



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

TEMA:

**“SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN IOT DE REUTILIZACIÓN DE
AGUAS GRISES DESDE EL LAVABO HACIA EL INODORO PARA ESTIMAR
UN AHORRO DE CONSUMO A ESCALA DE LABORATORIO”**

AUTOR:

FRANKLIN GERMÁN VACA CHAPI

DIRECTOR:

ING. JAIME MICHILENA

IBARRA – ECUADOR

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital institucional determina la necesidad de disponer los textos completos de forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente investigación.

DATOS DE CONTACTO	
Cédula de identidad	0401875299
Apellidos y Nombres	VACA CHAPI FRANKLIN GERMÁN
Dirección	Santa Marta de Cuba, Av. 21 de marzo
E-mail	fgvacac@utn.edu.ec
Teléfono móvil	0988389212
DATOS DE LA OBRA	
Título	“SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN IOT DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES DESDE EL LAVABO HACIA EL INODORO PARA ESTIMAR UN AHORRO DE CONSUMO A ESCALA DE LABORATORIO”
Autor	FRANKLIN GERMÁN VACA CHAPI
Fecha	Diciembre de 2016
SÓLO PARA PROYECTOS DE GRADO	
Programa	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO

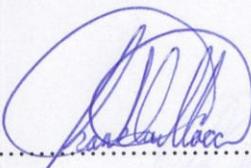
Título por el que opta	INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN
Director	ING. JAIME MICHILENA

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, FRANKLIN GERMÁN VACA CHAPI, con cédula de identidad Nro. 0401875299, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del proyecto de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y el uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Firma: 

Nombre: Franklin Vaca

Cédula: 0401875299

Ibarra, diciembre 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISAS DESDE EL LAVABO HACIA EL

Yo, FRANKLIN GERMÁN VACA CHAPI, con cédula de identidad Nro. 0401875299, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículo 4, 5 y 6, en calidad de autora del proyecto de grado denominado: **“SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN IOT DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISAS DESDE EL LAVABO HACIA EL INODORO PARA ESTIMAR UN AHORRO DE CONSUMO A ESCALA DE LABORATORIO”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Nombre: FRANKLIN GERMÁN VACA CHAPI

Cédula: 0401875299

Ibarra, diciembre 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICADO

Certifico que la tesis “SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN IOT DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES DESDE EL LAVABO HACIA EL INODORO PARA ESTIMAR UN AHORRO DE CONSUMO A ESCALA DE LABORATORIO”, ha sido realizada con interés profesional y responsabilidad por el señor: Franklin Germán Vaca Chapi, portador de la cédula de identidad número: 0401875299; previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

EL AUTOR

Firma

Nombre: FRANKLIN GERMAN VACA CHAPI

Cédula: 0401875299



.....

Ing. Jaime Michilena

DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIAS

AGRADECIMIENTO

Yo, VACA CHAPI FRANKLIN GERMÁN declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se presentan en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

En la ciudad de Ibarra, diciembre del 2016

EL AUTOR


.....
Firma

Nombre: FRANKLIN GERMÁN VACA CHAPI

Cédula: 0401875299



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento es la memoria del corazón.

Lao-Tsé

Mi sincera gratitud para con:

Mis familiares

Por todos los consejos y favores recibidos desde niño hasta el presente, ustedes son parte de mi formación como una persona de bien, gracias por tanto cariño y calidez.

Todos mis profesores, de manera especial al Ing. Jaime Michilena

Por todos los conocimientos y lecciones de vida compartidos, a mi Director de Tesis, guía esencial en la elaboración de este proyecto de grado, hasta la culminación.

A Jenny y la familia Rea Peñafiel.

Por brindarme su cariño y aceptarme como parte de su hogar, ustedes me han regalado su absoluto apoyo, muchas gracias. Con todo mi corazón agradezco el amor de ti, Jenny.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

A **DIOS** por haberme permitido llegar a este punto con salud, amor, perseverancia y paciencia para culminar esta meta en mi vida; pero lo más importante, me ha dado una familia hermosa que ha estado siempre a mi lado apoyándome.

*Con gran satisfacción dedico este trabajo a mis padres **MARLENE Y MARCELO** quienes me han dado la vida, me han educado para ser una persona recta y me han brindado todo su amor incondicional. Ustedes son mi ejemplo y mi modelo a seguir. Ustedes son los mejores, se merecen lo mejor. Les amo mucho.*

Franklin

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	II
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	IV
CERTIFICADO	V
CONSTANCIAS	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIX
RESUMEN	XX
ABSTRACT	XXI
CAPÍTULO I	1
2.3 PROBLEMA.....	1
2.4 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
2.5 ALCANCE.....	4
2.6 JUSTIFICACIÓN	5

CAPÍTULO II.....	7
2.1 INTERNET OF THINGS	7
2.1.1 Arquitectura de IoT	9
2.1.2 Protocolos.....	12
2.1.3 Desafíos de IoT	20
2.1.4 Aplicaciones.....	22
2.1.5 Internet de Todo	25
2.1.6 Machine-to-Machine.....	26
2.2 HERRAMIENTAS DE HARDWARE Y SOFTWARE	27
2.2.1 Open Hardware	27
2.2.2 Open Source.....	28
2.3 AGUAS GRISES	29
2.3.1 Cuantía de Aguas Grises	31
2.6.2 Calidad de las Aguas Grises.....	32
2.6.3 Opciones de desinfección para la reutilización del agua urbana.....	32
2.7 METODOLOGÍA DE DESARROLLO	33
2.7.1 Método en V.....	33
CAPÍTULO III.....	35
3.1 ANÁLISIS	35
3.1.1 Descripción general del sistema.....	36

3.1.2	Situación actual	37
3.1.3	Técnicas	38
3.1.4	Riesgos	44
3.2	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	46
3.2.1	Requerimientos iniciales del sistema	48
3.2.2	Requerimientos de Arquitectura	50
3.2.3	Requerimientos del Hardware.....	51
3.2.4	Requerimientos de Software	71
3.2.5	Otros elementos.....	76
3.3	DISEÑO DEL SISTEMA.....	80
3.3.1	Diagrama de bloques del sistema.....	81
3.3.2	Arquitectura del sistema.....	81
3.3.3	Diagrama de pines del sistema.....	84
3.3.4	Flujograma del sistema	86
3.3.5	Diseño del hardware para el sistema.....	93
3.4	DESARROLLO DE SOFTWARE.....	95
3.5	VERIFICACIÓN	96
3.6	IMPLENTACIÓN	99
3.6.1	Instalación de la tarjeta programable y el circuito impreso	100
3.6.2	Instalación del servomotor y sensor de nivel en el inodoro	101

3.6.3	Instalación de la bomba, sensor de flujo y sensores de nivel.....	101
3.6.4	Instalación del filtro de aguas grises	103
3.6.5	Conexión de la tarjeta programable a internet	104
3.7	PRUEBAS FUNCIONALES.....	105
3.7.1	Prueba de funcionamiento del filtro.....	106
3.7.2	El sistema trabaja con o sin agua reciclada.....	107
3.7.3	La lectura del sensor de flujo es correcta.....	107
3.7.4	El sistema no tiene fugas.....	107
3.7.5	Actualización de datos en la nube.....	108
3.7.6	Conclusiones de las pruebas funcionales	110
CAPÍTULO IV		111
4.1	TABLAS DE VALORES	111
4.1.1	Valoración del hardware	111
4.1.2	Valoración del Software.....	113
4.1.3	Valoración del costo de desarrollo.....	113
4.1.4	Valores totales.....	114
4.1.5	Proyección comercial	115
4.2	IMPACTOS	117
4.2.1	Impacto Ambiental.....	117
4.2.2	Impacto Económico	118

4.2.3	Conclusión de los impactos.....	119
4.3	CONCLUSIONES	121
4.4	RECOMENDACIONES.....	122
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
	ANEXOS	131
	ANEXO 1: Entrevistas realizadas.....	131
	ANEXO 2: Fichas de observación directa.....	133
	ANEXO 3: Consulta de planillas del agua de la piscina	133
	ANEXO 4: Encuesta y Tabulación.....	136
	ANEXO 5: Análisis del costo de producción y comercialización del sistema...	144
	ANEXO 6: Código fuente de la tarjeta programable.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capas de la arquitectura de IoT.....	10
Figura 2. Diagrama de comunicación cliente-servidor en el COAP	15
Figura 3. Pila de comunicación COAP.....	16
Figura 4. Componentes del Internet de Todo (IoE).....	26
Figura 5. Las fuentes de aguas grises y sus componentes.....	30
Figura 6. Distribución de las Aguas Grises en el Hogar.....	31
Figura 7. Fases del modelo en V	34
Figura 8. Modelo de instalación del Sistema de reutilización de aguas grises.....	36
Figura 9. Plano arquitectónico del área de vestidores del complejo acuático	38
Figura 10. Formato de Ficha de Observación Directa.....	41
Figura 11. Plano arquitectónico del área determinada para instalar el sistema	42
Figura 12. Partes de la tarjeta Raspberry Pi 3.....	54
Figura 13. Raspberry Pi 3	55
Figura 14. Circuito esquemático del sensor de nivel de agua.....	59
Figura 15. Prueba de funcionamiento del circuito de sensor de nivel de agua.....	60
Figura 16. Diseño y construcción del circuito impreso para el sensor de nivel	60
Figura 17. Sensores de nivel de agua de flotador (izq. horizontal; der, vertical)	62
Figura 18. Medidas de la tubería desde el almacenamiento hasta el inodoro.....	63
Figura 19. Bomba sumergible AquaJet 1000 PFN.....	67
Figura 20. Sensor de flujo de agua YS-201	70
Figura 21. Componentes del Cloud Relayr.....	74
Figura 22. Partes del filtro de aguas grises	77
Figura 23. Capas del filtro de aguas grises	77

Figura 24. Filtro construido para el sistema	79
Figura 25. Diagrama de bloques del Sistema de Reutilización de Aguas Grises	81
Figura 26. Primer modelo de arquitectura del sistema	82
Figura 27. Segundo modelo de arquitectura del sistema	83
Figura 28. Distribución de pines GPIO Raspberry Pi 3.....	85
Figura 29. Distribución de pines del GPIO	86
Figura 30. Diagrama de flujo general	87
Figura 31. Flujograma nivel de agua del almacenamiento	90
Figura 32. Flujograma nivel de agua tanque del inodoro	92
Figura 33. Flujograma para subir datos a la nube.....	93
Figura 34. Circuito de conexión de Raspberry con elementos externos.....	94
Figura 35. Circuito impreso de conexión Raspberry con elementos externos	94
Figura 36. Verificación del funcionamiento del sistema	96
Figura 37. Datos de prueba en Relayr	98
Figura 38. Datos de prueba en Thingspeak	99
Figura 39. Raspberry Pi 3 y complementos instalados en la pared	100
Figura 40. Instalación del servomotor y sensor de nivel en el inodoro	101
Figura 41. Instalación de la bomba, sensor de flujo y sensores de nivel	102
Figura 42. Instalación del filtro de aguas grises	103
Figura 43. Prueba de conexión de la tarjeta a una red inalámbrica	104
Figura 44. Prueba de funcionamiento del filtro	106
Figura 45. Prueba de no fugas de agua	108
Figura 46. Prueba de carga de datos en Relayr.....	109
Figura 47. Prueba de carga de datos en Thingspeak.....	109

Figura 48. Instalación del sistema con enfoque comercial	116
Figura 49. Factura de consumos de agua: mes de julio	134
Figura 50. Consulta de la planilla medidor de la piscina y el gimnasio	135
Figura 51. Formato de la encuesta aplicada.....	137
Figura 52. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 1.....	138
Figura 53. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 2.....	139
Figura 54. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 3.....	140
Figura 55. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 4.....	141
Figura 56. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 5.....	142
Figura 57. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 6.....	143
Figura 58. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 7.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de diseño de MQTT-S	14
Tabla 2. Ventajas de la arquitectura de control REST API	17
Tabla 3. Promedio de uso de elementos observados	41
Tabla 4. Descripción de los riesgos y estrategias de mitigación	44
Tabla 5. Lista de los Stakeholders	46
Tabla 6. Requerimientos operacionales y de usuario	47
Tabla 7. Requerimientos iniciales del sistema.....	48
Tabla 8. Requerimientos de Arquitectura	50
Tabla 9. Requerimientos de la tarjeta programable	52
Tabla 10. Evaluación de las tarjetas programables disponibles	53
Tabla 11. Detalles técnicos del Raspberry Pi 3	55
Tabla 12. Requerimientos de los sensores de nivel de líquido	57
Tabla 13. Evaluación de los sensores de nivel de líquido disponibles	58
Tabla 14. Detalles técnicos del sensor de nivel de líquido de tipo flotador	62
Tabla 15. Requerimientos de la bomba de agua	65
Tabla 16. Evaluación de las bombas de agua	66
Tabla 17. Detalles técnicos de la bomba de agua	67
Tabla 18. Requerimientos de sensor de flujo de líquido	68
Tabla 19. Evaluación de los sensores de flujo	69
Tabla 20. Detalles técnicos del sensor de flujo de agua	70
Tabla 21. Requerimientos de la plataforma de IoT	72
Tabla 22. Evaluación de las plataformas de IoT.....	73
Tabla 23. Capas del filtro y función que desempeñan.....	78

Tabla 24. Elementos complementarios para la instalación del sistema.....	80
Tabla 25. Evaluación de componentes para arquitectura del sistema.....	84
Tabla 26. Descripción de las actividades del diagrama de flujo general.....	88
Tabla 27. Definición del estado del almacenamiento según los sensores	91
Tabla 28. Librerías usadas en el sistema.....	95
Tabla 29. Resultados de la verificación.....	97
Tabla 30. Pruebas de funcionamiento y su finalidad.....	105
Tabla 31. Valoración de materiales electrónicos del sistema.....	111
Tabla 32. Valoración de materiales del filtro	112
Tabla 33. Valoración del software usado	113
Tabla 34. Costo de desarrollo del sistema	114
Tabla 35. Costos totales del desarrollo del sistema	114
Tabla 36. Costos de producción del sistema.....	115
Tabla 37. Promedio de litros de agua ahorrados.....	118
Tabla 38. Ahorro económico en relación a los litros ahorrados	119
Tabla 39. Ahorro de recursos según el número de lavabos	120
Tabla 40. Resultado de la entrevista a empleados del complejo acuático	131
Tabla 41. Costo mensual de fabricación de 25 unidades.....	145

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de una muestra desconociendo el tamaño de la población	43
Ecuación 2. Fórmula que determinar la potencia de una bomba hidráulica	63
Ecuación 3. Cálculo del peso específico.....	64
Ecuación 4. Calculo de caudal.....	64
Ecuación 5. Fórmula para determinar la potencia de la bomba del sistema.....	64

RESUMEN

Cada día el ser humano se enfrenta al desafío de la preservación de los recursos naturales renovables y no renovables, siendo uno de los más importantes el agua. En la actualidad debido a la escasez del líquido vital se han tomado medidas para que el uso sea eficiente y de esta forma evitar el desperdicio del mismo. Gracias a que el desarrollo tecnológico ha evolucionado, es posible crear aplicaciones electrónicas capaces de ayudar a automatizar procesos que colaboren con el ahorro y reutilización del agua.

En el presente proyecto se muestra cómo a través del uso de un sistema electrónico automatizado con IoT se ahorra agua desde el lavabo hacia el inodoro, de manera que las descargas de este sean líquido reciclado, resultado del filtrado de las aguas grises recolectadas; adicionalmente se puede estimar la cantidad de agua ahorrada en litros, datos que serán subidos a una plataforma en la nube para su procesamiento.

Se fundamenta el desarrollo de este proyecto con la identificación del problema y la necesidad de una solución, apoyada por los objetivos del proyecto, delimitada por el alcance y su justificación. Previo al diseño e implementación del sistema se realiza una revisión sistemática de los conceptos teóricos de: Internet de las Cosas IoT, herramientas de software y hardware usados, además de una descripción de Aguas Grises, tratamiento y filtrado. A continuación, se efectúa el desarrollo experimental donde se propone el diseño del sistema tomando en cuenta los requerimientos y sus prioridades a fin de elegir los componentes que satisfagan las necesidades del proyecto para su posterior instalación. Finalmente se presenta un análisis de costos e impactos que evalúan los efectos de la implementación del proyecto, con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

Every day the human being the challenge of preserving renewable and non-renewable natural resources, one of the most important water. At present time, due to the shortage of the vital liquid they have been taken measures to use efficiently and thus avoid waste it. Thanks to that technological development has evolved, it is possible to create technology to help automate processes and collaborate with saving and reusing water.

In this project it shows how through the use of an electronic automated system with IoT water is saved from the sink to the toilet, so that discharges of this recycled liquid, it is result of filtering collected gray water; additionally, it can be considered the quantity of saved water in cubic meters, data that will be uploaded to a cloud platform for processing.

The development of this project is based on the identification of the problem and the necessity of a solution, supported by the objectives of the project, delimited by the research and its justification. Before the design and implementation of the system, it carries out a systematic review of the theoretical concepts of: IoT Internet, software and hardware tools used, as well as a description of Gray Waters, treatment and filtering. Next, the experimental development is done where the design of the system is proposed considering the requirements and their priorities to choose the components that satisfy the necessities of the project for its later installation. Finally, an analysis of costs and impacts is presented that evaluates the effects of the implementation of the project, with their respective conclusions and recommendations.

CAPÍTULO I

CONTEXTO DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta el problema y la necesidad de una solución, apoyada por los objetivos del proyecto, delimitada por el alcance y su justificación. Cada subtema está descrito de manera concisa haciendo referencia a datos actualizados.

2.3 PROBLEMA

Uno de los recursos imprescindibles para la vida en la Tierra es el agua, al cual se le debe dar un uso racional con el fin de ahorrar y hacer eficiente su consumo. Con el aumento de la población, en el futuro, el acceso al recurso vital se volverá un problema serio. Se puede mencionar que el desperdicio incontrolado e inconsciente del mismo desemboca en otros problemas secundarios relevantes, los cuales generan efectos negativos a corto, mediano y largo plazo. Según datos de INEC en el Ecuador un hogar paga por agua un promedio de 11,31 dólares mensuales, en el área urbana el promedio es de 12,72 dólares y en la rural 6,62 dólares (INEC, 2012). Cada vez son más notorias las prácticas que se realizan a favor del uso racional del agua, aunque no son extendidas a toda la población. En el país, Quito es la ciudad donde más hogares tienen alguna práctica de ahorro, debido a campañas de concientización promovidas por la Empresa de Agua Potable de Quito y el sector privado (El Comercio, 2014), a pesar de esto se continúa desperdiciando agua limpia cuando se descarga agua del inodoro.

En la provincia de Imbabura los hogares actualmente no presentan de un sistema inteligente que permita ahorrar este líquido vital. Uno de los inconvenientes usuales

ocasionados por el desperdicio irracional del agua es el encarecimiento gradual del metro cúbico de este recurso, al ser más complicado obtenerlo o a su vez por el escaseo del mismo. Lo anterior converge en mayor gasto para personas y por lo tanto menor disponibilidad de dinero para otras necesidades básicas. ExpokNews explica un claro ejemplo del mal uso de este recurso, en el cepillado de dientes se consumen 250 ml de agua por minuto si se hace de la manera recomendada cerrando el grifo, pero si por el contrario se deja abierta la llave del lavabo, por cada minuto se desperdician 5 litros de agua (EXPOK, 2014). Mitigar el uso negligente del líquido vital mediante técnicas de educación y conciencia del uso adecuado no son suficientes. Además, pero no menos importante el impacto ambiental se ve afectado por el mal uso de la población en el lavamanos o de la ducha eléctrica; sin reutilizar la misma para el empleo en mantenimiento de animales, cultivos, etc.

Actualmente el uso de la tecnología en la vida cotidiana se ha vuelto indispensable para la sociedad, más aún cuando se han desarrollado soluciones inteligentes a problemas diarios que colaboran con la optimización y uso eficiente de recursos. Un concepto importante a nacido a raíz del uso del internet y los sistemas electrónicos, el Internet de las Cosas (IOT- Internet of the Things). IOT busca conectar dispositivos a la red con el propósito de automatizar procesos, interactuar unos sistemas con otros y recolectar datos para subirlos a la nube. Según estimaciones hechas por la consultora IDC, al finalizar el 2014 cerca de 17,5 millones de nuevos dispositivos estarán conectados entre sí de manera autónoma (La Hora, 2014).

La inexistencia de estudios y datos concretos de los perjuicios tanto ambientales como económicos de uso ineficiente del agua provocan que las personas no se concienticen ni tengan cultura del ahorro. A pesar de tener los recursos suficientes se ha invertido muy poco

en el desarrollo de tecnologías que permitan filtrar y reutilizar agua, siendo este uno de los principales campos donde es posible aplicar sistemas que cumplan con dichos requerimientos. Es por esta razón que es necesario generar soluciones tecnológicas que apoyen a esta causa basados en la descripción del problema; se plantearán algunas preguntas con las cuales se buscará orientar la investigación. Luego, se elegirá y concentrará en una sola, aquella que sea la de mayor interés para propósitos investigativos.

2.4 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema electrónico con aplicación IoT de reutilización de aguas grises desde el lavabo hacia el inodoro para estimar un ahorro de consumo a escala de laboratorio en un periodo de 8 meses.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer los principales factores del uso incorrecto del agua en los baños y determinar la alternativa más idónea para ahorrar este recurso.
- Realizar una revisión sistemática de literatura para determinar las bases teóricas comprendidas en la revisión bibliográfica correspondiente al sistema.
- Analizar y determinar el hardware y software necesario en relación a los requerimientos establecidos para el diseño y desarrollo del sistema, realizando las pruebas de funcionamiento para la depuración de errores.
- Analizar los datos que se obtengan como resultado del sistema instalado en un baño para establecer estimadores de ahorro del agua.

2.5 ALCANCE

Con la finalidad de determinar la mejor herramienta de software para subir información a la nube se realizará un estudio de las plataformas existentes y se elegirá la que mejor se adapte a las necesidades del proyecto planteado. Se elegirá un tipo de tubería, válvulas y caudalímetro apropiados para alcanzar los objetivos planteados.

El sistema electrónico será implementado en un solo baño con el objetivo de sanear falencias, comprobar su completo funcionamiento y determinar los resultados finales. El proceso de filtrado no comprende que el agua sea potabilizada, es decir, únicamente puede ser utilizada para descargas del sanitario. El líquido se filtra con un proceso físico, y una vez lleno el tanque del inodoro fluirá hacia el drenaje.

Una vez implementado el sistema este va a ser capaz de reciclar agua, pero no va a ser de utilidad si las personas no se concientizan, adicionalmente se garantiza que no existan fugas dentro del mismo y no se evita que haya desperdicio externamente.

La programación completa del sistema electrónico y sus componentes que así lo requieran se va a realizar haciendo uso de software libre en versiones freemium, además se va a presentarlo de forma estéticamente adecuada haciendo uso de circuitos impresos para los elementos que se necesiten.

Al finalizar la duración de este proyecto de tesis se obtendrá un sistema de filtrado de aguas grises de un lavabo, las mismas que serán reutilizadas para llenar el tanque de un inodoro, a fin de minimizar el desperdicio de agua limpia en las descargas que se realizan en el mismo. El sistema electrónico será capaz de cuantificar la cantidad de agua que se ha

ahorrado con la implementación del mismo y adicionalmente se conectará a la red local para subir datos a la nube, donde serán almacenados y procesados.

2.6 JUSTIFICACIÓN

Tras la falta de un uso óptimo del agua y al ser un recurso no renovable y de gran importancia para la supervivencia de los seres vivos; nace la idea de este proyecto de grado. Los malos hábitos practicados diariamente por los ecuatorianos no contribuyen a la preservación del mismo; no obstante, las empresas públicas de agua en el país generan las socializaciones respectivas. Es importante mencionar que además de usar en menor cantidad el agua se puede reusar la misma y aprovechar al máximo las cantidades ya empleadas. Un ejemplo claro de lo descrito es el volumen usado en los lavamanos, duchas eléctricas o la propia lluvia que pueden pasar por procesos físicos básicos de purificación y ser distribuidos en cultivos.

Gracias al avance de la tecnología que actualmente existe se puede mencionar que mediante la aplicación del IOT se puede construir un sistema que sea usado por gran parte de la población de los ecuatorianos, entidades públicas o privadas que poseen dispositivos inteligentes y que estén interesados en contribuir con el medio ambiente.

Como recurso natural renovable, el agua es también quebrantable y valiosa que requiere de un uso consciente y óptimo, es motivación de este proyecto su preservación, ahorro y utilización eficaz.

La primera encuesta de estratificación socioeconómica realizada por el INEC indica que el 49.3% de la población de las principales ciudades del país son clase media-baja, razón

por la cual es viable generar medidas que colaboren con ahorro de recursos económicos en los hogares ecuatorianos.

El actual gobierno a través de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) ha elaborado el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, el mismo en su objetivo 10 Impulsa el Desarrollo de la matriz productiva del país, razón por la cual el presente proyecto se alinea al mismo, al promover interacción con la frontera científico-técnica.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El presente apartado contiene las definiciones teóricas con los conceptos relevantes que se va a hacer uso en el desarrollo del proyecto. Cada subtema presentado se resume de manera objetiva, para facilitar la comprensión del lector, además se hace uso de las bibliotecas virtuales para enriquecer el concepto de cada título aquí descrito, asimismo cada uno tiene respectiva referencia al autor.

2.1 INTERNET OF THINGS

Desde el inicio de la humanidad la comunicación ha sido un medio clave para el avance y progreso de la sociedad. En el presente es imprescindible el intercambio de datos e información entre las personas para el desarrollo de conocimientos y tecnología. La creación de Internet ha marcado un gran avance en la difusión de información en los campos de: educación, comunicación, salud, etc. (Evans, 2011); permitiendo a compañías, gobiernos y a la sociedad en si hacer uso del mismo. Actualmente no solo las personas se comunican entre ellas, sino también personas con objetos y objetos con otros objetos, dando lugar al Internet de las Cosas (IdC); cabe mencionar que el término Internet of Things (IoT) no es nuevo, fue introducido desde el año 1999 por el Ingeniero Bill Joy (Moreno, 2015).

Internet de las Cosas se refiere a automatizar, operar y perfeccionar a través de internet procesos que se ejecutan diariamente, para lo cual es necesario el uso de sensores, los mismos que son capaces de digitalizar señales físicas y transmitirlos a un interpretador para procesarlos con el objeto de eliminar la brecha entre el mundo real y el mundo de la

información. IoT tiene un acelerado crecimiento que permite la interoperabilidad con diferentes tecnologías de comunicación existentes y otras desarrolladas exclusivamente para el Internet de las Cosas a través de protocolos acordados (Chen, 2014).

Existen muchos propósitos que se han dado para IoT, principalmente se enfoca en mejorar la calidad de vida de las personas, el rendimiento en industrias y optimización de recursos gracias a la fuente de datos que proveen sensores y actuadores embebidos. Es importante recalcar que IoT no simplemente radica en vincular objetos entre ellos y administrarlos a partir de un terminal remoto sino consiste en tener a disposición información precisa, computarizada y en tiempo real (Moreno, 2015).

IoT contempla una evolución de Internet, que llegará a convertirse en un monumental progreso en la capacidad para recolectar, estudiar e intercambiar datos que llegarán a ser información y debidamente experimentados y analizados, conocimiento. Actualmente el Internet de las Cosas se forma de una compilación dispersa de varias redes con múltiples fines y se prevé como una red global inteligente que enlaza todos los sujetos de la vida cotidiana a Internet con el objetivo de participar de información y comunicarse, formando parte sistemáticamente del internet (Alcaraz, 2014).

Integrar y asociar aparatos inteligentes, funciones de la vigente internet y redes de sensores con los individuos a fin de distribuir información útil para extender el conocimiento y tomar decisiones que mejoren el bienestar social es posible con IoT; por otra parte, ha conseguido que internet sea capaz de interpretar diferentes sensaciones (vibración, altitud, temperatura, presión, luz, estrés, humedad) dando la capacidad a las personas de ser proactivas y menos reactivas (Evans, 2011). Además, permite un cómodo acceso e interacción con los dispositivos.

Particularmente la UIT emitió un concepto nuevo de IoT en julio de 2012, “Infraestructura global para la sociedad de la información, que permite que los servicios avanzados de interconexión (física y virtual) cosas u objetos existentes y en evolución, interrelacionen tecnologías de la información y de la comunicación” (ITU, 2012).

2.1.1 Arquitectura de IoT

La Internet presente usa la pila de protocolos TCP/IP propuesta hace mucho tiempo para la comunicación entre los hosts de la red. Sin embargo, IoT conecta miles de millones de objetos que va a crear mayor tráfico y por lo tanto se requiere de más capacidad de almacenamiento de datos (Tan, 2010). Además, Internet of Things se enfrentará a muchos retos, especialmente relacionados con la privacidad y la seguridad (Gang G, 2011). De este modo, la nueva arquitectura propuesta para IoT necesita para hacer frente a muchos factores como la escalabilidad, interoperabilidad, fiabilidad, calidad de servicio, etc. Puesto que IoT conecta todo y todo el mundo para intercambiar información entre sí, el tráfico y el almacenamiento en la red también se incrementará en forma exponencial. Por lo tanto, el desarrollo tecnológico de IoT depende del progreso y el diseño de diversas nuevas aplicaciones y modelos de negocio. En general, la estructura de la IoT se divide en cinco capas de referencia (Miao, 2010) como se muestra en la Figura 1. Estas capas son brevemente descritas a continuación:

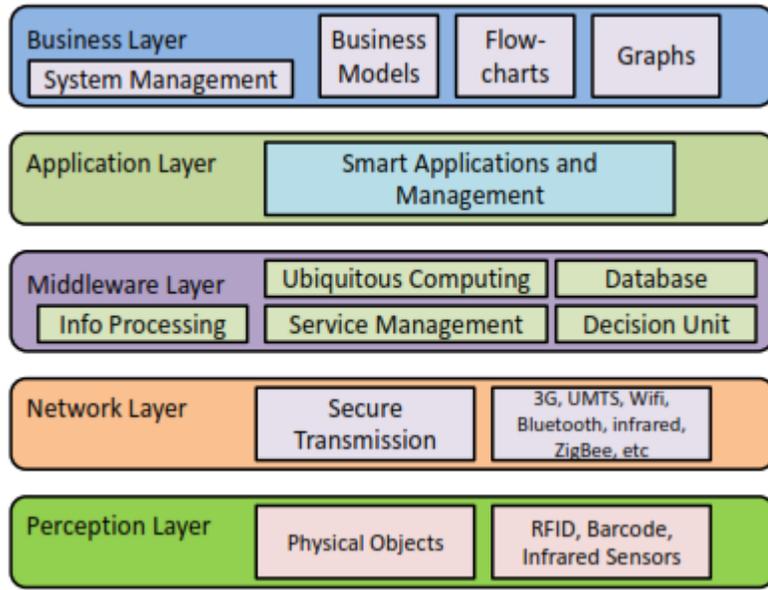


Figura 1. Capas de la arquitectura de IoT

Fuente: (Khan, 2012, pág. 259)

2.1.1.1 Capa de Percepción

La capa de percepción también se conoce como “Capa de Dispositivos”. Se compone de los objetos físicos y dispositivos sensores. Esta capa básicamente se ocupa de la identificación y la colección de información de objetos específicos por los dispositivos sensores. Dependiendo del tipo de sensores, la información puede ser sobre la localización, la temperatura, la orientación, movimiento, vibración, aceleración, humedad, cambios químicos en el aire, etc. (Khan, 2012). La información recogida se hace pasar a la capa de red para su transmisión segura donde el sistema procesa la información.

2.1.1.2 Capa de red

La capa de red también se puede llamar “Capa de transmisión”. Esta capa transfiere de forma segura la información de los dispositivos sensores hacia el sistema de procesamiento de información. El medio de transmisión puede ser cableado o inalámbrico, dependiendo de los dispositivos sensores. Por lo tanto, la capa de red transfiere la información de la capa de Percepción a la capa de Middleware (Khan, 2012).

2.1.1.3 Capa de Middleware

Los dispositivos a través de IoT implementan diferentes tipos de servicios. Cada dispositivo se conecta y se comunica únicamente con los otros dispositivos que implementan el mismo tipo de servicio. Esta capa es responsable de la gestión de servicios y tiene un enlace a la base de datos. Recibe la información de la capa de red y la almacena en la base de datos. Realiza el procesamiento de la información y computación omnipresente y toma decisiones automáticamente basada en los resultados (Tan, 2010).

2.1.1.4 Capa de Aplicación

Esta capa proporciona una gestión global de la aplicación basada en la información de las cosas procesada en la capa de Middleware. Las aplicaciones implementadas pueden ser salud inteligente, agricultura inteligente, casa inteligente, ciudad inteligente, transporte inteligente, etc. (Khan, 2012).

2.1.1.5 Capa de Negocios

Esta capa es la responsable de la gestión global del sistema, incluyendo las aplicaciones de IoT y los servicios. Esta capa construye modelos de negocio, gráficos, diagramas, etc. en base a los datos recibidos de la capa de aplicación. El verdadero éxito de la tecnología IoT también depende de los buenos modelos de negocio (Miao, 2010). Basándose en el análisis de los resultados, esta capa ayudará a determinar las futuras acciones y estrategias de negocio.

2.1.2 Protocolos

Con el despliegue del Internet de las Cosas también se desarrollaron y evolucionaron protocolos de comunicación para garantizar la comunicación entre los diferentes dispositivos que se usan globalmente, asimismo se desarrollaron estándares para permitir la interoperabilidad entre terminales de diferentes fabricantes. Los principales protocolos de IoT son descritos en seguida.

2.1.2.1 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Es un protocolo abierto diseñado para dispositivos comprimidos utilizados en aplicaciones de telemetría. MQTT está diseñado de tal manera que su aplicación en el lado del cliente es muy simple, por lo tanto, es el más adecuado para sistemas de automatización en el hogar (Tucic, 2015). Todas las complejidades del sistema residen en el lado del gestor. MQTT no especifica técnicas de enrutamiento o networking; se supone que la red subyacente proporciona una sesión orientada, servicio de transporte de datos de punto a punto de auto-

segmentación con entrega en orden (por ejemplo, TCP / IP) y emplea este servicio para el intercambio de mensajes. MQTT está basado en un protocolo pub/sub¹ que utiliza cadenas de caracteres para proporcionar soporte de temas jerárquicos (Locke, 2010). Esto también facilita la suscripción a múltiples contenidos. Soporta una básica, extremo a extremo Calidad de Servicio (QoS). Dependiendo de la fiabilidad del mensaje que debe ser entregado a su receptor, MQTT distingue entre tres niveles de calidad de servicio. El nivel de calidad de servicio 0 es la más simple: ofrece el servicio de mejor esfuerzo de entrega, donde los mensajes se entregan o no en absoluto a su destino. La retransmisión o acuse de recibo no están definidos. QoS nivel 1 proporciona un transporte más fiable: mensajes con QoS nivel 1 son retransmitidos hasta que son admitidos con un acuse de recibo por los receptores. En consecuencia, los mensajes QoS nivel 1 están determinados a llegar, pero pueden llegar varias veces al destino debido a las retransmisiones. La calidad de servicio del más alto, calidad de servicio nivel 2, garantiza no sólo la recepción de los mensajes, sino también que se entregan sólo una vez para las entidades que reciben. MQTT es un protocolo orientado a la conexión, es decir, se requiere que un cliente establezca una conexión con el gestor antes de que pueda intercambiar publicaciones y suscripciones con el mismo (Hunkeler, 2008).

2.1.2.2 MQTT-S

Es una extensión de MQTT para redes de sensores inalámbricos (WSN). MQTT-S se desarrolla sobre la base de los puntos de diseño expuestos en la Tabla 1:

¹ Pub/sub: En informática, el término de publish/subscribe (o pub/sub) se refiere a un patrón de diseño o estilo arquitectónico utilizado para la comunicación asíncrona entre los diferentes procesos, objetos u otros agentes.

Tabla 1. Características de diseño de MQTT-S

Característica de diseño	Propiedades
Lo más cerca posible a MQTT	<p>Conexión perfecta de los dispositivos SA² a un administrador de MQTT.</p> <p>Integración sin problemas de las redes inalámbricas de sensores con la infraestructura de comunicación existente.</p> <p>Implementación muy simple y sin pérdidas de las puertas de enlace.</p> <p>MQTT-S es compatible casi todo el flujo de mensajes y el contenido definido por MQTT.</p>
Optimizado para pequeños dispositivos SA	<p>El protocolo está diseñado de tal manera que se puede implementar de bajo coste, los dispositivos que funcionan con baterías con el procesamiento y almacenamiento limitada.</p>
La consideración de restricciones en las redes inalámbricas (tasas de fallo de enlace, bajo ancho de banda y la carga útil de mensajes cortos)	<p>Los enlaces de radio inalámbricas tienen mayores tasas de fracaso que los enlaces de cable, debido a su susceptibilidad a las perturbaciones de interferencia y el desvanecimiento. También tienen una capacidad de transmisión más baja. Los procedimientos deben definirse para reducir el riesgo de haber SA desconectado de la infraestructura debido a fallos de enlace o congestión de la red.</p>
Independiente de la red	<p>MQTT-S está diseñado para funcionar en cualquier red que proporcione los dos servicios siguientes: servicio de</p>

² SA: dispositivo sensor o actuador.

transferencia de datos Punto-a-punto y servicio de transferencia de datos de difusión de un salto

Fuente: (Hunkeler, 2008)

2.1.2.3 Constrained Application Protocol (CoAP)

Este protocolo utiliza la arquitectura REST, donde los recursos son identificados por Universal Resource Identifier (URI). Funcionalidades de HTTP se han rediseñado para COAP, pero los principios básicos siguen siendo los mismos. La diferencia clave entre HTTP y COAP se relaciona con la capa de transporte subyacente. HTTP se basa en el protocolo TCP orientado a la conexión, mientras que COAP se construye en la parte superior del protocolo simple de UDP sin conexión. La Figura 2 muestra el modelo de interacción cliente-servidor que se utiliza en el COAP. Los clientes están enviando solicitudes para la acción específica sobre los recursos del servidor, y el servidor, después de procesar la solicitud, se enviará el código de respuesta y la representación de los recursos (Ugrenovic, 2015).

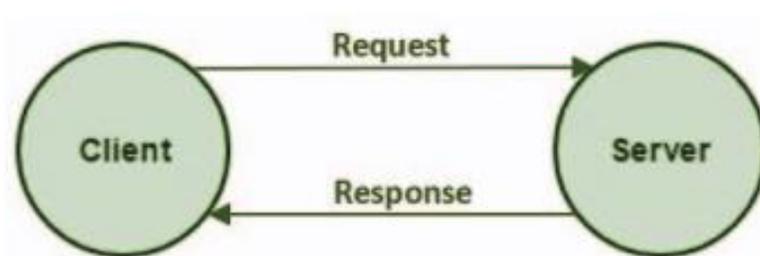


Figura 2. Diagrama de comunicación cliente-servidor en el COAP

Fuente: (Ugrenovic, 2015, pág. 80)

La acción solicitada por el cliente se define por el método, URI, y en algunos casos meta-datos sobre la petición. Hay cuatro métodos diferentes definidas en el estándar coap:

- GET - para recuperar representación de recursos,
- POST - para la transferencia de representación de la información,
- PUT - para la actualización de los recursos en el servidor,
- DELETE - para la eliminación de recursos (Shelby, 2014).

La pila de comunicación con COAP se muestra en la Figura 3. La capa Física y MAC se basan en especificaciones del estándar IEEE 802.15.4, para permitir las comunicaciones de baja potencia para dispositivos embebidos inalámbricos en Low-rate WPAN (Wireless Personal Area Network). La capa de adaptación 6LoWPAN tiene capacidad para la transmisión de paquetes IPv6 dentro de la trama MAC. La capa de red está representada por los mecanismos de IPv6 y protocolo de enrutamiento RPL diseñados para estos tipos de redes. El protocolo UDP se selecciona comúnmente como protocolo de transmisión para aplicaciones IOT, debido a bajos gastos generales y mecanismos simples (Ugrenovic, 2015).

Application	CoAP
Transport	UDP
Network	IPv6/RPL
Adaptation	6LoWPAN
MAC	802.15.4
Physical	802.15.4

Figura 3. Pila de comunicación COAP

Fuente: (Ugrenovic, 2015, pág. 80)

2.1.2.4 REST API

REST es un estilo de arquitectura para el diseño de aplicaciones en red. Como estilo arquitectónico REST ha ganado popularidad en la implementación de sistemas débilmente acoplados, los servicios RESTful se están convirtiendo en el estilo de elección para la API en dirección norte y va ganando cada vez más importancia en la arquitectura SDN³. La adopción de REST API ligado a SDN dentro de esta arquitectura de control tiene las ventajas mostradas en la Tabla 2 (Zhou, 2014):

Tabla 2. Ventajas de la arquitectura de control REST API

Ventajas	Particularidades
Gestión descentralizada de los recursos dinámicos	REST se basa en las conexiones entre los recursos para descubrir y administrarlos como un todo, permite que los elementos de red se desplieguen y se cambien dinámicamente de forma distribuida.
Clientes heterogéneos	Debido a que REST separa representaciones de recursos, identificación e interacción, se puede ajustar las representaciones de recursos de red y protocolos basados en las capacidades del cliente SDN y condiciones de la red para optimizar el rendimiento de la API.
Composición de servicios	REST puede proporcionar composiciones orientadas a servicios que son independientes de los lenguajes de programación y se pueden ejecutar en diferentes plataformas.

³ SDN: Software Defined Networking, en español redes definidas por software

Migración localizada	REST API es compatible con la migración de servicios compatible con versiones anteriores a través de la migración localizada por el cual un recurso que acaba de agregar sólo afecta a los recursos que se conectan a él.
Escalabilidad	La escalabilidad del servidor REST se logra manteniendo el servidor sin estado y mejora el rendimiento del servidor a través de las memorias caché en capas.

Fuente: (Zhou, 2014)

2.1.2.5 Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)

Es un estándar abierto formalizado por IETF y extendido continuamente durante el proceso de normalización de la Fundación Estándares XMPP. Otros puntos fuertes de XMPP incluyen:

- Servidores XMPP de una red descentralizada similar a un correo electrónico; cualquier persona que tenga un nombre de dominio y una conexión adecuada a Internet se puede ejecutar su propio servidor XMPP y conectar sus usuarios y servicios a la red XMPP.
- Existen muchos servidores y clientes con open source que implementan XMPP y estos poseen muchas extensiones de estándares.
- El protocolo XMPP es extensible por diseño. Es fácil de extender el protocolo para la comunicación de nuevos tipos de información para nuevos servicios.
- Disponibles implementaciones de código abierto se esfuerzan por ser modulares y extensibles también. Es relativamente fácil de añadir nuevas funcionalidades

escribiendo su propio protocolo de extensión, implementarlo como componente o módulo y añadirlo a un servidor existente o la aplicación cliente.

XMPP tecnologías utilizan una arquitectura cliente-servidor descentralizada con un modelo de federación directa. Cada entidad XMPP necesita una dirección, llamada jabberId (JID). JabberIDs para los usuarios parecen a las direcciones de correo electrónico, nombre de usuario y compuestos por el dominio. Los desarrolladores de XMPP suelen llamar a esto un JID al descubierto, ya que un JID completo, formado por la adición de un identificador de recursos al final de su dirección de cuenta, se utiliza para enrutar el tráfico a una determinada conexión que tienen en lugar de cualquier otra conexión que pueda tener abierta en este momento (Ozturk, 2010).

2.1.2.6 Routing Protocol for Low Power Lossy Networks

RPL es el protocolo estándar propuesto por IETF para el enrutamiento IPv6 sobre redes de baja energía y con pérdidas (LLNS). Es un protocolo de vector de distancia de las redes IPv6 que comprenden dispositivos de baja potencia conectadas por enlaces con pérdidas. En comparación con la red tradicional, RPL está diseñado para redes con tasas de pérdida de paquetes significativamente más altos. Proporciona un mecanismo por medio del cual el tráfico multipunto a punto de dispositivos dentro del LLN hacia un punto central de control, así como el tráfico punto a multipunto desde el punto central de control para los dispositivos dentro del LLN son compatibles. Soporte para el tráfico punto a punto también está disponible (Tang, 2012).

En otros términos, RPL minimiza los costos para llegar a cualquier sumidero (de cualquier sensor) por medio de una función objetivo, que se puede definir de muchas maneras para otorgar a muy alta flexibilidad con respecto al escenario de operaciones. Por otra parte, RPL se adhiere estrictamente a la arquitectura IPv6: gradiente se crea y se mantiene por medio de mensajes de señalización realizados como opciones de IPv6 anuncios de enrutador (RA). Con el fin de ser útil en una amplia gama de dominios de aplicación LLN, RPL separa de procesamiento de paquetes y expedición del objetivo la optimización de encaminamiento (Accettura, 2011).

2.1.3 Desafíos de IoT

Resulta complicado en una tecnología que se desarrolla globalmente llegar a acuerdos en el tema de estandarización, ya que cada fabricante pretende acoplar su producto a las necesidades locales, por otra parte, existen otras barreras que son capaces de retrasar el despliegue del Internet de las Cosas.

- **Interoperabilidad Tecnológica:** La interoperabilidad es significativamente más difícil para la IoT ya que no es (sólo) sobre la conexión de la gente con la gente, sino de una interacción sin fisuras entre los dispositivos y las personas con dispositivos. Estos dispositivos pueden ser diferentes en cuanto a sus capacidades tecnológicas (Gazis, 2015).
- **Implementación de IPv6:** Con el agotamiento de las direcciones IPv4 surge el problema de que se necesita para cada sensor conectado a la red una dirección exclusiva; por supuesto en el mundo existirán miles de millones de dispositivos. Ipv6

facilita las suficientes direcciones y además incluye autoconfiguración y mejoradas particularidades de seguridad (Evans, 2011).

- **Energización de Dispositivos:** La auto sustentabilidad del sensor es un tema de vital importancia para IoT, ya que se tendrá enormes cantidades de dispositivos dispersos y no es viable cambiar la periódicamente la batería a cada uno, significando una pérdida de tiempo que convertiría al Internet de las Cosas en un sistema ineficiente. Actualmente se han creado baterías de mayor capacidad, hardware con bajo consumo y optimización de software para reducir la cantidad de energía que usa el dispositivo para funcionar (Evans, 2011).
- **Interoperabilidad semántica:** Para la plena interoperabilidad, es necesario que los dispositivos interpreten correctamente la información compartida y actúen en consecuencia. El aspecto semántico de interoperabilidad normalmente se conoce como Modelo de información. Por lo tanto, las mejoras tienen que ser tomadas con respecto ontologías distribuidas, web semántica, o la búsqueda de dispositivos semántica (Gazis, 2015).
- **Privacidad y Seguridad:** En comparación con las redes tradicionales, las cuestiones de seguridad y privacidad de la IoT se vuelven más prominentes. Mucha información incluye la privacidad de los usuarios, por lo que la protección de la privacidad se convierte en una importante materia de seguridad. Debido a las combinaciones de cosas, servicios y redes, la certeza de la información debe cubrir más objetos de gestión y los niveles de seguridad de red tradicional. La arquitectura de garantía existente está diseñada desde la perspectiva de la comunicación humana, puede no ser adecuado aplicado directamente al sistema de la IoT. Internet de las Cosas necesita

soluciones técnicas de bajo costo y orientadas M2M para garantizar la privacidad y la integridad (Chen, 2014).

- **Negocios:** Para una aplicación madura, su modelo de negocio y el escenario de aplicación son claros y fáciles de ser identificado en los requisitos técnicos. Por lo que los desarrolladores no tienen que pasar mucho tiempo en los aspectos relacionados con la empresa. Sin embargo, para la IoT, hay demasiadas posibilidades e incertidumbres en los modelos de negocio y escenarios de aplicación. Por lo tanto, es ineficiente en términos de alineación en la tecnología de negocios, y una solución no caben las posibilidades para todos (Chen, 2014).

2.1.4 Aplicaciones

Las áreas de aplicación de IoT son inmensamente diversas y dependen de la creatividad del desarrollador, dicho de otra forma, los límites de las aplicaciones se los pone el investigador quien elige cómo y hasta donde llegar, entre las principales aplicaciones se pueden mencionar:

2.1.4.1 Hogar

Las aplicaciones de IoT para el hogar (Alcaraz, 2014) las resume en tres apartados:

- **Aplicaciones Smart o Electrodomésticos Inteligentes:** en este campo ya existen soluciones comerciales, son conocidas las aplicaciones orientadas a dispositivos de uso doméstico como refrigeradores, aire acondicionado, etc.

Hacen uso de sensores ambientales y la conexión a internet casera para su implementación.

- Control y Automatización de los sistemas de la vivienda: ya es conocido que haciendo uso de IoT es posible controlar y programar el funcionamiento de sistemas remotamente, al mismo tiempo que, estos aprenden patrones y se autoajustan cuando es necesario.
- Monitorización del estado del hogar: el Internet de las Cosas brinda la capacidad de estar actualizados en tiempo real sobre el estado de todos los objetos conectados en la casa. Dicha información ayuda a tomar decisiones de forma inmediata para prescindir de incidentes cotidianos o bien generar alertas que permitan disminuir su impacto.

2.1.4.2 Ciudades

- Control y Monitorización de Tráfico: con el uso de IoT es posible generar soluciones para controlar el tráfico en las ciudades a través de información recolectada por sensores, cámaras y semáforos que se adapten a condiciones actualizadas de tráfico.
- Inspección de edificios y estructuras: monitorear la integridad de las estructuras y descartar el posible deterioro o degradación.
- Administración de servicios: permite gestionar automáticamente servicios de la ciudad a las autoridades según las condiciones meteorológicas como también trazar rutas de recolección de basura que se adapten a las condiciones en tiempo real (Sosa, 2013).

2.1.4.3 Automóviles

En este ámbito IoT se aplica a través de sensores que pueden predecir cuándo necesitan mantenimiento los componentes de un vehículo, dicho de otra forma, el Internet de las Cosas automatiza el proceso de revisión manual y contante de partes de un automotor. (Alcaraz, 2014)

2.1.4.4 Salud

En el tema salud es uno de los puntos donde mayoritariamente es aceptado IoT, ya que haciendo uso de dispositivos con biosensores ayuda a prevenir enfermedades y tener una vida saludable. Aplicado a la salud el Internet de las Cosas dota de la capacidad de tratamientos y control de enfermedades más eficientes, de manera que el médico o centro de medicina puede tener información actualizada del estado de sus pacientes (Khan, 2012).

2.1.4.5 Agricultura y Ganadería

En cuanto a Agricultura se puede monitorizar el suelo, sus componentes y los cultivos, mejorando el proceso de producción al tener patrones asociados a las condiciones climatológicas para tomar decisiones y refiriéndose a la Agricultura el Internet de las cosas es capaz de colaborar con el chequeo de la salud de los animales, mejorar las condiciones de vida y aumentar la producción de carnes y derivados (Evans, 2011).

2.1.4.6 Industria y Comercio

En la producción de bienes y servicios IoT ayuda a: hacer eficiente el proceso de producción, mejorar mecanismos de abastecimiento y distribución, realizar inventario de

manera sencilla, estudiar la conducta del consumidor y mercadotecnia especializada (Khan, 2012).

2.1.4.7 Medio Ambiente

En lo que se refiere al medio ambiente IoT favorece en gran medida a prescindir y combatir crímenes medioambientales, así como también ayuda a la detección temprana de incendios forestales y control de normativas del medio ambiente (Alcaraz, 2014).

2.1.5 Internet de Todo

Internet de Todo o por su nombre en inglés Internet of Everything (OIE) está construida sobre los “cuatro pilares”: de las personas, de los datos, del proceso y de las cosas (Charmonmanl, 2015). Mientras que solo IoT se compone de “cosas”, IoE también se extiende procesos comerciales e industriales para enriquecer la vida de las personas. Los dispositivos independientes del pasado se están conectando ahora a Internet incluyendo los sistemas machine-to-machine (M2M), person-to-machine (P2M), y person-to-person (P2P). El Internet de las cosas se encuentra enfocado únicamente en “las cosas” a diferencia de la visión general de Internet de Todo que se encamina en las “conexiones entre personas, procesos, datos y cosas”. IoE tiene el potencial para extraer y analizar datos en tiempo real de los millones de sensores conectados a él y luego aplicarlo a ayudar en “procesos automatizados y procesos basados en personas”. Esta envolvente de personas, procesos, datos y cosas abordados por la IOE se muestra en la Figura 4.

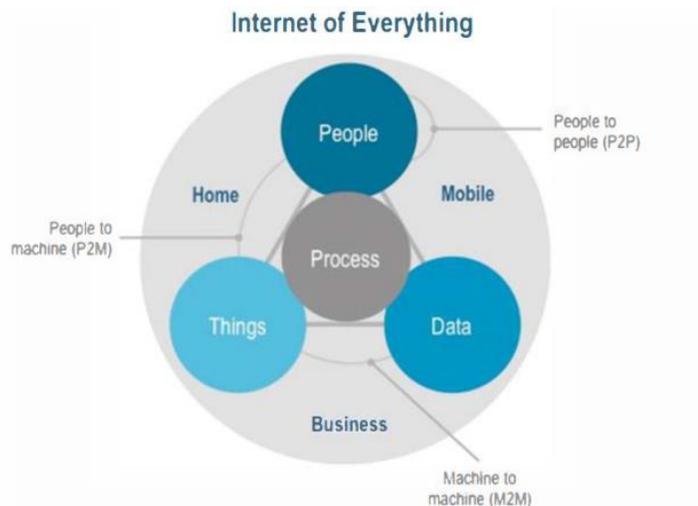


Figura 4. Componentes del Internet de Todo (IoE)

Fuente: (Miraz, 2015, pág. 220)

Otros beneficios incluyen el uso de IoE para ayudar a alcanzar los objetivos de política pública, sostenibilidad ambiental, los objetivos económicos y sociales. Aplicaciones basadas en oficinas tradicionales, tales como las operaciones financieras ahora se han movido en el dominio de la plataforma móvil con el uso de los teléfonos inteligentes, así como muchas otras aplicaciones, ayudado por el IoE, su aplicación se ve facilitado por la expansión de la computación en nube, ayudando a conectar “todo” en línea (Miraz, 2015).

2.1.6 Machine-to-Machine

El concepto básico de Machine-to-Machine (M2M) se refiere a el intercambio de datos entre dos dispositivos remotos sin la necesidad de intervención humana, comunicación que se puede dar haciendo uso de los diferentes protocolos que son capaces de usar dichos aparatos (Ghavimi, 2014). M2M representa unos de los principales cimientos para el Internet de las Cosas (IoT), posibilitando el desarrollo de infinidad de aplicaciones. Las redes cognitivas M2M se pueden dividir en dos ramas: M2M Capilar, se refiere a conectividad

basada en tecnologías de corto alcance (ZigBee, Wi-Fi) y M2M celular que se conforma de dispositivos provistos de tarjetas SIM, los cuales pueden comunicarse sin restricciones con equipos celulares (Kim, 2014).

Comunicaciones de Machine-to-Machine (M2M) tiene sus orígenes en los sistemas de control y adquisición de datos (SCADA) de supervisión de los años 80. Recientes desarrollos tecnológicos en áreas tales como las comunicaciones inalámbricas, de detección y actuación ahora han dado un nuevo impulso. Algunos ejemplos de máquinas en el contexto de M2M son sensores, actuadores, robots y lectores de medidores inteligentes. Hay una gran cantidad de conomoción en M2M en estos días. Todos los sectores clave en telecomunicaciones y organismos de normalización están preparando nuevas especificaciones. Se han propuesto varias arquitecturas de sistema (Glitho, 2011).

2.2 HERRAMIENTAS DE HARDWARE Y SOFTWARE

Se hace uso de herramientas de hardware y software abierto debido a beneficios como amplia información disponible para la producción del prototipo, abaratar el costo de fabricación, entre otros. Seguidamente, se describen las características de open hardware y software.

2.2.1 Open Hardware

En febrero de 2011, la cumbre de open hardware anuncia que la primera definición oficial de hardware de código abierto se había acordado. La declaración de principios dentro de la definición de hardware de código abierto dice “hardware de código abierto es cuyo

diseño está a disposición del público para: estudiar, modificar, distribuir, realizar, y vender el diseño o hardware basado en ese diseño”. La fuente de hardware, el diseño del que está hecho, está disponible en el formato preferido para hacer modificaciones a la misma (Russell, 2012). Lo ideal es que el hardware de código abierto utiliza componentes fácilmente disponibles y materiales, procesos estándar, infraestructura abierta, sin restricciones, el contenido y las herramientas de diseño abierto fuente para maximizar la capacidad de las personas para hacer y usar el hardware. Open hardware da a la gente la libertad de controlar su tecnología, a la vez que fomenta el intercambio de conocimientos y el comercio a través del intercambio abierto de diseños (OSHW, 2011). Cientos de desarrolladores de diversas empresas y universidades de todo el mundo han aprobado oficialmente esta nueva definición de que ayudará a dirigir el florecimiento nuevo sector de hardware de código abierto.

Hoy en día, existe un gran número de proyectos de hardware de código abierto que están ganando terreno poco a poco en el ámbito comercial. Precio, calidad, seguridad, interoperabilidad, flexibilidad, opción de personalización, estos factores son sólo la punta del iceberg de las razones por las soluciones de código abierto están llevando a cabo en la esfera no comercial, así como comercial; la industria en particular (Kochlán, 2014).

2.2.2 Open Source

El Instituto de Open Source define al software de código abierto con términos específicos. Software de código abierto no sólo significa el acceso al código, los términos de distribución de software de código abierto deben cumplir con la redistribución libre, el código fuente, libre de derechos de autor para modificaciones y trabajos derivados, integrando el código fuente del autor. La licencia no debe discriminar a ninguna persona o campo

específico. Programa debe ejecutarse sin la necesidad de pedir una licencia adicional, y la licencia no debe ser específica de un producto o restringir otro software además la licencia debe ser tecnológicamente neutro (Open Source Initiative, 2016).

Como representante del Instituto Open Source, Eric Raymond reflexiona sobre el aspecto técnico y productivo: Los desarrolladores de software participan voluntariamente en el desarrollo de software de código abierto por su interés. Mientras tanto, los usuarios son co-desarrolladores. Los cuales diagnostican problemas, sugieren correcciones, y ayudan a mejorar el código de forma rápida y eficaz. A diferencia del software propietario, el software de código abierto no presta atención al recelo y la confianza de los usuarios entonces las comunidades de software de código abierto suelen hacer comunicados rápido de manera que se reciben respuestas que incorporan una gran cantidad de comentarios de los usuarios, creando una retroalimentación constante. Por lo tanto, el software de código abierto mejora y se corrige más rápido que el software propietario (Yang, 2008).

2.3 AGUAS GRISES

Aguas grises o en inglés Grey Water (GW) debe su nombre a su aspecto turbio y a su condición de estar entre, agua potable fresca (conocida como “agua blanca”) y aguas residuales (“aguas negras”). Las aguas grises provienen de aguas residuales de las duchas, bañeras, lavabos, lavadoras y fregaderos de cocina (World Health Organization, 2006).

Las aguas residuales de la cocina no están recomendadas para uso como agua gris si no se tratan. Las aguas grises no incluyen las aguas residuales de los inodoros, urinarios, o

bidé. Esto se refiere a aguas negras (agua que contiene excrementos humanos). GW se pueden recoger a partir de todas o algunas de estas fuentes y, después del tratamiento, se utiliza para distintos propósitos dentro del hogar, tales como descarga de inodoros o riego de jardines que no requieren la calidad del agua potable (Albalawneh, 2015). Las aguas residuales del cuarto de baño, incluyendo duchas y bañeras, se denomina aguas grises ligeras. Las aguas grises que incluye residuos más contaminados y de lavandería, lavaplatos y, en algunos casos, los fregaderos de cocina se llama aguas grises oscuras. Las aguas residuales generadas al momento no tienen un nivel infeccioso como las aguas negras, y de no ser tratadas de forma adecuada, pueden llegar a serlas. El agua gris se descompone a un ritmo mucho más rápido que las aguas negras y si se almacena para tan poco como 24 horas, las bacterias consumen todo el oxígeno y el agua gris se vuelve anaeróbico y séptico. En la Figura 5. se representan fuentes de aguas grises y sus componentes.

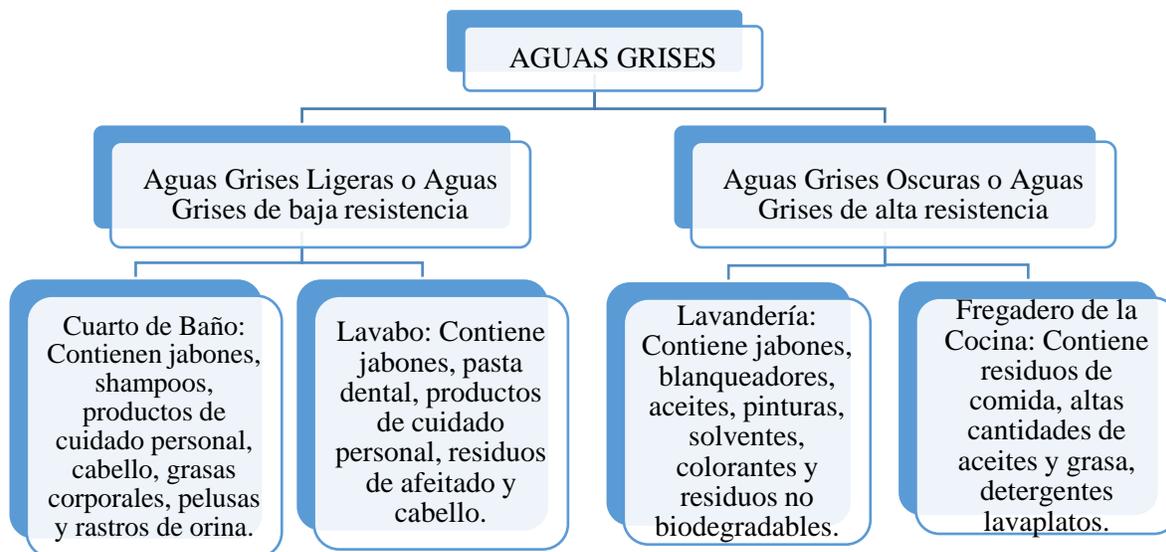


Figura 5. Las fuentes de aguas grises y sus componentes.

Fuente: (Albalawneh, 2015, pág. 17)

2.3.1 Cuantía de Aguas Grises

El consumo de agua depende siempre de la calidad de los estándares de vida y la disponibilidad de recursos. La cantidad de generación de aguas grises depende del consumo total de agua, el nivel de vida, estructuras de población, los hábitos de residentes, y las instalaciones de agua de una población determinada. Por lo tanto, las aguas grises varían de 50% a 80% del volumen de aguas residuales producidos por los hogares (Jenssen, 2003) y más del 90% si se instalan inodoros de vacío. El volumen típico de aguas grises varía de 90 a 120 l/p/d, sin embargo, el volumen de aguas grises en los países de bajos ingresos que experimentan escasez crónica de agua puede ser tan bajo como el 20-30 l/p/d. La cantidad de aguas grises también varía entre el área urbana y rural (Morel, 2006). La distribución de las aguas grises en el hogar se muestra en la Figura 6, a continuación:

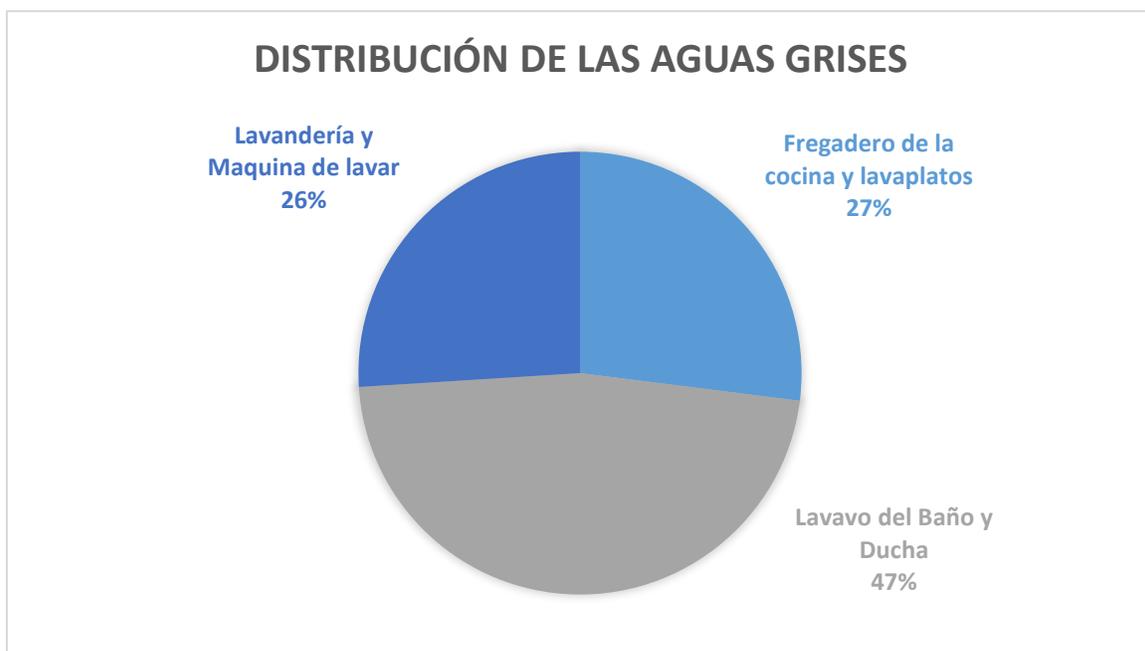


Figura 6. Distribución de las Aguas Grises en el Hogar.

Fuente: (Albalawneh, 2015, pág. 18).

2.6.2 Calidad de las Aguas Grises

Las aguas grises se generan como resultado de los hábitos de vida de las personas. Por lo tanto, sus características son muy variables e influenciado por el estilo de vida, el comportamiento social y cultural de los residentes, la disponibilidad de agua y la cantidad de consumo. Las aguas grises incluyen diferentes gamas de materia orgánica, sólidos en suspensión, metales pesados iones inorgánicos y orgánicos. A pesar de que los niveles de estos contaminantes en las aguas grises se supone que son más bajos en comparación con las aguas residuales, en muchos estudios se ha observado lo contrario (Albalawneh, 2015).

2.6.3 Opciones de desinfección para la reutilización del agua urbana

La desinfección es el proceso de eliminación de organismos patógenos en el agua y se consigue mediante su inactivación en el agua o su eliminación física del agua. Aunque los microorganismos patógenos son los objetivos de la desinfección, se utilizan comúnmente bacterias indicadoras para evaluar la calidad microbiológica del efluente desinfectado. Esto es porque la detección y enumeración de todos los patógenos de interés en las aguas es a la vez un tiempo de proceso largo y costoso, y no factible para análisis de rutina (Winward, 2007).

Las tecnologías de desinfección pueden clasificarse en términos generales como sistemas basados en la química, la biología y en la física debido a que las aguas grises gozan de una buena biodegradabilidad. Los desinfectantes químicos principales incluyen los halógenos, de los cuales el cloro es la forma predominante, y el ozono. aceites esenciales de plantas también son investigados en esta revisión como potenciales desinfectantes químicos. Varios procesos biológicos, incluyendo un rotor de contacto biológica (RBC), un reactor

discontinuo secuencial (SBR), anaerobio de manto de lodos (UASB), humedal construido (CW) y biorreactores de membrana (MBR), se han aplicado para el tratamiento de aguas grises (Egipitian-German Programme, 2015). Los procesos biológicos a menudo precedidas por una etapa de pre-tratamiento físico tal como la sedimentación, el uso de tanques sépticos o de cribado. Las tecnologías de desinfección físicos incluyen las que operan por la entrada de energía en el agua, como la energía de luz ultravioleta (UV) y el ultrasonido, y los que físicamente separan los microorganismos del agua, por filtración a través de un medio o una membrana (Winward, 2007).

2.7 METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Con la finalidad que el desarrollo del sistema cumpla con el tiempo estimado, se hace uso de una metodología de desarrollo⁴; en el presente proyecto se va a aplicar el método en V, que es una variación del modelo en cascada, muestra cómo se relacionan las actividades de prueba con el análisis y el diseño.

2.7.1 Método en V

Esta metodología de desarrollo está basada en el modelo en cascada que tiene como finalidad implementar el ciclo de vida de un proyecto. Las fases que posee y su relación se muestran en la Figura 7.

⁴ Metodología de desarrollo: marco de trabajo usado para estructurar, planificar y controlar el proceso de desarrollo de un sistema.

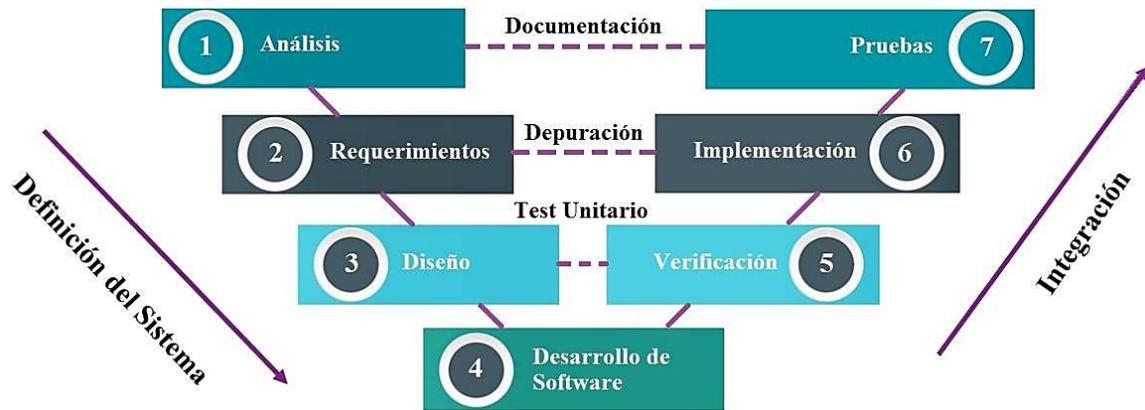


Figura 7. Fases del modelo en V

Fuente: Autoría

En las tres primeras fases (análisis, requerimientos y diseño) recopilan los datos necesarios para la implementación del sistema, en su vértice la fase de desarrollo de software, donde se estructura el código, y finalmente las últimas tres fases cumplen la función de efectuar las pruebas, verificación e implementación del sistema (Georgiadou, 2003). V significa «Verificación y validación».

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El presente capítulo se basa en la metodología de desarrollo, Modelo en V, que contiene un estudio detallado de los requerimientos del sistema enfocado a los usuarios, hardware y software necesarios para la implementación del prototipo de un dispositivo provisto de IoT capaz de reutilizar aguas grises del lavabo hacia el inodoro, cuantificar el ahorro de agua, subir estos datos a la nube para su análisis y además que envíe notificaciones periódicas de su estado actual. Por otra parte, se realiza filtro de prueba para el depurado de aguas grises que contribuye al reciclaje propuesto. Finalmente se presenta las pruebas de funcionamiento de software y hardware con el sistema instalado.

3.1 ANÁLISIS

Con el objeto de esquematizar y plantear el sistema electrónico de reutilización de aguas grises se realiza el análisis de la situación actual y de los principales requerimientos de los stakeholders del proyecto para determinar parámetros de diseño. Con la información levantada se define el problema a solucionar y estimadores de cumplimiento de los requerimientos de los usuarios. Dicho análisis es de vital importancia en el desarrollo del sistema por lo que se usan herramientas como la encuesta y la observación directa con el fin de obtener datos precisos y relevantes.

3.1.1 Descripción general del sistema

El sistema de reutilización de aguas grises del lavabo hacia el tanque del inodoro con todos los componentes y conexiones se muestra en la Figura 8.

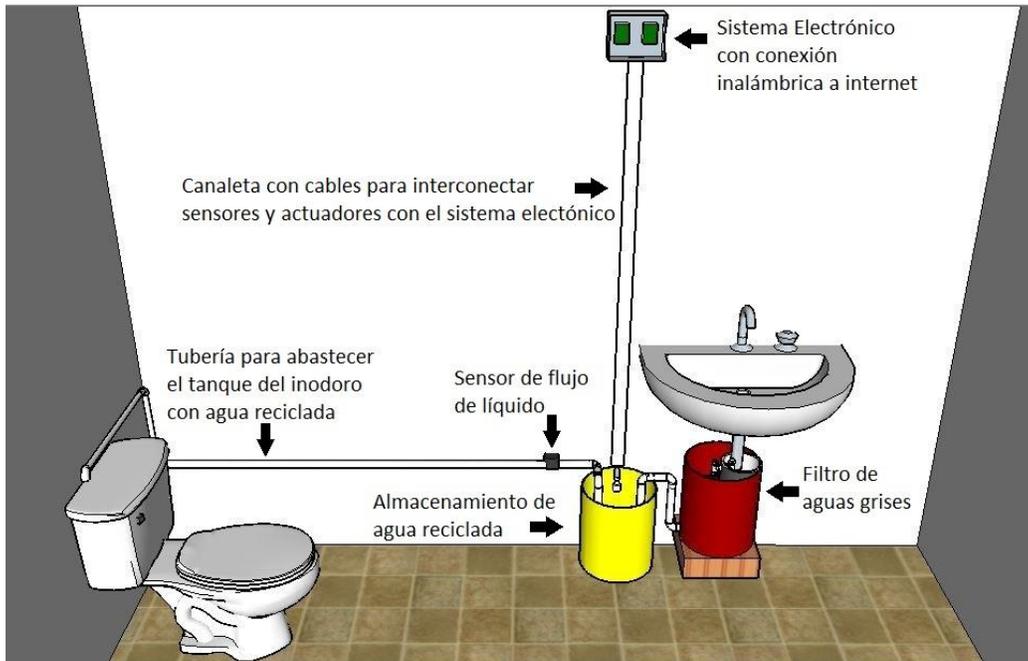


Figura 8. Modelo de instalación del Sistema de reutilización de aguas grises

Fuente: Autoría

El proceso de reciclaje del agua inicia cuando una persona hace uso del lavabo (lavado de las manos o alimentos, aseo personal, o cualquier otra actividad), todas las aguas grises que ingresen a través del sifón serán captadas para ser filtradas a través de un proceso de tratamiento de las mismas. Una vez procesada el agua será almacenada en un depósito para ser usada cuando se requiera llenar el tanque del inodoro, cuantificando con un sensor de flujo para obtener una cifra de total de agua que se está reciclando. El prototipo a través de un sistema embebido conectado a internet sube datos a la nube cada cierto período, es información será procesada para obtener un promedio de ahorro diario y total. En caso de no haber aguas grises para purificar y llenar el tanque del inodoro se hará uso del agua limpia

que normalmente se usa, de la misma manera en caso de estar a rebosar el tanque de almacenamiento, las aguas grises que pudieran tratarse se van a desperdiciar e irán al drenaje debido a que ya no existe más espacio para acumular agua reciclada.

Los componentes electrónicos, sensores, método de purificación y software a usar en el desarrollo del prototipo se eligen en este capítulo tomando en cuenta las necesidades de los stakeholders, del sistema y de la arquitectura.

3.1.2 Situación actual

El análisis de la situación actual permite determinar información auténtica acerca del problema y las condiciones actuales del mismo, información imprescindible para establecer requerimientos del sistema en cuanto a componentes, hardware y software. Para la obtención de dichos datos se va a usar técnicas de investigación que satisfagan la necesidad de recopilar información y analizar el comportamiento de las personas cuando hacen uso del agua en las actividades de rutina diarias en el hogar y en el complejo acuático de la Universidad Técnica del Norte.

El campus de la Universidad Técnica del Norte situado en el sector del Olivo se encuentra en la Av. 17 de Julio 5-21 y General José María Córdova, tiene 10 edificaciones para facultades, edificios de administrativos e institutos, además de una biblioteca, gimnasio, canchas deportivas, complejo acuático y parqueaderos.

El complejo acuático cuenta con una piscina olímpica, sauna, turco, hidromasaje y piscina polar. Posee un área de vestidores con cuatro duchas para damas y cuatro duchas para varones, cada ducha con su vestidor respectivo ubicado al frente, asimismo existe un baño y

un lavabo para damas y otros similares para caballeros como se muestra en la Figura 9. Tiene servicios higiénicos con cuatro baños y cuatro lavabos en un cuarto diferente al lado del área de vestidores. Finalmente cuenta con servicios higiénicos dedicados al público cuando se realiza competencias, los mismos que constan de cuatro baños, cuatro lavabos y un baño para discapacitados. Mediante las técnicas de investigación científica se establece parámetros de diseño del sistema propuesto, además de adaptar el proyecto a las demandas de los stakeholders.

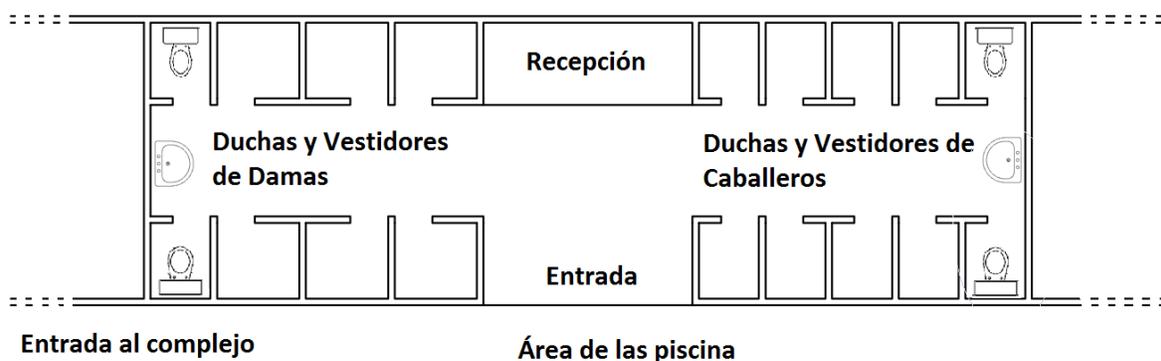


Figura 9. Plano arquitectónico del área de vestidores del complejo acuático

Fuente: Autoría

3.1.3 Técnicas

Existen varias técnicas de investigación científica orientadas a la adquisición de datos útiles para determinar los requerimientos del sistema que se está desarrollando, en esta ocasión se aplica una entrevista a los encargados del mantenimiento del complejo y además ejecuta una observación directa del uso de los lavabos e inodoros determinados como los más usados acorde con la información obtenida de la entrevista. El propósito de la observación directa es determinar un promedio de la cantidad de veces que se usa un lavabo y establecer la cantidad de agua reutilizable que es capaz de generarse. Adicionalmente se realiza una

encuesta a una muestra de la población para obtener información del proceder de los individuos ante el consumo de agua en el hogar, con el objeto de diagnosticar la cantidad de agua reutilizable que se produce, al mismo tiempo se pretende definir la mejor manera de presentar la información obtenida a un usuario administrador.

3.1.3.1 Entrevista

La entrevista se entiende como un diálogo profesional que consiste en una técnica de colección de información. Se pretende obtener datos referentes a la frecuencia de uso de los lavabos e inodoros del complejo, para de ese modo monitorear a los de mayor uso, con el fin de aplicar el prototipo donde sea mayor la producción de agua grises, garantizando con esto un beneficio proporcional al agua reciclada.

Los resultados a obtenerse en esta actividad están sujetos en gran medida al nivel de comunicación entre el investigador y los partícipes de la misma, en consecuencia, se plantean preguntas orientadas a conocer horarios de apertura al público de los servicios del complejo acuático, periodicidad de uso de baños y lavabos, días de mayor afluencia de usuarios, horas pico de llegada de clientes en días laborables, fines de semana y feriados. De acuerdo con el fin que persigue la entrevista, se estructura un cuestionario previamente elaborado al cual se le añade preguntas en caso de ser necesario para obtener información de utilidad para el proyecto que se está desarrollando.

La entrevista completa realizada a dos de los encargados del complejo acuático de la Universidad Técnica del Norte se encuentra en el ANEXO 1, de los datos obtenidos mediante esta técnica se resuelve realizar un monitoreo a los lavabos ubicados en el área de duchas y

vestidores, tanto de varones como de mujeres, en el horario completo de atención, es decir, de ocho horas a diecinueve horas, además se va a realizar esta actividad un día entre semana y un fin de semana completo (sábado y domingo). La intención del monitoreo a los lavabos y urinarios es determinar cuáles son los más usados para de este modo diseñar el sistema de ahorro aplicado a éstos, para que la cantidad de agua reutilizada sea la mayor posible. Además, se comprueba la conexión a internet dentro del complejo, condición de suma importancia para el proyecto.

3.1.3.2 Observación Directa

Por medio de la técnica de observación directa se determina por parte del desarrollador los acontecimientos que se suscitan en el espacio donde se realiza el sondeo. El área en la que se aplica la técnica de observación directa, es en los vestidores del complejo acuático, específicamente a los urinarios y lavabos ubicados en este lugar por su mayor uso, acorde con la información determinada en la encuesta. Se establece la periodicidad de utilización de lavabos y baños, las condiciones del lugar y los usuarios y se identifica los factores principales para el diseño del sistema. En la Figura 10 se muestra el formato de la ficha de observación directa usada, la misma que ha sido diseñada de acuerdo a la información que se desea determinar y para facilitar la recolección de los datos.

FICHA DE OBSERVACIÓN DIRECTA																										
Ficha N°:											Fecha:															
Elabora:											Duración:															
Lugar:																										
Observación:	Lavabos															Baños										
	Lavabo 1 (Hombres)										Lavabo 2 (Mujeres)					Baño Hombres	Baño Mujeres									
Frecuencia de uso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>	Total	#	#
0-15 min												0												0		
15-30 min												0												0		
30-45 min												0												0		
45-60 min												0												0		
	Total Lavabo 1:										0	Total lavabo 2:					0	0	0							
TOTAL:	0															TOTAL:	0									
Otras Observaciones:																										

Figura 10. Formato de Ficha de Observación Directa

Fuente: Autoría

Como resultado de la observación directa detallada en el ANEXO 2, se define que se registra un mayor uso del lavabo ubicado en los vestidores para varones en el complejo acuático de la Universidad Técnica del Norte, asimismo se precisa un mayor uso del urinario ubicado en la misma área, información que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Promedio de uso de elementos observados

PROMEDIO DE USO				
Elemento	Lavabo Hombres	Lavabo Mujeres	Baño Hombres	Baño Mujeres
Cada hora	5,4 litros	2,2 litros	1,3 veces	0,9 veces
Cada 2 horas	10,8 litros	4,3 litros	2,5 veces	1,7 veces
Cada 5 horas	27,0 litros	10,8 litros	6,3 veces	4,3 veces
Promedio diario	54 litros	22 litros	13 veces	9 veces

Fuente: Autoría

La Tabla 3 muestra un promedio de uso de lavabos y baños tomados en cuenta en la observación directa realizada, para mejor comprensión se definió períodos de tiempo para mostrar el promedio de uso. El resumen exhibido en la tabla anterior permite además definir

los elementos del sistema con los cuales se va a garantizar el máximo ahorro posible, tomando en cuenta un lavabo y un urinario, elementos puntualizados en el alcance del presente proyecto.

Consecuentemente se determina que el sistema sea diseñado para el lavabo y urinario mencionados anteriormente como se ve en la Figura 11.

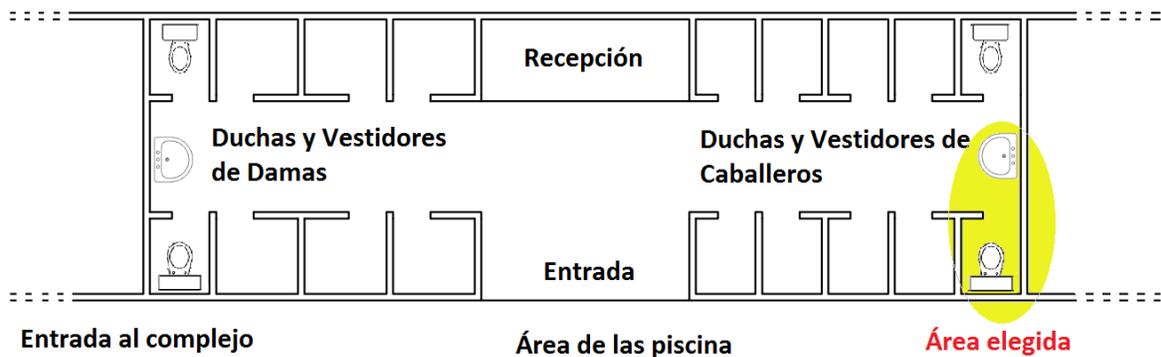


Figura 11. Plano arquitectónico del área determinada para instalar el sistema

Fuente: Autoría

3.1.3.3 Encuesta

La encuesta aplica a personas comunes sin ninguna distinción por motivo de que todos son usuarios de agua potable y de los servicios higiénicos; las preguntas planteadas son orientadas a recopilar datos acerca del comportamiento y los hábitos diarios de las personas con el uso del agua. Las preguntas pretenden a obtener datos precisos de los requerimientos de los usuarios para realizar el diseño del sistema.

Debido a que no se tiene una población definida se usa la ecuación para calcular el tamaño de la muestra n , desconociendo el tamaño de la población.

Ecuación:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{d^2}$$

Ecuación 1. Cálculo de una muestra desconociendo el tamaño de la población

Donde,

Z = nivel de confianza,

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (error máximo admisible en términos de proporción) (Torres, 2006).

Para efecto de esta encuesta se toman en cuenta los siguientes datos:

Z = 1.962 (ya que la seguridad es del 95%),

p = proporción esperada (en este caso 2,5% = 0.025),

q = 1 – p (en este caso 1 – 0.025 = 0.975),

d = precisión (en este caso un 3%)

$$n = \frac{1,962^2 * 0,025 * 0,975}{0,03^2}$$

$$n \approx 104$$

Se demanda aplicar la encuesta a por lo menos 104 personas para obtener una seguridad del 95%, tomando en cuenta que no se conoce la población y se espera obtener datos de una porción correspondiente a 2,5% del total.

Sobre la base del estudio detallado en ANEXO 4 se concluye que, el porcentaje de habitantes de la ciudad de Ibarra analizados no conocen de algún sistema embebido inteligente para ahorrar agua; fundamentando así la elaboración del presente proyecto y la aplicación al espacio del complejo acuático definido anteriormente. Al estudiar los hábitos

de los mismos, se logra obtener los siguientes datos: el sistema a implementar se debe realizar en el lavabo del baño debido al uso frecuente y a la cercanía con el tanque del inodoro, asimismo no debe interferir con las actividades cotidianas, y para cuantificar el ahorro se debe guardar los datos en tiempo real con el objetivo de plasmar la información obtenida así como realizar notificaciones mensuales del ahorro generado, para este propósito se hace uso del almacenamiento y presentación de datos en plataformas de Internet de las Cosas en la nube.

3.1.4 Riesgos

La lista presente plasma los conflictos o inconvenientes que al realizar el proceso de diseño, implementación y pruebas del sistema se puedan presentar y que retrasen el tiempo planificado de desarrollo o que sean capaces de afectar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos que se debe subir a la nube con el propósito de analizarlos.

Sin embargo, para cada uno de los inconvenientes se presenta una estrategia de solución, es necesario aclarar que dichos riesgos pueden modificarse durante la evolución del sistema. En la Tabla 4 se presentan los inconvenientes y las tácticas de mitigación de los mismos, se define un rango de 10 a 1 siendo el valor de máximo impacto 10.

Tabla 4. Descripción de los riesgos y estrategias de mitigación

Puntaje/ Magnitud	Descripción del riesgo e impacto	Estrategia de mitigación y/o plan de contingencia
10	Que la ejecución del prototipo tome más tiempo del planificado (incumplimiento del cronograma).	Las metas propuestas en el cronograma se deben monitorear constantemente para verificar su cumplimiento.

9	Que la tarjeta principal del sistema sufra daños por cortocircuito, humedad, temperatura alta o imperfecciones del hardware.	Consultar especificaciones de manejo y/o alimentación de la placa y los dispositivos que a esta se conectan. Además, realizar la instalación de los equipos electrónicos en un lugar aislado de la humedad y con ventilación suficiente.
8	Dificultad para aprender el lenguaje de programación de la placa elegida.	Buscar información y ejemplos en libros, tutoriales, blogs, páginas web, etc.
7	Que no haya o no se puedan instalar librerías en la tarjeta para subir datos a la nube.	Revisar que los requerimientos permitan elegir una tarjeta con compatibilidad para protocolos IoT.
5	Inadecuado funcionamiento de los sensores y actuadores.	Realizar pruebas del correcto funcionamiento de cada uno de los componentes del hardware con herramientas como protoboard y multímetro antes de diseñar el sistema electrónico que integre a todos los componentes.
4	Que la plataforma donde se suben los datos recolectados no se	Elegir una plataforma que ofrezca las características que se nombran en los

actualice o no se visualicen los requerimientos y realizar pruebas
datos de forma clara y entendible. previas a la implementación.

Fuente: Autoría

Por otra parte, los riesgos que surjan durante el desarrollo del proyecto se corrigen oportunamente para que el funcionamiento del sistema no se vea afectado. Se documentan los errores para determinar la estrategia de corrección que permita eliminarlos definitivamente o superarlos posteriormente.

3.2 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

A continuación, se especifica los requerimientos necesarios que cumplan con las necesidades presentadas en el análisis. Se pondrá a evaluación Requerimientos Operacionales y de Usuario, Requerimientos de Sistema y Requerimientos de Arquitectura. La Tabla 5 muestra a los stakeholders del sistema, a los cuales se estudió para razonar los requerimientos que se presentan posteriormente.

Tabla 5. Lista de los Stakeholders

Lista de Stakeholders
1. Universidad Técnica del Norte
2. Ciudadanos del cantón Ibarra de la provincia de Imbabura
3. Ing. Jaime Michelena Director de tesis
4. Sr. Franklin Vaca

Fuente: Autoría

La Tabla 6 contiene los requerimientos iniciales del sistema referentes a operaciones y usuarios, aquí se detalla las principales demandas de forma general, las mismas que dan una visión del funcionamiento y de las actividades que va a desempeñar el sistema. Cada demanda se presenta con un nivel de prioridad según su importancia.

Tabla 6. Requerimientos operacionales y de usuario

StSR					
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES					
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN
		Alta	Media	Baja	
StRS1	<i>Carencia de fugas en las tuberías</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
StRS2	<i>Integración del sistema electrónico</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
StRS3	<i>El sistema no debe interferir con las actividades diarias</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
REQUERIMIENTOS DE USUARIOS					
StRS4	<i>Sitio web visualmente amistoso e intuitivo, con información concisa</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
StRS5	<i>Funcionamiento automático del sistema</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
StRS6	<i>Información actualizada</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
StRS7	<i>Posibilidad de importar los datos obtenidos</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Fuente: Autoría

Los requerimientos valorados anteriormente forman parte de las conclusiones obtenidas en el análisis de los datos derivados de la técnica de observación directa y la encuesta, los mismos que dirigen el diseño del sistema. Como parte de las demandas se

incluyen las más relevantes del sentido común como la inexistencia de fugas de líquidos dentro del sistema una vez instalado.

3.2.1 Requerimientos iniciales del sistema

Los requerimientos iniciales se puntualizan en la Tabla 7. Aquí se presentan los requisitos de funciones, lógicos, diseño, software, hardware y eléctricos con el propósito de presentar un boceto del prototipo y sus componentes alineados a los objetivos planteados para el sistema y en concordancia con las necesidades de los stakeholders.

Tabla 7. Requerimientos iniciales del sistema

REQUERIMIENTOS DE FUNCIONES					
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN
		Alta	Media	Baja	
SRSH1	<i>Visualización del consumo de agua</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	StRS 1
SRSH2	<i>Funcionamiento del sistema con o sin agua reciclada</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	StRS 5
REQUERIMIENTOS LÓGICOS					
SRSH3	<i>Pines suficientes para sensores y actuadores (pines declarados como entrada y/o salida)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO					
SRSH4	<i>Plataforma de almacenamiento y visualización de datos online</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	StRS 4
SRSH5	<i>Soportar los protocolos de Internet de las Cosas</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE					
SRSH6	<i>Usa estados lógicos para funcionar.</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SRSH7	<i>Usar software libre</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SRSH8	<i>Librerías para usar protocolos de IoT</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SRSH5
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE					
SRSH9	<i>Tarjeta Programable de Desarrollo</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SRSH10	<i>Sensor de flujo de agua</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SRSH11	<i>Sensores de nivel de agua</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SRSH12	<i>Bomba de agua</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SRSH13	<i>Controlar el encendido/apagado de la bomba</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS					
SRSH14	<i>Inexistencia de riesgo de cortocircuito</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SRSH15	<i>Alimentación para la tarjeta y los dispositivos de entrada y salida</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Fuente: Autoría

La importancia de los requerimientos analizados en la Tabla 7 radica en que son la base para el diseño del sistema embebido que va a controlar el funcionamiento de la parte electrónica del sistema. El núcleo del proyecto es el funcionamiento adecuado de la tarjeta programable y los elementos a esta conectados. El funcionamiento automático del prototipo en su conjunto certifica que se cumplan las demandas de los stakeholders. Dichos requerimientos fueron previamente adquiridos del estudio de la situación actual del lugar y la encuesta aplicada a una muestra de personas.

3.2.2 Requerimientos de Arquitectura

La arquitectura de un sistema delimita sus componentes básicos y los conceptos importantes, así como la descripción de las relaciones entre ellos. La Tabla 8 contiene parámetros referentes a la arquitectura de sistema. Cada requerimiento expuesto a continuación permite diseñar un sistema de fácil instalación y operación, que se adapte a diferentes condiciones y garantice el funcionamiento continuo, además de optimizar espacio en su instalación y permitir ahorro de energía.

Tabla 8. Requerimientos de Arquitectura

SySR						
REQUERIMIENTO DE USO						
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN	
		Alta	Media	Baja		
SySR1	<i>Fácil instalación y operación</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SySR2	<i>Lectura de datos periódica y regulable</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SRS4	
SySR3	<i>Sistema de trabajo continuo y duradero</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
REQUERIMIENTO DE PERFORMANCE						
SySR4	<i>Funcionamiento automático</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	StRS5	
SySR5	<i>Actualización periódica de datos</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
REQUERIMIENTO DE INTERFACES						
SySR6	<i>Conectividad a Internet</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	StRS4	
SySR7	<i>Pines para entrada y salida de información</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
REQUERIMIENTO DE MODOS/ESTADOS						
SySR8	<i>Modo StandBy</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

REQUERIMIENTO FÍSICOS

SySR9	Tamaño reducido de la tarjeta programable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	---	--------------------------	--------------------------	-------------------------------------

Fuente: Autoría

3.2.3 Requerimientos del Hardware

En este apartado se menciona a todos los componentes del hardware que se toman en cuenta para el prototipo, se realiza un análisis de los requerimientos individuales y se realiza una comparación de los elementos disponibles para elegir los que más se alinean a las demandas planteadas. Los dispositivos que se toman en cuenta son: tarjeta programable, sensor de nivel de líquido, bomba de agua, y sensor de flujo de líquido.

3.2.3.1 Requerimientos de la tarjeta programable

Los requisitos de la placa programable se basan en la capacidad de procesamiento que se necesita para controlar los dispositivos conectados a la misma y realizar las actualizaciones del estado a la nube, dicha capacidad tiene que ser mayor a 500Mhz debido a la necesidad de la actualización de registros en tiempo real que no únicamente usa el código programado sino también librerías de los protocolos de IoT.

Asimismo, se toma en cuenta la conectividad inalámbrica a la red, conjuntamente con la administración remota. Además, se considera la cantidad de pines necesarios para conectar los dispositivos periféricos, la forma y capacidad de almacenamiento, el lenguaje de programación que maneje y otras características como precio y tamaño.

En la Tabla 9 se presentan los requerimientos y la prioridad de cada uno de estos con referencia a la tarjeta programable.

Tabla 9. Requerimientos de la tarjeta programable

Código	Detalle	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Prácticos				
RTP1	<i>CPU (capacidad de procesamiento) mayor a 500Mhz</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RTP2	<i>Permitir conexión a Internet a través de WiFi</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RTP3	<i>Administración Remota (SSH)</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RTP4	<i>Suficientes pines INPUT/OUTPUT</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RTP5	<i>Almacenamiento en tarjeta de memoria extraíble mayor a 4Gb</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RTP6	<i>Lenguaje de programación de código abierto</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otras características				
RTP7	<i>Precio asequible y disponibilidad en el mercado nacional</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RTP8	<i>Tamaño reducido</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: Autoría

3.2.3.2 Elección y descripción de la tarjeta programable

Son diferentes las tarjetas programables que se ofertan para el desarrollo de sistemas embebidos, por lo cual se realiza la elección según los requerimientos planteados en la Tabla 9, para determinar la más idónea para el proyecto planteado. En la Tabla 10 se califica cada requerimiento con 1 si cumple y con 0 si no cumple. La tarjeta con más puntaje será la elegida para desarrollar el prototipo del sistema.

Tabla 10. Evaluación de las tarjetas programables disponibles

Tarjeta Programable									
Tipo	Requerimiento								Valoración
	RTP1	RTP2	RTP3	RTP4	RTP5	RTP6	RTP7	RTP8	
HummingBoard	1	1	1	1	1	1	0	1	7
Raspberry Pi 3	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Intel Galileo	0	1	1	0	1	1	0	0	4
Odroid U3	1	1	1	1	1	1	0	1	7
Arduino Yun	0	1	1	0	0	1	1	1	5
							Cumple "1"	No cumple "0"	

Fuente: Autoría

Según la calificación individual de cada tarjeta hay tres que cumplen con los requerimientos prácticos, pero solo una de estas satisface el requisito de disponibilidad en el mercado nacional por tal motivo se elige a la tarjeta Raspberry Pi 3 la cual es más conocida y existe información suficiente en la red para instalar un sistema operativo, programarla y administrarla.

- Raspberry Pi 3

La tarjeta programable Raspberry Pi 3 Modelo B mantiene el conocido formato de Raspberry Pi 2 Modelo B mientras ofrece un potente procesador 10 veces más rápido que la primera generación de Raspberry Pi. Esta potente computadora de tamaño de tarjeta de crédito puede ser utilizada para muchas aplicaciones y sustituye al original Raspberry Pi Modelo B + y Raspberry Pi 2 Modelo B. El Raspberry Pi 3 Modelo B es la tercera generación de Raspberry Pi. Además, se añade la conectividad LAN inalámbrica y Bluetooth de bajo

consumo de energía. La tarjeta mencionada y sus principales componentes se muestran en la Figura 12.

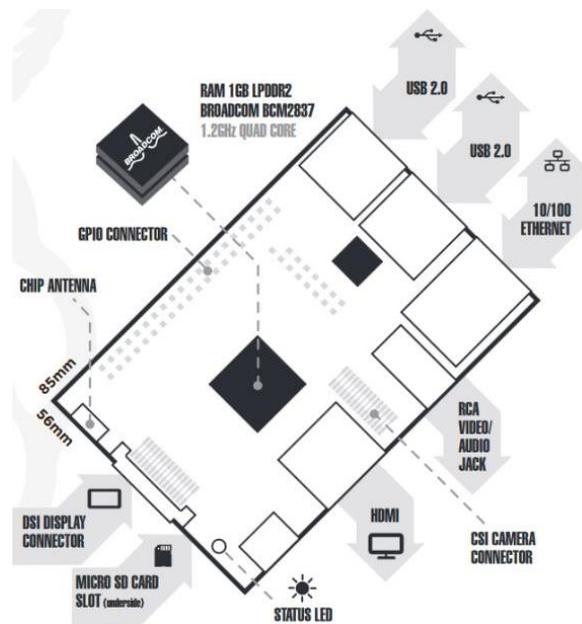


Figura 12. Partes de la tarjeta Raspberry Pi 3

Fuente: (raspberrypi.org, 2016, pág. 1)

Raspberry Pi 3 cuenta con el procesador Broadcom con un nuevo SoC, BCM2837, el mismo que conserva la arquitectura básica que sus predecesores BCM2835 y BCM2836, por lo que todos esos proyectos y tutoriales que se basan en los detalles precisos del hardware de Raspberry Pi continuará trabajando. El complejo CPU de 900 MHz de cuatro núcleos ARM Cortex-A7 de 32 bits ha sido sustituido por uno de 1,2 GHz de 64 bits ARM de cuatro núcleos Cortex-A53. Combinando un aumento del 33% en la velocidad de reloj con varias mejoras en la arquitectura, se genera un aumento del 50-60% en el rendimiento en el modo de 32 bits frente al Raspberry Pi 2, o aproximadamente un factor de diez sobre el original Raspberry Pi (raspberrypi.org, 2016).

Todos los conectores están en el mismo lugar y tienen la misma funcionalidad como se muestra en la Figura 13, y la tarjeta funciona con una alimentación de 5V a través de un clave micro-USB. Se recomienda un adaptador de 2.5A si desea conectar al Raspberry Pi 3 dispositivos USB que consumen mucha energía.



Figura 13. Raspberry Pi 3

Fuente: Autoría

En la Tabla 11 se muestran especificaciones y detalles técnicos de la tarjeta programable Raspberry Pi 3. Donde se exhiben las características de la tarjeta, las cuales son importantes a tener presentes al momento de manejar y programar el sistema embebido.

Tabla 11. Detalles técnicos del Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3 Modelo B	
Procesador	Chipset Broadcom BCM2387.
Núcleo del CPU	Quadcore ARM Cortex-A53, 64Bit
Clock Speed	1,2 GHz (aproximadamente un 50% más rápido que Pi 2)

Memoria RAM	1 GB
GPU	400 MHz VideoCore IV®
Memoria	1 GB de memoria LPDDR2
Conectividad de red	1 x 10 / 100 Ethernet (Puerto RJ45)
Conectividad Inalámbrica	802.11n wireless LAN (Wi-Fi) y Bluetooth 4.1
Puertos USB	4 x USB 2.0
GPIOs	2 x 20 (40-clavijas de 2,54 mm)
Interfaz para Cámara	15 pines MIPI interfaz en serie (CSI-2)
Interfaz de Pantalla	DSI 15 Pin / HDMI Out / Composite RCA
Sistema Operativo	Arranca desde la tarjeta micro SD, Linux o Windows 10 IoT
Salida de audio	Jack de 3,5 mm, HDMI, 4 conectores USB 2.0
Dimensiones	85 x 56 x 17 mm
Ranura para Micro SD	Push/pull Micro SD
Alimentación	Micro USB de 5V a 2.5A

Fuente: (raspberrypi.org, 2016)

3.2.3.3 Requerimientos de los sensores de nivel de agua

La importancia de los sensores de nivel de líquido radica en poder indicar el porcentaje de llenado del depósito de agua y del tanque del inodoro de manera que el sistema pueda encender y apagar la bomba según sea necesario. De esta manera los sensores de nivel de agua permiten automatizar los procesos y toma de decisiones de la placa programable. Además, tienen que trabajar en la humedad y en diferentes condiciones de temperatura que

corresponde al rango registrado en la. Dichos requerimientos se resumen según su prioridad en la Tabla 12.

Tabla 12. Requerimientos de los sensores de nivel de líquido

Código	Detalle	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Prácticos				
RSNL1	<i>Marcar niveles de volumen de agua de un recipiente</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RSNL2	<i>Trabajar en la humedad</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RSNL3	<i>Temperatura de operación de 3° a 24° C</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RSNL4	<i>Sensores Digitales</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RSNL5	<i>Operación en volúmenes de agua mayores a 1 metro cúbico</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RSNL6	<i>Construcción de material inoxidable</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otras características				
RSNL7	<i>Precio asequible</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RSNL8	<i>Fácil Instalación</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: Autoría

3.2.3.4 Elección y descripción de los sensores de nivel de agua

Sensores de nivel de líquido existen en variedad, los mismos que serán evaluados para conocer cuál de ellos cumple con los requisitos que se definieron en la Tabla 12. Con el fin de realizar una elección objetiva en la Tabla 13 se realiza la evaluación de los modelos disponibles y de la posibilidad de la construcción de los mismos.

Tabla 13. Evaluación de los sensores de nivel de líquido disponibles

Sensores de nivel de líquido									
Tipo	Requerimiento								Valoración
	RSNL1	RSNL2	RSNL3	RSNL4	RSNL5	RSNL6	RSNL7	RSNL8	
De Acero Inoxidable Capacitivo	1	1	1	1	0	1	0	1	6
Funduino	0	1	1	1	0	1	0	0	4
De Flotador	0	1	1	1	1	1	1	1	7
Construcción propia	1	1	1	1	1	0	1	1	7
								Cumple “1”	No cumple “0”

Fuente: Autoría

Es factor determinante el aprovechamiento de recursos económicos y en vista que se tiene los conocimientos necesarios para elaborar los sensores que cumplan con los requerimientos del sistema, además de realizar una adecuación de los mismos a los depósitos de líquidos que se va a usar se ha determinado que se va fabricar dichos sensores. Los dispositivos antes mencionados serán desarrollados con sistemas digitales aprovechando los conocimientos adquiridos durante el período académico; asimismo se va a realizar un diseño y pruebas de funcionamiento con el fin de perfeccionar su funcionamiento para un óptimo funcionamiento dentro del proyecto planteado. No obstante, se deja abierta la posibilidad de usar los sensores con flotador en el caso que el funcionamiento de los sensores construidos no sea el adecuado y represente un riesgo para el proyecto.

- Construcción del sensor de nivel de agua

Como se definió anteriormente se procede al diseño de los mismos haciendo uso de sistemas digitales. Para el desarrollo del sensor se va a aprovechar la característica de

conducción eléctrica del agua. Se va a colocar una cadena de sensores en el tanque de almacenamiento a diferente altura según se desea conocer a que porcentaje de su capacidad se encuentra. Se tiene un común al circuito y a cada sensor mediante un cable. Cuando el agua haga contacto con un sensor se genera una unión eléctrica con el común, la señal generada es captada por el circuito y traducida a una señal digital por un codificador, la misma que puede ser interpretada por el Raspberry Pi 3. El circuito para el sensor de nivel de agua se indica en la Figura 14.

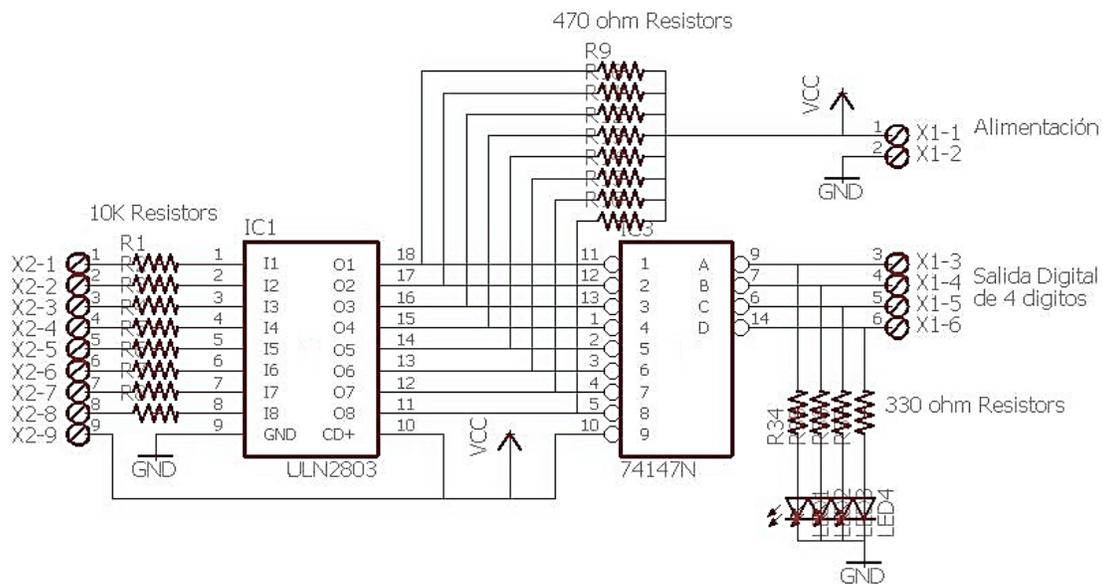


Figura 14. Circuito esquemático del sensor de nivel de agua

Fuente: Autoría

El componente principal del circuito es el integrado ULN2803, mismo que según las señales presentes en sus entradas activa o no cada una de sus salidas. Las entradas se conectan mediante una resistencia a los sensores ubicados dentro del tanque al que se va a medir el nivel de agua, las salidas se conectan por separado a una resistencia a Vcc y al codificador 74147 para generar un código BDC de 4 dígitos el cual puede ser interpretado por la tarjeta programable. Para alimentar el sensor se necesitan 5V.

Se realizó la prueba del circuito electrónico de los sensores para lo cual primero se montó en protoboard como se muestra en la Figura 15, durante la cual se comprobó el funcionamiento y la velocidad de respuesta del circuito ante los cambios de nivel del agua.



Figura 15. Prueba de funcionamiento del circuito de sensor de nivel de agua

Fuente: Autoría

Como desenlace de la experiencia se estimó que el sensor diseñado funciona correctamente y se procedió a fabricar el circuito impreso manifiesto en la Figura 16 para instalar y realizar una prueba de trabajo continuo.

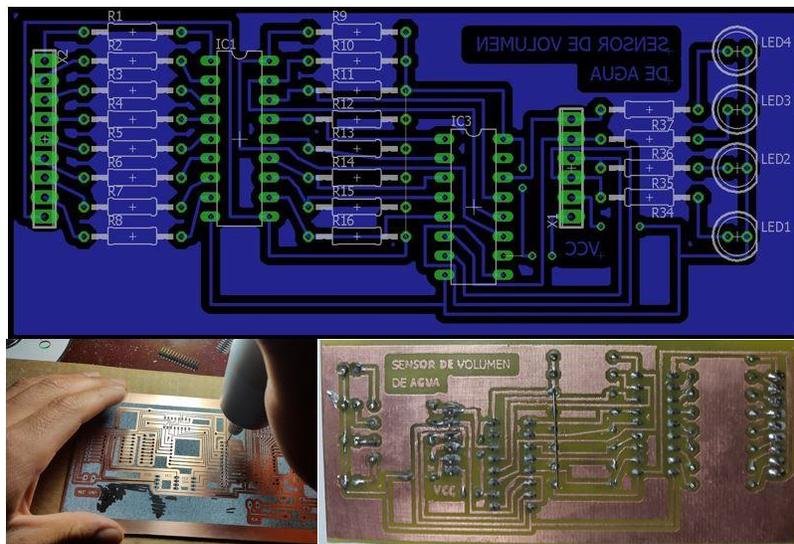


Figura 16. Diseño y construcción del circuito impreso para el sensor de nivel

Fuente: Autoría

En la prueba de funcionamiento continuo se determinó que los sensores ubicados en el tanque de almacenamiento, al ser de material metálico se veían afectados por la corrosión de manera que el funcionamiento no era el correcto. Para evitar el efecto de la corrosión en el metal del que se componen los sensores se cambió el material con el que se los construyó, pero el problema permaneció, al no encontrar un material metálico inoxidable disponible para las condiciones de construcción de los mencionados componentes y con el antecedente explicado en la elección de los sensores se procede a determinar que van a ser los sensores de flotador los que se van a usar, los mismos que son elaborados en plástico evitando de esta manera la corrosión y el riesgo de retraso en el avance de este proyecto.

- Sensor de nivel de agua con flotador

El sensor de nivel de líquido con flotador (boya) de la Figura 17, se puede utilizar para detectar el nivel de líquido en un tanque. Es capaz de activar una bomba, indicador, alarma u otro terminal. Es posible su uso en hidroponía, tanque que contenga agua salada o agua dulce, jardinería, acuarios, filtración, calefacción, etcétera. Está establecido como un sensor de proximidad magnético razón por la cual no posee elementos de desgaste ni tampoco tiene problemas de atascamiento, su construcción es partir de polipropileno material que funciona como plástico y como fibra. Puede ser usado como normalmente abierto o normalmente cerrado.

En el desarrollo de este proyecto se va a usar tres sensores de nivel de líquido, los mismos que irán ubicados uno de tipo vertical en el tanque del inodoro para detectar cuando

se necesita activar la bomba para llenarlo y los otros dos de tipo horizontal en el tanque de almacenamiento para determinar el estado del mismo si está lleno o vacío.



Figura 17. Sensores de nivel de agua de flotador (izq. horizontal; der, vertical)

Fuente: Autoría

Características técnicas del sensor como voltaje de conmutación, corriente, temperatura entre otros se encuentran detallados en la Tabla 14. Los datos descritos guardan importancia para el diseño del prototipo en el cual se está trabajando.

Tabla 14. Detalles técnicos del sensor de nivel de líquido de tipo flotador

Sensor de nivel de líquido de tipo flotador	
Carga máxima	10w
Voltaje máximo de conmutación	100vDC
Tensión mínima	250V DC
Corriente máxima de conmutación	0,5A
Corriente máxima de carga	1A
Temperatura de operación	-20 - 80°C
Tamaño	5cm x 1cm
Material del flotador	Polipropileno
Material del cuerpo	Polipropileno

Fuente: (Amazon, 2016)

3.2.3.5 Requerimientos de la bomba de agua

Para definir los requerimientos de la bomba de agua se estima la altura que tendrá que recorrer el líquido impulsado por ésta, hasta llegar al tanque del inodoro como se muestra en la Figura 18, se tiene una elevación de 0,66m aproximadamente.

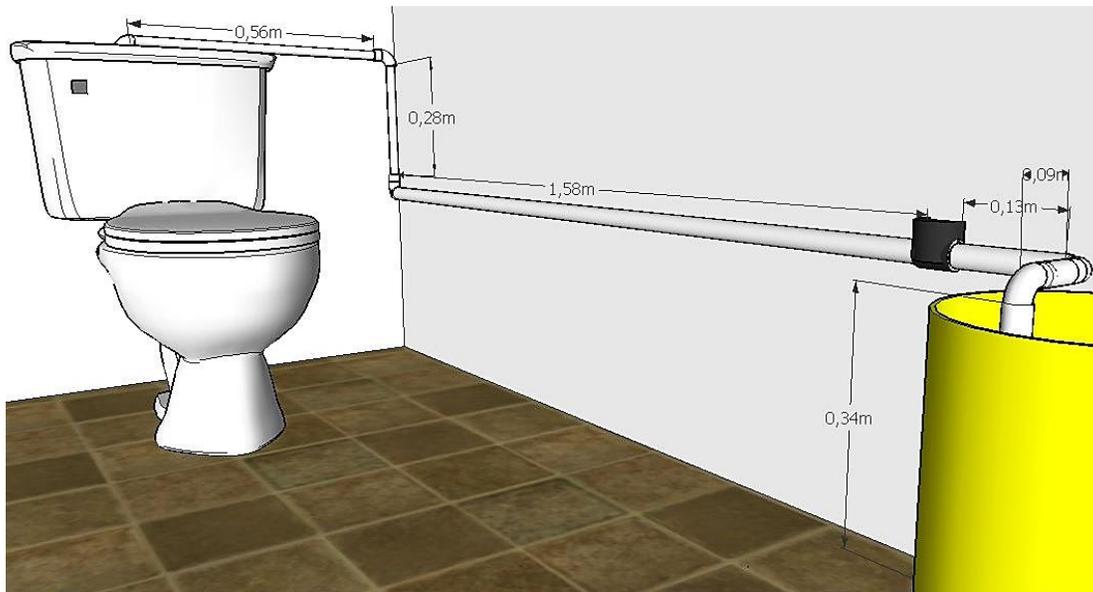


Figura 18. Medidas de la tubería desde el almacenamiento hasta el inodoro

Fuente: Autoría

Los datos anteriores son utilizados para calcular la potencia mínima que deberá tener la bomba para llenar el tanque del inodoro, cálculos que se muestran enseguida.

La fórmula para calcular la potencia de una bomba P_B , es la siguiente:

$$P_B = \gamma Q H$$

Ecuación 2. Fórmula que determinar la potencia de una bomba hidráulica

Siendo:

P_B = potencia de la bomba,

Q = caudal,

γ = peso específico del líquido,

H = altura o ganancia de líquido.

Para aplicar la fórmula anterior se toma en cuenta los siguientes datos:

Peso Específico:

$$\gamma = \rho g$$

Ecuación 3. Cálculo del peso específico

$$\rho = 10^3 \frac{Kg}{m^3}; \text{ densidad del líquido (agua)}$$

$$g = 10 \frac{m}{s^2}; \text{ aceleración de la gravedad}$$

Caudal:

$$Q = \frac{v}{t}$$

Ecuación 4. Cálculo de caudal

$$v = 0,007m^3; \text{ volumen (7 litros; capacidad del tanque del inodoro),}$$

$$t = 20s; \text{ tiempo (para llenar el tanque del inodoro),}$$

$$H = 0,66m; \text{ altura o ganancia (desde el reservorio hasta el tanque; Figura 18).}$$

Finalmente, se considera el doble del caudal debido a que la sección de la tubería se reduce a la mitad al momento de ingresar al inodoro para que calce con la tapa del tanque, entonces el cálculo es el siguiente:

$$P_B = \gamma * 2Q * H$$

Ecuación 5. Fórmula para determinar la potencia de la bomba del sistema

$$P_B = \rho g * \frac{2v}{t} * H$$

$$P_B = 1000 \frac{Kg}{m^3} * 10 \frac{m}{s^2} * \frac{2 * 0,007m^3}{20s} * 0,66m$$

$$P_B = 4,62 \text{ w}$$

En la Tabla 15 se muestra los requisitos de la bomba de agua que se va a usar en el proyecto, los mismos que constan de que sea capaz de operar con bajo consumo de energía, generar una potencia idónea para empujar el agua desde el depósito hacia el tanque del inodoro con los cálculos presentados anteriormente. Además, que sea posible sumergirla para usarla dentro del almacenamiento.

Tabla 15. Requerimientos de la bomba de agua

Código	Detalle	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Prácticos				
RBL1	<i>Caudal mayor a 7 litros por minuto</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RBL2	<i>Sumergible</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RBL3	<i>Operación a 110v y 60Hz</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RBL4	<i>Potencia mayor a 5 w</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otras características				
RBL5	<i>Precio asequible</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RBL6	<i>Fácil Instalación</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RBL7	<i>Tamaño Reducido</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Autoría

3.2.3.6 Elección y descripción de la bomba de agua

La elección de este dispositivo se realiza mediante el mismo método de evaluación antes usado. Se toman en cuenta los modelos de bombas disponibles en el mercado y se



Figura 19. Bomba sumergible AquaJet 1000 PFN

Fuente: (Aquael, 2016)

La bomba sumergible AquaJet 1000 PFN posee un filtro biológico de tipo esponja y bajo consumo de potencia por lo que es amigable con el medio ambiente. Más detalles técnicos se exponen en la Tabla 17.

Tabla 17. Detalles técnicos de la bomba de agua

Bomba AquaJet PFN 1000	
Consumo energía	11 W
Voltaje/Frecuencia	120V/60Hz
Impermeabilidad	IPX8
Inmersión máxima	1m
Eficiencia máxima	1000 l/h
Max. Columna de agua	110 cm
Dimensiones	10x7x7 cm

Fuente: Autoría

3.2.3.7 Requerimientos del sensor de flujo de líquido

El sensor de flujo de líquido encargado de medir la cantidad de litros de agua que se ahorran con el uso del sistema que se desarrolla, debe cumplir con demandas como ser capaz de operar a la presión del agua que la bomba es capaz de generar, además trabajar condiciones de temperatura acordes a donde se instala el prototipo. Finalmente enviar datos digitales capaces de ser interpretados por la tarjeta programable. En la Tabla 18 se resume dichos requerimientos según la prioridad para el sistema.

Tabla 18. Requerimientos de sensor de flujo de líquido

Código	Detalle	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Prácticos				
RSFL 1	<i>Operación a un caudal mayor a 8 litros por minuto</i>	☒	☐	☐
RSFL 2	<i>Sensor digital de efecto Hall</i>	☒	☐	☐
RSFL 3	<i>Temperatura de operación de 3° a 24° C</i>	☒	☐	☐
Otras características				
RSFL 4	<i>Fácil de acoplar a tubos y conectores comunes</i>	☒	☐	☒
RSFL 5	<i>Precio asequible</i>	☐	☒	☐
RSFL 6	<i>Estabilidad</i>	☐	☒	☐

Fuente: Autoría

3.2.3.8 Elección y descripción del sensor de flujo de líquido

Los requerimientos expuestos en la Tabla 18 deben ser cumplidos rigurosamente debido a que el sensor de flujo de líquidos es uno de los más importantes para el proyecto, ya que este permitirá reconocer la cantidad de agua que se está economizando. Es evidente

permite al sensor mantenerse seco. Al contar los impulsos que emite el sensor, es posible calcular el flujo de agua. Dependiendo de la velocidad del flujo, la presión del fluido y la orientación, el dispositivo envía cierto número de impulso eléctricos por este motivo se debe calibrar para mejorar la precisión.

El aparato tiene tres cables: rojo (corriente de 5-24VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de impulsos de efecto Hall) como se muestra en la Figura 20; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Figura 20. Sensor de flujo de agua YS-201

Fuente: Autoría

Al igual que los elementos anteriormente puntualizados, el sensor de flujo de agua YF-S201 cuenta con la descripción de sus características técnicas en la Tabla 20, mismas que son de interés para realizar la calibración del sensor y para tener en cuenta en la instalación del sensor.

Tabla 20. Detalles técnicos del sensor de flujo de agua

Sensor de flujo de agua YF-S201	
Modelo	YF-S201
Voltaje de funcionamiento	5 a 18V DC (test mínimo a 4,5V)
Máximo consumo de corriente	15 mA

Tipo de salida	5V TTL
Flujo de trabajo	1 a 30 litros/minuto
Temperatura	-25 a + 80 °C
Humedad de trabajo	35% -80%
Precisión	± 10% (mejora al calibrar)
Presión máxima del agua	2 Mpa
Pulsos por litro	450
Durabilidad	300.000 ciclos
Conexión tuberías	Tubo de 1/2"
Tamaño	2,5 "x 1,4" x 1,4 "

Fuente: (Sea, 2016)

3.2.4 Requerimientos de Software

Los requerimientos de software tienen una estrecha relación con los requerimientos de hardware, ya que es este último quien soporte las versiones del software y lenguajes de programación que permiten automatizar los procesos y funciones de los demás componentes del hardware que componen el sistema.

3.2.4.1 Requerimientos de la plataforma de IoT

Los datos se van a subir a la nube por lo tanto se requiere de una plataforma que admita la conexión de la tarjeta programable y permita visualizar los datos de forma gráfica y amigable. Además, debe consentir la actualización de más de una variable y estar

disponible la opción de descargar los datos. Es importante también que admita la actualización y visualización de información en tiempo real, debido a que las aplicaciones de Internet de las Cosas realizan actualizaciones periódicas en cortos espacios de tiempo. La Tabla 21 contiene los requisitos que debe cumplir la plataforma a donde se van a subir los datos.

Tabla 21. Requerimientos de la plataforma de IoT

Código	Detalle	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Prácticos				
RPI 1	<i>Admisión y soporte para la tarjeta programable</i>	☒	☐	☐
RPI 2	<i>Librerías para el lenguaje de programación</i>	☒	☐	☐
RPI 3	<i>Conexión mediante los protocolos de IoT</i>	☒	☐	☐
RPI 4	<i>Actualización de diferentes variables</i>	☒	☐	☐
RPI 5	<i>Descarga de datos acumulados</i>	☒	☐	☐
RPI 6	<i>Visualización amigable de datos</i>	☒	☐	☐
RPI 7	<i>Soporte de actualización en tiempo real</i>	☒	☐	☐
Otras características				
RPI 8	<i>Gratuito</i>	☒	☐	☐

Fuente: Autoría

La importancia del soporte de protocolos de Internet de las Cosas por parte de la plataforma radica en la seguridad de los datos que se actualizan en la nube. Los protocolos de IoT garantizan los parámetros de seguridad de la información como son: confidencialidad, integridad, disponibilidad y autenticación, los cuales certifican que la información que se sube no se filtrará y que únicamente será usada por el administrador y usuarios del sistema.

empresarial sensor-agnóstica, y herramientas potentes y fáciles de usar que permiten el desarrollo rápido y rentable de las nuevas soluciones, equipos y servicios para IoT.

La plataforma en la nube de Relayr le permite construir conectores entre cualquier servicio, cualquier sensor, cualquier software, hardware - Todos a Todos. A través de sus adaptadores de soporte de múltiples protocolos, enrutamiento y la API, es más fácil conectarse de forma segura a cualquier nube o cualquier dispositivo (Relayr, 2016).

Permite construir y lanzar aplicaciones de gran alcance que pueden gestionar fábricas enteras y cadenas de suministro, o construir sistemas operativos para ciudades enteras que gestionan los sensores de diferentes proveedores con rapidez y eficacia.

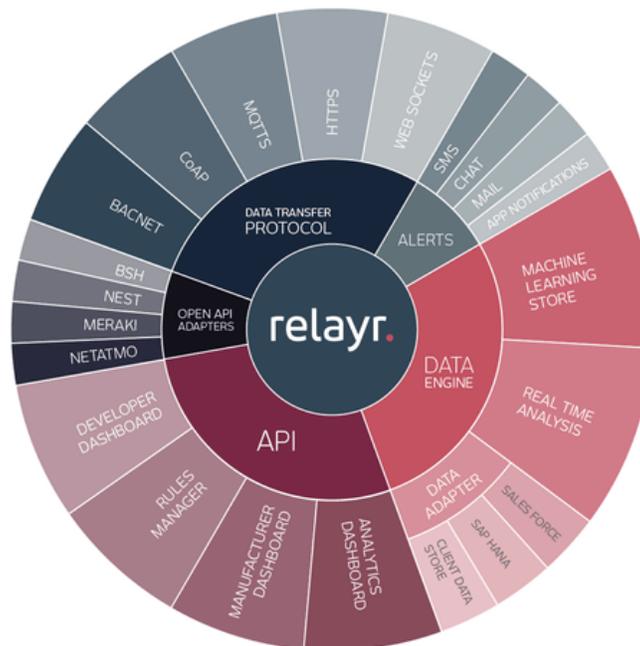


Figura 21. Componentes del Cloud Relayr

Fuente: (Relayr, 2016)

Entre las características y beneficios más importantes del Cloud Relayr se puede nombrar la comunicación segura entre el dispositivo y la nube usando el protocolo TLS

(Transport Layer Security), baja latencia en la transmisión de solicitudes y datos, mismas que se realizan en menos de 50ms y soporte para escalabilidad.

Relayr Cloud tiene como principal protocolo para la comunicación con la plataforma a MQTT, un protocolo ligero diseñado específicamente para M2M e Internet de las Cosas. La comunicación entre los dispositivos y la nube Relayr también se puede hacer usando WebSockets o HTTP entre otros como se ve en la Figura 21.

El análisis de datos es el núcleo de la mayoría de las visiones de la IoT y Relayr se esfuerza por realizar un análisis rápido. Su programa de análisis es sencillo de usar y gratuito. Tiene acceso total a la historia del dispositivo o grupo de dispositivos, proporcionando los resultados como una lista, o como agregados (MIN, MAX, AVG) a través de bloques de datos limitados por tiempo (Relayr, 2016)

- Thingspeak

ThingSpeak es una plataforma de IoT, permite recoger datos de los sensores y almacenarlos en la nube para desarrollar aplicaciones de Internet de las Cosas. La plataforma ThingSpeak ofrece aplicaciones que te permiten analizar y visualizar los datos en MATLAB, y luego actuar sobre los datos. ThingSpeak cuenta con soporte para Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone Black entre otros (MathWorks, 2016).

ThingSpeak es una aplicación de código abierto para IoT que admite almacenar y recuperar datos utilizando el protocolo HTTP a través de Internet o a través de una red de área local. ThingSpeak permite la creación de aplicaciones de registro del sensor,

aplicaciones de seguimiento de localización, y una red social de las cosas con las actualizaciones de estado.

Fue lanzada originalmente por ioBridge en 2010 como un servicio de apoyo a las aplicaciones de la IoT. Hoy en día cuenta con plugins, visualizaciones de datos y la capacidad de integrar sus datos con una variedad de plataformas de terceros, sistemas y tecnologías (Toll, 2014).

3.2.5 Otros elementos

En este apartado se indican elementos que componen el sistema y que complementan el funcionamiento del hardware y software del sistema, entre ellos se incluye el filtro de aguas grises y demás materiales que se usan en la instalación del prototipo, mismos que no necesitan de elección ya que su uso es genérico.

3.2.5.1 Filtro de agua grises

El filtro para aguas grises se construye a partir del modelo básico para filtrar agua, consta de dos etapas. Empieza por una trampa para grasas y sólidos que pueda contener el agua, a continuación, se tiene el filtro como tal como se indica en la Figura 22. El depurador consiste en una serie de capas de distintos materiales capaces de retener en gran medida jabón, aceites livianos, productos de aseo personal, pasta dental, microorganismos, sólidos que traspasen la primera etapa.

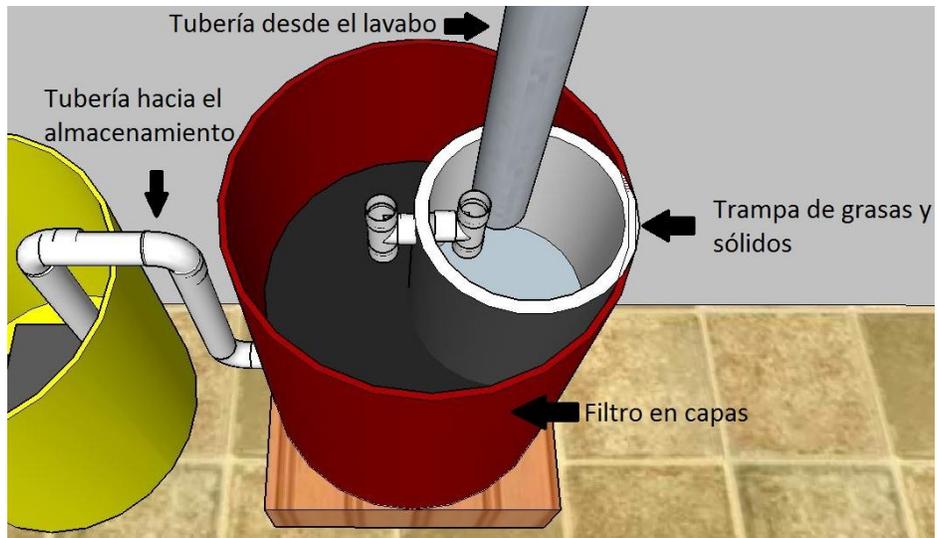


Figura 22. Partes del filtro de aguas grises

Fuente: Autoría

El filtro en capas se compone de distintos niveles donde se encuentran materiales como grava, arena, piedras, carbón entre otros. La Figura 23 muestra todas las capas que tiene el filtro y el orden en el que fueron ubicadas.

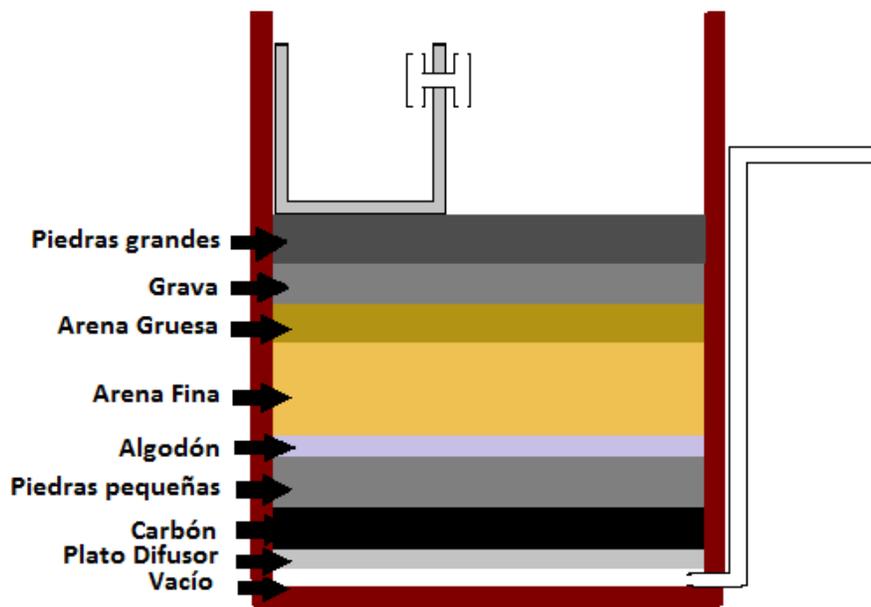


Figura 23. Capas del filtro de aguas grises

Fuente: Autoría

Cada capa en el filtro cumple una función específica las cuales se describen en la Tabla 23, así mismo se exponen en un determinado orden, el cual es importante para que el filtro cumpla su función.

Tabla 23. Capas del filtro y función que desempeñan

Capa del filtro	Función específica
Piedras grandes	Amortiguar la caída del agua
Grava	Filtrar sólidos medianos
Arena Gruesa	Filtrar sólidos pequeños
Arena Fina	Filtrar sólidos diminutos
Algodón	Evitar que el agua se lleve la arena fina
Piedras pequeñas	Crea canales dentro de las paredes interiores de la unidad de filtración y atrapa turbiedad
Carbón	Elimina mal olor, colorantes y sabor del agua
Plato difusor	Crea un vacío donde se almacena una mínima cantidad de agua filtrada e impide que se tapone el conducto de salida del líquido

Fuente: Autoría

La Figura 24 expone al filtro construido a partir de la información anterior, mismo que se ha montado en un recipiente de PVC de 20 litros de capacidad. El objetivo del tamaño del depurador elaborado es que el proceso de filtrado tome el menor tiempo posible, ya que el flujo de agua que pasa a través del filtro es directamente proporcional al tamaño de construcción.



Figura 24. Filtro construido para el sistema

Fuente: Autoría

Una vez finalizado el proceso de filtrado se obtiene agua reciclada, cabe mencionar que el producto final del proceso no es agua potable de ninguna manera, por lo tanto, no es apta para el consumo humano y únicamente va a ser usada para llenar el tanque del inodoro donde no se requiere de agua completamente limpia.

3.2.5.2 Demás componentes

Enseguida se presenta una lista de los componentes que se van a usar en el sistema de reutilización de aguas grises. Dichos elementos únicamente son listados debido a que no representan importancia trascendente para el sistema, además son de uso común y fácil adquisición. La Tabla 24; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** recoge a todas las unidades antes mencionadas.

Tabla 24. Elementos complementarios para la instalación del sistema

Cantidad	Elemento
2	Neplo para tubería de ½ pulgada
2	Tee para tubería de ½ pulgada
8	Codo para tubería de ½ pulgada
4m	Tubo de ½ pulgada
5m	Cable UTP
1	Extensión eléctrica (5m aproximadamente)
1	Materiales electrónicos (elaboración del circuito impreso)

Fuente: Autoría

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA

Una vez designados el lavabo y urinario ubicados en el complejo acuático de la Universidad Técnica del Norte en el área de vestidores de hombres; los mismos que mayor ahorro de agua generan, asimismo, elegidos los componentes principales de software y hardware para el sistema electrónico de reutilización de aguas grises desde el lavabo hacia el inodoro, se procede a realizar el diseño del prototipo, con la información recopilada anteriormente se garantiza plantear un sistema organizado, eficiente y orientado a satisfacer los requerimientos de los stakeholders.

3.3.1 Diagrama de bloques del sistema

Mediante la representación en bloques de la Figura 25 se presenta el funcionamiento interno del sistema y la relación con sus partes esenciales. El sistema inicia filtrando aguas grises para luego almacenarla en el tanque mediando un proceso físico, a continuación, la tarjeta programable Raspberry Pi 3 se encarga de leer los sensores y controlar los actuadores. Finalmente, a través de la conexión inalámbrica a internet, el sistema embebido actualiza los datos recopilados en la plataforma de Internet de las Cosas.

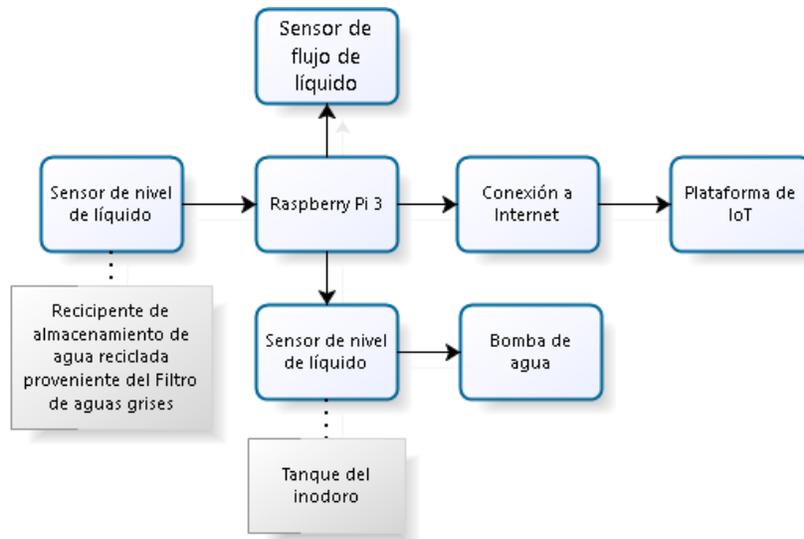


Figura 25. Diagrama de bloques del Sistema de Reutilización de Aguas Grises

Fuente: Autoría

3.3.2 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema es una representación del modelo a crear, se plantea gráficamente todos los componentes del sistema elegidos según los requerimientos y cómo se encuentran conectados para realizar la función de ahorro de agua del lavabo hacia el tanque del inodoro. A continuación, se detallan las propuestas de diagrama de los componentes físicos que el sistema posee.

3.3.2.1 Primera propuesta de arquitectura del sistema

El proceso de la Figura 26, inicia con el filtrado de aguas grises que llegan desde el lavabo, a continuación, se almacena el agua reciclada en un depósito, los sensores ubicados en el reservorio indican al Raspberry Pi 3 el nivel de agua con que cuenta el recipiente, asimismo el sensor del tanque del inodoro indica cuando se debe activar la bomba para llenarlo. Además, se incluyen una electroválvula normalmente abierta (N.A) y una normalmente cerrada (N.C). Estas últimas tienen la función de abrirse o cerrarse según la programación de la tarjeta de modo que el tanque del inodoro se llene con agua reciclada si el sensor de nivel de líquido del depósito indica que existe agua reutilizable, caso contrario posibilitarán que el tanque se llene con agua limpia. El proceso finaliza cuando la cantidad de agua contabilizada por el sensor de flujo es actualizada en la plataforma de IoT, además se envía notificaciones mensuales del ahorro de agua.

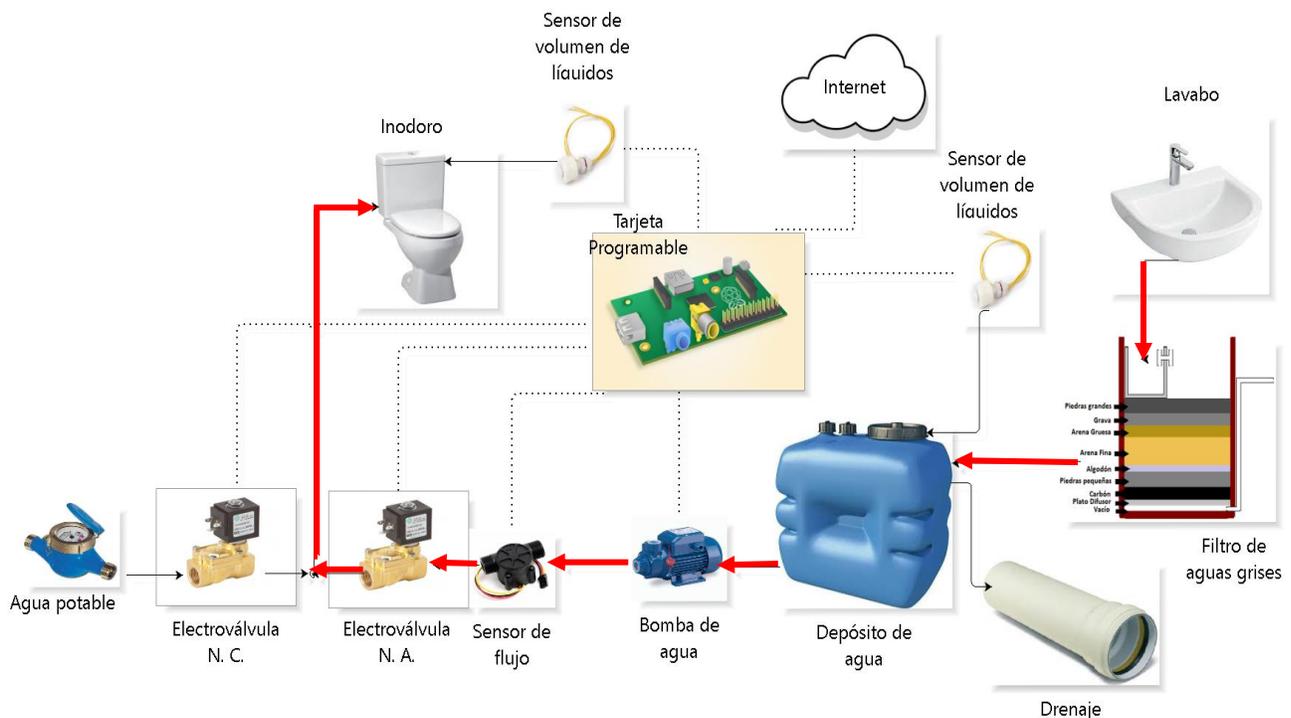


Figura 26. Primer modelo de arquitectura del sistema

Fuente: Autoría

Los modelos presentados en la Figura 26 y Figura 27 muestran los componentes del hardware del sistema y el tipo de enlace entre los mismos, la línea punteada representa las conexiones de elementos a la tarjeta programable y la línea roja define el camino que toma el agua reutilizada.

3.3.2.2 Segunda propuesta de arquitectura del sistema

El funcionamiento del sistema expuesto en la Figura 27 es igual al de la primera propuesta con la diferencia que en este caso en lugar de usar las electroválvulas se aprovecha la válvula propia del inodoro la cual es asociada directamente a un servomotor quien la cierra o la deja libre para llenar el depósito con agua reciclada o agua limpia según el estado del reservorio. El resto del funcionamiento es exactamente igual.

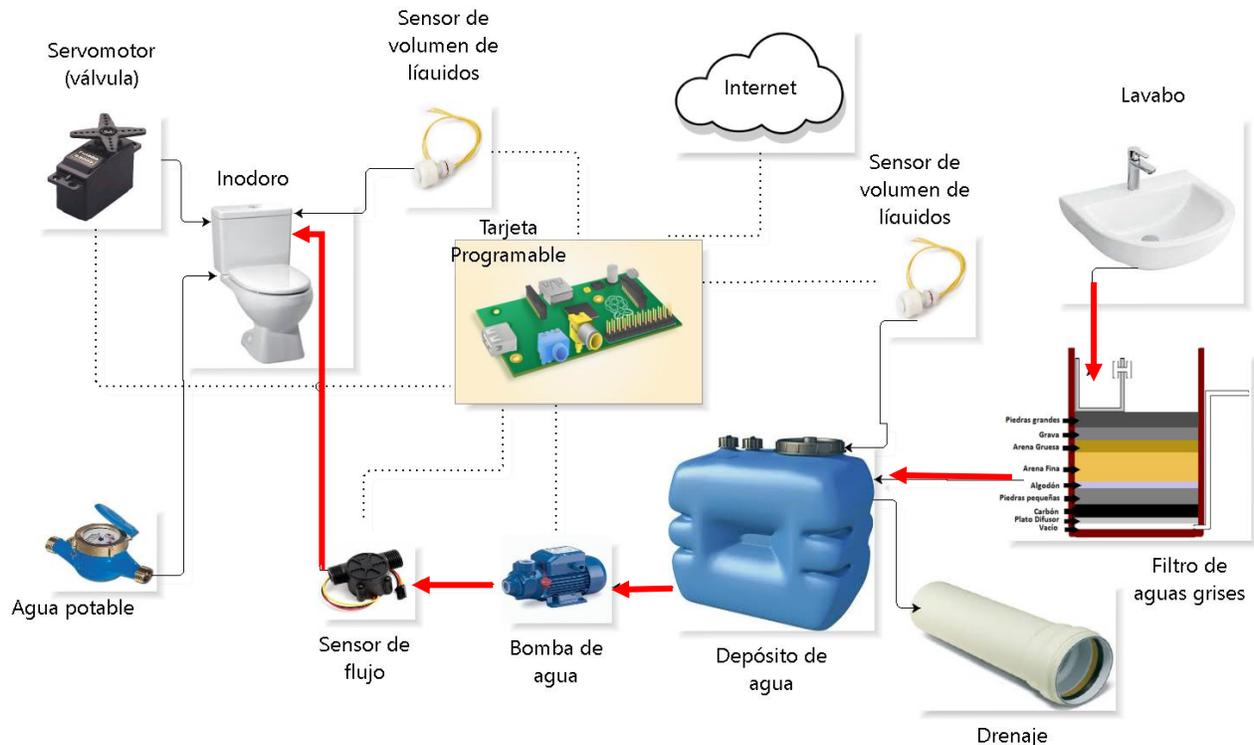


Figura 27. Segundo modelo de arquitectura del sistema

Fuente: Autoría

3.3.2.3 Evaluación de las propuestas

Para evaluar los modelos de arquitectura del sistema se toma en cuenta las diferencias entre los mismos de donde se valora características de los componentes no comunes tales como: complejidad de la instalación, consumo de energía, valor económico y velocidad de respuesta.

Con referencia a lo anterior se realiza la Tabla 25, misma que contiene las características de las electroválvulas y del servomotor, elementos que diferencian los modelos de arquitectura. Se estima cada particularidad para definir el modelo idóneo.

Tabla 25. Evaluación de componentes para arquitectura del sistema

Particularidades	Electroválvulas (1er modelo)	Servomotor (2do modelo)
Complejidad de instalación	Complejo	Fácil
Consumo de energía	Alto	Bajo
Precio	Alto	Bajo
Velocidad de respuesta	Alta	Media

Fuente: Autoría

En relación con la valoración anterior se elige al segundo modelo que usa el servomotor como la opción más eficiente ya que realiza su función de forma eficaz, es de fácil instalación y sobretodo permite el ahorro de recursos económicos.

3.3.3 Diagrama de pines del sistema

La finalidad de realizar la programación de la placa Raspberry Pi 3 de forma ordenada, es necesario realizar un diagrama de los pines que se van a usar. El Diagrama ayuda a

diferenciar el modo en que se deben configurar cada uno de los pines utilizados para los sensores y actuadores del sistema. Asimismo, la tarjeta programable cuenta con pines para alimentar a los sensores, esos pines también se toman en cuenta en el esquema para evitar dañar la tarjeta o los elementos que a esta se conectan.

La tarjeta Raspberry Pi 3 cuenta con un puerto GPIO (General Purpose Input/Output) de 40 pines el cual le admite comunicación con elementos exteriores tanto para activarlos como para leer el estado de los mismos. Los pines del GPIO reconocen 3,3V para un uno lógico y 0V para un cero lógico. Además, la corriente máxima que puede suministrar es de 16mA. Todos los pines se pueden administrar directamente a través de código, ya sea para poner un valor o leer un valor de un elemento externo.

El puerto GPIO cuenta con pines destinados a: alimentación de 3,3V y 5V, tierra, DPI (Display Parallel Interface), reloj de propósito general GPCLK, I2C para periféricos externos, PCM (Modulación por impulsos codificados), SDIO interface para tarjeta SD, SPI-Interfaz Periférica Serial y UART para comunicación asíncrona en serie. La Figura 28 muestra el puerto GPIO con los nombres de sus pines.

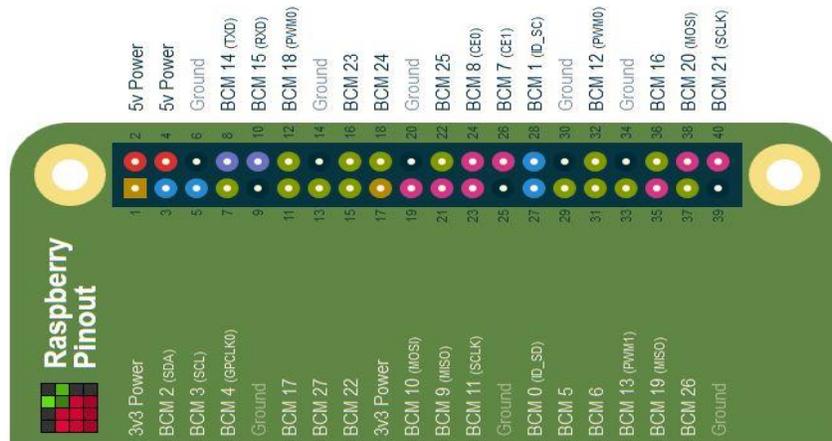


Figura 28. Distribución de pines GPIO Raspberry Pi 3

Fuente: (Pinout.xyz, 2016)

Para el desarrollo del presente proyecto se expone en la Figura 29, la distribución de los pines GPIO asignados para los elementos que componen el sistema y se conectan a través de este puerto al Raspberry Pi 3.

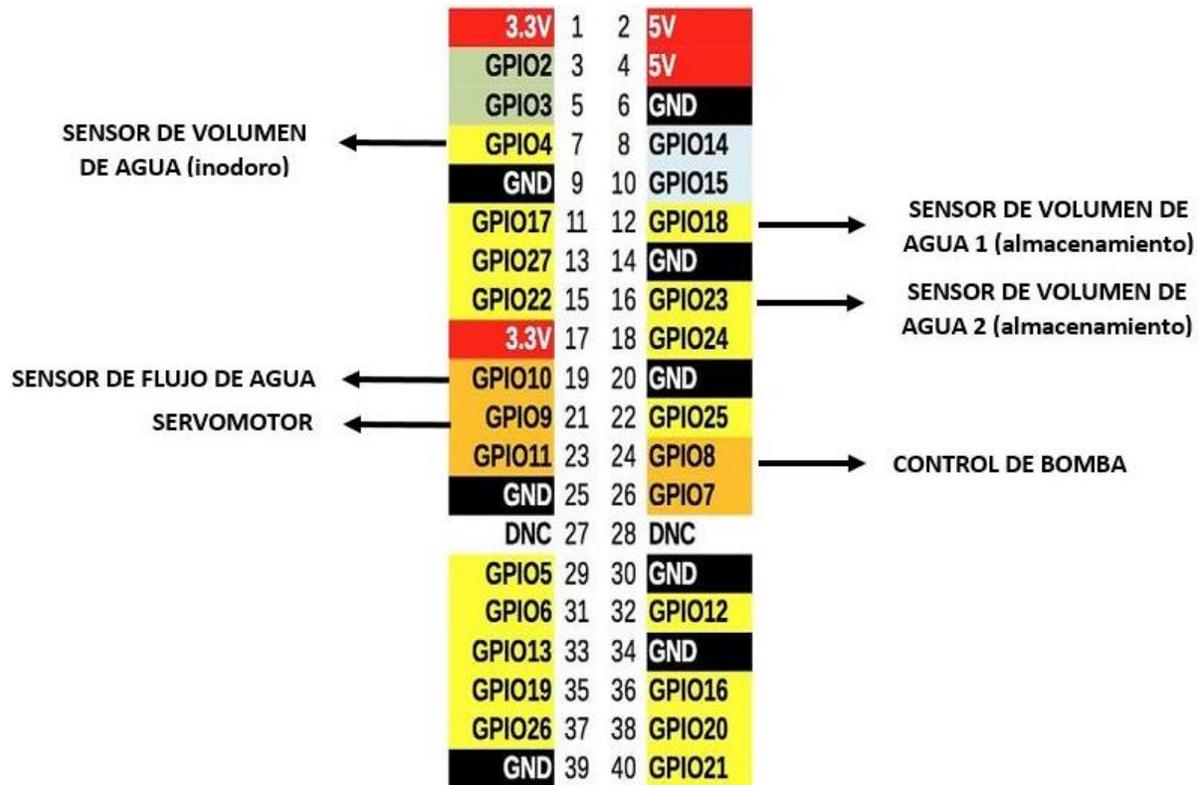


Figura 29. Distribución de pines del GPIO

Fuente: Autoría

3.3.4 Flujograma del sistema

El diagrama de flujo de la Figura 30 contiene la base para la programación del Raspberry Pi 3, se toma en cuenta los componentes del prototipo de forma agrupada.

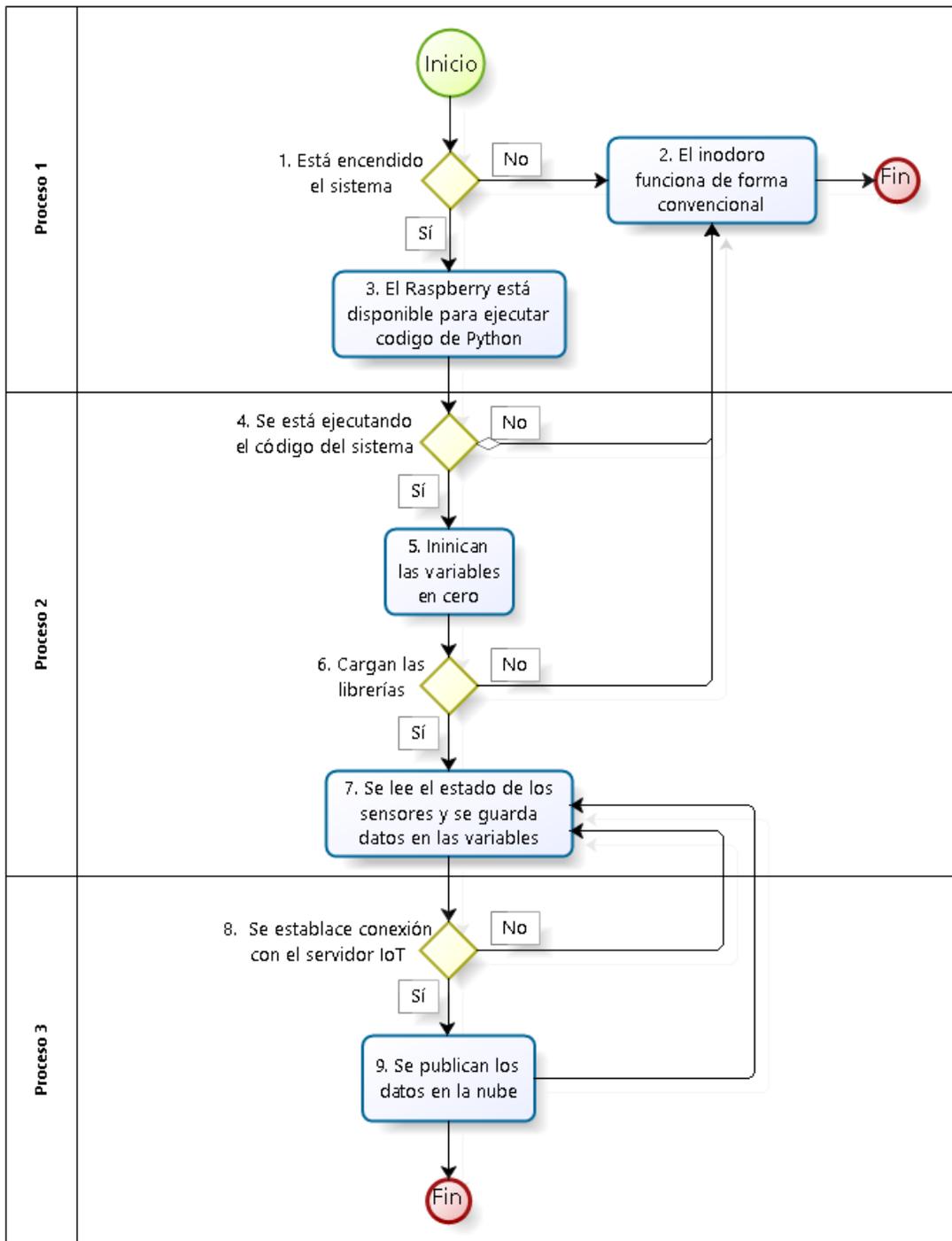


Figura 30. Diagrama de flujo general

Fuente: Autoría

Se ha planteado un diagrama de flujo general para explicar las acciones que ejecuta la tarjeta programable sin entrar en detalles, con el fin de dar una visión global del

funcionamiento, cabe aclarar que más adelante se va a explicar de forma precisa cada fase del sistema.

El flujograma de la Figura 30 se ha dividido en tres procesos, el primero se refiere a verificar que el sistema se encuentre encendido y disponible para ejecutar el programa, en esta etapa el funcionamiento del inodoro de la forma normal, el segundo proceso se refiere al inicio del programa con librerías y variables, inmediatamente continúa con la lectura de sensores y el finaliza con el tercer proceso que es la conexión al servidor de Internet de las Cosas y la publicación de los datos. En base a la figura anterior, en la Tabla 26 se explica cada actividad del diagrama.

Tabla 26. Descripción de las actividades del diagrama de flujo general

N°	Actividad	Descripción
1	Está encendido el sistema	Es importante conocer dicho estado debido a que es posible que haya un corte de energía eléctrica y en cualquier caso el tanque del inodoro debe estar abastecido de agua para su funcionamiento.
2	El inodoro funciona de la forma convencional.	Esta acción ocurre si no está encendido el sistema, si existe un corte de energía eléctrica o si se genera un error al cargar las librerías. El funcionamiento del prototipo es transparente para el usuario.
3	El Raspberry Pi 3 está disponible para ejecutar código de Python	En este estado la tarjeta programable se encuentra exenta de errores de inicio y lista para funcionar.

4	Se está ejecutando el código del sistema.	Se analiza si se ha ejecutado el código para el funcionamiento del sistema, que si es afirmativo continúa con la siguiente acción o caso contrario se cumple el evento de la actividad dos.
5	Inician las variables en cero	Al ejecutarse el código se inicializan las variables con el valor por defecto cero.
6	Cargan las librerías	Si las librerías para el funcionamiento del sistema no arrancan entonces el código no se ejecutará, por eso es importante la comprobación de esta actividad.
7	Se lee el estado de los sensores y se guarda datos en las variables	Cuando se ejecuta el código sin problemas entonces la tarjeta lee los sensores y almacena los datos en las variables para publicarlos, esta actividad se repite en períodos cortos de tiempo ya que no existe un horario definido de uso del inodoro.
8	Se establece conexión con el servidor IoT	Una vez que lee los sensores la tarjeta actualiza los datos en la plataforma, pero antes comprueba la conexión al servidor. Si la conexión no es exitosa el sistema sigue funcionando sin detenerse.
9	Se publican los datos en la nube	Comprobada la conexión al servidor, el sistema procede a actualizar la información en la nube y finaliza volviendo a la actividad siete.

Fuente: Autoría

El Raspberry Pi 3 ejecuta el código para el funcionamiento del sistema y la toma de decisiones es automática en función de la lectura de los sensores, cada acción se valida con las diferentes posibilidades que surjan durante el funcionamiento para lo cual se describe el flujograma de cada etapa.

3.3.4.1 Flujograma de sensores de nivel del almacenamiento

El diagrama de flujo de los sensores de nivel de agua ubicados en el tanque de almacenamiento se precisa en la Figura 31, aquí se representa el funcionamiento y las actividades que el Raspberry ejecuta en función la lectura de estos sensores.

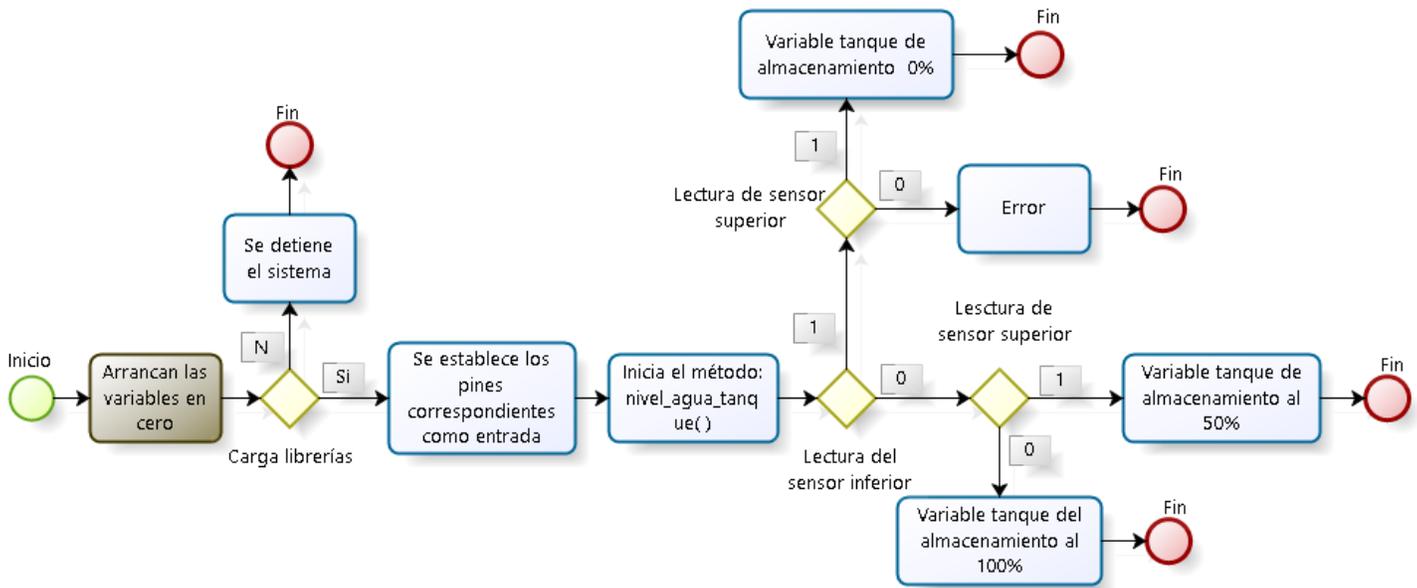


Figura 31. Flujograma nivel de agua del almacenamiento

Fuente: Autoría

El proceso de la figura anterior inicia cuando el programa carga, arranca las variables y las librerías del GPIO (General Purpose Input/Output) y timer. A continuación, si no hay errores se define los pines correspondientes en modo Input, seguido de esto, se define el

método que va a leer los dos sensores generando un valor único para la variable que almacena el estado del tanque de almacenamiento. La Tabla 27 muestra la forma cómo el programa interpreta los valores tomados por los sensores para asignar el valor a la variable correspondiente.

Tabla 27. Definición del estado del almacenamiento según los sensores

Sensor Inferior	Sensor Superior	Variable
0	0	100%
0	1	50%
1	0	Valor no posible
1	1	0%

Fuente: Autoría

3.3.4.2 Flujograma del sensor de nivel en el tanque del inodoro

El flujograma para el sensor del tanque del inodoro define la acción que realizan la bomba y el servomotor dependiendo del estado del almacenamiento de agua reciclada, la Figura 32 representa el diagrama de dicho sensor.

Con la ejecución del programa inicia las variables y las librerías (GPIO y timer), después si no se presentan errores, continúa por establecer los pines correspondientes a entrada y salida. El método actual consiste en leer la variable del estado del almacenamiento, dependiendo de esta y de la lectura del sensor en el tanque del inodoro se permite cargar el agua reciclada en caso de ser necesario. Para cargar el agua del reservorio se cierra la válvula del inodoro mediante un movimiento del servomotor y se enciende la bomba de agua

mediante un relé. Finalmente se revisa la lectura del sensor nuevamente y si el tanque ya está lleno, el servomotor vuelve a su estado anterior y la bomba se apaga, con esto también se ahorra el consumo de energía eléctrica. Durante el proceso de carga del agua el sensor de flujo de agua registra la cantidad de agua que lo ha atravesado y la almacena en variables, una de ahorro total y una de ahorro diario.

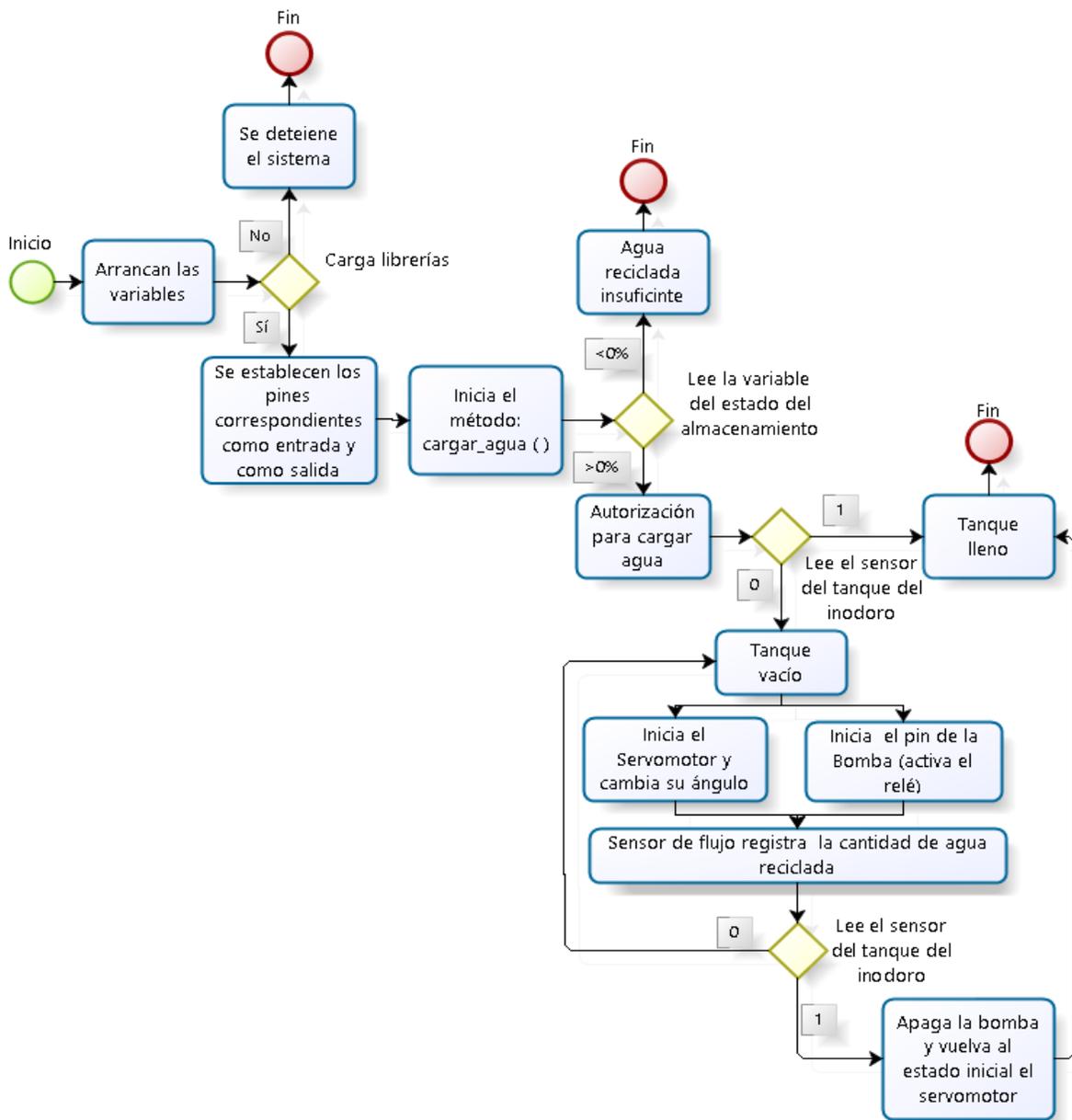


Figura 32. Flujograma nivel de agua tanque del inodoro

Fuente: Autoría

3.3.4.3 Flujograma de carga de datos a la nube

Para cargar los datos a la nube se ha definido hacerlo a dos plataformas de Internet de las Cosas, Relayr y Thingspeak. Para subir información a Relayr se usa el protocolo MQTT, para ello se debe descargar el cliente en el Raspberry Pi 3, esta librería es proporcionada por los desarrolladores de dicha plataforma. Por su parte la plataforma Thingspeak usa el protocolo HTTP para almacenar datos en la nube y no ha necesidad de descargar ningún complemento. En cuanto al flujograma para la carga de datos se muestra en la Figura 33, para ambas plataformas el proceso es similar, razón por la cual se realiza el mismo proceso.

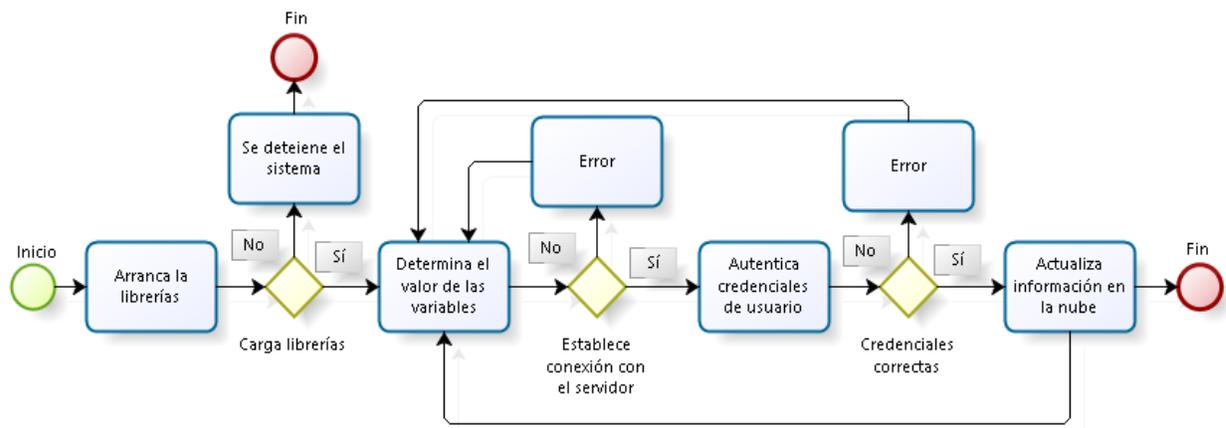


Figura 33. Flujograma para subir datos a la nube

Fuente: Autoría

3.3.5 Diseño del hardware para el sistema

Para el ubicar los componentes de los sensores se hace uso de una placa electrónica diseñada y elaborada por el desarrollador la misma que permite conectar al Raspberry Pi 3 con los sensores y actuadores descritos anteriormente. La placa cuenta además con circuito de relé para poder activar la bomba de agua la cual funciona con 110V. Para la elaboración

de la placa se realizó el diagrama de conexión en el software Eagle como se muestra en la Figura 34.

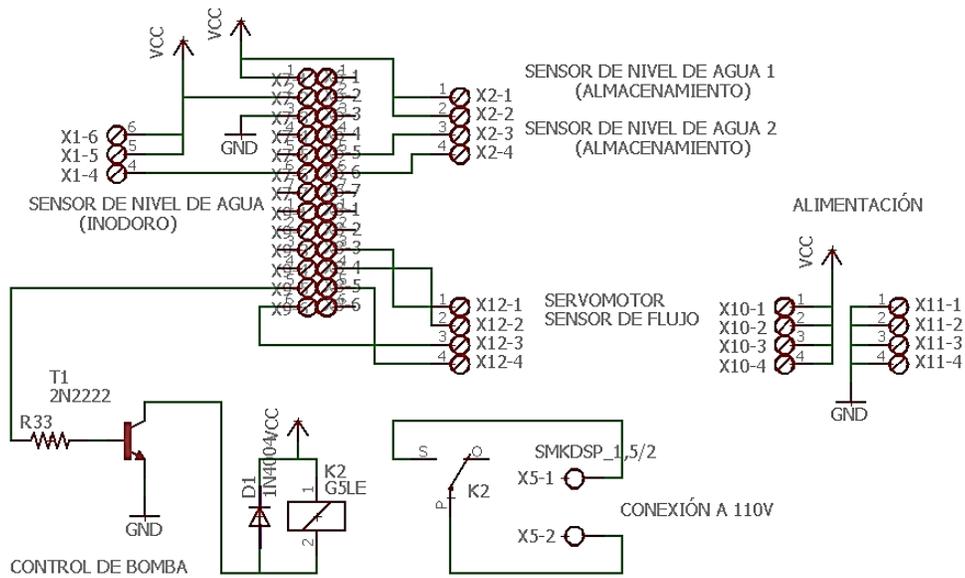


Figura 34. Circuito de conexión de Raspberry con elementos externos

Fuente: Autoría

A partir de del diagrama anterior el software usado permite diseñar el circuito impreso para quemar en baquelita, el mismo que se presenta en la Figura 35.

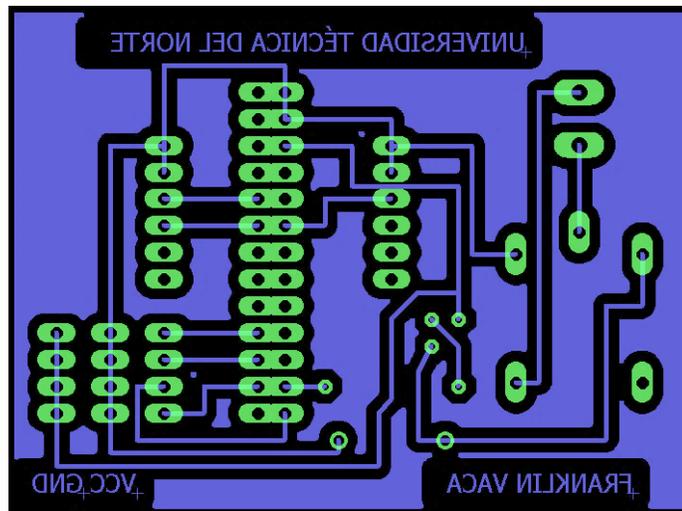


Figura 35. Circuito impreso de conexión Raspberry con elementos externos

Fuente: Autoría

3.4 DESARROLLO DE SOFTWARE

El proceso de desarrollo del software se realizó en base a los flujogramas de la Figura 28 a la 29. La programación de la tarjeta Raspberry Pi 3 se efectuó siguiendo las recomendaciones de buenas prácticas para la construcción de software. A continuación, una descripción del código.

El código fuente inicia con la importación de las librerías descritas en la Tabla 28 necesarias para el funcionamiento del sistema. Enseguida se inicializan las variables ocupadas para almacenar datos. Se tiene cuatro métodos que cumplen la función de: contar pulsos enviados por el sensor de flujo, interpretar las señales desde los sensores de nivel de agua en el almacenamiento para determinar la altura de agua, mover el servomotor y encender la bomba según sea necesario y reiniciar variables dependientes del tiempo. Luego constan líneas proporcionadas por la plataforma de IoT (Relayr), mismas que permiten la publicación de datos por parte del cliente MQTT. Finalmente posee el bucle donde se ejecutan periódicamente los métodos y se publica los datos en las plataformas Thingspeak y Relayr. El código completo se encuentra en el ANEXO 6: Código fuente de la tarjeta programable.

Tabla 28. Librerías usadas en el sistema

Librería	Función
json	Formato para el intercambio de datos.
time	Importar fecha y hora, delays
GPIO	Control de pines In/Out
paho.mqtt.client	Cliente MQTT
urllib2	Publicar datos a través de HTTP

Fuente: Autoría

3.5 VERIFICACIÓN

Para comprobar el funcionamiento del sistema se realiza la verificación antes de la instalación con la finalidad de demostrar que el prototipo cumple a cabalidad la función para la que fue diseñado, tener experiencia del funcionamiento, recopilar información para mejorar el diseño y corregir los errores que surjan.

La Figura 36 plasma a la tarjeta programable Raspberry conectada todos los componentes externos con la ayuda del hardware diseñado y construido en el desarrollo de este proyecto. En este caso para realizar la verificación se emula el efecto que tendría el agua sobre los sensores de nivel cuando esta aumenta su altura tanto en el recipiente de almacenamiento, así como en el tanque del inodoro.



Figura 36. Verificación del funcionamiento del sistema

Fuente: Autoría

En la fase de verificación se pudo comprobar el funcionamiento del sistema con todos los elementos físicos conectados, además de la conexión y actualización de datos en la plataforma de IoT. Las conclusiones de dicha experiencia con relación a cada elemento se exhiben en la Tabla 29.

Tabla 29. Resultados de la verificación

Elementos	Resultado
Sensores de nivel en el recipiente de almacenamiento	El desempeño de los dos sensores en conjunto es el adecuado y marcan los valores antes definidos con respecto al nivel del agua en el almacenamiento. Se recomienda realizar la instalación en el recipiente de modo que concuerde con los valores definidos.
Sensor de nivel en el tanque del inodoro	El funcionamiento de este sensor es positivo y no presenta ningún inconveniente. Se pide instalarlo de modo que la boya que posee no se atasque.
Servomotor	El ángulo de giro del servomotor debe ser ajustado en la instalación, ya que puede generar problemas con la válvula del inodoro. El control por parte de la tarjeta programable es el adecuado.
Bomba de agua	El circuito impreso elaborado contiene el relé para activar la bomba, en este caso se verificó que el tiempo de respuesta del circuito es oportuno.

Sensor de Flujo El sensor de flujo debe ser calibrado de acuerdo a las condiciones de presión generada por la bomba en el lugar de la instalación

Plataformas de IoT La información subida a la plataforma se actualiza de manera inmediata, pero es necesario realizar las actualizaciones con más espacio de tiempo para no entorpecer el funcionamiento del sistema.

Fuente: Autoría

Realizada la verificación, en la Figura 37 se muestra los datos de prueba subidos a la plataforma Relayr a través del protocolo MQTT y en la Figura 38 se presenta los datos actualizados en la plataforma Thingspeak a través de HTTP, demostrando de esta manera que la experiencia anterior fue auténtica.

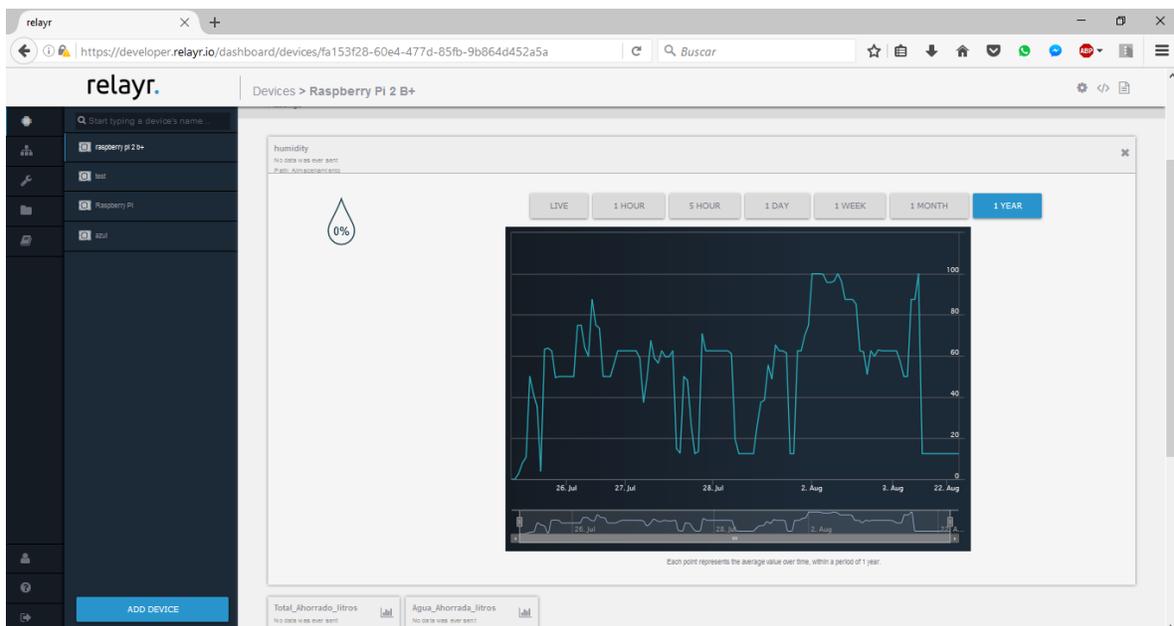


Figura 37. Datos de prueba en Relayr

Fuente: Autoría

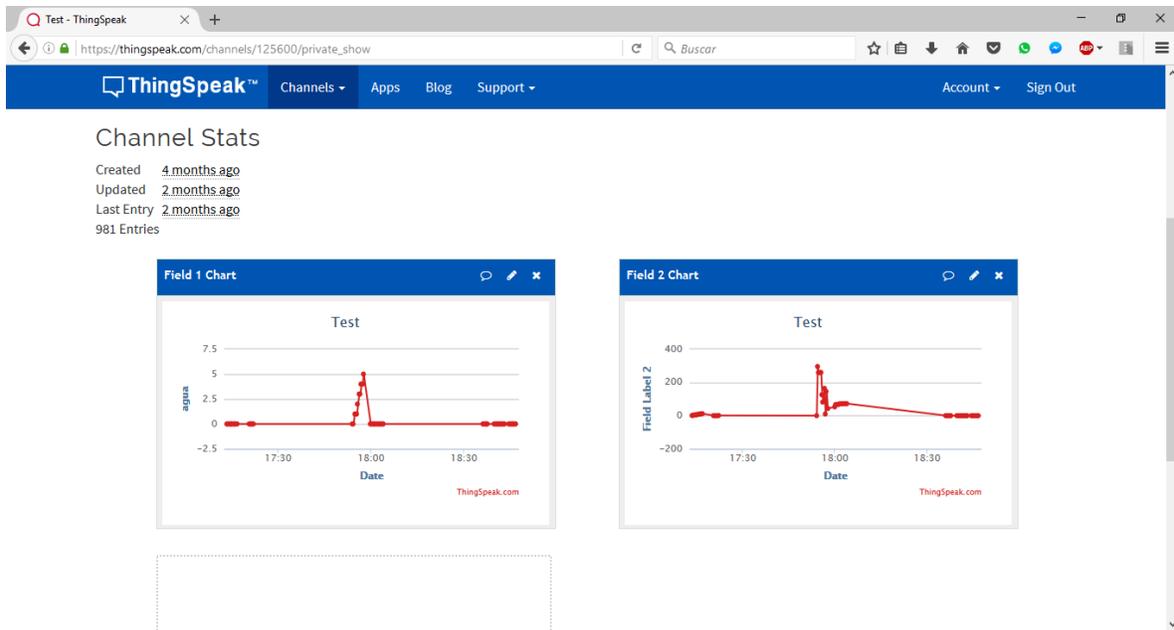


Figura 38. Datos de prueba en Thingspeak

Fuente: Autoría

3.6 IMPLENTACIÓN

Con el respaldo de la verificación realizada se procede a realizar la implementación del sistema; se debe tomar en cuenta las recomendaciones realizadas en la Tabla 29 para que el funcionamiento del sistema sea el esperado y evitar inconvenientes.

La implementación del sistema se va a realizar en un baño ajeno a la Universidad Técnica del Norte y a su complejo acuático debido a que no se cuenta con la garantía de que los elementos estén a buen recaudo y no sean sustraídos, situación que afecta directamente a la culminación del proyecto, además para la instalación adecuada se necesita realizar obra civil y no se cuenta con el permiso para efectuarlo. Ventajosamente mediante el análisis de la observación directa se conoce la cantidad de líquido vital que se puede ahorrar con el

sistema en el complejo acuático de la universidad, por lo que únicamente hace falta realizar una prueba de funcionamiento continuo del sistema completo.

Con base a lo mencionado previamente la implementación de sistema va a tener lugar en el lavabo e inodoro de una casa, condición que no representa riesgo para cumplir con los objetivos del proyecto. Dicho lo anterior se procede a la instalación del sistema.

3.6.1 Instalación de la tarjeta programable y el circuito impreso

Se va a colocar el Raspberry Pi 3 y el circuito fabricado en un lugar alto, seco y fresco que cuenta con un tomacorriente para dos enchufes; uno para el adaptador de corriente del Raspberry y otro para el circuito con relé previo a la bomba de agua. Adicionalmente se cuenta con una caja de vidrio que puede ser cerrada herméticamente para evitar que ingrese humedad a los elementos electrónicos, la misma que posee agujeros para pasar los cables que conectan los periféricos y la alimentación de la placa. La Figura 39 muestra la instalación del Raspberry Pi 3 y sus complementos en la pared del baño.

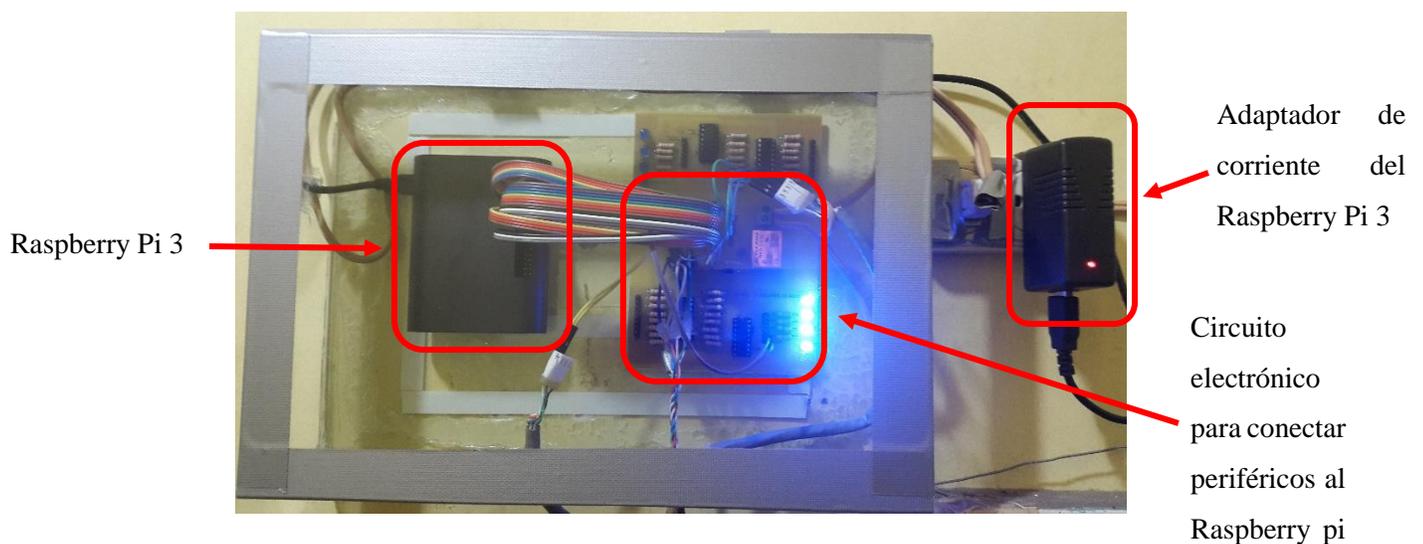


Figura 39. Raspberry Pi 3 y complementos instalados en la pared

Fuente: Autoría

3.6.2 Instalación del servomotor y sensor de nivel en el inodoro

El servomotor se ubica pegado a la pared del tanque del inodoro cerca de la válvula del mismo de modo que se pueda unir el asa del elemento electrónico a la boya del sistema de ingreso del agua para moverla dependiendo de la programación del sistema. Por otro lado, el sensor de nivel se ubica tomando como referencia la altura del agua mientras el tanque se encuentra lleno para que cuando el sistema esté operando llene el agua hasta la misma elevación, es necesario evitar que el flotador roce con cualquier cosa a fin de evitar que se atasque. La Figura 40 refleja la instalación del servomotor y del sensor de nivel de líquido.

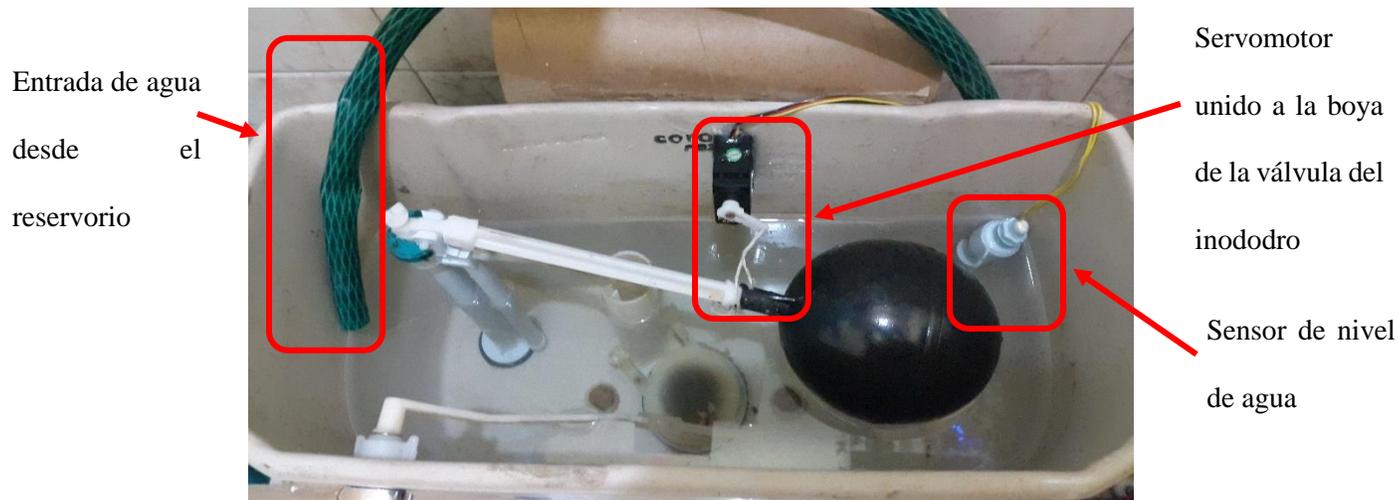


Figura 40. Instalación del servomotor y sensor de nivel en el inodoro

Fuente: Autoría

3.6.3 Instalación de la bomba, sensor de flujo y sensores de nivel

Anteriormente se definió que los sensores de nivel de agua en el tanque de almacenamiento van a funcionar en conjunto, por ese motivo se sitúan de manera estratégica para estimar el volumen de agua según lo mencionado en la Tabla 27, la instalación se efectúa evitando generar fugas de agua en el recipiente.

La capacidad del tanque de almacenamiento tomando en cuenta la información de la Tabla 3, debe ser de dos veces la capacidad del tanque del inodoro, en este caso en cada descarga del inodoro se usan 7 litros de agua, por lo tanto, el recipiente de almacenamiento debe tener por lo menos 14 litros de capacidad.

La bomba de agua en concordancia con los requerimientos se instala en el fondo del tanque de almacenamiento, esta cuenta con un filtro de esponja el cual es colocado en la entrada de líquido y en su desfogue se acopla un tubo de ½ pulgada con un codo para dar orientación hacia el inodoro al flujo a agua. Luego del codo se acopla el sensor de flujo de agua verificando la correcta orientación del mismo, la tubería desemboca en el tanque del inodoro a través de una manguera de presión, todas las conexiones se llevan a cabo previniendo que se generen fugas. La Figura 41 expone la instalación de la bomba, el sensor de flujo y los sensores de nivel de agua en el recipiente de almacenamiento.



Figura 41. Instalación de la bomba, sensor de flujo y sensores de nivel

Fuente: Autoría

3.6.4 Instalación del filtro de aguas grises

El recipiente que contiene el filtro de aguas grises se dispone debajo del lavabo de manera que el agua que se usa en este caiga directamente al filtro sin necesidad de realizar otras conexiones de tubería. El desfogue del lavabo debe coincidir con la trampa de grasas y sólidos (primera etapa del filtro). La ubicación del filtro no genera incomodidad para el usuario ya que generalmente debajo del lavabo no se coloca ningún aparato. La Figura 42 muestra la instalación del filtro de aguas grises.

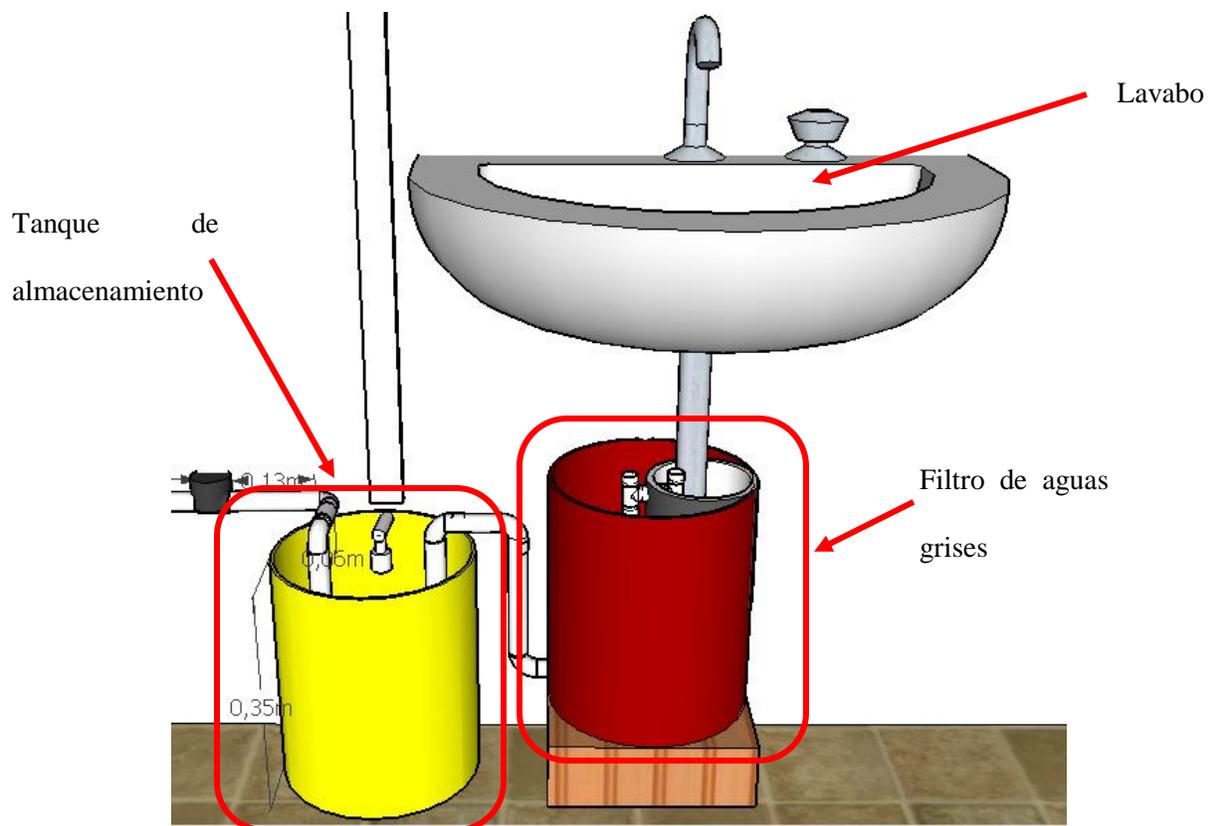


Figura 42. Instalación del filtro de aguas grises

Fuente: Autoría

3.6.5 Conexión de la tarjeta programable a internet

Para el sistema es de gran importancia que exista conectividad a internet a pesar de que está validado que continúe funcionando aun si no hay conexión a la red. Para que los datos se actualicen correctamente en las plataformas de Internet de las Cosas y para poder acceder al escritorio remoto del Raspberry se necesita de la conexión a internet. La tarjeta usada cuenta con conectividad inalámbrica a la red a través de la tarjeta wifi que incorpora. Para conectar el sistema al access point únicamente se elige la red inalámbrica y se autentica con la contraseña. La Figura 43 muestra la asociación de la tarjeta con una red inalámbrica.

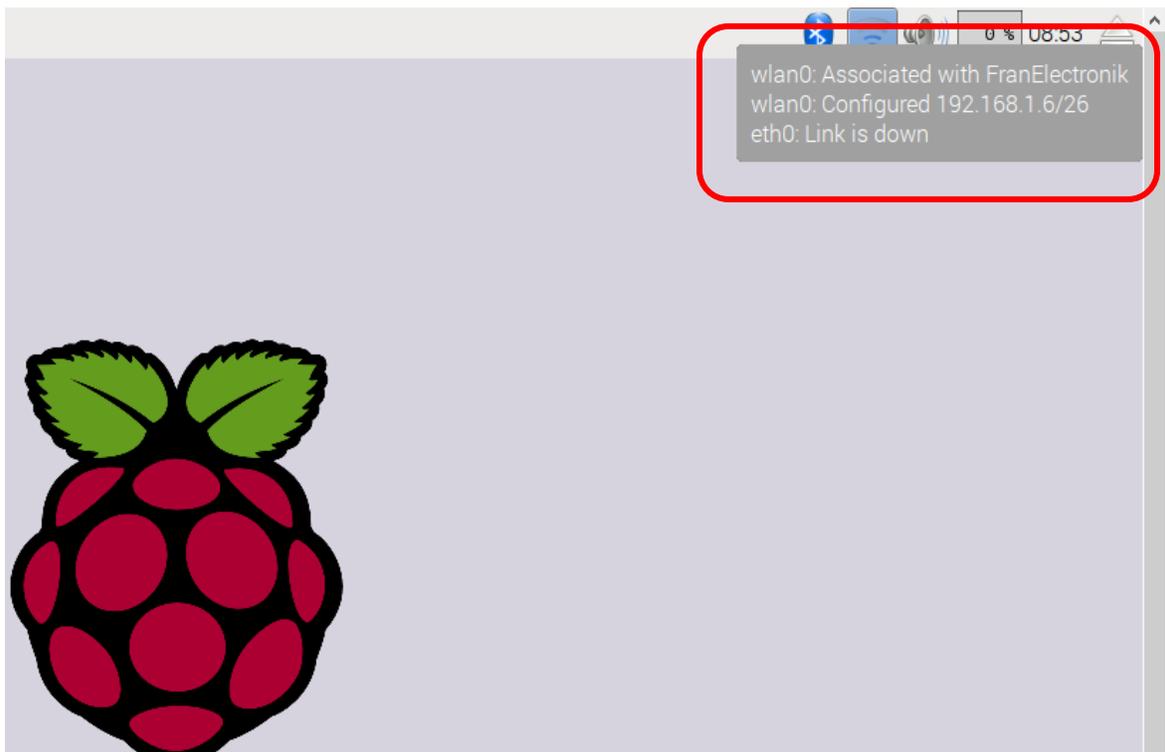


Figura 43. Prueba de conexión de la tarjeta a una red inalámbrica

Fuente: Autoría

3.7 PRUEBAS FUNCIONALES

Las pruebas de funcionamiento evalúan el desempeño del sistema y corrigen desperfectos que se mantengan en él. El propósito de las pruebas es validar que el sistema tiene el funcionamiento deseado y permite al desarrollador valorar al sistema, desde el punto de vista de la funcionalidad y rendimiento. En la Tabla 30 se plantean las pruebas que se van a realizar y su finalidad.

Tabla 30. Pruebas de funcionamiento y su finalidad

N°	Prueba	Finalidad
1	Funcionamiento del filtro	El objetivo de esta prueba es conocer que el filtro funcione de manera para que no acumule agua por taponamiento y/o genere fugas.
2	El sistema trabaja con o sin agua reciclada	Esta prueba está orientada a validar que el sistema no interfiera con las actividades cotidianas y que el funcionamiento del sistema es automático y transparente para el usuario.
3	La lectura del sensor de flujo es correcta	Esta prueba se realiza con el objeto de tener datos exactos de la cantidad de agua que se ahorra para realizar un análisis acertado con datos válidos.

4	El sistema no tiene fugas	En este caso se evalúa las condiciones de los componentes en contacto con el agua y la calidad de instalación.
5	Se carga los datos en la nube	Con esta prueba se pretende comprobar la disponibilidad del servidor de IoT y la actualización exitosa de los datos recopilados.

Fuente: Autoría

3.7.1 Prueba de funcionamiento del filtro

El funcionamiento del filtro se evalúa al verter agua desde el lavabo, la misma que tiene que atravesar el filtro por acción de la propiedad de nivelación y almacenarse en el recipiente donde se encuentra la bomba. En caso de que el filtro se tapone el agua se va a acumular en este, hasta que rebose y se derrame. El funcionamiento correcto del filtro se muestra en la Figura 44, donde se puede apreciar que el agua atraviesa las capas del filtro.



Figura 44. Prueba de funcionamiento del filtro

Fuente: Autoría

3.7.2 El sistema trabaja con o sin agua reciclada

Se ha validado que el sistema siga funcionando aun cuando no haya agua reciclada para reusar. Se realizó la descarga del tanque de inodoro mientras existía agua en el reservorio, según lo programado en la tarjeta el servomotor cortó el paso de agua limpia y se activó la bomba para llenar el tanque, asimismo, se realizó la descarga con el almacenamiento vacío, en este caso ni el servomotor ni la bomba se activaron. En consecuencia, la prueba fue exitosa.

3.7.3 La lectura del sensor de flujo es correcta

En el desarrollo de esta prueba inicialmente se midió el agua que carga el tanque de forma convencional, el resultado fue 7 litros de agua. Para calibrar el sensor se llenó el depósito hasta el mismo nivel y se tomó en cuenta los pulsos que envió el sensor. Con esta experiencia se conoce la cantidad de pulsos que representa un litro, en base a esto se programó una variable que almacene la cantidad de pulsos y que se reinicie cuando se complete un litro y finalmente la cantidad en litros se almacena en una nueva variable que es publicada. Para realizar la prueba se realizó la descarga del tanque del inodoro y se verificó la cantidad en litros que debía marcar, siendo la esperada.

3.7.4 El sistema no tiene fugas

Para verificar que el sistema no tenga fugas se realizó una inspección diaria del área de instalación del sistema durante cinco días para comprobar que no haya fuga de agua. La inspección dio como resultado que no existían fugas pues no se notó humedad en ningún

lugar fuera de lo común. La Figura 45 muestra el piso donde están instalados filtro y el tanque de almacenamiento, donde se aprecia que no hay agua regada en él.



Figura 45. Prueba de no fugas de agua

Fuente: Autoría

3.7.5 Actualización de datos en la nube

El sistema se ha diseñado para realizar actualizaciones periódicas del estado de las variables de ahorro de agua total, diario y el estado del nivel de agua en el tanque de almacenamiento, por este motivo, para comprobar que el sistema esté actualizando la información se revisa las plataformas en internet. Cada plataforma tiene un usuario y contraseña para ingresar. La Figura 46 muestra los datos actualizados en Relayr y la Figura 47 indica los mismos datos en Thingspeak.

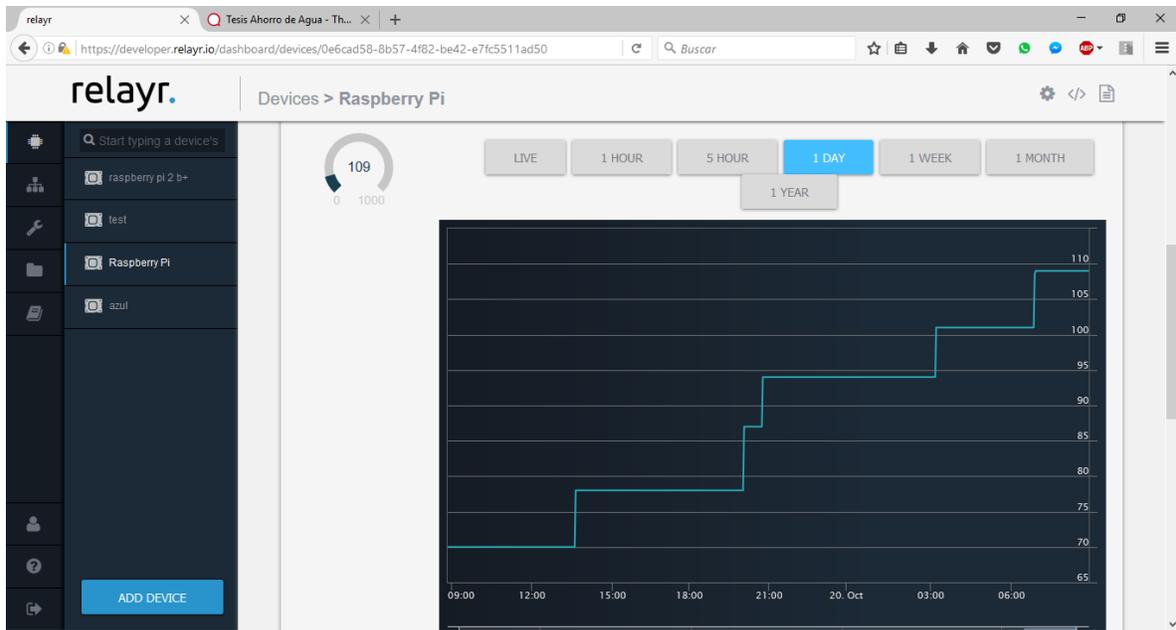


Figura 46. Prueba de carga de datos en Relayr

Fuente: Autoría

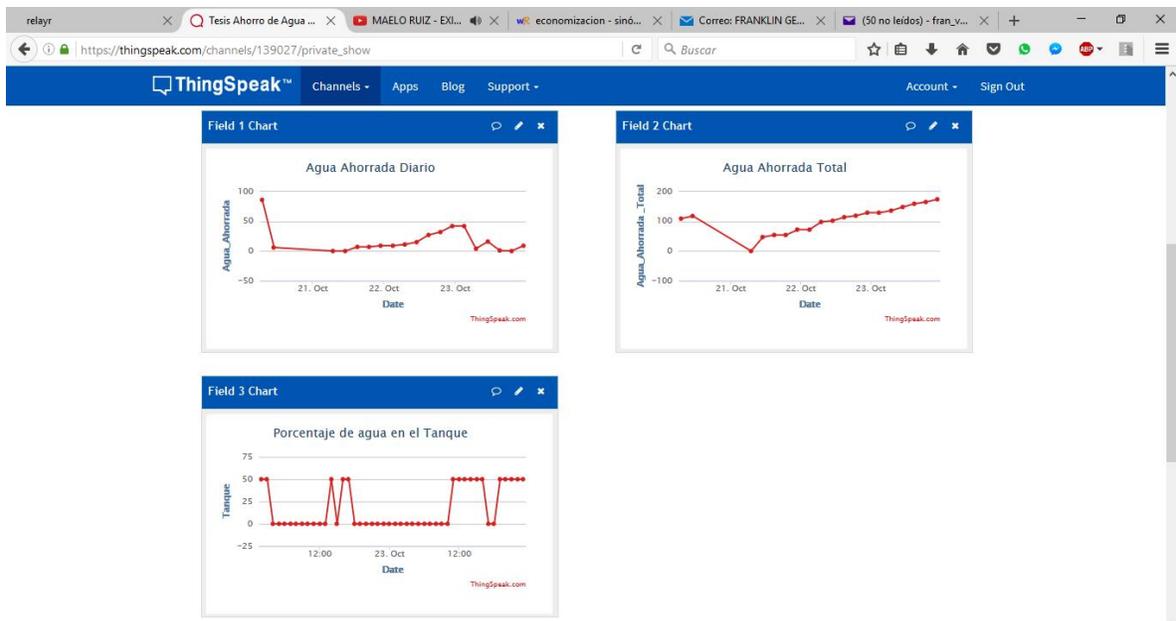


Figura 47. Prueba de carga de datos en Thingspeak

Fuente: Autoría

3.7.6 Conclusiones de las pruebas funcionales

Una vez realizadas todas las pruebas funcionales del sistema se concluye que el mismo funciona correctamente en su totalidad. Para la implementación se ha tomado en cuenta la experiencia de la verificación. También se han calibrado los sensores, debido a que su funcionamiento es determinante para la respuesta oportuna de la tarjeta programable ante los cambios.

El sistema se encuentra funcionando y los datos se encuentran disponibles en la nube, de modo que se puede monitorear el estado de las variables del sistema desde cualquier dispositivo con acceso a internet.

El funcionamiento del sistema no interviene con las actividades cotidianas del usuario, además se ha instalado en un lugar donde no entorpece las acciones que se realizan en el cuarto de baño.

Es necesario realizar un mantenimiento del filtro y del tanque del inodoro, debido a que se acumula desechos en la trampa de sólidos y grasas del depurador y también se genera sarro en las paredes del tanque de retrete, este mantenimiento debe ser quincenal.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalizado el proyecto de reutilización de aguas grises del lavabo hacia el inodoro con aplicación de Internet de las Cosas, como herramienta para el ahorro de agua en un medio urbano, se presenta la tabla de valores, el análisis de impactos, las conclusiones y recomendaciones.

4.1 TABLAS DE VALORES

La valoración del hardware, software y costo de desarrollo del sistema se evalúan a continuación. Se presentan tablas que muestran el importe de elaboración del sistema con el objetivo de calcular el valor que significó realizar el proyecto.

4.1.1 Valoración del hardware

La Tabla 31 contiene los materiales electrónicos utilizados en el desarrollo e implementación del sistema electrónico de reutilización de aguas grises del lavabo hacia el inodoro. Se presentan los materiales con el costo unitario, la cantidad y el costo total.

Tabla 31. Valoración de materiales electrónicos del sistema

Componentes Electrónicos					
Elemento	Costo U.	Impuestos	Costo R	Cantidad	Costo Total
Raspberry Pi 3	42,45	18,50	60,95	1	60,95
Tarjeta micro SD	7,43	3,24	10,67	1	10,67

Adaptador de corriente	9,54	4,17	13,71	1	13,71
Sensor nivel de líquidos	7,56	3,31	10,87	3	32,61
Servomotor	5,97	2,62	8,59	1	8,59
Sensor De Flujo De Agua	13,76	6,00	19,76	1	19,76
Bomba de agua AquaJet	17,40	7,50	24,90	1	24,90
				Total	171,19

Fuente: (Amazon, 2016)

De igual forma que en la representación anterior, la Tabla 32 muestra los materiales usados en la elaboración del filtro para aguas grises con su respectiva valoración.

Tabla 32. Valoración de materiales del filtro

Materiales del Filtro de aguas grises			
Elemento	Costo U	Cantidad	Costo Total
Almacenamiento de agua	2,00	2	4,00
Manguera de ½” para agua (en metros)	0,75	3	2,25
Piezas acoplamiento tubería	0,50	8	4,00
Filtro de agua	10,00	1	10,00
Elementos varios	10,00	1	10,00
Total			30,25

Fuente: Autoría

4.1.2 Valoración del Software

Se realiza la valoración de todos los elementos de software utilizados para el desarrollo del proyecto. Al igual que la valoración del hardware, la información sobre el costo se presenta en la Tabla 33.

Tabla 33. Valoración del software usado

Elementos de software usados	
Programa	Precio
Microsoft Office 365	\$0,00
SketchUp 2016 (v 16.1.1449) versión de prueba	\$0,00
Bizagi (v 3.0.0.022) versión gratuita	\$0,00
Relayr	\$0,00
ThingSpeak	\$0,00
Raspbian Jessie (v 4.4)	\$0,00
Python (v 2.7)	\$0,00
TOTAL	\$0,00

Fuente: Autoría

4.1.3 Valoración del costo de desarrollo

El costo de desarrollo toma en cuenta el importe de la mano de obra del desarrollador correspondiente a los meses que duró el desarrollo, así como los viáticos y los materiales de oficina que se usaron en todo el proceso; toda la información respecto a lo mencionado se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Costo de desarrollo del sistema

Costo de Desarrollo		
Detalle	Costo referencial	Costo Real
Mano de obra	\$3000,00	\$0,00
Viáticos	\$800,00	\$0,00
Materiales de oficina	\$65,00	\$0,00
TOTAL	\$3865,00	\$0,00

Fuente: Autoría

4.1.4 Valores totales

En la Tabla 35 se muestra el resumen de los costos de todos los recursos que fueron necesarios para el desarrollo completo del sistema. La tabla contiene un costo referencial y un costo total. El costo referencial se sugiere valores que no representan un costo real por tratarse de un proyecto de titulación.

Tabla 35. Costos totales del desarrollo del sistema

Costos Totales		
Detalle	Costo referencial	Costo Real
Costo de materiales electrónicos	\$171,19	\$171,19
Costo del filtro	\$30,25	\$30,25
Costo del software	\$0,00	\$0,00
Costo del desarrollo	\$3865,00	\$0,00
TOTAL	\$4066,44	\$201,44

Fuente: Autoría

4.1.5 Proyección comercial

Con el objetivo de conocer el precio referencial de venta que tendría el producto si se fabricase con fines de comercialización, se realizan los cálculos elementales del costo total de producción y comercialización del sistema. El ANEXO 5: Análisis del costo de producción y comercialización del sistema recopila los costos vinculados al producto y su venta. En la Tabla 36 se presenta un resumen del precio total de producción de 25 ejemplares del sistema. La cantidad mencionada guarda relación con la capacidad del personal requerido para fabricar este artículo. La tabla siguiente presenta una síntesis del precio de cada ítem de producción con el costo total y unitario que asumiría.

Tabla 36. Costos de producción del sistema

COSTO DE PRODUCCIÓN DEL SISTEMA			
RESUMEN	TOTAL	UNITARIO	PORCENTAJE
Materiales directos	5436,00	217,44	78%
Mano de obra directa	916,00	36,64	13%
Costos indirectos de fabrica	377,50	15,10	5%
COSTOS DE PRODUCCION	6729,50	269,18	96%
Gastos de Administración	235,00	9,40	3%
Gastos de Venta	20,00	0,80	1%
COSTOS TOTALES	6984,50	279,38	100%
UTILIDAD APROXIMADA	698,45	27,94	10%
PRECIO DE VENTA	7683,00	307,32	110%

Fuente: Autoría

Tal como indica la tabla anterior el costo del sistema por unidad es de aproximadamente trescientos ocho dólares (\$308). En esta estimación se pronostica al proyecto como una inversión económica a largo plazo, sin embargo, la inversión ambiental tiene una importancia superior y destacable por tratarse de un sistema verde, es decir, amigable para la conservación de la vida en el planeta.

Finalmente, la Figura 48 muestra la instalación final del sistema electrónico con aplicación IoT para reutilización de aguas grises desde el lavabo hacia el inodoro, dicha implementación se acopla a las condiciones de diseño actuales en los baños. Se ha propuesto un sistema que se adapte al diseño arquitectónico de los servicios higiénicos, además de ocultar del público tanto el filtro como el tanque de almacenamiento mejorando considerablemente el impacto visual del prototipo también se considera la anulación de propagación de olores y una alternativa de aislamiento barata para dichos elementos del proyecto.



Figura 48. Instalación del sistema con enfoque comercial

Fuente: Autoría

En la figura anterior se muestra la instalación del sistema propuesto, a la izquierda se aprecia al sistema cubierto y a la derecha se presenta la visión de rayos x de la implementación mencionada primera.

4.2 IMPACTOS

Se realiza el análisis de los impactos que genera el sistema para el lugar donde se ha propuesto el diseño e implementación. Se toma en cuenta el impacto ambiental y el impacto económico, siendo estos dos los más importantes donde se puede verificar el ahorro del líquido vital y de los recursos económicos.

4.2.1 Impacto Ambiental

El problema mundial del agua se origina con: el crecimiento exponencial de la población mundial, la falta de fuentes hídricas, el incremento del dispendio de agua, la inoportuna administración de esta, y la presencia de instalaciones y grandes construcciones deficientes y obsoletas. En la actualidad se han creado alternativas de ahorro de los recursos hídricos a nivel urbano y doméstico. El desarrollo tecnológico enfocado al consumo y saneamiento eficiente del agua conjuntamente con la conciencia social y políticas de uso responsable del agua son estrategias verdes enfocadas en el ahorro del líquido vital (Serrano, 2014).

El sistema propuesto en el desarrollo de este proyecto es una de las soluciones verdes que si se toma en cuenta en la construcción de los edificios es capaz de ahorrar una importante cantidad de agua para las ciudades y para el planeta. Para la conservación del líquido vital cada gota de agua cuenta.

La implementación del sistema se tiene un evidente ahorro de agua y un consumo de energía eléctrica mínimo, lo que hace que el proyecto se catalogue como sustentable. El impacto ambiental que genera la instalación del sistema propuesto es mínimo y contribuye al ahorro de un recurso no renovable que es sustancial para la conservación de la naturaleza, la fauna y en si la vida en el planeta.

La cantidad de agua ahorrada con la instalación del sistema electrónico en el lavabo y urinario ubicados en el área de vestidores masculinos del complejo acuático de la Universidad Técnica del Norte se muestra en la Tabla 37, la cual contiene: un promedio de uso en diferentes períodos de tiempo y un promedio de descargas que puede abastecer en relación a los litros ahorrados, considerando que una descarga contenga siete litros de agua.

Tabla 37. Promedio de litros de agua ahorrados

PROMEDIO DE AHORRO DE AGUA		
Período de Tiempo	Litros Ahorrados	Descargas posibles
Diario	54	8
Semanal	378	54
Mensual	1620	231
Anual	19710	2816

Fuente: Autoría

4.2.2 Impacto Económico

Con la misma importancia el impacto económico de la implementación del sistema se presenta a continuación. En el cantón Ibarra de la provincia de Imbabura la empresa municipal de agua potable designa a las instituciones públicas una tarifa oficial de tres dólares

con ochos centavos (\$3.,08) para el consumo de 10m³ de agua y de ahí en adelante un costo de un dólar con quince centavos (\$1,15) por cada metro excedente, el cálculo se realizó tomando en cuenta la consulta de las planillas del medidor destinado a la piscina y el gimnasio de la Universidad Técnica del Norte mismas que constan en el ANEXO 3; en relación a este precio excedente y al promedio de ahorro de agua se realizó la Tabla 38, en la cual se puede apreciar el ahorro económico en diferentes períodos de tiempo.

Tabla 38. Ahorro económico en relación a los litros ahorrados

PROMEDIO DE AHORRO ECONÓMICO		
Período de Tiempo	Litros Ahorrados	Patrimonio ahorrado
Diario	54	\$0,06
Semanal	378	\$0,40
Mensual	1620	\$1,90
Anual	19710	\$22,70

Fuente: Autoría

4.2.3 Conclusión de los impactos

Con la instalación del sistema propuesto se tiene un ahorro diario de 54 litros de agua que abastecen a 8 descargas (59% de las realizadas) del inodoro aproximadamente, asimismo, el ahorro económico diario es de 6 centavos; se tiene un crecimiento lineal y directamente proporcional al económico. Por el motivo anterior se puede apreciar un ahorro mensual de 1 dólar con 90 centavos correspondientes a 1620 litros de agua y que, transformados a un año, se tiene como resultado de 19710 litros o casi 20 metros cúbicos de agua que conciernen a 2816 descargas, con un valor monetario de 22 dólares con 70 centavos.

Es un aporte sumamente significativo el ahorro de agua que se produce con la implementación del sistema electrónico de reutilización de aguas grises, que sumado con la reserva de dinero generan un impacto positivo para el ambiente y para el lugar de instalación.

Una visión más amplia se presenta en la Tabla 39, dónde se expone el ahorro que tendría lugar al aumentar el número de lavabos donde se instala el sistema propuesto, el ahorro tanto hídrico como económico aumenta linealmente según los baños que cuenten con el mismo. También es importante destacar que la cantidad de líquido ahorrada depende del uso tanto del lavabo como del inodoro.

Tabla 39. Ahorro de recursos según el número de lavabos

# de lavabos	Ahorro diario		Ahorro mensual		Ahorro anual	
	Litros	Dinero	Litros	Dinero	Litros	Dinero
1	54	0,06	1620	1,90	19710	22,70
2	108	0,12	3240	3,80	39420	45,40
3	162	0,18	4860	5,70	59130	68,10
4	216	0,24	6480	7,60	78840	90,80
5	270	0,30	8100	9,50	98550	113,50
6	324	0,36	9720	11,40	118260	136,20
7	378	0,42	11340	13,30	137970	158,90
8	432	0,48	12960	15,20	157680	181,60
9	486	0,54	14580	17,10	177390	204,30
10	540	0,60	16200	19,00	197100	227,00

Fuente: Autoría

El conjunto de recursos ahorrados con la instalación del sistema en varios lavabos se hace más notorio, en el mejor de los casos presentados en la tabla anterior, es decir, el proyecto funcionando en diez lavabos genera un ahorro anual de 197 metros cúbicos de agua y de 227 dólares, cantidades sumamente significativas.

4.3 CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema electrónico con aplicación IoT de reutilización de aguas grises desde el lavabo hacia el inodoro; además se realizó una estimación del ahorro de recursos cumpliendo de esta manera con el objetivo del proyecto presente.
- Mediante el presente estudio se ha determinado que uno de los principales factores para el uso incorrecto del agua, es mantener abierto el grifo todo el tiempo mientras se hace uso del lavabo, lo cual produce un desperdicio de cinco litros de agua por cada minuto.
- A través de la revisión bibliográfica se fundamentó las bases teóricas para el desarrollo del sistema.
- Se revisó detalladamente los requerimientos del sistema para determinar el hardware y software presentes en el diseño del mismo; adicionalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento para corregir errores de diseño.
- Una vez adquiridos los datos como resultado de la observación directa se analizaron y se estableció un promedio de ahorro de 54 litros de agua que representan el 59% de las descargas diarias realizadas en el inodoro elegido, asimismo el promedio de ahorro económico diario es de 6 centavos de dólar.

- El tanque de almacenamiento de agua reciclada se dimensionó para guardar dos descargas del inodoro debido a que el promedio de uso de inodoro no permite que se acumule gran cantidad de agua reciclada.
- La plataforma Relayr presenta información al usuario de manera intuitiva, ordenada y amigable, por otro lado, Thingspeak permite la descarga de información almacenada con el propósito del análisis de los datos.
- Ambas plataformas manejan la misma información, la cual está segura debido a la autenticación que se solicita antes de actualizar los datos.

4.4 RECOMENDACIONES

- En el diseño arquitectónico de nuevas edificaciones se sugiere incluir un lugar donde se pueda instalar un sistema como el propuesto en este documento, con el propósito de crear construcciones amigables con el ambiente, hacer eficaz el uso de los recursos hídricos y economizar dinero.
- Para generar conciencia del uso adecuado del agua se recomienda que, en las unidades educativas, oficinas y edificios públicos se socialicen temas relacionados con el ahorro y uso eficiente del líquido vital como recurso natural no renovable.
- Por requerimientos eléctricos es obligatorio que se instale el sistema con los componentes electrónicos en un lugar libre de humedad, ventilado y donde no sea posible que se salpique agua. Por otra parte, la estética de la presentación del baño y del sistema sugiere que el sistema embebido se instale en caja y los

cables de los sensores y actuadores vayan en una canaleta para evitar el riesgo de que se humedezcan.

- Los sensores de nivel de agua necesitan ser calibrados acorde al tanque de almacenamiento que se utilice, es decir, manualmente se debe fijar los niveles, cabe aclarar que el sensor no indica una cantidad de líquido en volumen sino únicamente hace referencia a una cantidad porcentual fijada por el desarrollador.
- Es necesario realizar la limpieza del filtro cada mes para evitar malos olores, así mismo se recomienda que tanto el tanque de almacenamiento como el tanque del inodoro sean aseados con la misma frecuencia, debido a que el agua que reposa en ellos no es completamente limpia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accettura, N. . (2011). Performance Analysis of the RPL Routing Protocol . *Mechatronics (ICM)*, 767 - 772.
- Albalawneh, A. y.-K. (2015). REVIEW OF THE GREYWATER AND PROPOSED GREYWATER RECYCLING SCHEME FOR AGRICULTURAL IRRIGATION REUSES. *International Journal of Research -GRANTHAALAYAH*, 16 - 35.
- Alcaraz, M. (2014). Internet de las Cosas. *Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción*, 2-3.
- Amazon. (2016). *www.amazon.es*. Retrieved from <https://www.amazon.es/NUEVO-SENSOR-L%C3%8DQUIDO-INTERRUPTOR-FLOTADOR/dp/B00CM2YAQY>
- Aquael. (2016, Marzo 20). *AQUAEL*. Retrieved from <http://www.aquael.com.pl/en/products/oczko-wodne/pompy-fontannowe/132-aquajet-pfn1>
- Cárdenas, A. (2015, 07 18). *www.ecolisima.com*. Retrieved from <http://ecolisima.com/cuanta-agua-consumimos-al-dia/>
- Charmonmanl, S. y. (2015). Special Consideration for Big Data in IoE or Internet of Everything. *Thirteenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, 147 - 150.

Chen, S. Z. (2014). A Vision of IoT: Applications, Challenges and Opportunities With China Perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, 349 - 359.

Egyptian-German Programme, P. S. (2015). *Grey Water Recycling and Reuse*.

El Comercio. (2014). *El ahorro de agua mejoró en Quito y Cuenca, pero no aniveles óptimos*.

Retrieved from <http://www.elcomercio.com/>:
<http://www.elcomercio.com/actualidad/ahorro-agua-potable-quito-cuenca-consumo.html>

ElectroSome. (2016, Enero 18). *ElectroSome*. Retrieved from Water Flow Sensor YF-S201:

<https://electrosome.com/shop/water-liquid-flow-sensor-yf-s201/>

Evans, D. (2011). *Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo*. San José, CA: Cisco Systems.

EXPOK. (2014). <http://www.expoknews.com>. Retrieved from <http://www.expoknews.com/sabes-cuanta-agua-consumes-diariamente/>

Gang G, Z. L. (2011). Internet of Things Security Analysis. *International Conference on Internet Technology and Applications*.

Garcidueñas, P. (2014, 04 10). <http://www.expoknews.com>. Retrieved from <http://www.expoknews.com/sabes-cuanta-agua-consumes-diariamente/>

Gazis, V. (2015). Short Paper: IoT: Challenges, Projects, Architectures. *Intelligence in Next Generation Networks (ICIN)*, 145 - 147.

Georgiadou, E. (2003). Software Process and Product Improvement: A Historical Perspective. *Cybernetics and Systems Analyses*, 125 - 142.

- Ghaitidak, D. M. (2013). Characteristics and treatment of greywater a review. *Environ Sci Pollut Res*, 2795–2809.
- Ghavimi, F. (2014). M2M Communications in 3GPP LTE/LTE-A Networks: Architectures, Service Requirements, Challenges, and Applications. *IEEE COMMUNICATION SURVEYS& TUTORIALS*, 525 - 549.
- Glitho, R. H. (2011). Application architectures for machine to machine communications: Research agenda vs. state-of-the art. *Broadband and Biomedical Communications (IB2Com)*, 1-5.
- Hunkeler, U. (2008). MQTT-S. A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks. *Communication Systems Software and Middleware and Workshops*, 791 - 798.
- INEC. (2012). <http://inec.gob.ec>. Retrieved from http://inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=608:siete-de-cada-diez-hogares-en-ecuador-no-realizan-ninguna-practica-de-ahorro-de-agua&catid=56:destacados&Itemid=3&lang=ki
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2010). *Censo de población y Vivienda*.
- ITU. (2012). *Global Standards for the Internet of Things*. USA: ITU.
- Jenssen, P. D. (2003). Greywater Treatment in combined Biofilter/Constructed Wetlands in Cold Climate. *Second International Conference on Ecological Sanitation, Lübeck*, 875 - 881.

- Jin, Y. (2008). Pareto-Based Multiobjective Machine Learning: An Overview and Case Studies. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 397 - 415.
- Khan, R. (2012). Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges. *Frontiers of Information Technology (FIT)*, 257 - 260.
- Kim, J. y. (2014). M2M Service Platforms: Survey, Issues, and Enabling Technologies. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, 61 - 76.
- Kochlán, M. y. (2014). Open hardware modular educational robotic platform. *Yrobot. Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD)*, 1-6.
- La Hora. (2014, 11 23). *Tecnologías que acercan a los latinoamericanos al Internet de las Cosas*. Retrieved from http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101753408/-1/Tecnolog%C3%ADas_que_acercan_a_los_latinoamericanos_al_Internet_de_las_Cosas.html#.WA50SiTGv60
- Locke, D. (2010). MQ Telemetry Transport (MQTT) V3.1 Protocol Specification. *IBM DeveloperWorks*, 1- 4.
- Loureiro, R. (2015). *Estudio de plataformas IoT*. Cataluña.
- MathWorks. (2016). www.mathworks.com. Retrieved from <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/>
- Miao, W. (2010). Research on the architecture of Internet of Things. *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010 3rd International Conference*, V5-484 - V5-487.

- Miraz, M. H. (2015). A review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT). *Internet Technologies and Applications (ITA)*, 219 - 224.
- Morel, A. y. (2006). *Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- Moreno, J. (2015). *Estudio de las plataformas software existentes para la Internet de las cosas*. Catalunya: Universidad Oberta de Catalunya.
- Open Source Initiative. (2016, 04 03). <https://opensource.org>. Retrieved from <https://opensource.org/docs/definition.php>
- OSHW. (2011). *Open source hardware (oshw) statement of principles and definition v1.0*. *Free Cultural Works*. Retrieved from Free Cultural Works. : <http://freedomdefined.org/OSHW>
- Ozturk, O. (2010). Introduction to XMPP Protocol and Developing Online Collaboration Applications using Open Source Software and Libraries. *Collaborative Technologies and Systems (CTS)*, 21 - 25.
- Pinout.xyz. (2016). <https://pinout.xyz/>. Retrieved from <https://pinout.xyz/>
- raspberrypi.org. (2016, 09 27). www.raspberrypi.org. Retrieved from <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-3-on-sale/>
- Relayr. (2016). *relayr.io*. Retrieved from <https://relayr.io/cloud/>

- Russell, L. y. (2012). Low-Cost, Rapid Prototyping of IMU and Pressure Monitoring System using an Open Source Hardware Design. *Instrumentation and Measurement Technology Conference* , 2695 - 2699.
- Sea. (2016). YF-S201 Datasheet.
- Serrano, Y. P. (2014, 04). www.certificadosenergeticos.com. Retrieved from <http://www.certificadosenergeticos.com/ahorro-eficiencia-uso-agua-edificios-entorno-leed>
- Shelby, Z. . (2014, 06). The Constrained Application Protocol (CoAP), IETF RFC 7252. San Jose, CA, USA.
- Sosa, E. (2013). Internet del Futuro y Ciudades Inteligentes. *XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 21 - 27.
- Tan, L. y. (2010). Future Internet: The Internet of Things. *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010 3rd International Conference*, V5-376 - V5-380.
- Tang, C. M. (2012). The P2P-RPL Routing Protocol Research and Implementation in Contiki Operating System. *Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC)*, 1472 - 1475.
- Toll, W. (2014, 07 14). <https://blog.profitbricks.com>. Retrieved from <https://blog.profitbricks.com/top-49-tools-internet-of-things/>
- Torres, M. y. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín electrónico*.

- Tucic, M. y. (2015). Device Abstraction and Virtualization: Concept of Device in Device. *International Conference on Consumer Electronics Berlin (ICCE-Berlin)*, 431 - 434.
- Ugrenovic, D. (2015). CoAP protocol for Web-based monitoring in IoT healthcare applications. *Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, 79 - 82.
- Winward, G. P. (2007). *Disinfection of grey water*. Cranfield University.
- World Health Organization. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 1 Policy and regulatory aspects*. World Health Organization.
- Xue, M. y. (2009). A Study and Application on Machine Learning of Artificial Intelligence. *Artificial Intelligence*, 272 - 274.
- Yang, J. y. (2008). Review on Free and Open Source Software. *Service Operations and Logistics, and Informatics*, 1044 - 1049.
- Zhou, W. ., (2014). REST API Design Patterns for SDN Northbound API. *Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, 358 - 365.

ANEXOS

ANEXO 1: ENTREVISTAS REALIZADAS

Contenido de la entrevista:

- ¿Qué función desempeña en el complejo?
- ¿Cuál es la cantidad de personal que trabaja en las instalaciones?
- ¿Cuáles son los servicios que presta el complejo acuático?
- ¿Cuál es el horario de atención a los usuarios?
- ¿Cuántas personas en promedio ingresan al complejo acuático a diario?
- ¿Cuál es el día de mayor afluencia de usuarios?
- ¿Cuál es el número de espacios con urinarios y lavabos?
- ¿Cuáles son los lavabos y urinarios más usados por las personas dentro del complejo?
- ¿Existe un medidor de agua específico para los baños y lavabos?
- ¿Se cuenta con algún sistema tecnológico de reutilización del agua?
- ¿Existe conexión a internet por una específica para el complejo acuático?
- ¿Conoce usted cuál es el consumo de agua en el complejo y la cantidad de dinero que se paga por dicho consumo?

Tabla 40. Resultado de la entrevista a empleados del complejo acuático

Preguntas	Encuestado 1	Encuestado 2
Nombre y Apellido	Oscar Bolaños	Ramón Mendoza

¿Qué función desempeña en el complejo?	Recaudador y supervisor	Supervisor
¿Cuál es la cantidad de personal que trabaja en las instalaciones?	Somos 4 personas las que trabajamos aquí.	4 personas distribuidas en diferentes horarios.
¿Cuáles son los servicios que presta el complejo acuático?	Tenemos la piscina olímpica, turco, sauna, hidromasaje y la piscina polar. Antes existía el bar, pero ya no lo hay.	Los servicios son la piscina olímpica, sauna, turco, hidromasaje y piscina polar.
¿Cuál es el horario de atención a los usuarios?	Todos los días de 8 de la mañana hasta las 7 de la noche.	Desde las 8 am hasta las 7 pm, todos los días
¿Cuántas personas en promedio ingresan al complejo acuático a diario?	De lunes a viernes en promedio ingresan 150 personas y fines de semana unas 250 personas.	En promedio ingresan unas 120 personas entre semana y los fines de semana unas 200.
¿Cuál es el día de mayor afluencia de usuarios?	El domingo es el día que más clientes recibimos.	El día domingo hay más clientes.
¿Cuál es el número de espacios con urinarios y lavabos?	Existen 2 en el área de la piscina y 1 para el público cuando hay eventos.	Hay 3 espacios con urinarios, 2 para los bañistas y 1 para el público.
¿Cuáles son los lavabos y urinarios más usados por las personas dentro del complejo?	Los lavabos más usados son los que se encuentran cerca de los vestidores tanto de damas como de caballeros, de igual manera los urinarios.	Los que más usan son los lavabos de los vestidores y los urinarios que están en el mismo espacio.
¿Existe un medidor de agua específico para los baños y lavabos?	No existe un medidor de agua específico para lavabos y baños.	No, existe un medidor para todo el complejo acuático y el gimnasio.

¿Se cuenta con algún sistema tecnológico de reutilización de aguas grises?	No hay ningún sistema de reutilización del agua, únicamente se usa el agua de la piscina para asear los pasillos.	No se cuenta con algún sistema de reutilización del agua.
¿Existe conexión a internet por una específica para el complejo acuático?	La conexión a internet en la piscina se da por la red de estudiantes que es abierta.	No hay una conexión a internet específica de la piscina, los usuarios aprovechan la red de estudiantes.
¿Conoce usted cuál es el consumo de agua en metros cúbicos en el complejo y la cantidad de dinero que se paga por dicho consumo?	Desconozco cuál sea el consumo en metros cúbicos y la cantidad que se pague en la factura. Esa información la debe conocer el administrador del complejo.	No sé cuál sea el consumo en metros cúbicos y la cantidad que se pague.

Fuente: Autoría

ANEXO 2: FICHAS DE OBSERVACIÓN DIRECTA

Las fichas de observación directa se encuentran en un documento de Microsoft Excel en el CD que se adjunta a este escrito.

ANEXO 3: CONSULTA DE PLANILLAS DEL AGUA DE LA PISCINA

Factura de agua potable y consulta de la planilla correspondiente al complejo acuático y al gimnasio de la Universidad Técnica del Norte.

Factura de Agua potable del mes de Julio.

EMPRESA PUBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE IBARRA

Dirección: Sucre 7-77 y Pedro Moncayo
Matriz:

Dirección: Sucre 7-77 y Pedro Moncayo
Sucursal:

CONTRIBUYENTE ESPECIAL Nro: 00727
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

R.U.C. 1060031300001

FACTURA

Nro. 001-004-000226366

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN:
0807201612291310600313000018631505825

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN: 08/07/2016 12.29.13

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO:



0707201601106003130000120010040002263660000000512

Razón Social/Nombres y Apellidos: UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE Identificación: 1060001070001

Fecha de Emisión: 07/07/2016

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cant.	Descripción	Detalle Adicional	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
1		1	Agua Potable		297.63	0.00	297.63
1		1	Alcantarillado		148.81	0.00	148.81
1		1	Costo Comercialización		35.72	0.00	35.72

INFORMACIÓN ADICIONAL

EMAIL: facturaelectronica@utn.edu.ec

Código: 5286515

Mes: 7

Año: 2016

Fecha_de_Vencimiento: 19/07/2016

Consumo_m3: 425

Lectura_Anterior: 45342

Lectura_Actual: 45767

Tarifa: OFI_CIUDAD

Cuenta: 45098

Dirección: JOSE MARIA CORDOVA (GIMNACIO- PISCINA) S/N

SUBTOTAL 14%	0.00
SUBTOTAL 0%	482.16
SUBTOTAL (No objeto de IVA)	0.00
SUBTOTAL (Excento de IVA)	0.00
SUBTOTAL (sin impuestos)	482.16
DESCUENTOS	0.00
IVA 14%	0.00
VALOR TOTAL	482.16

Figura 49. Factura de consumos de agua: mes de julio

Fuente: Dr. Luis Gómez – Administrador del Complejo Acuático de la Universidad Técnica del Norte

Consulta de la Planilla del mes de agosto.



The screenshot shows a web interface for 'Consulta de Planilla'. At the top is a navigation bar with links: Inicio, Servicios, Facturación Electrónica, EMAPA-I, Noticias, Multimedia, and Contactos. Below the navigation bar is the title 'Consulta de Planilla'. Underneath the title, there is a 'Detalles' section with a settings icon and a view count of 'Visto: 84836'. Below this is a social sharing bar with buttons for 'Share', 'Me gusta' (13), 'Twitter', and 'Compartir' (0). The main content is a table with the following data:

Id Abonado	45098
Apellidos y Nombres	UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
Dirección	JOSE MARIA CORDOVA (GIMNACIO- PISCINA) S/N
Número de Medidor	00104706
Tarifa	OFI_CIUDAD
Lectura Anterior	45767
Lectura Actual	46139
Consumo	372
Meses de Deuda	3
Mes de Cobro	Agosto

Figura 50. Consulta de la planilla correspondiente al medidor de la piscina y el gimnasio

Fuente: <http://www.emapaibarra.gob.ec>

ANEXO 4: ENCUESTA Y TABULACIÓN

Modelo de la encuesta

Sistema Inteligente de Reciclaje de Aguas Grises

Reciba un cordial saludo,

Esta encuesta está realizada para recopilar información verídica acerca del comportamiento de las personas y sus hábitos en cuanto al consumo del agua en los hogares, asimismo la presente tiene fines únicamente educativos por lo que se ruega llenarla con datos verdaderos y completarla en su totalidad.

Gracias por su atención.

1. En el transcurso del día, ¿Cuántas veces al día usa el lavabo del baño? (*)

- 0 a 3 veces
- 4 a 5 veces
- Más de 6 veces

2. ¿Cuántas veces al día se preparan alimentos en su casa? (*)

- 0 a 2 veces al día
- 3 veces al día
- Más de 4 veces al día

3. ¿Cuáles son los usos que le da al lavabo de la cocina? (*)

- Aseo de alimentos antes de prepararlos
- Aseo de manos
- Aseo de vajilla
- Otras actividades

4. ¿Con qué frecuencia usted usa el inodoro (realizar descargas del tanque)? (*)

- 1 a 2 veces
- 3 veces
- 4 o más veces

5. En su casa, ¿Practica algún método para ahorrar el agua?

- No
- Sí

6. ¿Conoce de algún sistema electrónico inteligente que colabora con el uso del agua? (si su respuesta es sí, por favor mencione cuál) (*)

- No
- Sí,

7. ¿Cuál es la cantidad de dinero que paga en la factura de consumo del agua? (*)

- 3 dólares o menos
- De 4 a 5 dólares
- De 6 a 9 dólares
- De 10 a 15 dólares
- Más de 15 dólares

Finalizar >

Figura 51. Formato de la encuesta aplicada

Fuente: Autoría

La encuesta está disponible en el siguiente enlace: <http://www.e-encuesta.com/answer?testId=dOcexqtIw5g%3D>

Resultados y tabulación de la encuesta aplicada.

Las preguntas que constan en la encuesta se presentan a continuación:

1. En el transcurso del día, ¿Cuántas veces usa el lavabo del baño?

- 0 a 3 veces
- a 5 veces
- Más de 6 veces

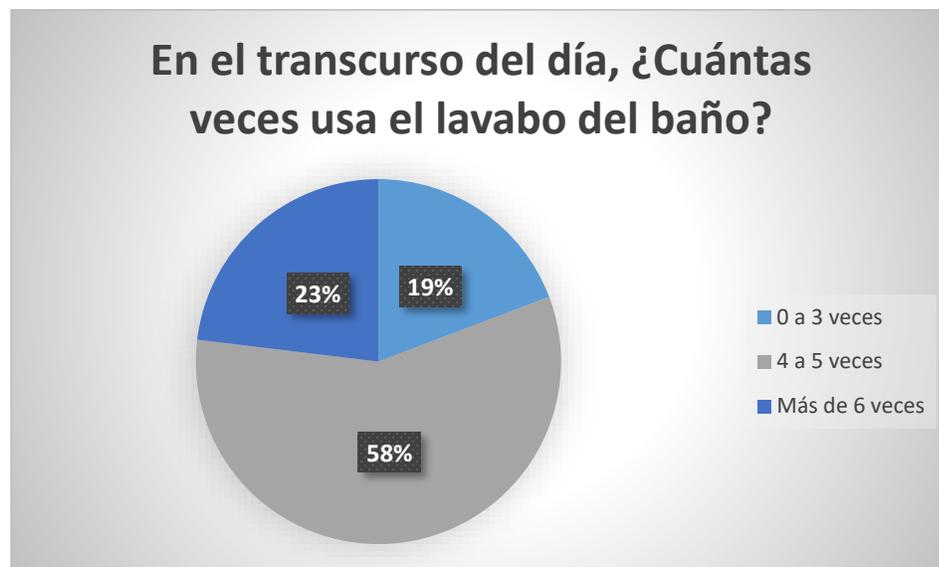


Figura 52. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 1

Fuente: Autoría

Conclusión: más de la mitad de los encuestados respondieron que hacen uso del lavabo del baño de 4 a 5 veces, considerando que se realiza el cepillado de dientes 3 veces al día y que cada vez que se lo hace se gasta 5 litros de agua por cada minuto que la llave permanece abierta (Garcidueñas, 2014), si en promedio el cepillado dura 3 minutos, entonces se consume

45 litros si se lo hace de la manera incorrecta, si por el contrario se hace de la manera correcta únicamente se usa 750ml en las tres veces que una persona se cepilla los dientes. Las dos veces restantes de uso del lavabo se toman en cuenta como lavado de manos donde según (Cárdenas, 2015) se gastan 3,5 litros de agua durante 55 segundos por cada vez, es decir, se consume 7 litros por las dos veces. En total en el lavabo del baño se consumen 52 litros de agua por persona en el caso de uso inconsciente, por el contrario, se consume 9,5 litros de agua si se realiza un uso correcto.

2. ¿Cuántas veces al día se preparan alimentos en su casa?

- 0 a 2 veces al día
- 3 veces al día
- Más de 4 veces al día

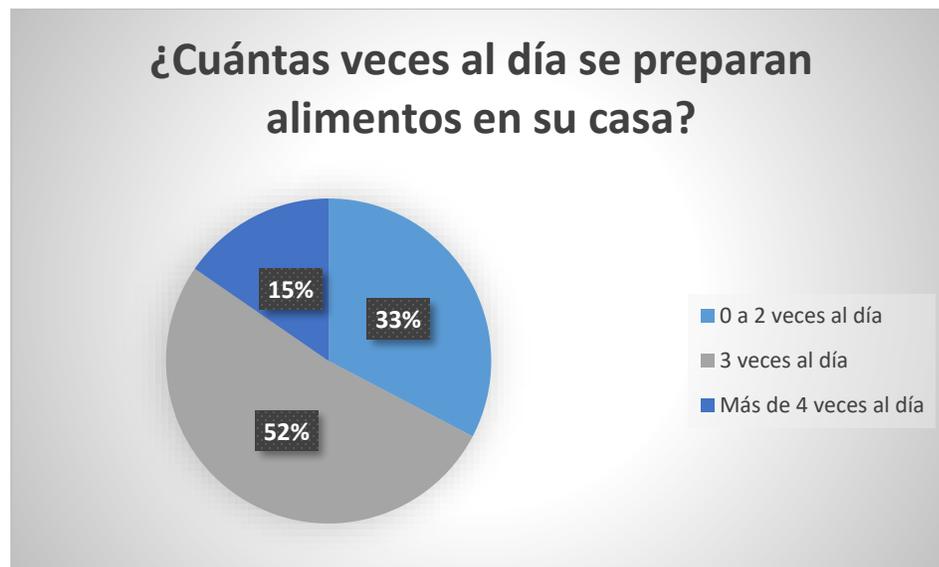


Figura 53. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 2

Fuente: Autoría

Conclusión: poco más del cincuenta por ciento de los encuestados afirmaron que en sus hogares se preparan alimentos tres veces al día, mientras que un quince por ciento aseveraron que en sus casas lo hacen más de cuatro veces. Tomando en cuenta que cuando se cocina se

hace uso del agua para tareas como lavar, cocinar y descongelar los alimentos, aunque no existen datos disponibles acerca del consumo en estas actividades, se considera que hay un porcentaje de agua que se desperdicia, la misma que podría ser reutilizada, aunque está sujeta a varios factores en cada familia la cantidad a reusar.

3. ¿Para qué usa el lavabo de la cocina?

- Aseo de alimentos antes de prepararlos
- Aseo de manos
- Aseo de vajilla
- Otras actividades

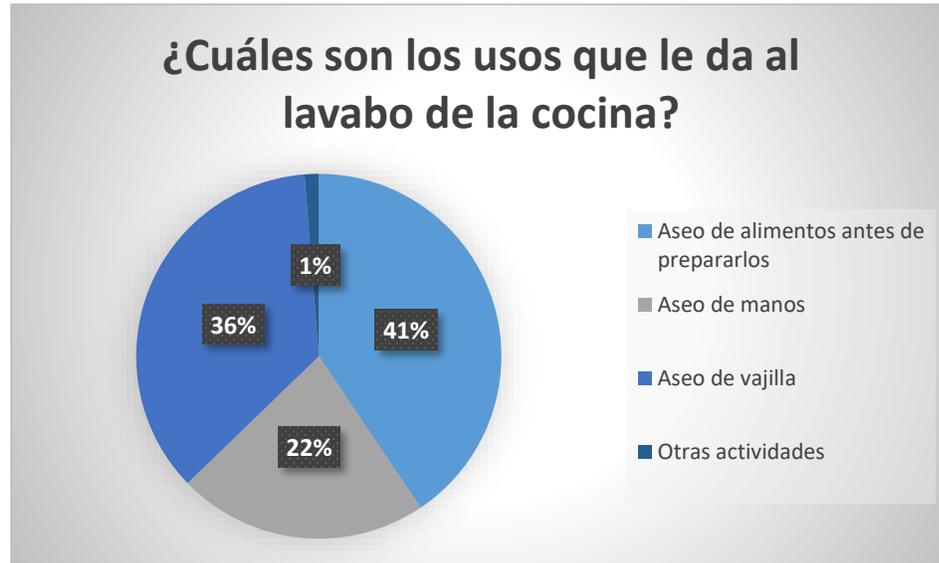


Figura 54. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 3

Fuente: Autoría

Conclusión: en esta ocasión la pregunta actual se complementa con la anterior debido a que se estima según cada persona el uso que le da al lavabo de la cocina, la tendencia es correcta en cuanto al uso normal que es el aseo de vajilla donde se consumen de 15 a 50 litros de agua según (Cárdenas, 2015) y aseo de alimentos, también existe un porcentaje considerable (22%) de personas que usan el lavabo de la cocina para lavado de las manos

que como se mencionó anteriormente se usan 3,5 litros de agua. En general si se lava 3 veces al día vajilla con un consumo promedio de 25 litros, se alcanza un gasto de 75 litros de agua al día más el empleo de agua en el aseo de las manos y los alimentos con un uso de 15 litros, se tiene un total de 90 litros promedio de consumo en el lavado de la cocina.

4. ¿Con qué frecuencia usted usa el inodoro en un día (realizar descargas del tanque)?

- 1 a 2 veces
- 3 veces
- 4 o más veces

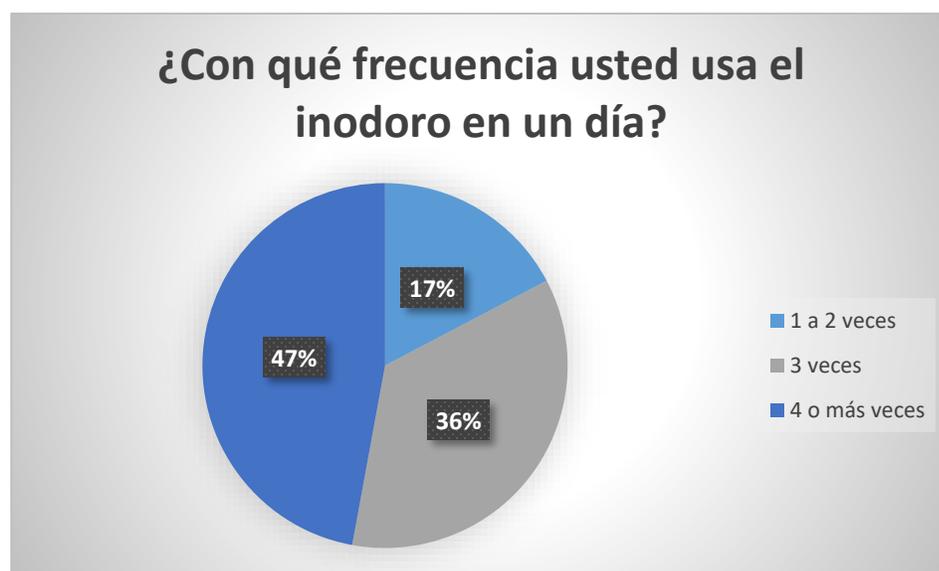


Figura 55. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 4

Fuente: Autoría

Conclusión: casi la mitad de las personas respondieron que hacen uso del inodoro 4 o más veces en un día y un significativo treinta y seis por ciento dijo hacer uso 3 veces al día lo cual supone un consumo de importante del total de la factura del agua. En promedio en cada descarga del inodoro se gasta de 8 a 10 litros de agua (Garcidueñas, 2014), si cada persona lo usa cuatro veces al día entonces el consumo total sería 32 litros de agua por persona, en el Ecuador las familias se componen en promedio de cuatro personas (Instituto

Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2010), lo que supone un gasto en cada hogar de 128 litros de agua limpia en el inodoro.

5. En su casa, ¿Practica algún método para ahorrar el agua?

- No
- Sí

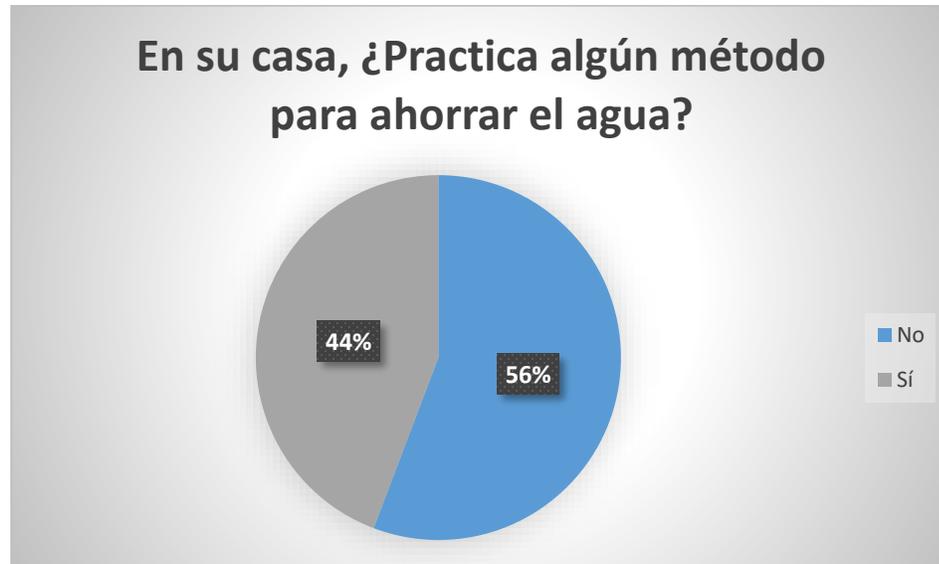


Figura 56. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 5

Fuente: Autoría

Conclusión: existe una cantidad de personas que practican algún método para ahorrar el agua que no llega a la mitad del total de encuestados, dichas personas aplican técnicas para economizar el consumo de agua en el hogar, la otra parte de la muestra que representa poco más de la mitad no realiza ninguna práctica que permita el ahorro de agua, las razones de esto pueden ser el desconocimiento o la inconciencia de la importancia del ahorro y optimización del uso del agua.

6. ¿Conoce de algún sistema electrónico inteligente que colabora con el uso del agua?

- No
- Sí

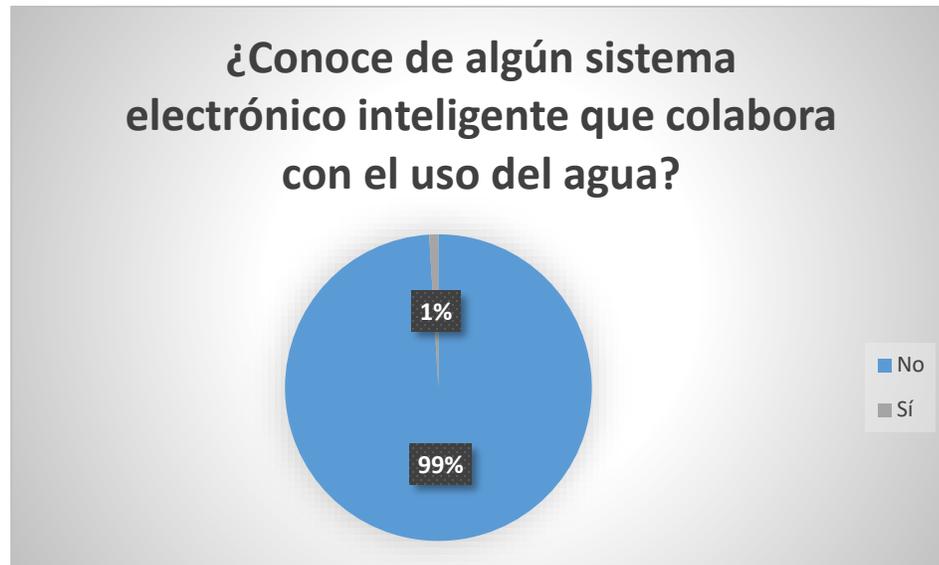


Figura 57. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 6

Fuente: Autoría

Conclusión: la gran mayoría de las personas a quienes se les aplicó la encuesta desconocen algún sistema electrónico inteligente que colabore con el ahorro y uso óptimo del agua. El hecho que no se comercialice ningún sistema parecido al propuesto propicia una oportunidad de venta en un mercado sin competencia, con los beneficios del uso eficiente del agua y ahorro económico en el pago de la factura del agua.

7. ¿Cuál es la cantidad de dinero que paga en la factura de consumo del agua?

- 3 dólares o menos
- De 4 a 5 dólares
- De 6 a 9 dólares
- De 10 a 15 dólares
- Más de 15 dólares

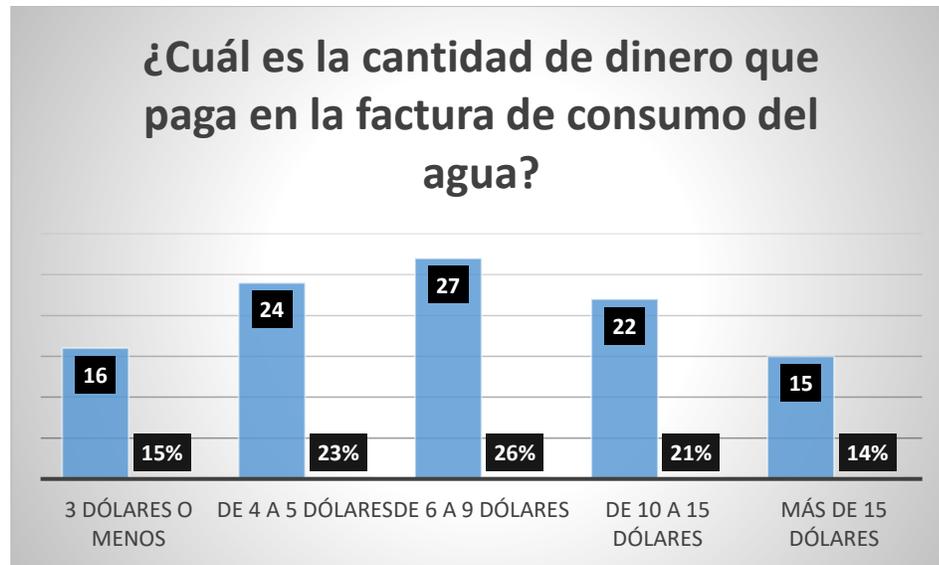


Figura 58. Diagrama de resultados de la encuesta: pregunta 7

Fuente: Autoría

Conclusión: el costo de la factura del agua depende de las empresas de agua potable de cada ciudad, asimismo, es variable el consumo en metros cúbicos por cada familia según sus miembros y las costumbres propias de cada una. Aplicando el sistema propuesto se reduciría el consumo total de agua potable, sin afectar ningún otro aspecto en los hogares, economizando de esta manera recursos económicos.

ANEXO 5: ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL SISTEMA

La Tabla 41 contiene un costo referencial de producción de veinticinco (25) unidades del sistema propuesto las mismas que serán completadas en el plazo de un mes. Se han tomado en cuenta los costos de elaboración del producto totales y únicamente en el resumen de la Tabla 36 se expone el costo unitario.

Tabla 41. Costo mensual de fabricación de 25 unidades

COSTO MENSUAL DE PRODUCCIÓN DE 25 UNIDADES				
COSTOS DIRECTOS DE FABRICACION				
DESCRIPCION	Medida	Cantidad	Costo U	Costo T
MATERIA PRIMA DIRECTA				
Raspberry Pi 3	UNIDAD	25	60,95	1523,75
Tarjeta micro SD	UNIDAD	25	10,67	266,75
adaptador de corriente	UNIDAD	25	13,71	342,75
Sensor De Nivel Para Líquidos	UNIDAD	75	10,87	815,25
Servomotor	UNIDAD	25	8,59	214,75
Sensor De Flujo De Agua	UNIDAD	25	19,76	494
Bomba de agua sumergible	UNIDAD	25	24,9	622,5
Cisterna	UNIDAD	25	20	500
Manguera de ½” para agua	METROS	75	0,75	56,25
Piezas acoplamiento tubería	UNIDAD	200	0,5	100
Filtro de agua	UNIDAD	25	10	250
Elementos varios	UNIDAD	25	10	250
			Total	5436
MATERIA PRIMA INDIRECTA				
pomada	UNIDAD	1	2,5	2,5
estaño	UNIDAD	25	0,12	3
cable	UNIDAD	100	0,5	50
ácido	UNIDAD	20	0,5	10

baquelita	UNIDAD	25	1	25
carcaza	UNIDAD	25	5	125
			Total	215,5
MANO DE OBRA DIRECTA		Número	RBU	RBU total
Ingeniero electrónico		1	550	550
Técnico electrónica		1	366	366
			Total	916
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION				
Descripción	Frecuencia	Cantidad	Costo U	Costo T
Materia prima indirecta				215,5
Arriendo de local	Mensual	1	150	150
Energía eléctrica	KW/H	150	0,08	12
			Total	377,5
GASTOS				
GASTOS DE ADMINISTRACION				
Gerente	mensual	1	200	200
Suministros de oficina		1	10	10
Internet	mensual	1	25	25
			Total	235
GASTOS DE VENTA				
Licencias	Anual	0	0	0
Etiquetas	Mensual	20	1	20
			Total	20

Fuente: Autoría

ANEXO 6: CÓDIGO FUENTE DE LA TARJETA PROGRAMABLE

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-
#
#SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN IOT DE REUTILIZACIÓN
#DE AGUAS GRISAS DESDE EL LAVABO HACIA EL INODORO PARA
#ESTIMAR UN AHORRO DE CONSUMO A ESCALA DE LABORATORIO
#

#Librerías
import json #Librería para formato para intercambio de datos
import time, sys #librería para fecha, hora y delays
import RPi.GPIO as GPIO #librería para control de pines in/out
import paho.mqtt.client as mqtt # librería de cliente MQTT
import urllib2 #librería para publicar datos a través de HTTP

#Inicialización de variables para sensores
SEN_A=18
SEN_B=4
SEN_C=23
FLOW_SENSOR= 10
SERVO=9
BOMBA=8

#inicialización de variables para los métodos
global count
count = 0
global count1
count1 = 0
global count_total
count_total = 0
global segu
global segundos
global minutos
global key
key=0
global auth
global agua
```

```

global agua_total
global nivel
global control
global a
a=0

#definición de API de Thingspeak
myAPI = "LZMHI0KMXMXRL6DQ"

#declaración de pines para sensores y actuadores (in/out)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
#SENSOR DE VOLUMEN DE AGUA RESERVORIO
GPIO.setup(SEN_A,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
#SENSOR DE VOLUMEN DE AGUA RESERVORIO
GPIO.setup(SEN_C,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
#SENSOR DE VOLUMEN DE AGUA TANQUE DEL INODORO
GPIO.setup(SEN_B,GPIO.IN,pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
#SENSOR DE FLUJO
GPIO.setup(FLOW_SENSOR, GPIO.IN, pull_up_down = GPIO.PUD_UP)
#SERVOMOTOR (VALVULA)
GPIO.setup(SERVO,GPIO.OUT)
#CONTROL BOMBA
GPIO.setup(BOMBA,GPIO.OUT)

#Método: contPulsos
#Parámetros: channel
#Retorno: count, count_total
#Mensaje: cantidad de agua en litros
def countPulsos(channel):
    global count
    global count1
    global count_total
    global minut
    global segun
    count1 = count1+1
    if count1 ==650:
        count = count+1
        count_total= count_total+1
        count1 = 0
        print str(count)+ "litros"
        print str(count_total)+ "litros totales"
    minut=time.strftime("%M")
    segun=time.strftime("%S")
    if int (minut)==59 & int(segun)<20:
        count=0
        print "nuevo día"
    return count, count_total

```

```
GPIO.add_event_detect(FLOW_SENSOR, GPIO.FALLING, callback=countPulse)
```

```
#Método: reset
#Parámetros: ninguno
#Retorno: ninguno
#Mensaje: estado de variable
def reset():
    hora=time.strftime("%H")
    minutos=time.strftime("%M")
    segundos=time.strftime("%S")
    if int(hora)==23:
        if int(minutos)==59:
            if int(segundos)<20:
                countPulse(1)
    else:
        print "continúa día"
```

```
#Método: nivel_agua
#Parámetros: ninguno
#Retorno: nivel
#Mensaje: estado de variable
def nivel_agua ():
    if GPIO.input(SEN_A)==0:
        if GPIO.input(SEN_C)==0:
            nivel = 100
            print str(nivel) + " porcentaje nivel de agua"
            print "agua suficiente en el reservorio"
            time.sleep(1)
        else:
            nivel = 50
            print str(nivel) + " porcentaje nivel de agua"
            print "agua suficiente en el reservorio"
            time.sleep(1)
    else:
        nivel = 0
        print str(nivel) + " porcentaje nivel de agua"
        print "no existe agua en el reservorio"
        time.sleep(1)
    return nivel
```

```
#Método: servo
#Parámetros: ninguno
#Retorno: ninguno
#Mensaje: estado de bomba y servomotor
def servo():
    auth=nivel_agua()
    print str (auth) + " autorización servo"
```

```

print auth
time.sleep(1)
if auth>0:
    if GPIO.input(SEN_B)==1:
        print "cargando agua"
        time.sleep(2)
        p = GPIO.PWM(SERVO,50)
        p.start(12)
        p.ChangeDutyCycle(4)
        GPIO.output(BOMBA,True)
        time.sleep(105)
        p.ChangeDutyCycle(12)
        GPIO.output(BOMBA,False)
        time.sleep(.2)
        p.stop()
    else:
        print "sistema apagado"
else:
    print "agua insuficiente"
    time.sleep(3)

#Credenciales de Relayr
creds = {
    'clientId': 'TDmytWItXT4K+Quf8VRGtUA',
    'user': '0e6cad58-8b57-4f82-be42-e7fc5511ad50',
    'password': 'rNxVNtZ.Nj.V',
    'topic': '/v1/0e6cad58-8b57-4f82-be42-e7fc5511ad50/',
    'server': 'mqtt.relayr.io',
    'port': 1883
}

#período de publicación
publishing_period = 20000

#Clase usada por el cliente MQTT
class MqttDelegate(object):
    "A delegate class providing callbacks for an MQTT client."

    def __init__(self, client, credentials):
        self.client = client
        self.credentials = credentials

    def on_connect(self, client, userdata, flags, rc):
        print('Connected.')
        # self.client.subscribe(self.credentials['topic'].encode('utf-8'))
        self.client.subscribe(self.credentials['topic'] + 'cmd')

```

```

def on_message(self, client, userdata, msg):
    print('Command received: %s' % msg.payload)

def on_publish(self, client, userdata, mid):
    print('Message published.')

def main(credentials, publishing_period):
    client = mqtt.Client(client_id=credentials['clientId'])
    delegate = MqttDelegate(client, creds)
    client.on_connect = delegate.on_connect
    client.on_message = delegate.on_message
    client.on_publish = delegate.on_publish
    user, password = credentials['user'], credentials['password']
    client.username_pw_set(user, password)
    # client.tls_set(cafile)
    # client.tls_insecure_set(False)
    try:
        print('Connecting to mqtt server.')
        server, port = credentials['server'], credentials['port']
        client.connect(server, port=port, keepalive=60)
    except:
        print('Connection failed, check your credentials!')
        GPIO.cleanup()
        return

    # set 200 ms as minimum publishing period
    if publishing_period < 200:
        publishing_period = 200

    #Bucle donde se ejecutan los métodos que leen los sensores y controlan los
    actuadores
    while True:
        client.loop()
        almacenamiento=nivel_agua()
        servo()
        reset()
        agua=count
        agua_total=count_total
        temp=0
        sub=100
        print "agua " + str(count)
        print "agua total " + str(count_total)
        print "almacenamiento" + str(almacenamiento)
        segu=time.strftime("%S")
        print str(segu) + " segundos"
        temp=temp+1

```

```

#Generación de mensajes para las plataformas de IoT
    params = urllib.urlencode({'field1': agua, 'field2': agua_total, 'field3':
almacenamiento, 'key': myAPI}) #Q7MU5H25MYU0W185'})
    headers = {"Content-type": "application/x-www-form-
urlencoded", "Accept": "text/plain"}
    conn = httplib.HTTPConnection("api.thingspeak.com:80")
    time.sleep(.2)
    message = {
        'path': 'Flujo_Diario',
        'meaning': 'Agua_Ahorrada_por_dia',
        'value': agua
    },
message1 = {
    'path': 'Flujo_Total',
    'meaning': 'Total_Ahorrado',
    'value': agua_total
},
message2 = {
    'path': 'Almacenamiento',
    'meaning': 'humidity',
    'value': almacenamiento
}

```

#Publicación de datos en las plataformas de IoT

```

try:
    if int(segu)>40:
        try:
            print('Connecting to mqtt server.')
            server, port = credentials['server'], credentials['port']
            client.connect(server, port=port, keepalive=60)
            client.publish(credentials['topic'] + 'data', json.dumps(message2))
            client.publish(credentials['topic'] + 'data', json.dumps(message))
            client.publish(credentials['topic'] + 'data', json.dumps(message1))
            conn.request("POST", "/update", params, headers)
            response = conn.getresponse()
            #print temp
            print response.status, response.reason
            data = response.read()
            conn.close()
        except:
            print "conexion fallida"
        time.sleep(publishing_period / 1000.)

except KeyboardInterrupt:
    print "\ncaught keyboard interrupt!, bye"
    GPIO.cleanup()

```

```
sys.exit()
```

```
#Ejecución continua del método que contiene el bucle del sistema
```

```
if __name__ == '__main__':
```

```
    main(creds, publishing_period)
```