Valdés, E., Pallás, R. (2007). Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC.

Universidad Hispanoamericana. (2018). MANUAL: NORMAS A.P.A. Citas y Referencias bibliográficas. Ed. 2-18. Tibás.

ANEXOS

Los documentos anexos se ubican en la carpeta adjunta a este documento. En ella se encuentra la documentación técnica detallada de los componentes utilizados para el desarrollo del prototipo planteado. Se incluyen también los códigos de programación realizados en ambos dispositivos, tanto Arduino UNO como Raspberry Pi y documentos de interés tomados en cuenta para la documentación del proceso de desarrollo del presente documento.