



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Sistema de monitoreo para una red de distribución de agua usando una red de sensores inalámbricas.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTORES: Ordóñez Jiménez, Roosevelt Paúl

Briceño Sánchez, Esteban Paul

DIRECTOR: Quiñones Cuenca, Manuel Fernando, Ing.

LOJA – ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Manuel Fernando Quiñones Cuenca.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN.

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Sistema de monitoreo para una red de distribución de Agua usando una red de sensores inalámbricas, realizado por los profesionales en formación: Esteban Paul Briceño Sánchez y Roosevelt Paúl Ordóñez Jiménez, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por lo que se aprueba la presentación del mismo.

Loja, mayo del 2016

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Nosotros, Esteban Paul Briceño Sánchez y Roosevelt Paúl Ordóñez Jiménez, declaramos ser autores del presente trabajo de titulación: Sistema de monitoreo para una red de distribución de Agua usando una red de sensores inalámbricas, de la Titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, siendo el Ing. Manuel Fernando Quiñones Cuenca director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Esteban Paul Briceño Sánchez

Cédula: 1105048977

f.

Autor: Roosevelt Paúl Ordóñez Jiménez

Cédula: 1900394345

DEDICATORIA

A mis padres, Walter y Graciela, por la confianza y libertad que me han ofrecido para trazar mi destino aprendiendo de mis propios errores, y sobre todo, por el apoyo incondicional que me han brindado, sabiendo inculcar, a lo largo de mi vida, los valores y principios que en la actualidad rigen mis decisiones. A mi hermana Eyleen, por ser una confidente y amiga incondicional. A mis tíos, primos y demás familiares que me han apoyado de una u otra manera. Finalmente, a mis amigos, quienes a lo largo de este periodo de estudio, se han convertido en mi segunda familia.

Roosevelt

Con cariño y gratitud a mis queridos y abnegados padres: Luis Briceño y Dolores Sánchez, a quienes debo todo lo que soy. A mis hermanos: Luis Enrique por su apoyo moral e incondicional en los momentos difíciles de mi vida estudiantil; así como a Jorge Francisco que a pesar de haberlo perdido a muy temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo. Dedico también este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Esteban

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarnos en todo momento y permitirnos terminar esta delicada etapa de nuestras vidas.

A nuestros padres, porque gracias a sus esfuerzos nos han brindado la oportunidad de superarnos y ampliar nuestros horizontes.

A nuestros docentes, por transferirnos sus conocimientos y experiencias, sobre todo al Ing. Manuel Quiñones, por guiarnos de la mejor manera en la etapa final de este proceso de aprendizaje.

Al personal de la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja UMAPAL, por habernos brindado la información y el apoyo logístico necesario para enfocar la presente investigación en la planta de tratamiento de agua potable El Pucará.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
1. PLANTEAMIENTO	5
1.1. Descripción y análisis del problema.....	6
1.2. Justificación.....	6
1.3. Objetivos del proyecto.....	7
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Alcance y limitaciones.....	7
1.5. Marco metodológico	8
CAPÍTULO II.....	9
2. ESTADO DEL ARTE	9
2.1. Antecedentes investigativos.....	10
2.2. Tratamiento del agua.....	11
2.2.1. Clasificación del agua.....	11
2.2.2. Calidad de agua.....	11
2.2.3. Normas para la calidad de agua.....	12
2.2.4. Plantas de tratamiento de agua potable.....	13
2.2.5. Estado actual de la planta de tratamiento de agua potable “El Pucará”.....	18
2.3. Redes inalámbricas de sensores.....	22
2.3.1. Características.....	22
2.3.2. Arquitectura.....	22
2.4. Tecnologías de comunicación para redes inalámbricas de sensores.....	24
2.4.1. Zigbee	25
2.4.2. Wi-Fi.....	28
2.5. Sensores de calidad de agua.....	29

2.5.1.	Sensores de pH.....	29
2.5.2.	Sensores de conductividad.....	32
2.6.	Aplicaciones web.....	33
2.6.1.	Ubidots.....	34
2.6.2.	DataSparkfun.....	35
CAPÍTULO III.....		36
3.	DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA.....	36
3.1.	Introducción.....	37
3.2.	Análisis de requerimientos.....	37
3.3.	Diseño conceptual.....	37
3.4.	Diseño físico.....	38
3.4.1.	Tecnologías y dispositivos de comunicación del sistema.....	38
3.4.2.	Diseño y construcción de la mota.....	43
3.4.3.	Diseño y construcción del coordinador.....	60
3.5.	Diseño lógico.....	64
3.5.1.	Selección y configuración del servidor.....	65
3.5.2.	Diseño del algoritmo para la mota.....	67
3.5.3.	Diseño del algoritmo para el nodo coordinador.....	70
3.5.4.	Diseño de la aplicación para dispositivos móviles.....	72
3.5.5.	Diseño de la aplicación de escritorio.....	78
CAPITULO IV.....		80
4.	IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	80
4.1.	Introducción.....	81
4.2.	Calibración.....	82
4.2.1.	Calibración del sensor de pH.....	82
4.2.2.	Calibración del sensor de conductividad.....	82
4.3.	PRUEBAS.....	83
4.3.1.	Pruebas de agua cruda.....	85
4.3.2.	Pruebas de agua sedimentada.....	87
4.3.1.	Pruebas de agua filtrada.....	89
4.3.2.	Pruebas de agua distribuida.....	91
4.4.	Implementación.....	93
4.4.1.	Implementación de la mota y análisis del agua cruda.....	96
4.4.2.	Implementación de la mota y análisis del agua sedimentada.....	99
4.4.3.	Implementación de la mota y análisis del agua clorada.....	102
CONCLUSIONES.....		106
RECOMENDACIONES.....		108

REFERENCIAS	109
ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Parámetros de calidad de agua.	12
Figura 2.2	Etapas de potabilización del agua.	14
Figura 2.3	Neutralización Coloidal.	15
Figura 2.4	Modelo de un Canal Parshall.	16
Figura 2.5	Partículas coloidales en el proceso Coagulación-Floculación.	16
Figura 2.6	a) Ubicación de la planta de potabilización "El Pucará", b) Vista satelital de la planta de potabilización "El Pucará".	18
Figura 2.7	Fuentes de captación de la planta de Tratamiento El Pucará.	19
Figura 2.8	Contenedores para la disolución de químicos, a) sulfato de aluminio b) cal.	19
Figura 2.9	Canal Parshall, PTAP El Pucará.	20
Figura 2.10	Floculador de tabiques horizontales, PTAP El Pucará.	20
Figura 2.11	Sedimentadores horizontales, PTAP El Pucará.	21
Figura 2.12	Estanques de filtrado, PTAP El Pucará.	21
Figura 2.13	a) Área de cloración b) Tanques de distribución.	22
Figura 2.14	Arquitectura de una red inalámbrica de sensores.	23
Figura 2.15	Elementos de una mota.	24
Figura 2.16	Dispositivos de una red Zigbee.	26
Figura 2.17	Topologías de redes Zigbee.	26
Figura 2.18	Topología IBSS.	28
Figura 2.19	Red ESS.	29
Figura 2.20	Escala de pH.	29
Figura 2.21	Tira de pH.	31
Figura 2.22	Funcionamiento de un electrodo de conductividad.	32
Figura 2.23	Electrodo de Conductividad por inducción.	33
Figura 2.24	Aplicación WEB para una red de sensores.	33
Figura 3.1	Diseño conceptual del sistema.	38
Figura 3.2	Ubicación de los elementos de la red de sensores y distancia entre las motas y el coordinador.	39
Figura 3.3	Módulo Xbee pro s2.	42
Figura 3.4	RN-XV WiFly Module.	43
Figura 3.5	Diseño conceptual de la mota.	44
Figura 3.6	Sensor de pH Libelium.	46
Figura 3.7	Libelium Conductivity sensor.	47
Figura 3.8	Waterproof (DS18B20).	48
Figura 3.9	Sensor MB7364 HRXL-MaxSonar.	50
Figura 3.10	ATMEGA 328, Distribución de pines.	51
Figura 3.11	Shield Open Garden.	52
Figura 3.12	Open Garden Hydroponyys.	52
Figura 3.13	Diagrama esquemático del PCB de la mota.	54
Figura 3.14	Distribución de pines del microcontrolador de la mota.	54
Figura 3.15	Diseño de la PCB para la mota.	55
Figura 3.16	Circuito impreso de la PCB para la mota.	56
Figura 3.17	Placa de circuito impreso de la mota.	57
Figura 3.18	Porcentaje de consumo de corriente de los elementos de la mota.	58
Figura 3.19	Consumo energético de la mota.	58
Figura 3.20	Diseño conceptual del nodo coordinador.	60
Figura 3.21	Diagrama esquemático del PCB del coordinador.	61
Figura 3.22	Distribución de pines del microcontrolador del nodo coordinador.	62

Figura 3.23	Diseño de la PCB para el nodo coordinador.	62
Figura 3.24	Circuito impreso de la PCB para el nodo coordinador.	63
Figura 3.25	Placa de circuito impreso del nodo coordinador.	63
Figura 3.26	Esquema general de interacción entre las motas y el nodo coordinador.	64
Figura 3.27	Diagrama secuencial UML del algoritmo del sistema.	65
Figura 3.28	Estructura del método GET para el servidor de DataSparkun.	66
Figura 3.29	Flujograma de cada mota.	68
Figura 3.30	Formato de las tramas.	70
Figura 3.31	Flujograma del nodo coordinador.	71
Figura 3.32	Pseudocódigo para extraer las variables de la trama recibida.	72
Figura 3.33	Diagrama de funcionamiento de la aplicación.	74
Figura 3.34	Seguridad de la aplicación.	75
Figura 3.35	Panel lateral de opciones.	76
Figura 3.36	Gráfica de las variables en las cuatro etapas monitoreadas.	76
Figura 3.37	Tabla con el último estado de las variables adquiridas.	77
Figura 3.38	Actualización de variables.	78
Figura 3.39	Interfaz de la aplicación de escritorio desarrollada.	79
Figura 4.1	Resumen de las etapas de calibración, implementación y pruebas del sistema.	81
Figura 4.2	Sensor de pH y soluciones para su calibración.	82
Figura 4.3	Sensor de conductividad y soluciones para su calibración.	83
Figura 4.4	Resumen de la etapa de pruebas.	83
Figura 4.5	Muestras de agua de las etapas de monitorización.	84
Figura 4.6	Escenario de pruebas.	84
Figura 4.7	Toma de una muestra para el análisis, agua cruda.	85
Figura 4.8	Análisis de la muestra de agua cruda con los instrumentos de referencia.	86
Figura 4.9	Análisis de la muestra de agua cruda por parte de la mota.	86
Figura 4.10	Toma de la muestra de agua en la etapa de sedimentación.	87
Figura 4.11	Análisis de la muestra de agua sedimentada con los instrumentos de referencia.	88
Figura 4.12	Análisis de la muestra de agua sedimentada por parte de la mota.	88
Figura 4.13	Toma de la muestra de agua posterior a la etapa de filtrado.	89
Figura 4.14	Análisis de la muestra de agua filtrada con los instrumentos de referencia.	90
Figura 4.15	Análisis de la muestra de agua filtrada por parte de la mota.	90
Figura 4.16	Toma de la muestra de agua distribuida.	91
Figura 4.17	Análisis de la muestra de agua distribuida con los instrumentos de referencia.	92
Figura 4.18	Análisis de la muestra de agua distribuida por parte de la mota.	92
Figura 4.19	Soporte para implementar la mota.	93
Figura 4.20	Instalación de la mota en el soporte.	94
Figura 4.21	Soporte para los sensores.	95
Figura 4.22	Análisis del agua cruda en la PTAP utilizando el sistema desarrollado.	96
Figura 4.23	Nivel de pH en agua cruda.	96
Figura 4.24	Nivel de conductividad del agua cruda.	97
Figura 4.25	Nivel de temperatura del agua cruda.	97
Figura 4.26	Nivel de agua en la etapa de captación.	97
Figura 4.27	Análisis del agua sedimentada en la PTAP utilizando el sistema desarrollado.	99
Figura 4.28	Nivel de pH en la etapa de sedimentación.	100
Figura 4.29	Nivel de conductividad en la etapa de sedimentación.	100
Figura 4.30	Nivel de temperatura en la etapa de sedimentación.	100
Figura 4.31	Nivel del agua en la etapa de sedimentación.	101
Figura 4.32	Análisis del agua sedimentada en la PTAP utilizando el sistema desarrollado.	102

Figura 4.33 Nivel de pH en la etapa de cloración.....	103
Figura 4.34 Nivel de conductividad en la etapa de cloración.....	103
Figura 4.35 Niveles de temperatura en la etapa de cloración.....	104
Figura 4.36 Nivel del agua en la etapa de cloración.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Calidad organoléptica, INEN.	13
Tabla 2.2 Clasificación de los filtros.	17
Tabla 2.3 Características de los estándares de comunicación utilizados en WSN.	25
Tabla 2.4 Características de Ubidots y dataSparkfun.	35
Tabla 3.1 Distancia entre las motas y el coordinador.	40
Tabla 3.2 Principales características de los módulos de comunicación con tecnología Zigbee.	41
Tabla 3.3 Características del módulo de comunicación Xbee Pro S2.	42
Tabla 3.4 Características del módulo RN-XV Wifly.	43
Tabla 3.5 Principales características de varios sensores de pH existentes en el mercado.	45
Tabla 3.6 Características funcionales sensor de pH Libelium.	46
Tabla 3.7 Comparación de las principales características de sensores de conductividad.	46
Tabla 3.8 Características sensor de conductividad Libelium.	47
Tabla 3.9 Comparación de las principales características de sensores de temperatura.	48
Tabla 3.10 Características del sensor Waterproof (DS18B20).	49
Tabla 3.11 Comparación de las principales características de sensores de nivel.	49
Tabla 3.12 Características del sensor MB7364 HRXL-MaxSonar.	50
Tabla 3.13 Comparación de las principales características de un microcontrolador.	50
Tabla 3.14 Componentes de la mota.	53
Tabla 3.15 Consumo energético diario de la mota.	59
Tabla 4.1 Resumen de los resultados del análisis de una muestra de agua cruda.	87
Tabla 4.2 Resumen de los resultados del análisis de una muestra de agua sedimentada.	89
Tabla 4.3 Resumen de los resultados del análisis de una muestra de agua filtrada.	91
Tabla 4.4 Resumen de los resultados del análisis de una muestra de agua clorada.	93
Tabla 4.5 Error relativo de las variables adquiridas en la etapa de captación.	98
Tabla 4.6 Error relativo de las variables adquiridas en la etapa de sedimentación.	101
Tabla 4.7 Error relativo de las variables adquiridas en la etapa de cloración.	104

RESUMEN

Los controles de calidad en una planta de tratamiento de agua potable deben ser continuos, un deficiente control puede desencadenar daños en la salud de miles de habitantes, sin embargo, en la actualidad aún se utiliza métodos manuales que aumentan el margen de error por falla humana, y el tiempo de respuesta ante eventos inesperados. En el presente trabajo se diseña e implementa un prototipo para la monitorización de las propiedades físicas y químicas del agua en diferentes etapas de una planta de potabilización. El sistema consta de 4 motas inalámbricas y un nodo coordinador; las variables adquiridas son almacenadas en un servidor IoT; adicionalmente, se desarrolla dos herramientas con interfaces gráficas de fácil comprensión que permiten visualizar la información almacenada a través de una plataforma móvil y otra de escritorio, permitiendo así la interacción entre el usuario y el sistema. La presente investigación contó con la colaboración de la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja (UMAPAL), gracias a ello, se presenta un sistema acorde a las problemáticas reales que se padece en este tipo de procesos.

PALABRAS CLAVES: Plantas de potabilización, Smart water, Red de sensores inalámbrica (WSN), Software Open Source.

ABSTRACT

Quality controls in treatment plant potable water must be continuous. Poor control can be harmful to the health of thousands of people. Currently manual methods are still being used; increasing the margin of error due to human error, and the response time is slowed. In the present work a prototype for monitoring the physical properties of water in different stages of a water treatment plant is designed and implemented. This system consists of 4 wireless motes and a coordinator node; the sensed variables are stored on a server IoT, additionally, two developed tools with graphical interfaces are easy to understand for viewing information stored by a mobile platform and other desktop. This allows for interaction between the user and the system. This research involved the collaboration of the city hall Unit of Water and Sewerage Loja (UMAPAL), and as a result, a system is presented according to the real problems suffered in these processes.

KEYWORDS: Water treatment plants, Smart Water, Wireless Sensor Network (WSN), and Open Source Software.

INTRODUCCIÓN

“Un agua potable segura y un saneamiento adecuado son cruciales para la reducción de la pobreza, para un desarrollo sostenible y para lograr todos y cada uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio.” (Ban Ki-moon, Secretario General de las Naciones Unidas 2015).

Cada persona en la Tierra requiere entre 20 a 50 litros de agua potable limpia y segura al día para beber, cocinar y simplemente mantenerse limpios [1].

Las plantas convencionales de tratamiento de agua utilizan una secuencia de procesos más o menos estándar. Después de filtrar objetos grandes como peces y palos, se añaden coagulantes químicos al agua para lograr que las diminutas partículas en suspensión que enturbian el agua se atraigan entre sí para formar “flóculos”. La floculación—la formación de flóculos de mayor tamaño a partir de flóculos más pequeños— típicamente se logra por medio del agitado leve y constante del agua. Cuando los flóculos son lo suficientemente grandes y pesados para sedimentarse, el agua se traslada a estanques calmos de sedimentación o decantación. Cuando la mayoría de los sólidos se ha sedimentado, típicamente ocurre alguna forma de filtración ya sea por medio de arena o de membranas. Finalmente se efectúa la desinfección para eliminar los componentes biológicos y bacteriológicos presentes en el agua [1].

En las diferentes etapas del proceso descrito se requiere analizar las propiedades del agua, y de esta manera, determinar su calidad. Todas las plantas realizan este análisis, sin embargo, muchas de ellas, aún lo efectúan de forma manual, lo que da lugar a un posible error en la medición de las variables de calidad de agua y por lo tanto una respuesta inadecuada en caso de existir una eventual contaminación de alguna de las fuentes de captación.

En este contexto, se diseña un sistema para el monitoreo continuo y automático de cuatro etapas del proceso de potabilización, sin embargo, se desarrolla el prototipo con una mota de medición, dicha mota es implementada durante 48 horas en diferentes etapas: captación, sedimentación y cloración.

Se parte con una investigación de campo en la planta de tratamiento de agua potable “El Pucará” de la ciudad de Loja, para detectar los problemas que padecen en los procesos que realizan; luego se realiza una investigación descriptiva para identificar las causas y consecuencias de dichos problemas. Posteriormente se realiza una investigación bibliográfica para determinar las alternativas más viables al momento de diseñar el sistema.

En el capítulo I, Planteamiento, se realiza una descripción de los problemas que motivan al desarrollo de la presente investigación, en función de dichos problemas se plantea los objetivos, el alcance y las limitaciones.

En el capítulo II, Estado del arte, se presenta los contenidos teóricos que argumentan los criterios de diseño utilizados en el desarrollo del prototipo. Se estudia los procesos de tratamiento de agua, se analiza el estado actual de la planta “El Pucará” donde se implementará el prototipo, y finalmente, se analiza las tecnologías existentes para el desarrollo de redes de sensores.

En el capítulo III, Diseño y desarrollo del sistema, se describe la metodología empleada para el desarrollo de un prototipo; se parte de un análisis de requerimientos, luego un diseño conceptual donde se describe de manera general el sistema, para finalmente, diseñar a detalle el sistema tanto en la parte física como lógica.

En el capítulo IV, Implementación y pruebas, se describe la metodología realizada para validar los resultados emitidos por el sistema, para ello se toma como referencia los instrumentos del laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable, (PTAP). Finalmente, se describe el procedimiento para implementar el prototipo desarrollado en las diferentes etapas de potabilización de la planta.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO

1.1. Descripción y análisis del problema.

Según estadísticas del INEC del año 2012, el 90% de los municipios ecuatorianos realizaban un tratamiento previo del agua antes de su consumo; gran porcentaje de las plantas de potabilización utilizadas para el tratamiento del agua tienen muchos años de servicio; por ello, éstas aún utilizan métodos manuales para determinar la calidad del agua en sus diferentes etapas de purificación, en el caso de la planta de potabilización de agua El Pucará, de la ciudad de Loja, éste proceso es efectuado cada hora, en cuatro etapas de potabilización: captación, sedimentación, filtración y cloración. Estos procesos son periódicos realizados manualmente por el personal de la planta, lo que implica un aumento del margen de error por falla humana, costos operativos recurrentes y aumento del tiempo de respuesta ante posibles eventos como la contaminación de una de las fuentes de captación.

1.2. Justificación.

El abastecimiento de agua en condiciones sanitarias adecuadas tiene un impacto en la reducción de la tasa de mortalidad. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud cada año mueren 2.2 millones de personas a causa de enfermedades relacionadas con las condiciones deficientes de abastecimiento de agua y saneamiento. Aproximadamente todas las semanas mueren 42.000 personas a causa de enfermedades relacionadas con la escasa calidad del agua potable y la falta de saneamiento. El 90% de esas personas son niños menores de cinco años [2] [3].

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud se ha registrado un incremento de las personas que pueden acceder a una red de agua potable. En el año 2006 sólo el 76% de la población mundial tenía acceso a una fuente de agua purificada, esta cifra aumentó considerablemente en el año 2015; con un 91% de personal a nivel mundial que gozan de este beneficio [4].

De igual manera en el Ecuador se ha extendido la cobertura de las redes de distribución de agua potable, en el año 2006 el 66.9% de la población del país disponía de agua potable; para el año 2014 se registró un incremento de 11.1 puntos en esta cifra dando un total de 78% de personas que pueden acceder a este servicio público [5]. A pesar de la importancia de este servicio, en la actualidad aún existen plantas de tratamiento de agua que realizan el control de la calidad manualmente.

En este contexto, se diseña e implementa un sistema que permita monitorear automáticamente la calidad del agua en los distintos procesos de una planta de potabilización,

de esta manera se podrá garantizar la pureza del líquido vital que llega a los usuarios; se pretende reemplazar procesos antiguos por un sistema económico y técnicamente más viable.

Con esta propuesta se beneficiarán los municipios que podrán optimizar sus procesos y en general, toda una comunidad mejorará su calidad de vida al tener acceso a agua pura.

1.3. Objetivos del proyecto.

1.3.1. Objetivo general.

Desarrollar un sistema electrónico que permita monitorear parámetros de calidad de agua en una planta de potabilización utilizando una red de sensores inalámbrica.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Conocer el proceso de potabilización de agua e identificar las variables necesarias para determinar su calidad de acuerdo al organismo de control y regulación en el Ecuador.
- Determinar los sensores, módulos de comunicación, dispositivos de procesamiento y abastecimiento de energía necesarios para implementar una red de sensores inalámbrica.
- Diseñar y desarrollar un prototipo que sea escalable y autónomo para monitorear variables de calidad de agua utilizando una red de sensores inalámbrica.
- Guardar las variables medidas por el prototipo en un servidor web y desarrollar una aplicación para dispositivos móviles y de escritorio que permita visualizar los datos almacenados.
- Validar el funcionamiento del prototipo a través de instrumentos de referencia.

1.4. Alcance y limitaciones.

El sistema será diseñado para la planta de tratamiento de agua potable “El Pucará”, en la ciudad de Loja. Se diseñará una red de sensores inalámbrica que permita monitorear parámetros de calidad de agua en cuatro de las seis etapas de potabilización; captación, floculación, sedimentación y cloración. Una vez adquiridos estos parámetros podrán ser visualizados, guardados y monitoreados en un dispositivo móvil o una computadora.

Para la etapa de implementación no se cubrirá los cuatro puntos de medición, se desarrollará un prototipo que se ubicará en uno de dichos puntos. Sin embargo, el diseño físico y lógico de este sistema se lo realiza para cubrir cuatro etapas dentro del proceso de potabilización.

1.5. Marco metodológico

Para el desarrollo del presente trabajo se ha seguido una metodología que consta de cinco etapas.

La primera parte comprende una investigación de campo en la planta de tratamiento de agua El Pucará de la ciudad de Loja para analizar los procedimientos que se llevan a cabo para la potabilización del agua, la identificación de las variables utilizadas para determinar la calidad de agua y que son medidas en la planta de tratamiento.

La segunda parte se realiza la caracterización de los sensores, módulos de comunicación, dispositivos de procesamiento y abastecimiento de energía que son necesarios para llevar a cabo la implementación de una red de sensores inalámbrica.

En la tercera parte contiene el diseño de la red de sensores inalámbrica, un prototipo para monitorizar las variables de calidad de agua identificadas anteriormente, el desarrollo de algoritmos para el funcionamiento de dicho prototipo; así como los algoritmos necesarios para que los datos obtenidos sean almacenados y visualizados en un servidor web.

La cuarta parte abarca el diseño y desarrollo de aplicaciones para la monitorización de los datos obtenidos por el prototipo, estas aplicaciones serán tanto para dispositivos móviles como para computadoras.

La quinta parte engloba el funcionamiento y validación del prototipo, se realizarán pruebas de comunicación, autonomía y contrastación de los variables medidas con instrumentos de referencia utilizados en la planta de potabilización de agua El Pucará.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Antecedentes investigativos.

Cristhian Manuel Durán Acevedo, PhD y docente de la Universidad de Pamplona, España, en [6] desarrolla una aplicación industrial para el control y automatización de procesos de suministro de agua potable, el sistema almacena y genera reportes de las variables monitoreadas, para ello, en la etapa de comunicación emplea la tecnología inalámbrica ZigBee y para la adquisición de las variables desde los módulos de comunicación hacia el ordenador utiliza la herramienta LabView; los elementos de la mota son coordinados por un Microcontrolador PIC serie 16F877.

Carlos Robles Algarín, Master en ingeniería de control y docente en la Universidad Cooperativa de Colombia UCC presenta en [7] el desarrollo de un sistema SCADA para realizar el control y supervisión remota de los procesos de coagulación y floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Para el procesamiento de información en las motas se utiliza un PIC gama media de 8 bits, serie 16F887-E/P y módulos ZigBee para la transmisión de la información por radio frecuencia hacia la unidad central provista de un computador que administra tanto el módulo coordinador de la red como la información del sistema. Las motas, además de encargarse de acondicionar los datos adquiridos por los sensores, son los responsables del control en cada una de las etapas. Activan electroválvulas que permiten el flujo del agua, dosifican los químicos y manejan los motores utilizados en el mezclado y en la formación de los flóculos.

Luis Enrique Chico Analuisa, en [8] presenta el desarrollo de un sistema inalámbrico para el control y monitoreo de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Baños, en función del caudal y la turbidez, monitoreados se controla las válvulas electrónicas. Se implementa un sistema de comunicación inalámbrico entre los PLCs ubicados en las fuentes de captación y el nodo central ubicado en la planta de tratamiento de agua. Para ello se utiliza equipos Ubiquiti NB – 5G25.

Aleaga Loaiza, Leonel Francisco en [9] diseña un sistema para monitorear el caudal, pH, cloro y turbidez, y controlar las válvulas electrónicas en las estaciones de bombeo y tanques de reserva de la red de agua potable de la ciudad de Loja. Para el sistema de comunicaciones utiliza la banda de UHF con tecnología FHSS, con un ancho de banda de hasta 1 Mbps. Para el sistema de instrumentación y control se plantea el uso de PLCs.

A partir de los trabajos relacionados, y las tecnologías existentes en el mercado, se analiza la alternativa más viable para cumplir con los objetivos propuestos en el presente proyecto.

2.2. Tratamiento del agua.

La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, sólo el 2.5% del total de agua, es dulce. La conservación del agua dulce es importante para el suministro de agua para el consumo humano, la producción de alimentos, etc. La calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones [10]. Por tal razón existe la necesidad de realizar un tratamiento adecuado del agua en plantas especializadas previo a su utilización, de acuerdo al INEC en la provincia de Loja el 67.1% de las personas tienen acceso al agua potable en todos los cantones [11].

2.2.1. Clasificación del agua.

El agua se puede clasificar en [12]:

- **Agua potable:** Es agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.
- **Agua salada:** Agua en la que la concentración de sales es relativamente alta (más de 10 000 mg/l).
- **Agua dulce:** Agua natural con una baja concentración de sales, generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.
- **Agua bruta:** Agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo o agua que entra en una planta para su tratamiento.
- **Agua alcalina:** Agua cuyo pH es superior a 7.

2.2.2. Calidad de agua.

Generalmente para determinar la calidad del agua se compara las características físicas, químicas y biológicas de esta con ciertos parámetros o estándares de calidad. En caso del agua potable, estas normas son establecidas para que el agua abastecida sea apta para el consumo humano y demás actividades en que éste emplea agua limpia [13].

La contaminación del agua dulce y el impacto a los ecosistemas asociados a esta son dos de los más grandes problemas que afectan al desarrollo sostenible. Los factores que afectan a esto son: el crecimiento poblacional y su creciente demanda de agua, la falta de cumplimiento de normas y la ausencia de aplicación de sanciones rigurosas a los causantes de impactos ambientales adversos. La calidad del agua se ve afectada por [14]:

- El vertimiento de aguas residuales.
- La disposición final de residuos sólidos.
- Agroquímicos y nutrientes que se desplazan hacia los cuerpos de agua.

Existe 4 parámetros que permiten determinar la calidad del agua, estos son: [15]

- Parámetros Físicos.
- Parámetros Químicos.
- Parámetros Biológicos.
- Parámetros Radiológicos.

En la Figura 2.1 se indica las variables pertenecientes a cada uno de los parámetros antes mencionados.

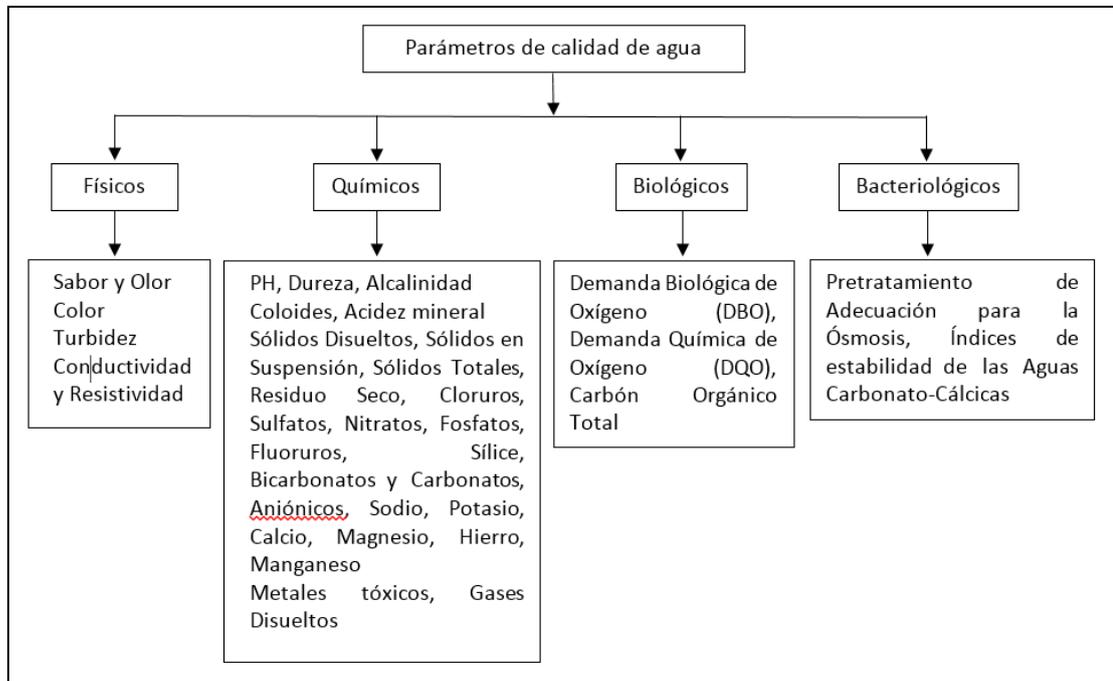


Figura 2.1 Parámetros de calidad de agua.
Fuente: Los Autores, basado en [15].

2.2.3. Normas para la calidad de agua.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece el código: “NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES”.

El alcance de esta norma es a nivel nacional. Todas las instituciones públicas o privadas, Concejos Municipales, Consejos Provinciales, empresas o juntas de agua potable y alcantarillado y otras Instituciones que tengan a su cargo, o que contratan el diseño o la

fiscalización de diseños de sistemas de agua potable, alcantarillado, potabilización de aguas y depuración de aguas residuales, deberán utilizar obligatoriamente las normas presentadas en este código [16].

En la sección 5 de este estándar: NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA; se establece los requerimientos mínimos que debe cumplir la calidad del agua tanto cruda (fuente) como potable [16].

En la Tabla 2.1 indica las propiedades organolépticas¹ que debe cumplir el agua potable según el código mencionado.

Tabla 2.1 Calidad organoléptica, INEN.

Componente o Característica	Unidad	Límite recomendable	Límite permisible
Ácido Sulfhídrico (H₂S)	mg/l	0	0,05
Aluminio(Al)	mg/l	0,2	0,3
Cloruros(Cl)	mg/l	---	250
Cloro fenoles	mg/l	---	0,002
Cobre (Cu)	mg/l	---	1
Color	UCV Pt-Co	5	15
Como SAAM	mg/l	---	0,5
Hierro(Fe)	mg/l	0,3	0,5
Manganeso (Mn)	mg/l	0,05	0,1
Oxígeno disuelto	mg/l	6	80% Saturación
pH	U	7-8,5	6,5-8,5
Sabor y olor		no objetable	no objetable
Sulfatos (SO₄2)	mg/l	250	400
Temperatura	°C	---	No exceder de 5 °C a la temperatura ambiente
Total de sólidos en disolución	mg/l	250	100
Turbiedad	UNT	1	10
Zinc	mg/l	1,5	5
Conductividad	uS/cm	0-50	0-500

Fuente: [16].

2.2.4. Plantas de tratamiento de agua potable.

En todos los países existe la necesidad del suministro adecuado de agua a su población en términos de cantidad, accesibilidad y principalmente calidad. Una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) se encarga de convertir el agua bruta o natural en agua potable; apta

¹ Propiedades organolépticas: son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general.

para el consumo humano y actividades afines a este. En la ciudad de Loja el 83.7% de las personas son servidas con agua que ha sido tratada para mejorar su calidad [11].

2.2.4.1. Proceso de potabilización de Agua.

El proceso de potabilización consiste en realizar la captación del agua bruta desde los ríos o vertientes y transportarla a la planta de tratamiento, en la planta se añaden coagulantes químicos para lograr que las diminutas partículas en suspensión que enturbian el agua se atraigan entre sí para formar flóculos (material sólido acumulado). En la etapa siguiente, el agua reposa en tanques en cuyo fondo contienen una estructura similar a un panal de abejas, dicha estructura atrae a los flóculos grandes y pesados formados en la etapa anterior. Posteriormente, el agua es trasladada a la etapa de filtrado, con la finalidad de retener a las partículas livianas que flotan en el agua, esto se realiza a través de capas de arena o membranas. Finalmente se efectúa la desinfección para eliminar los componentes biológicos y bacteriológicos presentes en el agua.

El proceso descrito anteriormente es realizado a través de 6 etapas: captación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración (Véase Figura 2.2). En las siguientes secciones se describe cada una de ellas.



Figura 2.2 Etapas de potabilización del agua.
Fuente: [17].

2.2.4.1.1. Captación.

En esta etapa se lleva el agua desde la fuente hasta la estación de tratamiento, las fuentes pueden ser ríos en la superficie o ríos subterráneos, el agua es transportada por una tubería a través de sistemas de bombeo y por gravedad dependiendo de las características geográficas del tramo entre la captación y la PTAP [17].

2.2.4.1.2. Coagulación.

En esta etapa se agrega sustancias químicas, denominadas coagulantes, que cambian el comportamiento de las partículas que se encuentran en suspensión; el coagulante neutraliza las partículas que inicialmente tenían carga negativa, para formar partículas más grandes [18]. (Ver Figura 2.3).

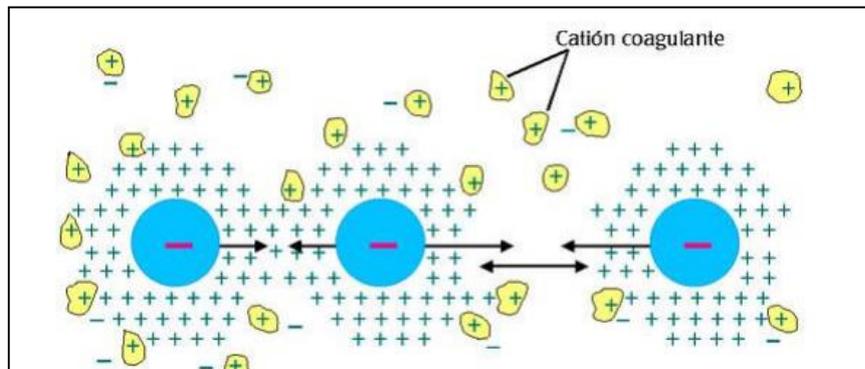


Figura 2.3 Neutralización Coloidal.
Fuente: [18].

El sulfato de aluminio es el coagulante más utilizado, a más de este, se utiliza [18]:

- Sulfato ferroso.
- Sulfato férrico.
- Cloruro férrico.
- Polihidróxido de aluminio.

El pH influye en gran medida en el proceso de coagulación. Afecta en la solubilidad de los coagulantes, y por ende, en el tiempo requerido para la formación de flóculos. El nivel óptimo de pH es entre 6,5 y 7,5 [18]. El pH del agua es modificado mediante el uso de ayudantes de la coagulación, los más comunes son [19]:

- Cal viva.
- Cal apagada.
- Carbonato sódico.
- Soda cáustica.
- Ácidos minerales.

Para agregar el coagulante y la cal se hace uso del canal Parshall. Este cumple un doble propósito, permite medir el caudal de entrada y aplicar los coagulantes a la salida del mismo. [20]. En la Figura 2.4, se muestra la estructura básica de este canal.

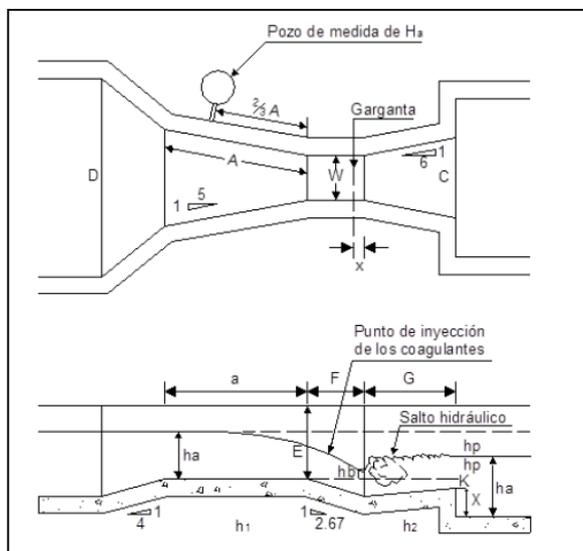


Figura 2.4 Modelo de un Canal Parshall.
Fuente: [20].

2.2.4.1.3. Floculación.

En la etapa de floculación se promueve el crecimiento de las partículas pequeñas mediante la agitación de la masa de agua [21]. El objetivo es aumentar volumen y peso con el fin de que estas partículas puedan flotar o sedimentarse.

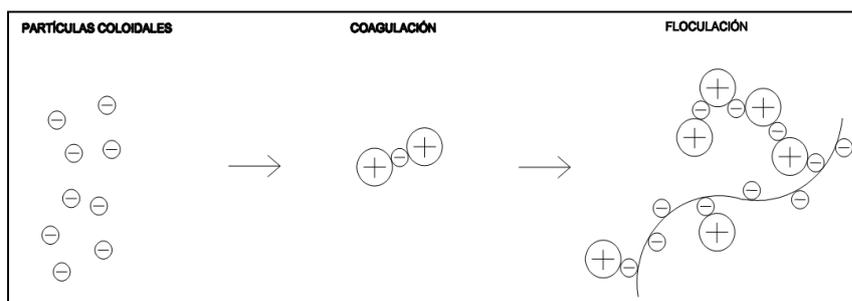


Figura 2.5 Partículas coloidales en el proceso Coagulación-Floculación.
Fuente: [21].

A diferencia de la etapa anterior, la floculación es un proceso de mezclado lento; es decir, se realiza una agitación lenta para producir una mezcla suave y así se produzcan un mayor número de uniones entre las partículas ya coaguladas como se muestra en la Figura 2.5. El tiempo de floculación generalmente es de 30 minutos para permitir la flotación-sedimentación de los flóculos ya formados [18] [21].

2.2.4.1.4. Sedimentación.

En esta etapa las partículas tienden a sedimentarse (quedarse en el fondo del depósito de agua) cuando tienen un peso específico mayor al fluido. En cambio, cuando las partículas tienen un peso específico menor al del agua éstas tienden a flotar [21].

El tiempo necesario para la sedimentación de una partícula de arena es inversamente proporcional a su tamaño, por ejemplo, para sedimentar una partícula de 1mm se requiere 10 segundos, por otro lado, para sedimentar una partícula de 1nm, el tiempo necesario para su sedimentación es de hasta 200 años [19]. Por ello la importancia de las etapas de coagulación y floculación para acelerar el proceso de sedimentación.

2.2.4.1.5. Filtración.

Es uno de los procesos más importantes de la potabilización, se aplica luego de la etapa de sedimentación, se encarga de eliminar las partículas que se encuentran suspendidas y que se encuentran en el agua. Para ello se utiliza membranas de micro, ultra y nano filtración [20]. En la Tabla 2.2 se indica la clasificación de los filtros.

Tabla 2.2 Clasificación de los filtros.

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Rápidos: 120 – 360 m³/m²/día	1. Arena (h =60-75 cm) 2. Antracita (h =60-75 cm) 3. Mixtos: Arena (h =20-35 cm) Antracita(h =35-50 cm)	Ascendentes Descendentes Flujo mixto	Por gravedad Por presión
Lentos: 7-14 m³/m²/día	Arena (h =60-100 cm)	Descendentes Ascendentes Horizontal	Por gravedad

Fuente: [22].

2.2.4.1.6. Desinfección.

La desinfección es un proceso que permite eliminar los microorganismos patógenos que viven en el agua. Si estos microorganismos no son eliminados, el agua puede provocar enfermedades perjudiciales a las personas que la consuman [23].

Los desinfectantes deben matar a los microorganismos, y además, tener un efecto residual; es decir, que actúen como “agentes activos” en el agua para prevenir el crecimiento de los microorganismos en las tuberías [23].

2.2.5. Estado actual de la planta de tratamiento de agua potable “El Pucará”.

Se ubica al Sur del Ecuador, en el barrio “El Panecillo” de la provincia de Loja, ciudad de Loja, en las coordenadas UTM N 9556933.17 E 700255.06 en la zona 17, aproximadamente a 2157 msnm (Ver Figura 2.6).



Figura 2.6 a) Ubicación de la planta de potabilización "El Pucará", b) Vista satelital de la planta de potabilización "El Pucará".

Fuente: [24].

Según las autoridades administrativas de la UMAPAL, la planta procesa aproximadamente 583 litros por segundo. Las fuentes de captación de esta planta son: El Carmen, San Simón, Pizarros y quebradas afluentes del río Zamora Huayco, localizadas en el sector oriental de la ciudad; y las captaciones del río Jipiro 1 y 2, en el sector nororiental de Loja. El agua es llevada a la planta por medio de tuberías de asbesto cemento y tubería PVC (Ver Figura 2.7). La cuenca Pizarros aporta con un caudal de 87 l/s, El Carmen con 300 l/s y por último, la microcuenca de Jipiro 1 y 2 con 200 l/s [25].



Figura 2.7 Fuentes de captación de la planta de Tratamiento El Pucará.
Fuente: Los Autores.

Para la coagulación de las partículas coloides y para controlar el nivel de pH se utiliza sulfato de aluminio y cal, respectivamente. En la Figura 2.8 se puede observar los contenedores en donde son disueltos los químicos mencionados.



Figura 2.8 Contenedores para la disolución de químicos, a) sulfato de aluminio b) cal.

Fuente: Los Autores.

Una vez que los químicos se encuentran disueltos se procede a mezclarlos con el agua de las 4 captaciones que pasan a través del canal Parshall (Ver Figura 2.9).



Figura 2.9 Canal Parshall, PTAP El Pucará.
Fuente: Los Autores.

Después del canal Parshall existen dos derivaciones con una compuerta de control de paso hacia los dos floculadores. Cada floculante es de tipo convencional y de flujo horizontal y está conformado por 30 tabiques, su profundidad promedio es de 2.25 m (Ver Figura 2.10).



Figura 2.10 Floculador de tabiques horizontales, PTAP El Pucará.
Fuente: Los Autores.

Posteriormente el agua pasa a dos decantadores o sedimentadores estáticos de flujo horizontal (cuarta etapa de potabilización). En esta etapa la masa líquida se traslada de un

punto a otro con movimiento uniforme y velocidad constante. Cada decantador tiene un volumen de 700 m³, estos se los puede observar en la Figura 2.11.



Figura 2.11 Sedimentadores horizontales, PTAP El Pucará.
Fuente: Los Autores.

Luego de la etapa de sedimentación, el agua entra en un proceso de filtrado, a cada lado de la galería se encuentran tres filtros de flujo descendentes, en total suman 6. El lecho filtrante está compuesto por antracita de arena, grava y sistema de drenaje. En la Figura 2.12 se muestran los estanques de filtrado.



Figura 2.12 Estanques de filtrado, PTAP El Pucará.
Fuente: Los Autores.

Finalmente, se entra en un proceso de cloración o desinfección del agua, para ello se utiliza cloro en estado gaseoso. En la Figura 2.13 a, se puede apreciar los 6 cilindros que contienen el cloro gas necesario para abastecer a los tanques de distribución ubicados en la planta y se muestran en la Figura 2.13 b.



Figura 2.13 a) Área de cloración b) Tanques de distribución.
Fuente: Los Autores.

2.3. Redes inalámbricas de sensores.

Las redes inalámbricas de sensores, conocidas en inglés como Wireless Sensor Network (WSN), consisten en un conjunto de dispositivos (denominados nodos o motas), de bajo consumo energético, con limitadas capacidades de procesamiento, capaces de monitorear variables de su entorno y enviarlas a un dispositivo coordinador de la red [26].

2.3.1. Características.

Las principales características de las redes de sensores son [27]:

- Escalables.
- Descentralizadas.
- Bajo consumo energético.
- Limitada capacidad de procesamiento.
- Resistente a las condiciones ambientales.

2.3.2. Arquitectura.

La arquitectura genérica de una red de sensores inalámbricos está compuesta por [28]:

- Nodos inalámbricos.
- Puerta de enlace.

- Estación base (Ver Figura 2.14).

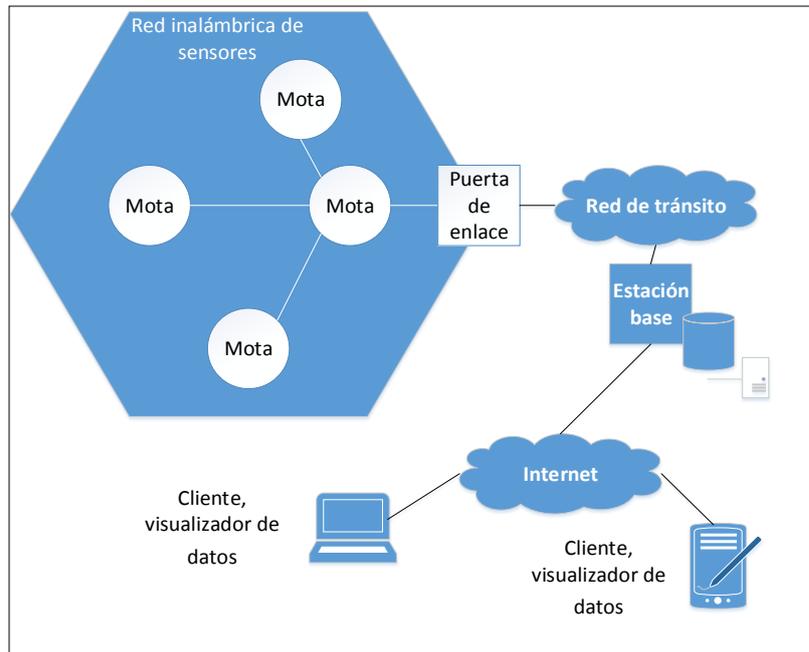


Figura 2.14 Arquitectura de una red inalámbrica de sensores.
Fuente: Los autores, basados en [28].

2.3.2.1. *Nodos inalámbricos.*

Son denominadas motas, su función es captar variables de su entorno, digitalizarlas y enviarlas a otro destino en función de los algoritmos de enrutamiento. Debido a que los nodos son los encargados de recolectar los datos son ubicados en lugares aislados, cerca del fenómeno o evento que se quiere monitorear [28]. Cada mota está formada por [29]:

- Alimentación.
- Sensores.
- Memoria.
- Módulo de comunicación.
- Procesador.

Estos componentes interactúan entre ellos tal y como se muestra en la Figura 2.15.

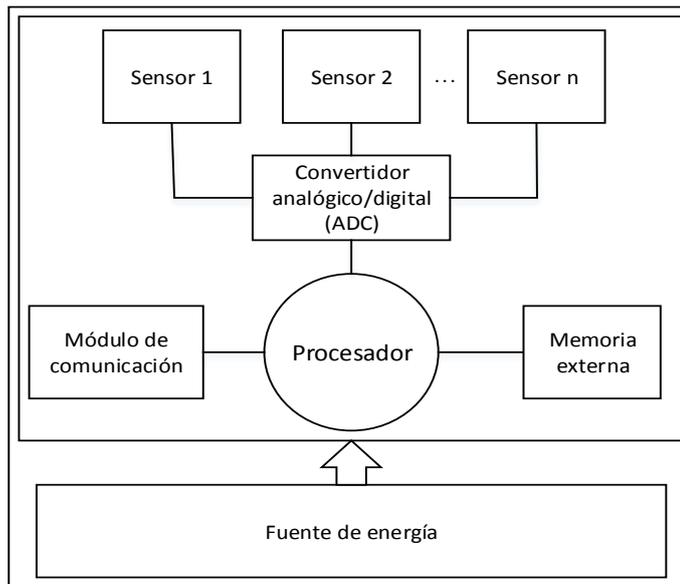


Figura 2.15 Elementos de una mota.
Fuente: Los autores, basados en [29].

2.3.2.2. Puerta de enlace.

Es el elemento que permite la interconexión entre la red de sensores y una red externa, frecuentemente una red TCP/IP, o directamente hasta ordenadores, PDAs, etc [28]. Es un nodo especial sin elemento sensor, cuyo objetivo es actuar como puente entre dos redes de diferente tipo.

Las puertas de enlace se clasifican en [28]:

- Activas: permiten que los nodos envíen activamente los datos al servidor.
- Pasivas: funciona sólo cuando existe petición del nodo.
- Híbridas: combina las capacidades de las activas y pasivas.

2.3.2.3. Estación base.

Es un nodo con alta capacidad de procesamiento y almacenamiento, es utilizada para almacenar los datos recolectados de cada sensor.

2.4. Tecnologías de comunicación para redes inalámbricas de sensores.

Las principales alternativas de comunicación para una red de sensores son:

- 802.15.4.
- Zigbee.
- Bluetooth.
- Wi-Fi.

- GSM.
- LORA.

En la Tabla 2.3 se indica las principales características de los tres estándares más utilizados en WSN.

Tabla 2.3 Características de los estándares de comunicación utilizados en WSN.

Parámetro	Zigbee	Wifi	Bluetooth
Estándar	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11	IEEE 802.15.1
Cobertura	10-3000 m	100m	100 m
Tasa de transmisión	250 Kbps	11 Mbps	1 Mbps
Capacidad de la red	65536 nodos	32 nodos	7 nodos
Tiempo de vida de la batería	Varios meses	Varias horas	Varios días
Topologías	Árbol, estrella, malla	Árbol – estrella	Árbol
Costo	Bajo	Elevado	Medio
Consumo energético	30 mA transmisión 3 mA en reposo	400 mA transmisión 20 mA en reposo	40 mA en transmisión 0.2 mA en reposo

Fuente: Los autores.

Por su disponibilidad en el mercado y características técnicas, serán analizadas dos de ellas: Zigbee y Wi-Fi.

2.4.1. Zigbee

ZigBee es desarrollado por la Alianza ZigBee, lo conforman cientos de empresas, desde la industria de semiconductores y desarrollo de software, hasta fabricantes de equipamiento original (OEM) e instaladores. Es un estándar que define un conjunto de protocolos de comunicación para redes inalámbricas de corto alcance y baja tasa de datos; opera en las bandas de frecuencia de 868 MHz, 915 MHz y 2,4 GHz. La velocidad de transferencia de datos máxima es de 250 Kbps. ZigBee está dirigido principalmente para aplicaciones que funcionan con baterías de larga duración, de bajo costo y baja tasa de transmisión como lo son las redes de sensores [30].

La tecnología ZigBee amplía el estándar IEEE 802.15.4, para ello aumenta una capa de red (NWK) que gestiona las tareas de enrutamiento y de mantenimiento de los nodos de la red; y un entorno de aplicación que proporciona una subcapa de aplicación (APS) que establece

una interfaz para la capa de red, y los objetos de los dispositivos tanto de ZigBee como del diseñador [31].

Zigbee define tres tipos de dispositivos utilizados para formar una red estos son: coordinador, router y dispositivo final (Ver Figura 2.16) [32].

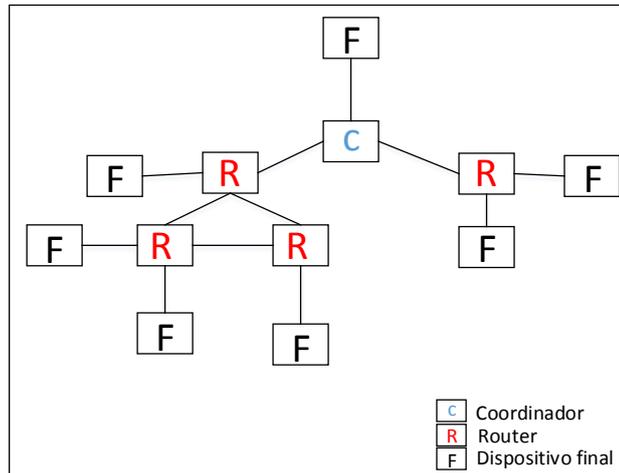


Figura 2.16 Dispositivos de una red Zigbee.
Fuente: Los Autores.

2.4.1.1. Topologías de red.

La capa de red ZigBee (Network Layer, NWK) permite conectar los dispositivos de la red a través de varias topologías. En la Figura 2.17 se indica las 3 topologías que permite el estándar.

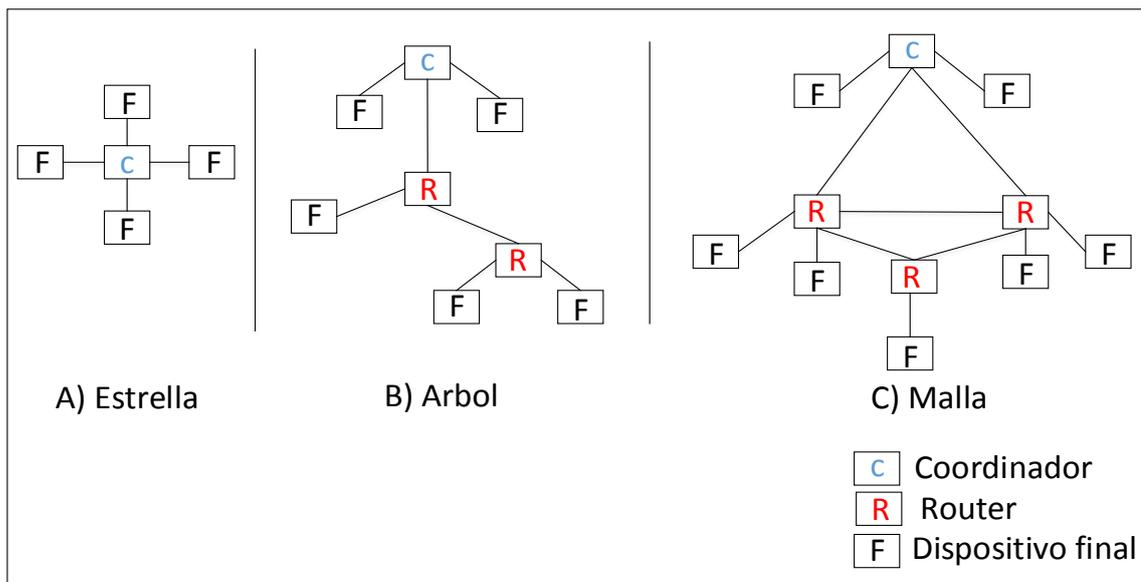


Figura 2.17 Topologías de redes Zigbee.
Fuente: Los autores, basada en [32].

2.4.1.1.1. *Topología en estrella.*

La topología en estrella se compone de un coordinador y varios dispositivos finales (Ver Figura 2.17A). En esta topología cualquier intercambio de paquetes entre los dispositivos finales debe pasar por el coordinador, por tal razón el coordinador puede convertirse en un cuello de botella. La ventaja de la topología en estrella es su sencillez, los paquetes pasan por máximo por dos saltos antes de llegar a su destino [32].

2.4.1.1.2. *Topología del árbol.*

En esta topología, la red consta de un nodo central (la raíz del árbol), que es un coordinador, varios routers y dispositivos finales que forman las ramificaciones del árbol, como se muestra en la Figura 2.17B. La función del router es extender la cobertura de la red. Los nodos finales que están conectados con el coordinador o los routers son llamados hijos. Solamente los routers y el coordinador tienen hijos. Cada dispositivo final sólo es capaz de comunicarse con su padre (router o coordinador) [33].

Las desventajas de la topología del árbol son [33]:

- a. Si uno de los padres es inhabilitado, sus hijos no pueden comunicarse con otros dispositivos en la red.
- b. Incluso si dos nodos están geográficamente cerca uno del otro, no pueden comunicarse directamente.

2.4.1.1.3. *Topología malla.*

Se compone de un coordinador, varios routers y dispositivos finales (Ver Figura 2.17) Este tipo de topologías tiene las siguientes características [33]:

- a. Una topología de malla es una red multisalto; paquetes pasan a través de múltiples saltos para llegar a su destino.
- b. El alcance de una red se puede aumentar mediante la adición de más dispositivos a la red.
- c. Puede eliminar las zonas muertas.
- d. Una topología de malla tiene la capacidad de “auto-sanación”, significa que durante la transmisión, si una ruta falla, el nodo encontrará una ruta alternativa al destino.
- e. Los dispositivos pueden estar cerca el uno al otro para que utilicen menos energía.
- f. Es fácil la adición o eliminación de un dispositivo.
- g. Cualquier dispositivo fuente puede comunicarse con cualquier dispositivo de destino en la red.

h. Utiliza un protocolo de enrutamiento más complejo que una topología en estrella.

2.4.2. Wi-Fi

IEEE 802.11 es un estándar internacional que define las características de una WLAN (red de área local inalámbrica). Por razones comerciales, éste estándar es más conocido como Wi-Fi (Wireless Fidelity, fidelidad inalámbrica).

Las principales ventajas de IEEE 802.11 son su bajo costo, interoperabilidad con dispositivos de diferentes fabricantes y sus altas tasas de transmisión.

2.4.2.1. Topologías de red.

El estándar soporta dos topologías de red: IBSS (Independent Basic Service Set) y ESS (Extended Service Set) [34]:

2.4.2.1.1. IBSS.

Cada estación se puede comunicar directamente con otra perteneciente a la misma BSS sin que el tráfico sea llevado hacia cualquier punto de acceso (Access Point, AP) o a través de más estaciones intermedias. Un ejemplo se muestra en la Figura 2.18. El concepto IBSS se acerca mucho a las características de una red ad-hoc, en cuanto a que su objetivo es aquel de hacer comunicar las estaciones directamente entre ellas, sin tener que acceder a redes dotadas de infraestructura [34].

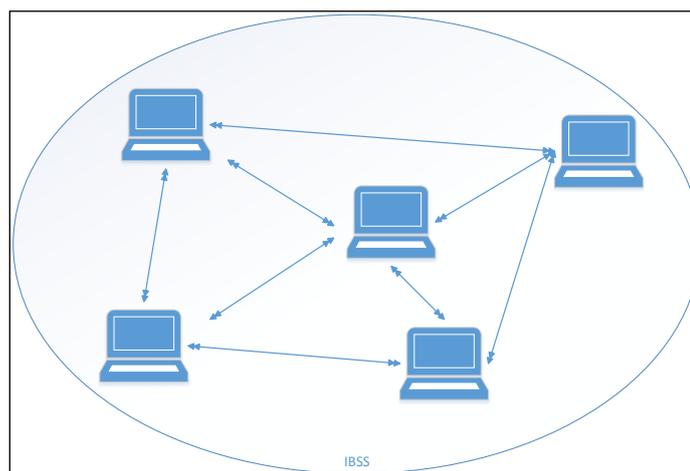


Figura 2.18 Topología IBSS.
Fuente: Los Autores, basada en [34].

2.4.2.1.2. ESS.

Están formadas por muchas BSS (grupo de estaciones en una área de cobertura) interconectadas a través de una dorsal (backbone) llamada Distribution System (DS); la DS

puede ser realizada tanto con tecnología cableada como con tecnología sin cables (Ver Figura 2.19). Esta tipología de red es necesaria con el fin de permitir la interacción entre terminales que no se encuentran al interno de la cobertura radio de una única estación base. Un AP es una estación particular que proporciona una interfaz hacia el DS para las estaciones pertenecientes a una BSS. Todas las STA presentes en una BSS pueden comunicarse directamente entre ellas [34].

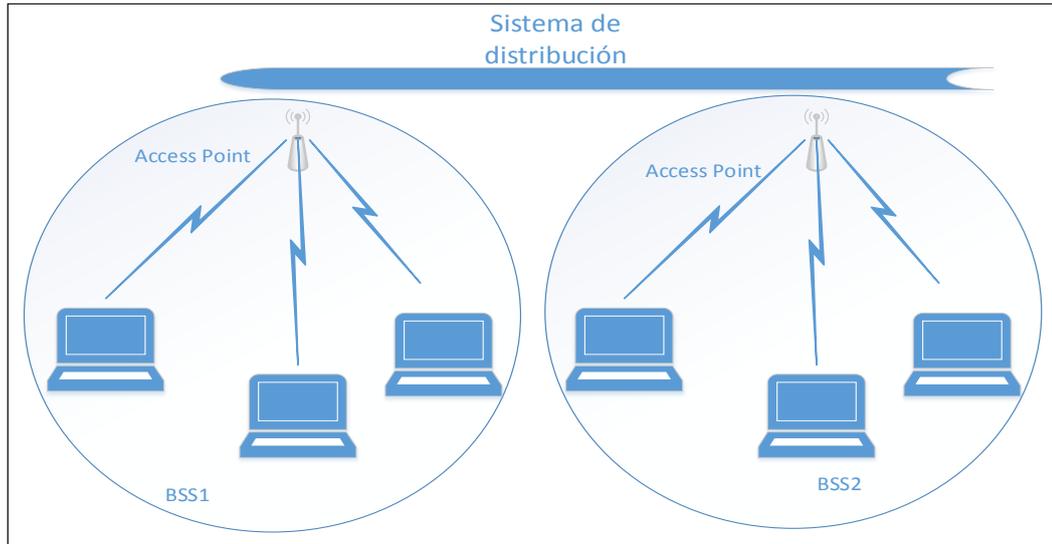


Figura 2.19 Red ESS.
Fuente: Los Autores, basada en [34].

2.5. Sensores de calidad de agua.

2.5.1. Sensores de pH.

El potencial de concentración de iones de hidrogeno, denominado potencial de hidrogeno (pH), es una medida que indica la acidez o alcalinidad de una sustancia.

En soluciones acuosas la escala de pH varía entre 0 y 14. Una sustancia con pH 7 es considerada Neutra, menor a 7 acida, y mayor a 7 alcalina (Ver Figura 2.20).

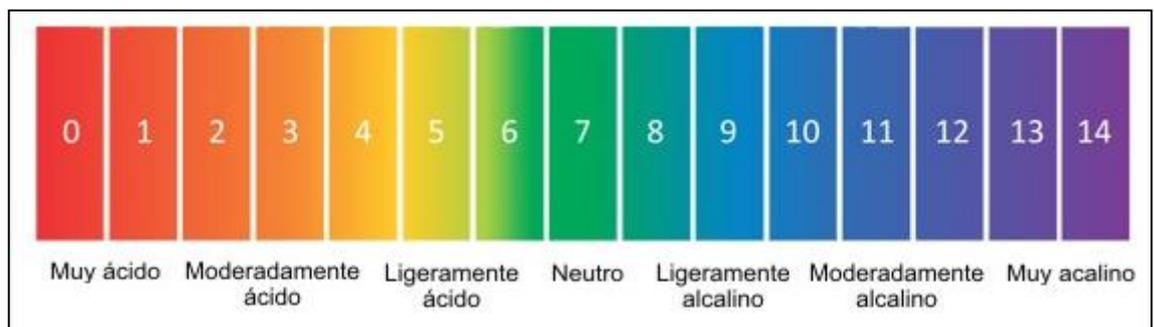


Figura 2.20 Escala de pH.
Fuente: [35].

Formalmente el pH se define como el negativo del logaritmo de la actividad del ion hidrógeno tal como se muestra en la Ecuación 1.1 [36]:

$$pH = -\log_{10}f_{H^+}[H^+] \quad (\text{Ec 1.1})$$

Dónde: f_{H^+} es el coeficiente de actividad, $[H^+]$ concentración de ion hidrógeno en moles.L⁻¹ y el producto $f_{H^+} [H^+]$ es la actividad del ion H⁺.

Para medir el nivel de pH existen sensores de diferentes tecnologías, los más utilizados son los Electroquímicos y los Ópticos [36].

- **Sensores Electroquímicos.**

Son aquellos que utilizan dispositivos que transforman la actividad química del ion de hidrógeno en una señal eléctrica. En esta categoría se destacan aquellos sensores que cuentan con Electroodos de Ion Selectivo (ISE por sus siglas en inglés).

Los ISEs pueden pensarse como una “celda electroquímica”, donde uno de sus electrodos es la referencia y el otro se inserta en la solución a la cual se le quiere medir el pH. Ese segundo electrodo cuenta con una membrana, que para el caso del pH, es sensible al ion hidrógeno. Como cualquier celda electroquímica, entre los electrodos se genera una diferencia de potencial según la ecuación de Nernst (Ecuación 1.2), que es lo que efectivamente se mide y que está relacionada directamente con la medida de pH de la solución [36].

$$E = E_0 + \frac{RT}{F} \ln[H^+] \quad (\text{Ec 1.2})$$

Dónde: R es la constante de los gases y vale 8,31 °K⁻¹ mol⁻¹, T es la temperatura en °K, F es la constante de Faraday que vale 96485 C y E₀ es una constante que agrupa una serie de potenciales: en primer lugar el valor del voltaje de referencia, pero también otros que aparecen en la pila y que escapan al alcance de este trabajo.

- **Sensores ópticos.**

Estos sensores se basan en “indicadores ópticos” de pH que cambian sus propiedades ópticas en función de la muestra a analizar. Dependiendo de la propiedad óptica que cambia, los sensores pueden clasificarse en: sensores de absorbancia o luminiscencia. “En los sensores de absorbancia la relación entre intensidad de la luz incidente y la luz reflejada están en directa relación con el valor del pH de la muestra. En los sensores de luminiscencia la dependencia con el pH viene dada por el cambio en la longitud de onda entre la luz incidente y la reflejada” [36].

El sensor óptico más conocido tal vez sea la “tira de pH”. Es una tira de plástico que tiene embebido un indicador óptico, el cual hace que la tira cambie de color según el valor de pH de la muestra. Es un método simple, barato y rápido, sin embargo presenta la desventaja que es poco preciso en la Figura 2.21 se puede observar este proceso.

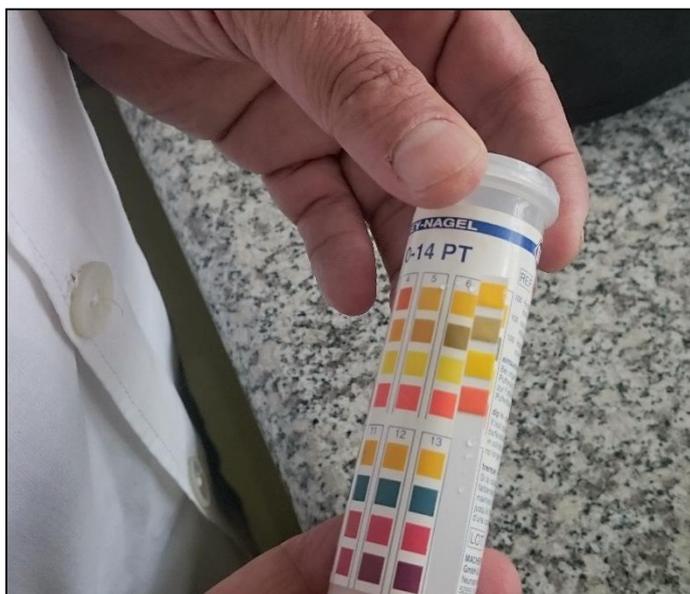


Figura 2.21 Tira de pH.
Fuente: Los Autores.

- **Sensores de fibra óptica.**

Los sensores de fibra óptica consisten en un indicador inmovilizado, cuyas propiedades ópticas se modifican en función de la concentración de pH presente en la muestra. La señal óptica así generada es conducida a continuación a través de una fibra óptica hasta un detector, para más tarde ser amplificada y procesada convenientemente [37].

Los sensores que funcionan por absorbancia se rigen por la ley de Lambert-Beer, esta “Establece una relación de proporcionalidad directa entre la concentración de sustancia absorbente y la cantidad de luz absorbida por ésta, para una determinada longitud de onda” (Ver ecuación 1.3) [36]:

$$A_{\lambda} = \log \frac{I_0}{I_T} = \varepsilon_{\lambda} l c \quad (\text{Ec 1.3})$$

Donde A es la absorbancia de la muestra (a-dimensionado), I_T e I_0 son los flujos fotónicos transmitido e incidente, respectivamente, l es el paso óptico (espesor atravesado por el haz de luz, en cm), c es la concentración de la sustancia absorbente (en mol.L⁻¹) y ε_{λ} es el coeficiente de absorción molar, característico para cada longitud de onda (en mol⁻¹.L cm⁻¹).

Los sensores de fibra óptica no requieren señal de referencia, esto aumenta la estabilidad de la medida y reduce los costos de fabricación [37].

2.5.2. Sensores de conductividad.

La conductividad eléctrica del agua, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. La conductividad en el agua pura es mucho menor en comparación del agua salada debido a que la concentración de electrolitos es menor.

Para medir la conductividad de sustancias acuosas existen sensores resistivos e inductivos.

- **Sensores resistivos.**

En la práctica estos sensores no miden la conductividad, se mide la conductancia entre electrodos que son de diferente tamaño, rectangulares o cilíndricos, este valor pasará ser multiplicado por una constante (k) de cada celda en particular, se transforma en la conductividad en S/cm [38].

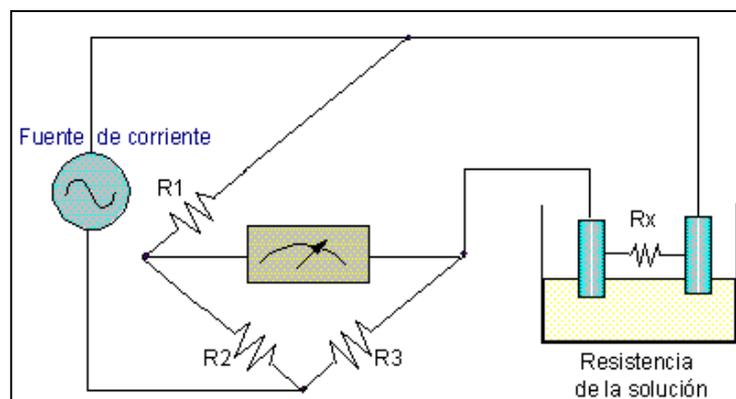


Figura 2.22 Funcionamiento de un electrodo de conductividad. Fuente: [38].

La medición eléctrica se efectúa mediante un puente de Wheatstone para medir resistencias. En la Figura 2.22 las resistencias R1 y R2 son fijas y su valor va de acuerdo al intervalo de conductividad que se pretende medir. La resistencia Rx es la que proporciona la solución a la cual se le va a medir la conductividad. La resistencia R3 se varía en forma continua hasta poner en equilibrio el puente, de tal forma que no pase corriente hacia el medidor [38].

- **Sensores inductivos.**

Una célula de medición inductiva consiste en dos bobinas, una transmisora y otra receptora. Ambas bobinas están integradas en un alojamiento hueco. El alojamiento se sumerge en el fluido, que inunda su interior. A continuación se aplica una tensión alterna sinusoidal a la

bobina transmisora. Esto produce una corriente en el fluido proporcional a su conductividad. A su vez, esta corriente induce una tensión en la bobina receptora. La conductividad se determina midiendo esta segunda tensión y conociendo la constante de la célula. El sistema integra también un sensor de temperatura que permite aplicar correcciones de temperatura (Ver Figura 2.23) [38].

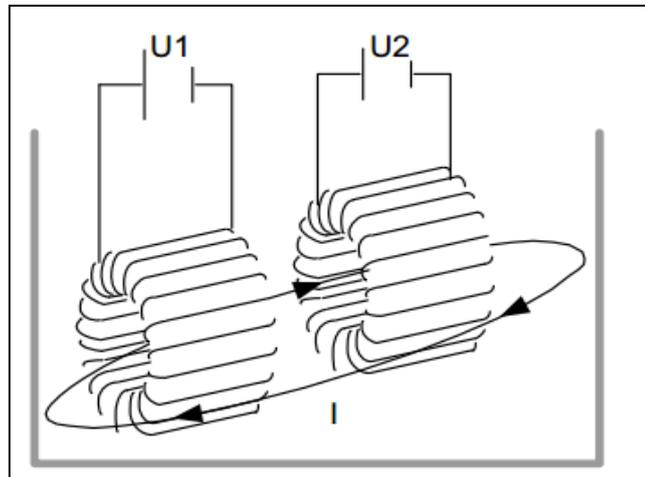


Figura 2.23 Electrodo de Conductividad por inducción.
Fuente: [38].

2.6. Aplicaciones web.

Los valores de las variables medidas deben ser almacenados en un servidor al cual se pueda acceder en tiempo real y de manera remota; esto es posible a través de una aplicación WEB que se encuentre alojada en un servidor con IP pública (Ver Figura 2.24).

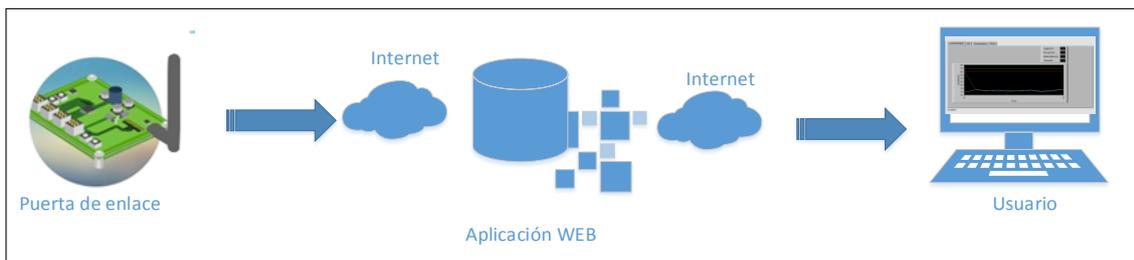


Figura 2.24 Aplicación WEB para una red de sensores.
Fuente: Los Autores.

Existen una gran variedad de plataformas que permiten alojar datos en internet, éstas ofrecen planes gratuitos y de paga entre ellas tenemos:

- Ubidots [39].
- DataSparkfun [40].
- Thingspeak [41].
- Carriots [42].

- Electric imp [43].
- Blaulabs [44].
- Thinking things [45].

Cada una de las alternativas mencionadas tiene un ámbito de aplicación, sus ventajas y desventajas, a continuación se analiza dos de ellas: Ubidots y dataSparkfun.

2.6.1. Ubidots.

Ubidots ofrece una API REST en donde las variables y valores, se pueden crear, leer, editar o borrar. El sitio WEB, sus contenidos, características y funcionalidades son propiedad de Ubidots y están. Por lo que no es permitido copiar, modificar, mostrar públicamente cualquier material excepto lo permitido por la propia página Web [39].

2.6.1.1. API REST.

De la misma manera que las personas utiliza un web browser para navegar por páginas web a través de las direcciones URL; los dispositivos necesitan de un tipo especial de 'página web' para que puedan interactuar fácilmente. Este tipo especial de páginas no contienen, interfaz gráfica; sólo contienen datos [39].

Esta "página web para dispositivos" se denomina API REST. Es acrónimo de "Application Programming Interface", especifica cómo los componentes de software interactúan unos con otros (en este caso se especifica la interacción entre el dispositivo y Ubidots) [39].

Se utiliza cuatro métodos HTTP [39]:

- GET.
- POST.
- PUT.
- DELETE.

Mediante estos métodos un nodo sensor puede realizar una serie de acciones, las principales son:

- Recuperar información de la dirección URL (también conocido como GET).
- Crear un nuevo recurso (POST).
- Eliminar un recurso, por ejemplo, eliminar un origen de datos (DELETE).
- Actualizar un recurso (PUT).

2.6.2. DataSparkfun.

DataSparkFun es un servicio robusto y gratuito que permite almacenar variables en la nube. El motor subyacente es de código abierto, se puede dejar de utilizar los servidores proporcionados por la empresa creadora, SparkFun, e instalar phant en un servidor privado.

Phant es una herramienta de código abierto (GPL v3) para el registro modular, fue desarrollada por SparkFun Electronics para recoger datos de internet de las cosas [40].

2.6.2.1. Planes y capacidad de almacenamiento.

A diferencia de Ubidots, DataSparkfun no tiene planes de hosting con paga, cada “corriente” tiene un máximo de 50 MB. Después de alcanzar el límite, se borran los datos más antiguos. (Estas limitaciones pueden eliminarse si se instala un servidor propio). El registro está limitado a 100 pulsaciones en una ventana de 15 minutos. Esto permite enviar datos en ráfagas, o diversificar las mismas a lo largo de la ventana de 15 minutos [40]. En la Tabla 2.4 se un resumen de características entre estos dos servidores.

Tabla 2.4 Características de Ubidots y dataSparkfun.

Parámetros	Ubidots	DataSparkfun
Licencia	Sujeta a derechos de autor (Copyright ©)	código abierto (GPL v3)
Planes	Plan básico gratuito y planes de paga	Totalmente gratuito
Variables permitidas	5 en el plan gratuito	Indefinidas
Historial permitido	1 mes	Indefinido

Fuente: Los Autores.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA

3.1. Introducción

En el diseño del sistema se parte del análisis de requerimientos para cumplir con los objetivos planteados en el capítulo 1, luego se realiza un bosquejo general del sistema a través de un diseño conceptual, para finalmente, realizar el diseño físico y lógico.

3.2. Análisis de requerimientos.

De las variables que se relacionan con la calidad del agua según la sección 2.2.3 emitido por el instituto ecuatoriano de normalización, cuyos rangos nominales se indican en la misma sección, se monitorea la temperatura, pH y conductividad, dichas variables son medidas por el personal de la PTAP el Pucará. A más de las variables mencionadas, por ser un dato necesario para el control operativo de la planta, en el diseño del sistema se contempla la adquisición del nivel de agua en las diferentes etapas.

A partir de los objetivos establecidos en la sección 1.3 y de las variables que se obtendrá, se determina los siguientes requerimientos que debe cumplir el sistema:

- Adquirir los valores de temperatura, pH, conductividad y nivel en 4 etapas del proceso de purificación de agua.
- Concentrar los datos emitidos por los puntos de monitoreo (motas) y enviarlos a un servidor.
- Comunicación y funcionamiento coordinado entre todos los elementos del sistema.
- Capacidad del sistema para almacenar los datos en un servidor IoT y visualizarlos a través de una aplicación móvil y de escritorio.
- Capacidad soportar ambientes externos como lluvia, sol polvo, etc. Sin comprometer el funcionamiento.

3.3. Diseño conceptual

En esta sección se realiza el primer diseño del sistema, se trata de un bosquejo general con las etapas necesarias para cumplir con los requerimientos planteados.

Las 4 motas instaladas en diferentes puntos de la PTAP deben enviar sincronizadamente al nodo coordinador el valor de las variables adquiridas, una vez que el coordinador reciba la

información, éste la envía al servidor WEB. En el servidor se encontrarán todos los valores actuales e históricos que se hayan adquirido, el usuario podrá observar los datos desde cualquier PC o dispositivo móvil conectado a internet a través de una aplicación WEB o móvil respectivamente, tal como se muestra en la Figura 3.1.

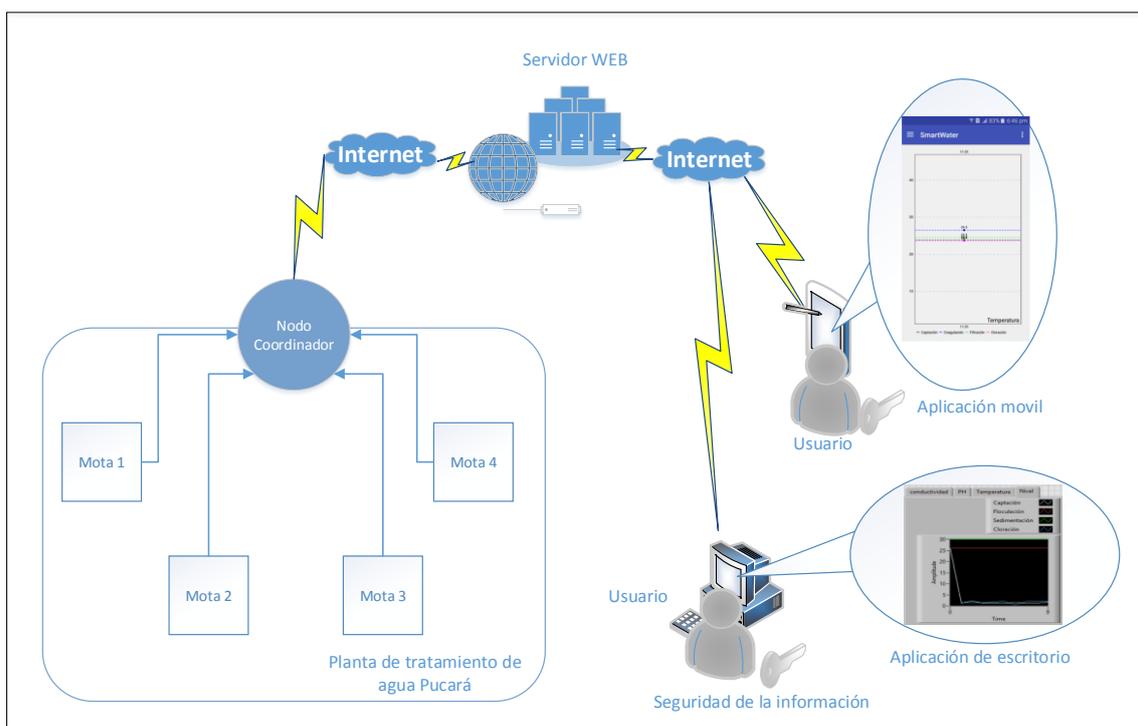


Figura 3.1 Diseño conceptual del sistema.
Fuente: Los Autores.

3.4. Diseño físico

El diseño del hardware se abordará en tres fases, se inicia con el diseño de la etapa de comunicación, luego el de la mota y finalmente, el coordinador.

En la etapa de comunicación se parte del análisis de la topología y estándar más viable, para finalmente, determinar el dispositivo que se utilizará. En el diseño de la mota y el coordinador se parte de los requerimientos, luego se realiza un bosquejo general del subsistema para finalmente, determinar los componentes y ensamblarlos.

3.4.1. Tecnologías y dispositivos de comunicación del sistema.

Se debe definir la topología y la tecnología de comunicación que se utilizará para transferir datos entre los elementos de la red: motas, coordinador (estación base) y el servidor IoT. En la sección 2.4.1.1 se aborda detalladamente la arquitectura y las topologías de una red de

sensores. Es necesario definir dos tecnologías de comunicación, una entre el nodo coordinador y el servidor IoT y otra entre el nodo coordinador y las motas (comunicación de la WSN).

3.4.1.1. Topología y tecnología de comunicación de la WSN.

En primer lugar se determina la topología más viable, para ello se analiza la ubicación de los elementos de la red (motas y coordinador) y la tasa de transferencia de datos requerida.

En la Figura 3.2 se muestra el plano arquitectónico de la planta de potabilización El pucará, en dicho plano se muestra la ubicación tentativa de los elementos de la red de sensores.

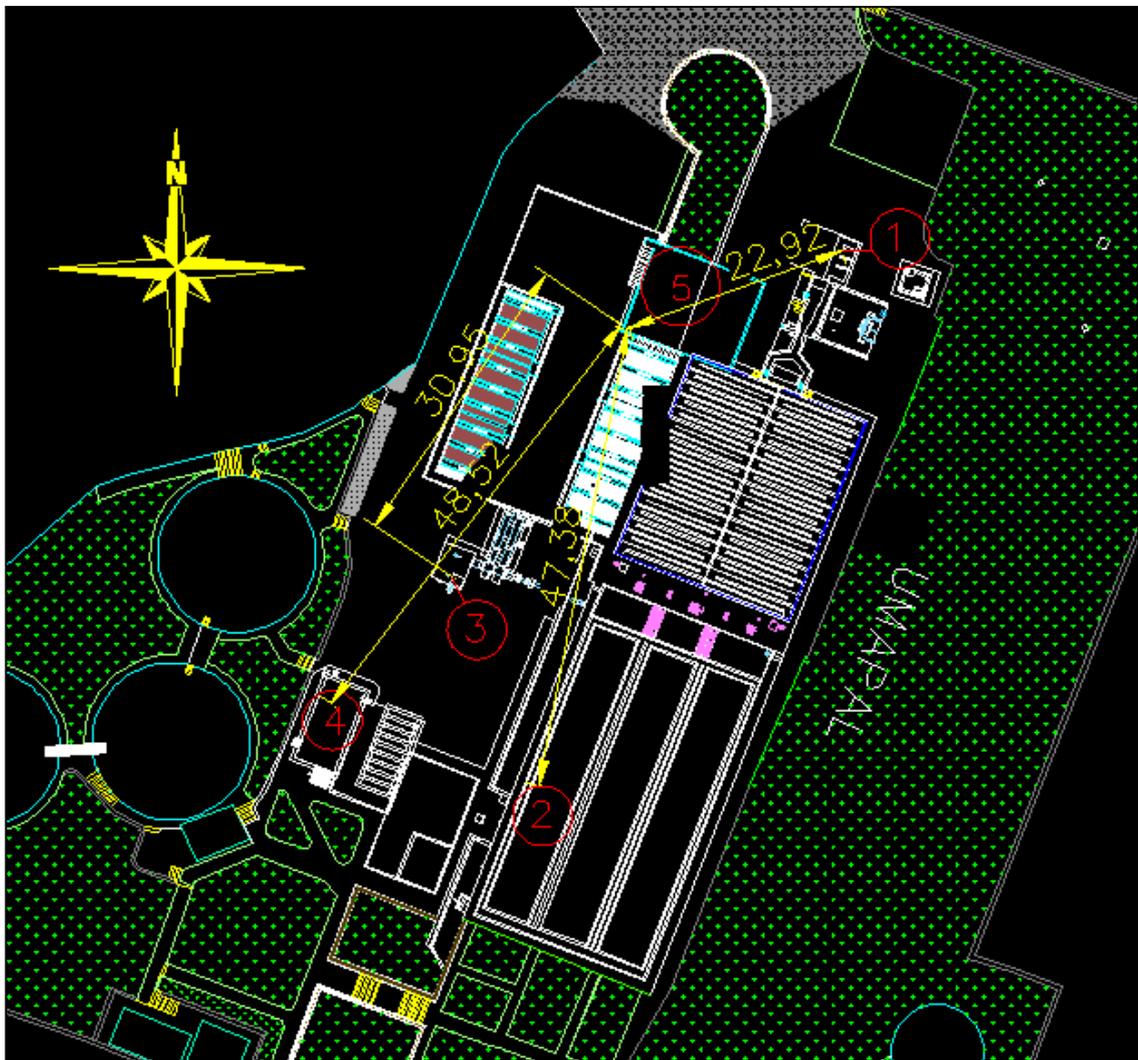


Figura 3.2 Ubicación de los elementos de la red de sensores y distancia entre las motas y el coordinador.

Fuente: Los Autores.

La distancia entre estos elementos de la red de sensores (motas y nodo coordinador) se encuentran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Distancia entre las motas y el coordinador.

Etiqueta	Elemento	Ubicación	Distancia Mota-coordinador
1	Mota 1	CAPTACIÓN	22.92 m.
2	Mota 2	SEDIMENTACIÓN	21.17 m.
3	Mota 3	FILTRACIÓN	47.38 m.
4	Mota 4	CLORACIÓN	48.52 m.
5	Coordinador	LABORATORIO	

Fuente: Los Autores.

De la Figura 3.2 y la Tabla 3.1 se puede apreciar los siguientes aspectos:

- El área total de la PTAP es de 2500 m² aproximadamente. El nodo más lejano se encuentra a 48.5 m. Se puede establecer una comunicación directa entre las motas y el nodo coordinador (sin la necesidad de realizar varios saltos a través de otros elementos enrutadores).
- El sistema constará de cuatro motas para formar la WSN.

En función de las premisas anteriores se concluye que la topología en estrella es la más viable para el presente sistema, dicha topología permite comunicar los elementos del sistema a un reducido costo debido a que no incluye dispositivos intermedios (routers). La principal característica de esta topología es que todas las motas envían sus datos al servidor a través del coordinador, por ello, existe la posibilidad de que este elemento se convierta en un cuello de botella, sin embargo, en nuestro sistema esta característica no representa un problema puesto que la red está conformada por cuatro módulos de adquisición y con una baja tasa de transmisión de datos.

Una vez establecida la topología a utilizar, se procede a elegir el estándar de comunicación más conveniente, para ello se toma en cuenta los siguientes criterios:

- Costo.
- Capacidad de implementar la topología seleccionada.
- Tasa de transmisión de datos.
- Alcance, mínimo de 50 metros (distancia entre el nodo más lejano y el coordinador).
- Consumo energético.

En la Tabla 2.3 se muestra las principales características de los estándares de comunicación utilizados en WSN.

Para el desarrollo de la WSN se utilizará la tecnología Zigbee, los dispositivos disponibles en el mercado que utilizan esta tecnología son: Xbee pro s2, Xbee pro 900 y RFC266PC1 module; en la Tabla 3.2 se indican las características de los dispositivos mencionados.

Tabla 3.2 Principales características de los módulos de comunicación con tecnología Zigbee.

Características	Xbee pro s2	Xbee pro 900	RF266PC1 module
Frecuencia (GHZ)	ISM 2.4	ISM 0.9	ISM 2.4
Canales	12	12	16
Distancia	90 metros sin línea de vista	140 metros sin línea de vista	80 metros
Topologías	Punto a punto, estrella, malla, cluster	Punto a punto, estrella, malla, cluster	SNAP
Consumo de energía en Tx (mA)	250	210	130
Detección de errores	Sí	Sí	Sí
Modo de hibernación	Sí	Sí	No
Costo	Medio	Medio alto	Bajo
Aplicación	Redes de sensores	Redes de sensores	Comunicaciones a corta distancia

Fuente: Autores.

A primera vista el módulo RF266PC1 es más eficiente en su consumo energético, sin embargo, los modelos Xbee presentan la posibilidad de someterlos en un estado de hibernación, ésta opción permite un ahorro energético significativo puesto que durante gran porcentaje de tiempo las motas no transmiten y entran en dicho estado. Es por ello que el módulo RF266PC1 queda descartado.

Entre los módulos Xbee pro s2 y Xbee pro 900, el primero es más económico y cumple con los requerimientos funcionales antes mencionados, por lo que será utilizado en el sistema.

EL Xbee pro s2 (Véase Figura 3.3) es un módulo de comunicación inalámbrica que trabaja en la banda ISM de 2.4GHz, es muy utilizado en redes de sensores por su tamaño (2.7 x 2.2 cm.), protocolos y consumo de energía.



Figura 3.3 Módulo Xbee pro s2.
Fuente: [46].

A continuación en la Tabla 3.3 se presentan sus principales características.

Tabla 3.3 Características del módulo de comunicación Xbee Pro S2.

Descripción	Especificaciones
Frecuencia (GHz)	ISM 2.4
Canales	12
Distancia sin línea de vista (m)	90
Consumo de energía en Tx (mA)	250
Consumo de energía en Rx (mA)	55
Consumo en modo sleep (uA)	<10
Sensibilidad (dB)	-100

Fuente: Autores

3.4.1.2. Tecnología de comunicación del nodo coordinador.

La puerta de enlace es la ventana que permite la comunicación de la red de sensores con una red externa; en nuestro sistema, se encuentra ubicada en el laboratorio de la planta, puesto que en esta sección de la planta existe acceso a internet y se encuentra en un punto céntrico entre las 4 motas del sistema.

Se accede a internet a través de un router, por lo tanto, la mejor alternativa es dotar al nodo coordinador de un módulo de comunicación inalámbrica que soporte el estándar IEEE 802.11 (Wifi).

La opción técnica y económicamente más viable es el módulo RN-XV WiFly (Ver Figura 3.4). Su consumo de energía es muy bajo, además, es operacionalmente flexible, permite el cambio de algunos parámetros de funcionamiento como la potencia y el canal de transmisión.



Figura 3.4 RN-XV WiFly Module.
Fuente: [47].

En la Tabla 3.4 se presenta las principales características del módulo mencionado:

Tabla 3.4 Características del módulo RN-XV Wifly.

Características	RN-XV Wifly module
Estándar	802.11b/g
Data Rate (Mbps)	11/54
Secure WiFi authentication	WEP,WAP-PSK,WAP2-PSK
Selección de canal	Automática y manual
Configuración de potencia de transmisión (dBm)	0 a 12
Sensibilidad (dBm)	-83
Consumo de energía en Tx (mA)	180
Consumo de energía en Rx (mA)	40

Fuente: Autores.

3.4.2. Diseño y construcción de la mota

La función de la mota es captar variables de su entorno, digitalizarlas y enviarlas al nodo coordinador.

Los lugares donde se planea implementar las motas no cuentan con puntos de acceso a la red eléctrica, por esta razón, se debe emplear baterías y paneles solares para garantizar su autonomía.

El sistema está concebido para el funcionamiento de cuatro motas, las cuatro adquirirán las mismas variables, por lo tanto, todas ellas serán una réplica del diseño realizado en esta sección.

Los requerimientos que debe cumplir la mota son:

- Adquirir los valores de temperatura, pH, conductividad y nivel del agua.
- Integrar las variables adquiridas en una sola trama.
- Comunicación y funcionamiento coordinado entre la mota y el coordinador.
- Autonomía energética.
- Capacidad de soportar ambientes externos como lluvia, sol, polvo, etc. Sin comprometer el funcionamiento.

Una vez establecidos los requerimientos de la mota, se realiza el diseño conceptual (Ver Figura 3.5), para ello se toma como base la arquitectura de una mota en una red de sensores, abordada en la sección 2.3.2.1.

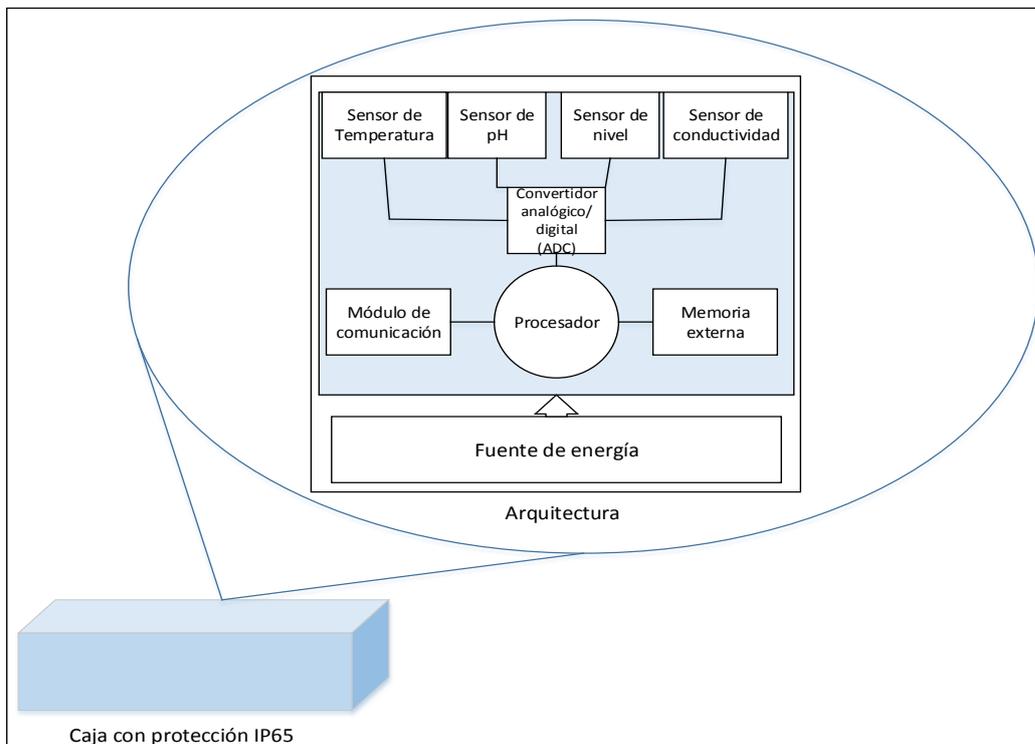


Figura 3.5 Diseño conceptual de la mota.
Fuente: Los Autores.

En el diseño conceptual mostrado en la Figura 3.5 se puede apreciar que la mota estará constituida por cuatro sensores, un módulo de comunicación y una memoria externa, el procesador es el encargado de coordinar el funcionamiento de todos estos elementos.

El diseño conceptual establece los lineamientos generales para proceder al diseño detallado de la mota, a continuación se determina la alternativa más viable entre las opciones existentes en el mercado. La selección del módulo de comunicación fue abordada en la sección 3.4.1.

3.4.2.1. Sensores.

3.4.2.1.1. Sensor de pH.

En la Tabla 3.5 se indican las principales características de los sensores de pH disponibles en el mercado.

Tabla 3.5 Principales características de varios sensores de pH existentes en el mercado.

Características	Libelium	ENV-40-pH Atlas Scientific	CSIM11 pH CampbellScientific
Tipo de sensor	Electroquímico	Electroquímico	Electroquímico
Rango de medición (pH)	0-14	0-14	0-14
Tiempo de respuesta (seg)	< 1	1	1
Acondicionamiento	Si	Si	Requiere Dataloger CR100
Señal de salida del sensor	Análoga	Análoga	Análoga
Aplicación	Redes de Sensores	Laboratorio y campo	Uso industrial
Calibración	Si	Si	Si, rara vez
Costo	Bajo	Medio	Alto

Fuente: Autores

Las tres alternativas presentadas pueden medir todo el rango posible de esta variable (0-14), sin embargo, podemos apreciar que el sensor de la marca libelium es el más económico y su principal aplicación son las redes de sensores. Por las razones mencionadas, éste sensor será ocupado en el sistema (Ver Figura 3.6 y Tabla 3.6).



Figura 3.6 Sensor de pH Libelium.
Fuente: [48].

Tabla 3.6 Características funcionales sensor de pH Libelium.

Descripción	Especificaciones
Tipo de sensor	Electroquímico, dos electrodos
Rango de medición (pH)	0 a 14
Temperatura de funcionamiento (°C)	0 a 80
Resistencia interna (Mohms)	<250
Ruido (mV)	<5
Exactitud	arriba de 0.01
Calibración	Si, solución de pH 4,7,10
Acondicionamiento	Si

Fuente: Autores.

3.4.2.1.2. Sensor de conductividad.

Se analizará dos alternativas: Ec K0.1 Atlas Scientific y el Sensor Conductivity Libelium. A continuación en la Tabla 3.7 se presenta sus principales características.

Tabla 3.7 Comparación de las principales características de sensores de conductividad.

Características	Ec K0.1 Atlas Scientific	Sensor Conductivity Libelium
Tipo de Sensor	Electroquímico	Electroquímico

Rango de medición (uS)	0,5-50000	220-90000
Acondicionamiento	Si	Si
Señal de salida del sensor	Análoga	Análoga
Aplicación	Laboratorio y campo	Redes de Sensores
Calibración	Si	Si
Costo	Medio	Bajo

Fuente: Autores.

Entre las dos opciones podemos apreciar que el sensor de la marca Libelium cumple con los requerimientos funcionales, además de ser más económico y estar orientado propiamente a la red de sensores (Ver Figura 3.7 y Tabla 3.8).



Figura 3.7 Libelium Conductivity sensor.

Fuente: [49]

Tabla 3.8 Características sensor de conductividad Libelium.

Descripción	Especificaciones
Tipo de sensor	Electroquímico, dos electrodos
Rango de medición (uS)	220-90000
Constante de celda de conductividad (cm⁻¹)	1 ± 0.2
Material del electrodo	Platino
Calibración	Si
Acondicionamiento	Si

Fuente: Autores.

3.4.2.1.3. Sensor de temperatura.

Se analizará dos alternativas: Waterproof (DS18B20) y Vernier Sensor-Stainless Steel Temperature Probe. A continuación en la Tabla 3.9 se presenta sus principales características.

Tabla 3.9 Comparación de las principales características de sensores de temperatura.

Características	Waterproof (DS18B20)	Vernier Sensor - Stainless Steel Temperature Probe
Rango de temperatura (°C)	-55 a 125	-40 a 135
A prueba de agua	Si	Si
Tiempo de respuesta (seg)	3	10
Precisión	0.5	0.5
Tipo de sensor	DS18B20	NTC Thermistor

Fuente: Autores.

De las características mostradas podemos apreciar que ambos sensores presentan características similares; sin embargo, el sensor Waterproof (DS18B20) es más económico, por tal razón será ocupado en el sistema diseñado.

Este es un sensor de temperatura digital a prueba de agua, aplicado en el control industrial, termómetros, sistemas térmicos, etc. El mismo se muestra en la Figura 3.8:



Figura 3.8 Waterproof (DS18B20)
Fuente: [50].

Algunas de las características de este sensor son presentadas en la Tabla 3.10:

Tabla 3.10 Características del sensor Waterproof (DS18B20).

Descripción	Especificaciones
Tipo de sensor	DS18B20 Dallas semiconductor
Rango de medición (°C)	-55 a 125
A prueba de agua	Si
Tiempo de respuesta (seg)	3
Resolución (bits)	9 a 12
Alimentación (volts)	3 a 5

Fuente: Autores.

3.4.2.1.4. Sensor de nivel.

Para el sensor de nivel se ha considerado sensores ultrasónicos, esta tecnología se desempeña mejor en medios acuosos en comparación a los sensores que ocupan principios ópticos. Se analiza dos tipos de sensores los cuales se muestran en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Comparación de las principales características de sensores de nivel.

Características	HRXL-MaxSonar	HC - SR04 Ultrasonic Ranging Module
Rango de medición (m)	0.5 a 5	0.2 a 4
Ingress Protection	Si, IP67	No
Voltaje (V)	2.7/5	5
Resolución (mm)	1	3
Consumo de corriente (mA)	2.9	15

Fuente: Autores.

De las características mostradas en el la tabla anterior podemos observar que el sensor HRXL-MaxSonar cuenta con un menor consumo energético y posee una protección IP67. Por ello, será ocupado en el sistema diseñado al mismo se lo puede observar en la Figura 3.9.



Figura 3.9. Sensor MB7364 HRXL-MaxSonar.
Fuente: [51].

Algunas de las características de este sensor son presentadas en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12 Características del sensor MB7364 HRXL-MaxSonar.

Descripción	Especificaciones
Resolución (mm)	1
Velocidad de lectura (Hz)	6
Salida del sensor	Analógica, Serial y Ancho de pulso.
Corriente mínima requerida (mA)	2.9
Nivel de protección	IP 67
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40 a +65

Fuente: Autores.

3.4.2.1.5. Microcontrolador.

Para el desarrollo del algoritmo se utilizará Arduino, por tal razón se requiere que el microcontrolador sea compatible con esta herramienta.

Se analiza los modelos de microcontroladores más comerciales en este medio: ATMEGA 328, ATMEGA 2560 y ATMEGA 168, en la Tabla 3.13 se presenta sus principales características.

Tabla 3.13 Comparación de las principales características de un microcontrolador.

Características	ATMEGA328	ATMEGA2560	ATMEGA168
CPU (bit)	8	8	8
FLASH MEmory (KB)	32	256	16
SRAM (KB)	2	8	1
EEPROM (KB)	1	4	0.512

Puertos I/O	23	86	23
Reloj (MHz)	20	16	20
UART	1	4	1
ADC	6	16	8
Interrupciones externas	24	32	24
Arquitectura	RISC	RISC	RISC

Fuente: Autores.

El ATMEGA 328 posee la memoria necesaria para los 8KB que necesita el bootloader de Arduino, así como las entradas analógicas y digitales necesarias para la conexión de los sensores. Al elegir este microcontrolador se mantiene un equilibrio entre recursos y costo, ya que con el ATMEGA 2560 sobredimensionamos los recursos e incrementamos el costo de la mota, por otro lado, el ATMEGA 168 no posee los recursos de procesamiento necesarios para poner en operación la mota. En la Figura 3.10 se puede observar al microcontrolador y la distribución de sus pines.

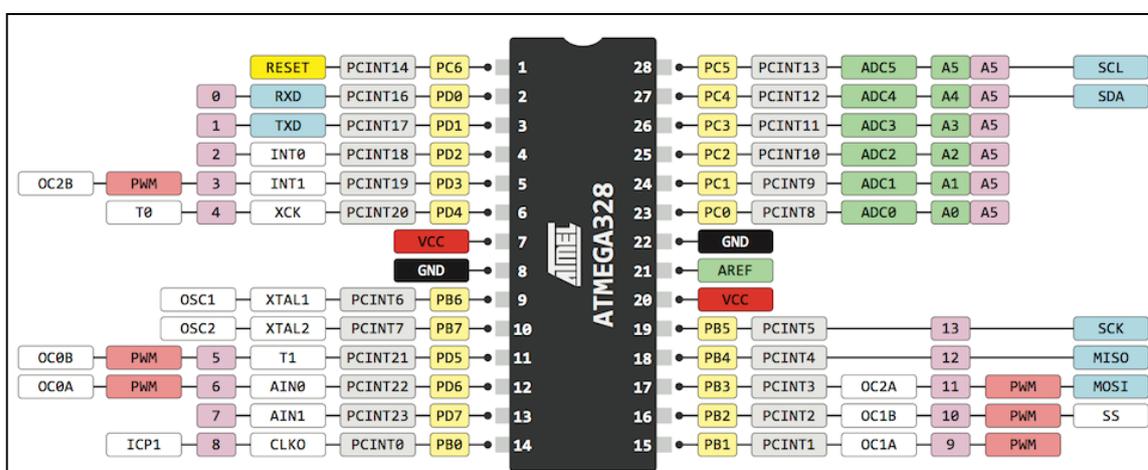


Figura 3.10 ATMEGA 328, Distribución de pines.

Fuente: [52].

3.4.2.1.6. Memoria externa.

Además de transmitir los datos al nodo coordinador, las motas almacenarán los valores de las variables en una memoria externa, debido a su disponibilidad, tamaño y capacidad de almacenamiento, se utiliza una memoria micro-SD.

3.4.2.1.7. Shield Open Garden Hydroponics.

Para el acondicionamiento de la señal de los sensores de pH y conductividad se utiliza el módulo hydroponics de la plataforma Open Garden. Para ello también es necesario utilizar

el shield principal que ofrece esta plataforma. En la Figura 3.11 se indica el shield y las diferentes etapas que lo conforman.

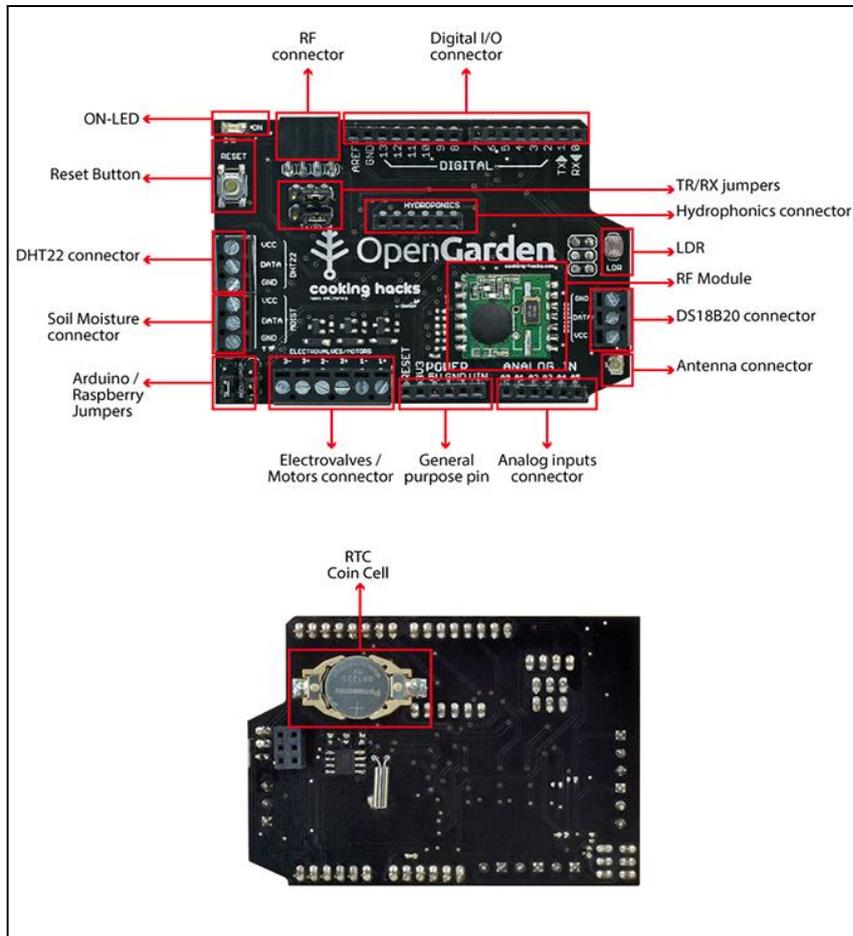


Figura 3.11 Shield Open Garden.
Fuente: [53].

En la Figura 3.12 se muestra el módulo Open Garden Hydroponics, el cual es usado para acondicionar la señal de los sensores de pH y Conductividad, este módulo se sobrepone sobre el shield de Open Garden en los pines específicos mostrados en la Figura 3.11.

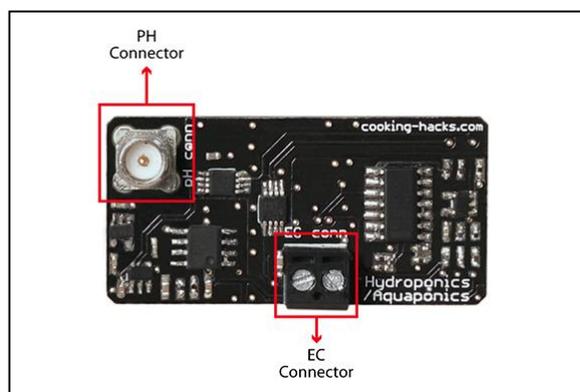


Figura 3.12 Open Garden Hydroponics.
Fuente: [53].

El módulo hydrophonycs contiene un conector SMA macho para conectar el sensor de pH, sin embargo, el conector del sensor es BNC macho, por lo tanto, se debe utilizar un pigtail de SMA hembra a BNC macho. Se conecta el sensor de conductividad al módulo a través de la bornera indicada en la Figura 3.12, este sensor no tiene polaridad.

3.4.2.2. Construcción de la mota.

En la Tabla 3.14 se resume los elementos seleccionados para la construcción de la mota.

Tabla 3.14 Componentes de la mota.

Sensores	pH	Libelium sensor
	Conductividad	Sensor Conductivity Libelium
	Temperatura	Waterproof (DS18B20)
	Nivel	MB7364 HRXL-MaxSonar
Microcontrolador		ATMEGA328
Memoria Externa		microSD 2GB
Comunicación		Xbee Pro S2

Fuente: Autores.

Una vez seleccionados los módulos para las diferentes etapas de la mota, se procede a diseñar el circuito. En la Figura 3.13 se indica las conexiones entre los diferentes elementos y etapas de la mota.

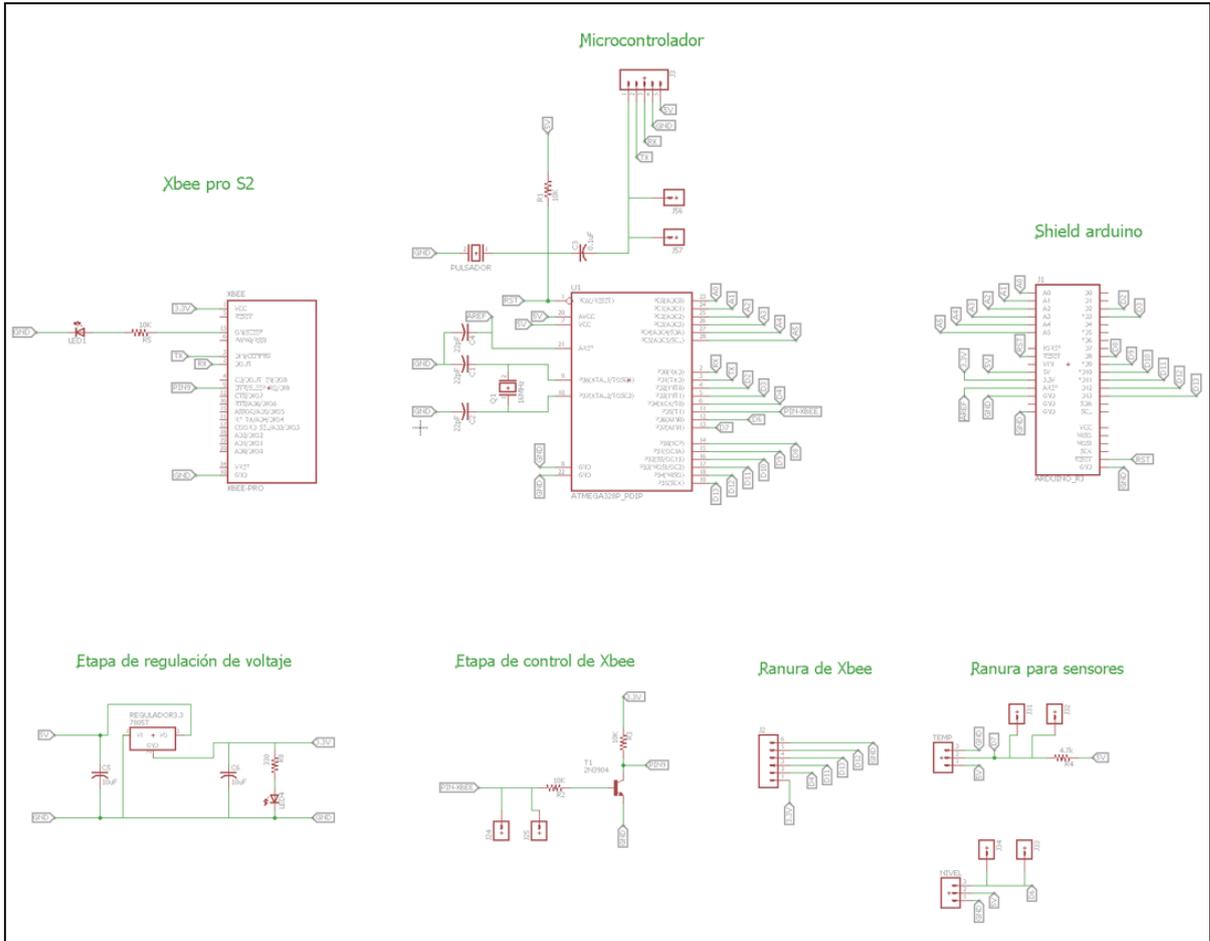


Figura 3.13 Diagrama esquemático del PCB de la mota.
Fuente: Autores.

El elemento principal del circuito es el microcontrolador. En la Figura 3.14 se puede observar el uso de cada uno de sus pines.

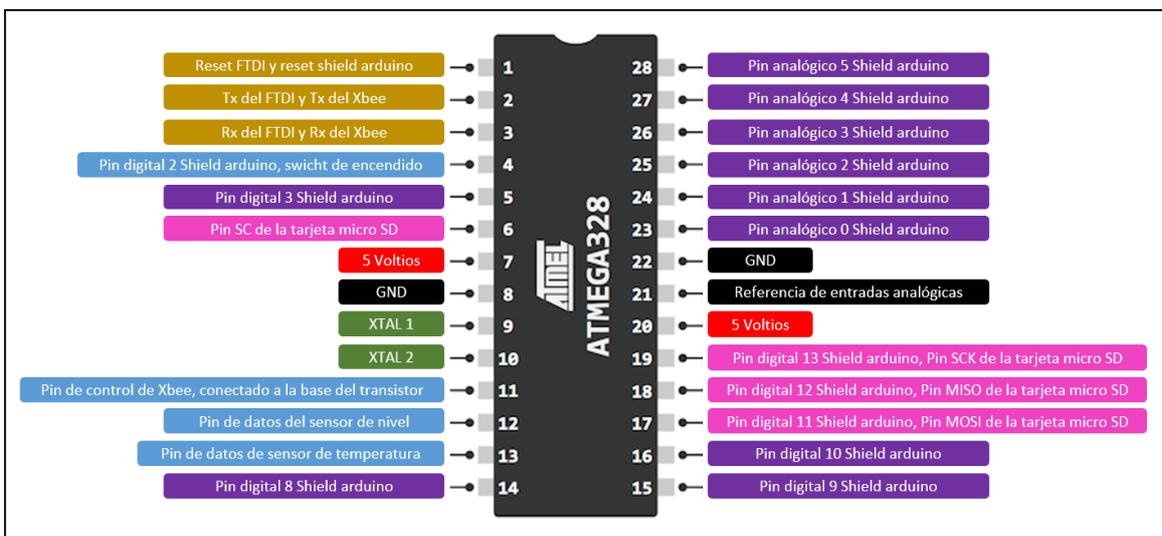


Figura 3.14 Distribución de pines del microcontrolador de la mota.
Fuente: Autores.

Una vez establecidas todas las conexiones necesarias para el correcto funcionamiento de la PCB, se procede a determinar la ruta de cada una de las pistas que forman el circuito. En la Figura 3.15 se puede observar la placa diseñada y la ubicación de sus componentes. En ella se aprecia pistas azules y amarillas, las primeras pertenecen a la cara posterior y las segundas a la cara superior de la placa.

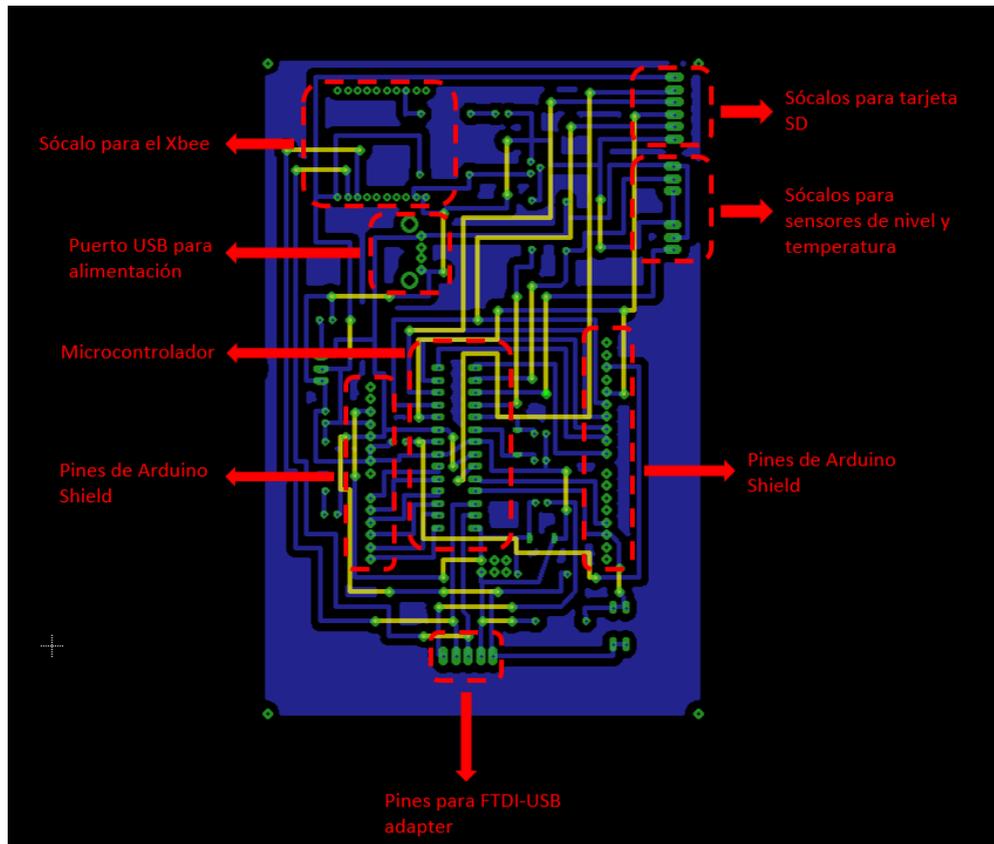


Figura 3.15 Diseño de la PCB para la mota.
Fuente: Autores.

En la Figura 3.16 se indica la cara posterior y superior de la placa, de derecha a izquierda, respectivamente.

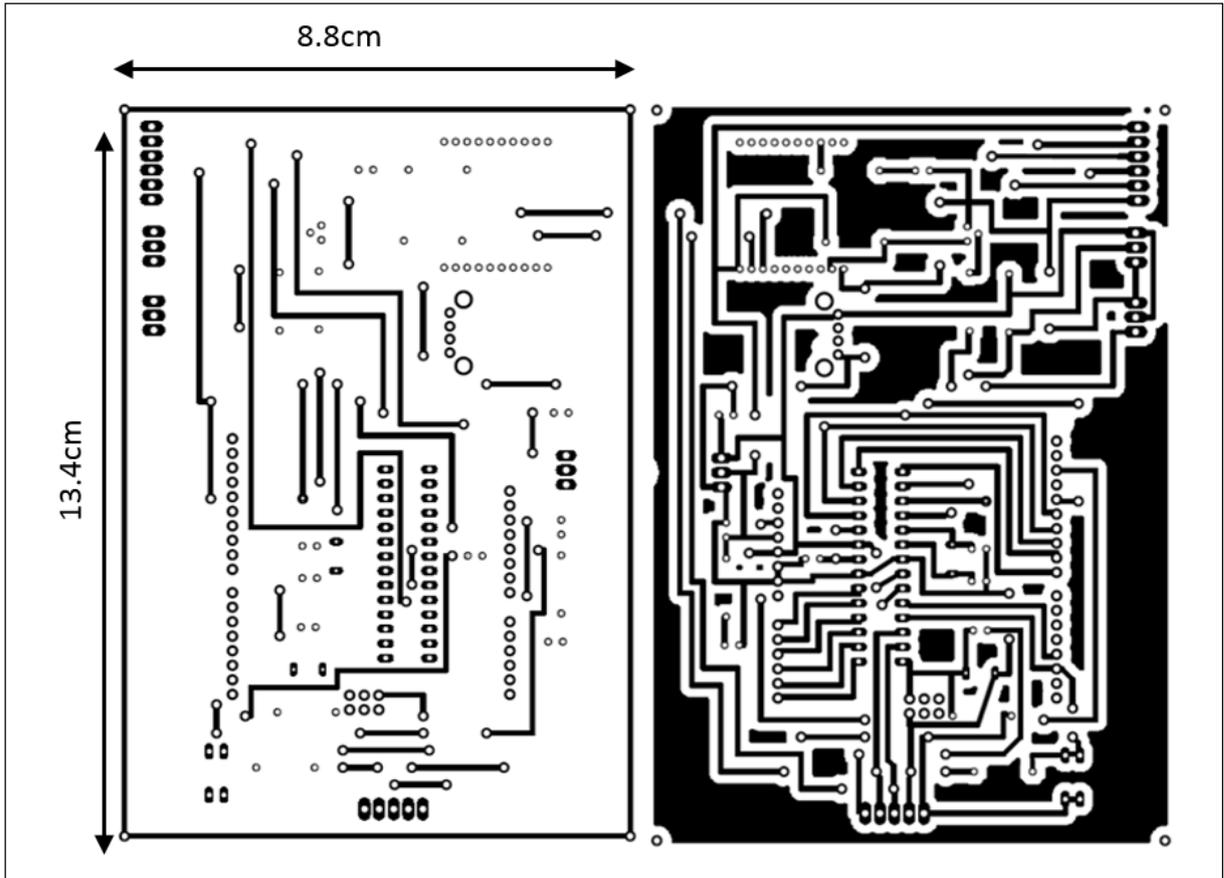


Figura 3.16 Circuito impreso de la PCB para la mota.
Fuente: Autores.

La construcción de la placa de circuito impreso es realizada en tres etapas. Primero se efectúa la transferencia térmica de las pistas desde el papel fotográfico hacia el dieléctrico recubierto de cobre (baquelita), para ello se utiliza una plancha estampadora. Posteriormente se eliminan las partes de cobre por donde no pasan las pistas, para ello se sumerge la baquelita en un recipiente con agua y percloruro férrico disuelto, el agua debe estar cerca de 100°C (cerca a su punto de ebullición). Finalmente se limpia la placa para proceder a colocar y soldar todos sus componentes. En la Figura 3.17 se muestra el resultado del proceso descrito anteriormente.

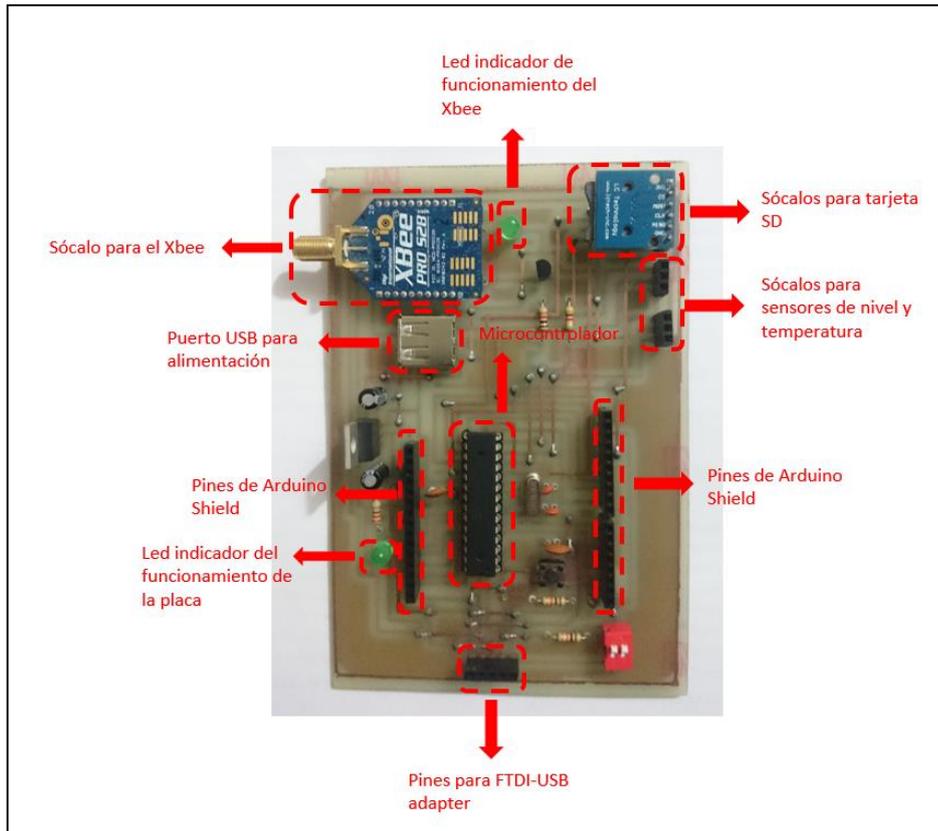


Figura 3.17 Placa de circuito impreso de la mota.
Fuente: Autores.

3.4.2.3. Análisis Energético de la mota.

El análisis del consumo energético de la mota se dividió en tres partes:

- PCB desarrollada.
- Sensores y módulo micro-SD.
- Módulo de comunicación Xbee.

Para medir el consumo energético de la mota se utiliza un multímetro KEYSIGHT 3446 y el software propietario para este BenchVue Keysight (Agilent). Utilizando este hardware y software se determinó que la PCB consume 24.34 mA, los sensores y el módulo micro-SD requieren 25.67 mA y por último el módulo de comunicación Xbee pro S2 configurado a su potencia máxima de 250mW consume un total de 54.38 mA.

En total, el consumo de la mota en estado de transmisión es de 104,43 mA, en la Figura 3.18, se indica los porcentajes de consumo energético de sus elementos.

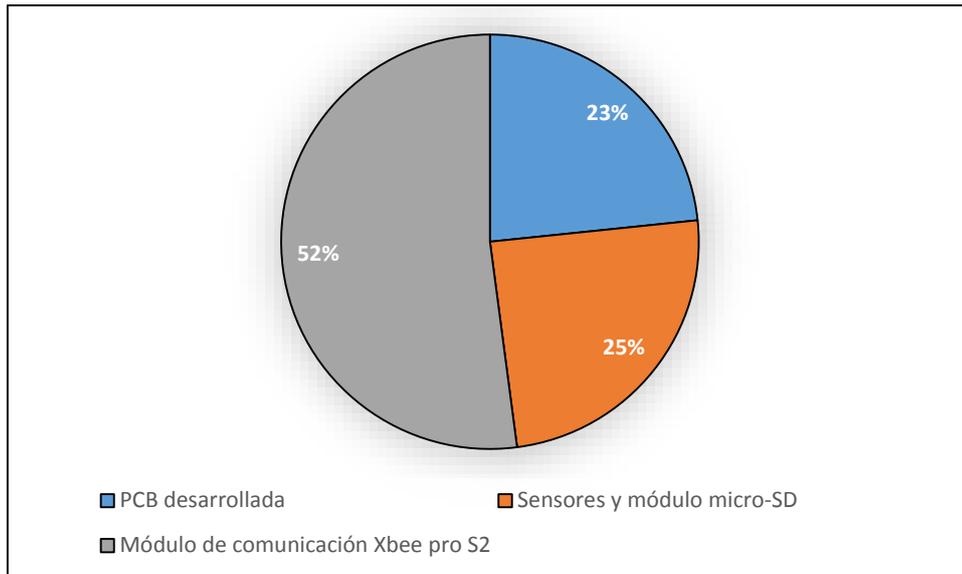


Figura 3.18 Porcentaje de consumo de corriente de los elementos de la mota.
Fuente: Autores.

De igual forma utilizando el mismo hardware y software se obtiene que el comportamiento del consumo energético de la mota, el mismo que es mostrado en la Figura 3.19.

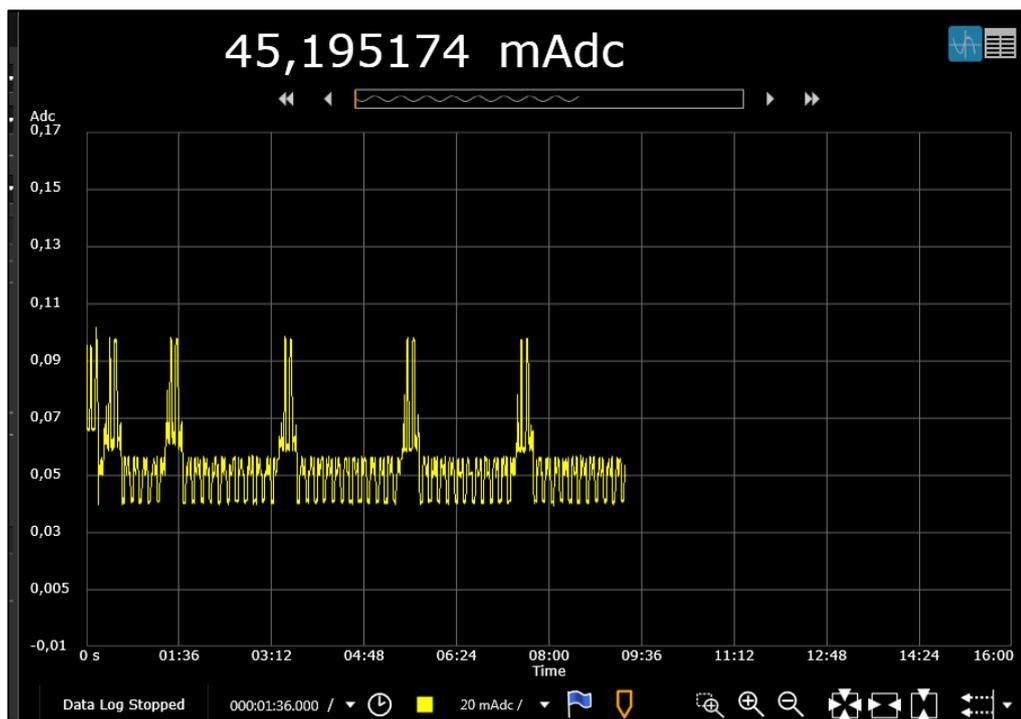


Figura 3.19 Consumo energético de la mota.
Fuente: Autores.

Analizando el comportamiento de la mota se obtiene los tiempos en que está transmite datos y el tiempo en que se encuentra adquiriendo las variables, a partir de estos se puede obtener el consumo diario de la mota (Ver Tabla 3.15).

Tabla 3.15 Consumo energético diario de la mota.

Envío de datos				
Tiempo diario (s/día)	Voltaje(V)	Promedio de corriente (A)	Promedio de potencia (W)	Consumo diario (Wh/día)
0,04	5	0,09108	0,4554	0,018216
Adquisición de datos				
23,96	5	0,05581	0,27905	6,686038
			Total Wh/día	6,704254

Fuente: Autores.

Una vez que se obtiene el consumo diario se puede dimensionar una batería para proveer la autonomía a la mota. Para cálculo se debe tomar en cuenta la descarga máxima de la batería, ya que un desgaste excesivo disminuye el tiempo de vida de esta, otro punto a tomar en cuenta es los días de autonomía que deseamos tener.

La capacidad de la batería en amperios/hora se la obtiene con la Ecuación 3.1.

$$C_n = \frac{1.1 * E_d * A}{V * P_d} \quad (\text{Ec 3.1})$$

En donde:

C_n = capacidad de la batería en Ah.

E_d = Consumo de energía Wh/día.

A = días de autonomía de la batería.

V = voltaje de la batería en V.

P_d = Profundidad máxima de descarga en %.

Tomando en cuenta esta ecuación, si consideramos que necesitamos que la mota tenga tres días de autonomía y una profundidad máxima de descarga del 80%, tendríamos como resultado que la capacidad de la batería debería ser:

$$C_n = \frac{1.1 * E_d * A}{V * P_d}$$

$$C_n = \frac{1.1 * 6.7 \text{Wh/día} * 3 \text{días}}{5 \text{ V} * 80 \%}$$

$$C_n = 5.53 \text{Ah}$$

3.4.3. Diseño y construcción del coordinador.

La función del coordinador es recibir las tramas desde las motas y enviarlas al servidor a través de una petición GET, para ello se utiliza el protocolo HTTP.

Este elemento se lo instalará en el laboratorio de la PTAP, este laboratorio se encuentra en un lugar céntrico de la zona de cobertura de la WSN y cuenta con la infraestructura necesaria para conectarse a internet.

Este dispositivo no contará con baterías, será conectado directamente a la red eléctrica de 120 V.

Los requerimientos que debe cumplir el nodo coordinador son:

- Establecer comunicación con las motas y con el servidor, a través de Zigbee e IEEE 802.11 respectivamente.
- Funcionar coordinadamente con el resto de dispositivos de la red.
- Desentramar los paquetes recibidos por cada una de las motas.
- Capacidad de operar con el protocolo HTTP.

En función de los requerimientos planteados, se realiza un modelo general del nodo coordinador, el cual es mostrado en la Figura 3.20.

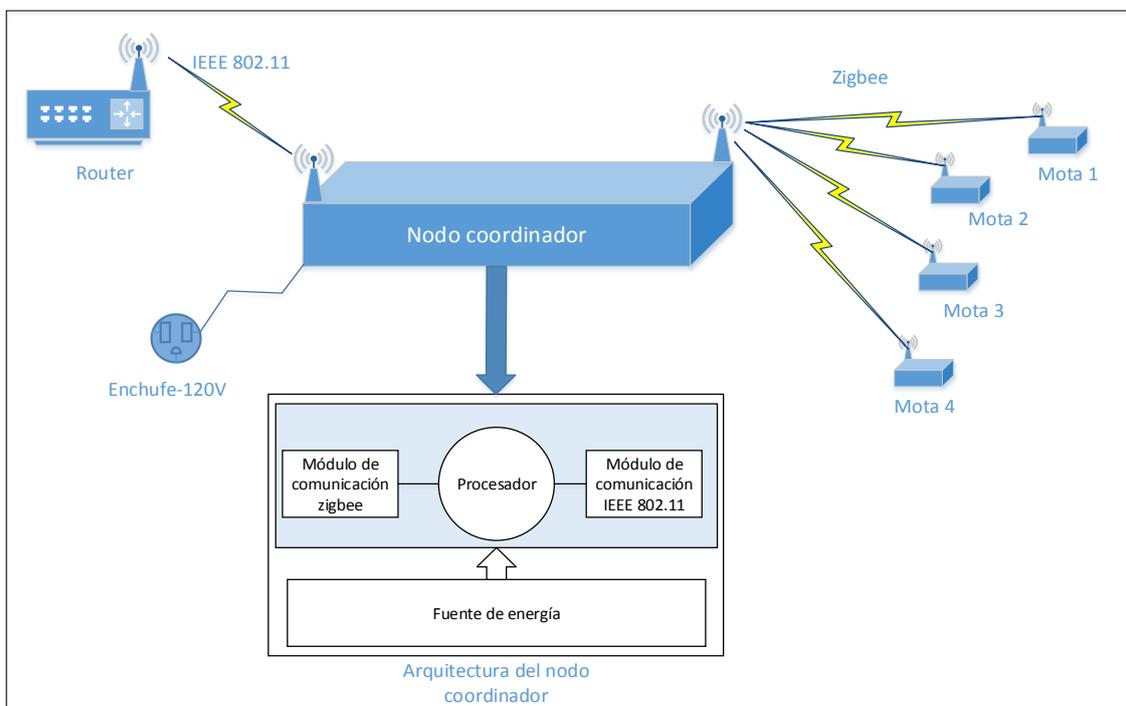


Figura 3.20 Diseño conceptual del nodo coordinador.
Fuente: Autores.

En la sección 3.4.1.2 se definió los módulos de comunicación que se utilizará en el sistema; los módulos de Xbee S2 permiten la comunicación entre las motas y el nodo coordinador, por otro lado, el módulo RN-XV Wifly permite la comunicación entre el nodo coordinador y el router.

Los requerimientos de procesamiento del nodo coordinador son similares al de la mota, por lo tanto se utiliza el mismo microcontrolador (ATEMEGA 328).

En la Figura 3.21 se muestra el diagrama con las conexiones entre los diferentes elementos del circuito. La placa debe contener los circuitos necesarios para conectar el microcontrolador con los módulos de comunicación, para alimentar los elementos con 5 o 3.3 voltios según sea el caso y para programar el microcontrolador a través de un FDTI-USB Adapter.

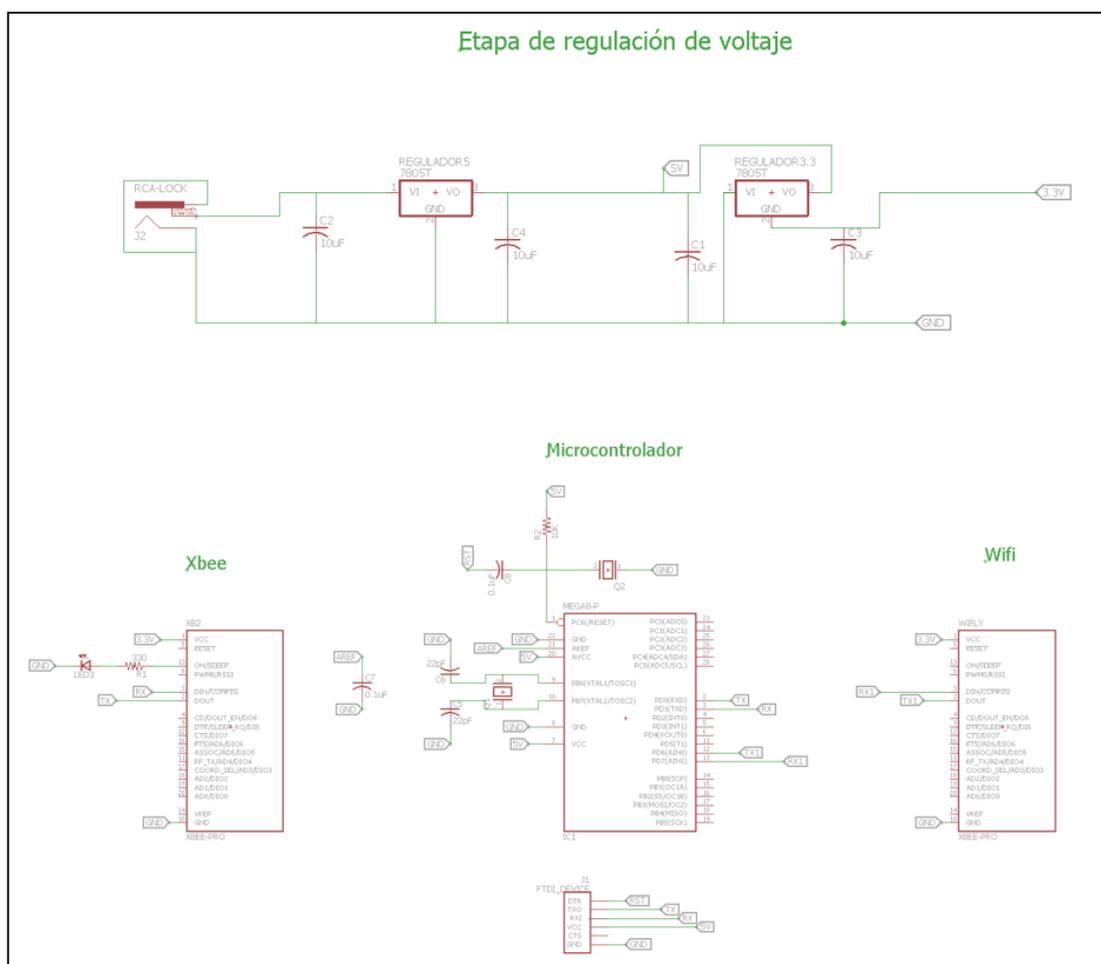


Figura 3.21 Diagrama esquemático del PCB del coordinador.
Fuente: Autores.

En la Figura 3.22 se indica los pines del microcontrolador que serán ocupados.

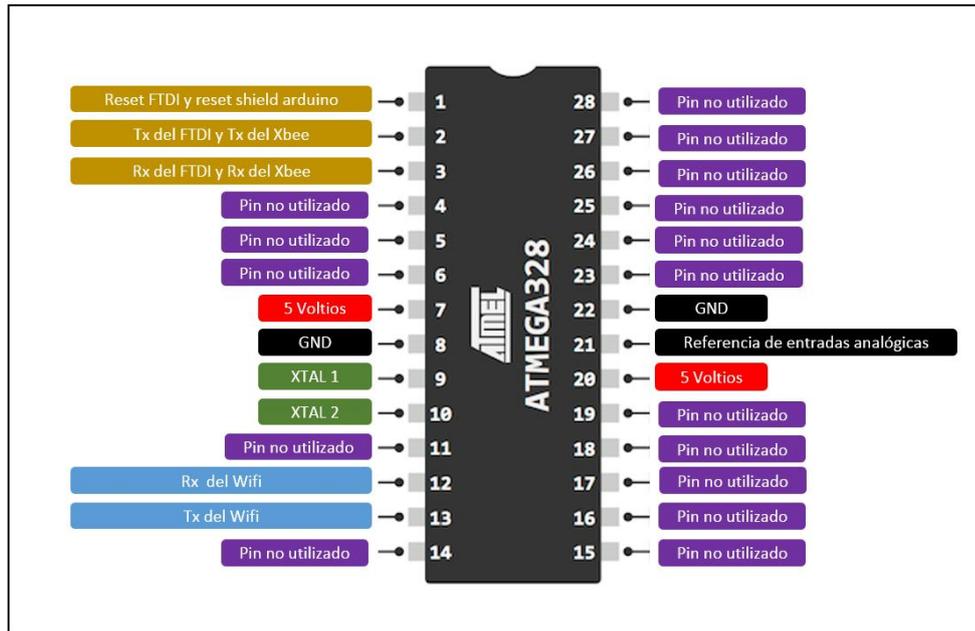


Figura 3.22 Distribución de pines del microcontrolador del nodo coordinador.
Fuente: Autores.

En la Figura 3.23 se muestra las rutas de las pistas que hacen posible las conexiones descritas anteriormente, además se puede apreciar la ubicación de sus elementos. La PCB está formada por dos capas, sin embargo, debido al número y tamaño de las pistas de la capa superior (color amarillo) se procederá a hacer puentes con cable de cobre, con el fin de evitar la complejidad de la elaboración de una PCB de dos capas.

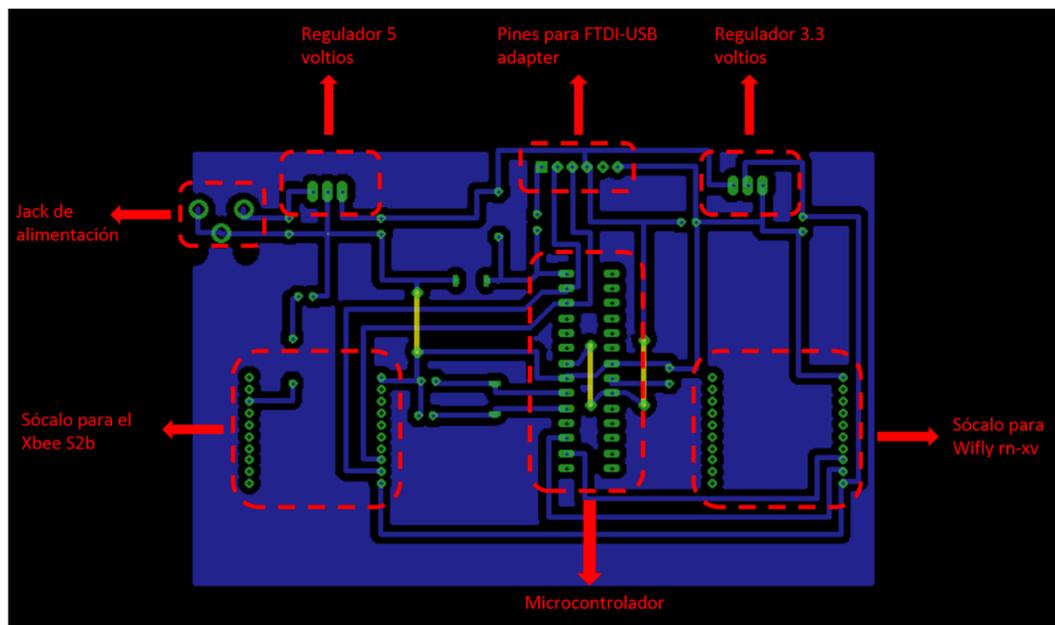


Figura 3.23 Diseño de la PCB para el nodo coordinador.
Fuente: Los Autores.

En la Figura 3.24 se muestra el circuito que se debe imprimir en papel fotográfico para proceder a transferirlo a la baquelita.

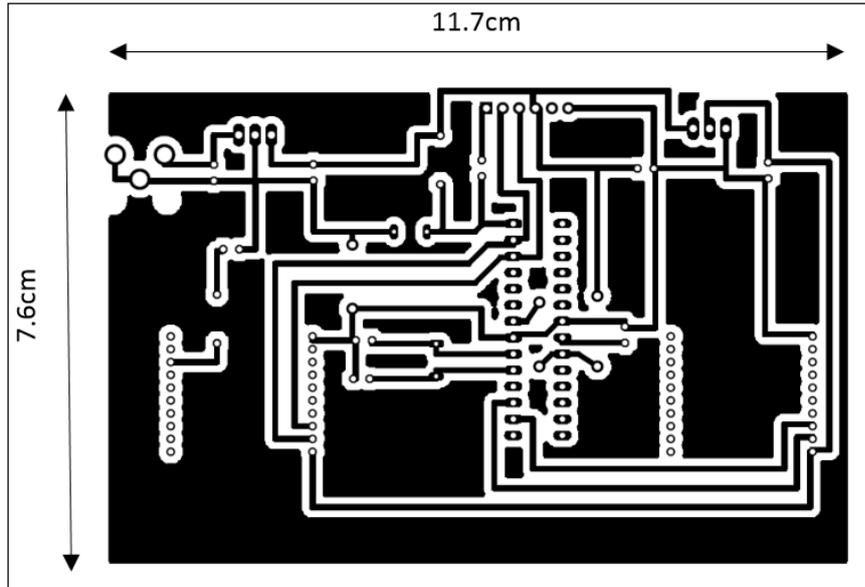


Figura 3.24 Circuito impreso de la PCB para el nodo coordinador.
Fuente: Autores.

Una vez que se ha realizado la transferencia se procede a sumergir la baquelita en agua mezclada con percloruro férrico, para eliminar el cobre innecesario del PCB. Finalmente se coloca los componentes en su lugar para proceder a soldarlos, el resultado final de este proceso se muestra en la Figura 3.25.

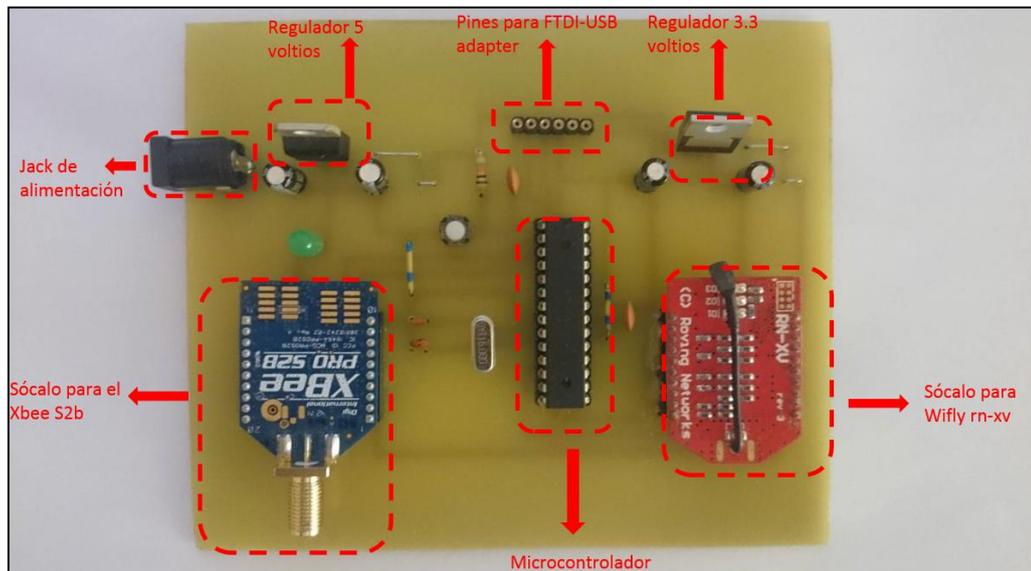


Figura 3.25 Placa de circuito impreso del nodo coordinador.
Fuente: Los Autores.

3.5. Diseño lógico.

Los algoritmos diseñados deben ser eficientes y permitir el funcionamiento coordinado entre los elementos de la WSN. Se implementan utilizando el bootloader de Arduino, el bootloader es un gestor de arranque que permite programar un microcontrolador a través de un IDE externo; en este caso, Arduino.

En la Figura 3.26 se muestra la iteración entre las motas, el nodo coordinador y el servidor; las motas forman sus tramas con los valores adquiridos y las envían al nodo coordinador, finalmente, éste desentrama los datos y los envía a la aplicación WEB mediante internet.

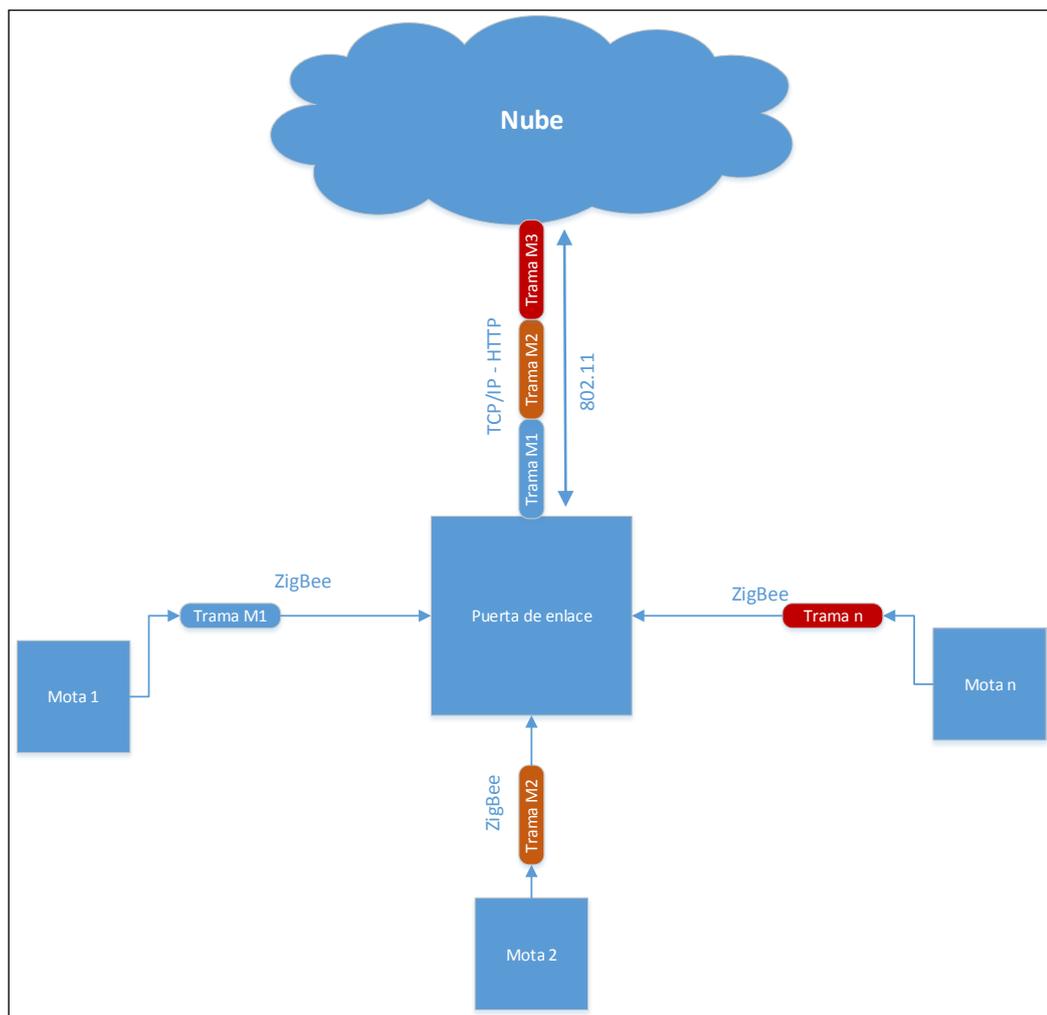


Figura 3.26 Esquema general de interacción entre las motas y el nodo coordinador.
Fuente: Los Autores.

Tal como se indica en el diagrama de la Figura 3.27, la puerta de enlace recibe las tramas de manera secuencial, por ésta razón, para evitar colisiones (que dos o más motas envíen datos al mismo tiempo), cada uno de los elementos del sistema deben funcionar de manera coordinada.

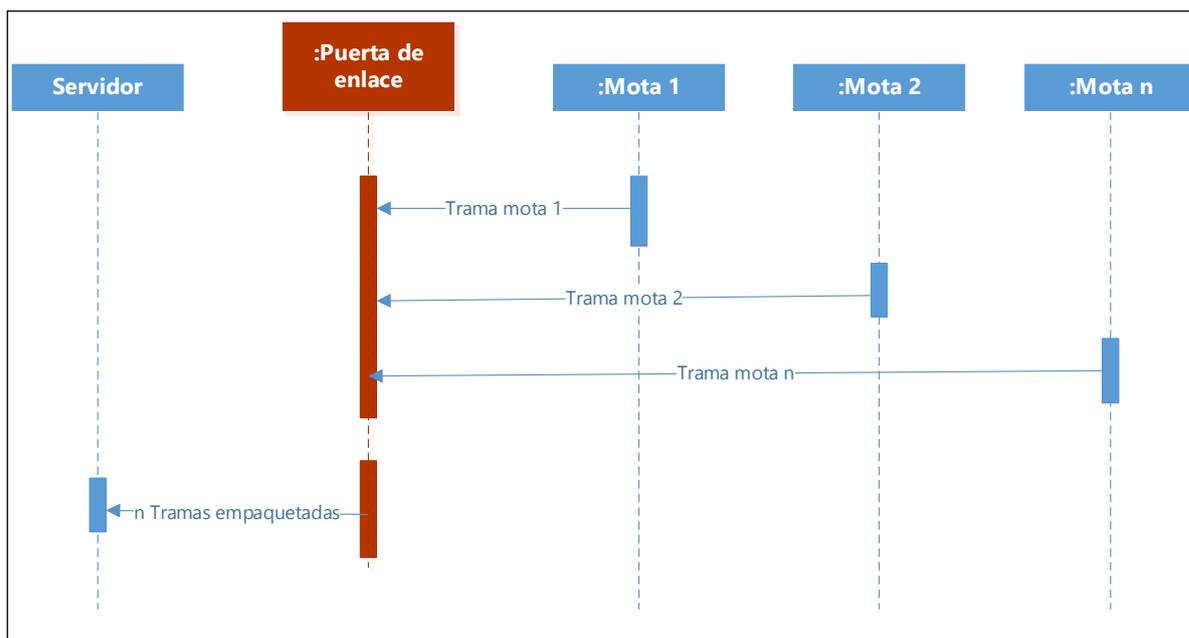


Figura 3.27 Diagrama secuencial UML del algoritmo del sistema.
Fuente: Los Autores.

En las motas y en la puerta de enlace se debe implementar un algoritmo diferente, uno de ellos debe adquirir los datos y el otro subirá los datos a la aplicación WEB. A más de los algoritmos descritos, se debe seleccionar y configurar la aplicación WEB donde se almacenaran los valores de las variables.

Finalmente se va a realizar una aplicación de escritorio donde el usuario pueda analizar los datos actuales e históricos; finalmente, tomando en cuenta una de las mayores tendencias tecnológicas de los últimos años, el uso de dispositivos móviles, se realiza una aplicación donde se pueda analizar la información de la WSN desde cualquier dispositivo móvil conectado a internet.

3.5.1. Selección y configuración del servidor.

Se requiere una aplicación WEB donde se pueda almacenar todos los datos adquiridos y tener acceso a ellos desde cualquier dispositivo conectado a internet.

En la sección 2.6 se describe algunas aplicaciones WEB orientadas a plataformas IoT (Internet de las cosas), entre ellas las que mejor se adaptan al requerimiento del presente sistema son: Ubidots y dataSparkFun. En la Tabla 2.4 se indican sus principales características. DataSparfun es una aplicación de código abierto, totalmente gratis y permite implementarse en un servidor propio sin costo alguno. Por estas razones, es la más viable para nuestro sistema.

En dataSpakFun, se ingresa los datos a través del método GET del protocolo de comunicación HTTP.

HTTP funciona como un protocolo de petición-respuesta entre un cliente y el servidor. Un navegador web puede ser el cliente y una aplicación en un equipo que aloja un sitio web puede ser el servidor.

Para crear la petición GET al servidor se debe contar con la siguiente información.

- Clave publica
- Clave privada
- EL nombre y el valor de las variables

En la Figura 3.28 se indica la estructura del URL necesaria para insertar información en el servidor.

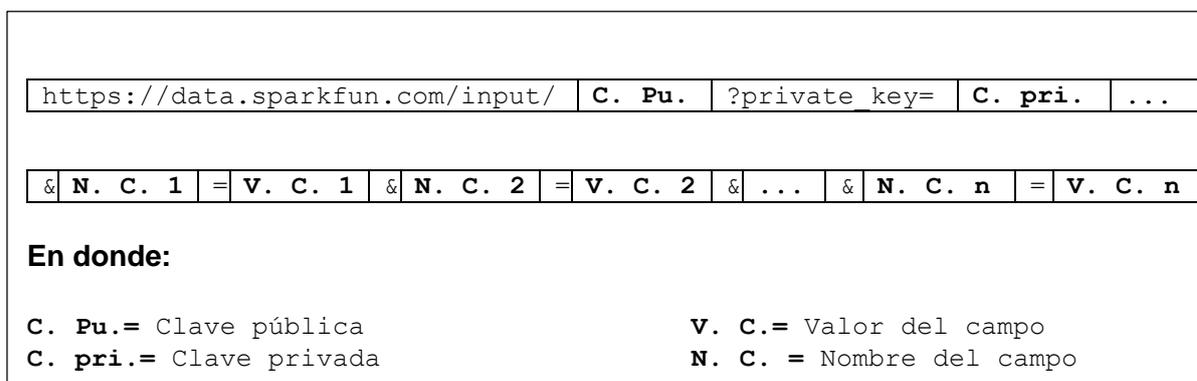


Figura 3.28 Estructura del método GET para el servidor de DataSparkun.
Fuente: Los Autores.

A continuación se realiza un ejemplo de una petición GET (request) a una cuenta de DataSparkfun, en éste caso los parámetros son:

URL del servidor WEB: data.sparkfun.com

Operación a realizar: registrar datos => input

Clave pública: zDbMvdGORNsYjampGW91

Clave privada: Yy8YdEwoe2TDwm0K5Wro

Finalmente, se indica la estructura del URL con los parámetros indicados, los valores numéricos en el presente ejemplo son aleatorios.

https://data.sparkfun.com/input/zDbMvdGORNsYjampGW91?private_key=Yy8YdEwoe2TDwm0K5Wro&conductividad=15.73&estado=22.39&nivel=25.90&ph=29.84&temperatura=7.75&fecha=30/11//2015&hora=11:45:36

3.5.2. Diseño del algoritmo para la mota.

De los requerimientos generales establecidos para la mota en la sección 3.4.2, tres se relacionan con el software:

- Adquirir los datos de temperatura, pH, conductividad y nivel del agua (adquirir las variables desde los sensores).
- Integrar las variables adquiridas en una sola trama.
- Comunicación y funcionamiento coordinado entre la mota y el coordinador.

En la Figura 3.29 se muestra un flujograma con el funcionamiento del algoritmo diseñado. En primer lugar, en la sección de configuración inicial del algoritmo, se inicia las librerías/variables necesarias, y se declara los pines de entrada/salida del microcontrolador, posteriormente la mota ingresa a un proceso repetitivo e indefinido, en cada iteración la mota adquiere las muestras de los sensores, obtiene la fecha y hora desde el RTC, crea las tramas, las envía al nodo coordinador y graba los datos en la memoria SD. La condición para que se ejecute la iteración es que haya transcurrido el tiempo establecido en el algoritmo.

Como se observa en la Figura 3.27, el nodo coordinador recibe las tramas secuencialmente, por ello, las motas deben enviar sus tramas en diferentes instantes, de ésta manera se evita colisiones.

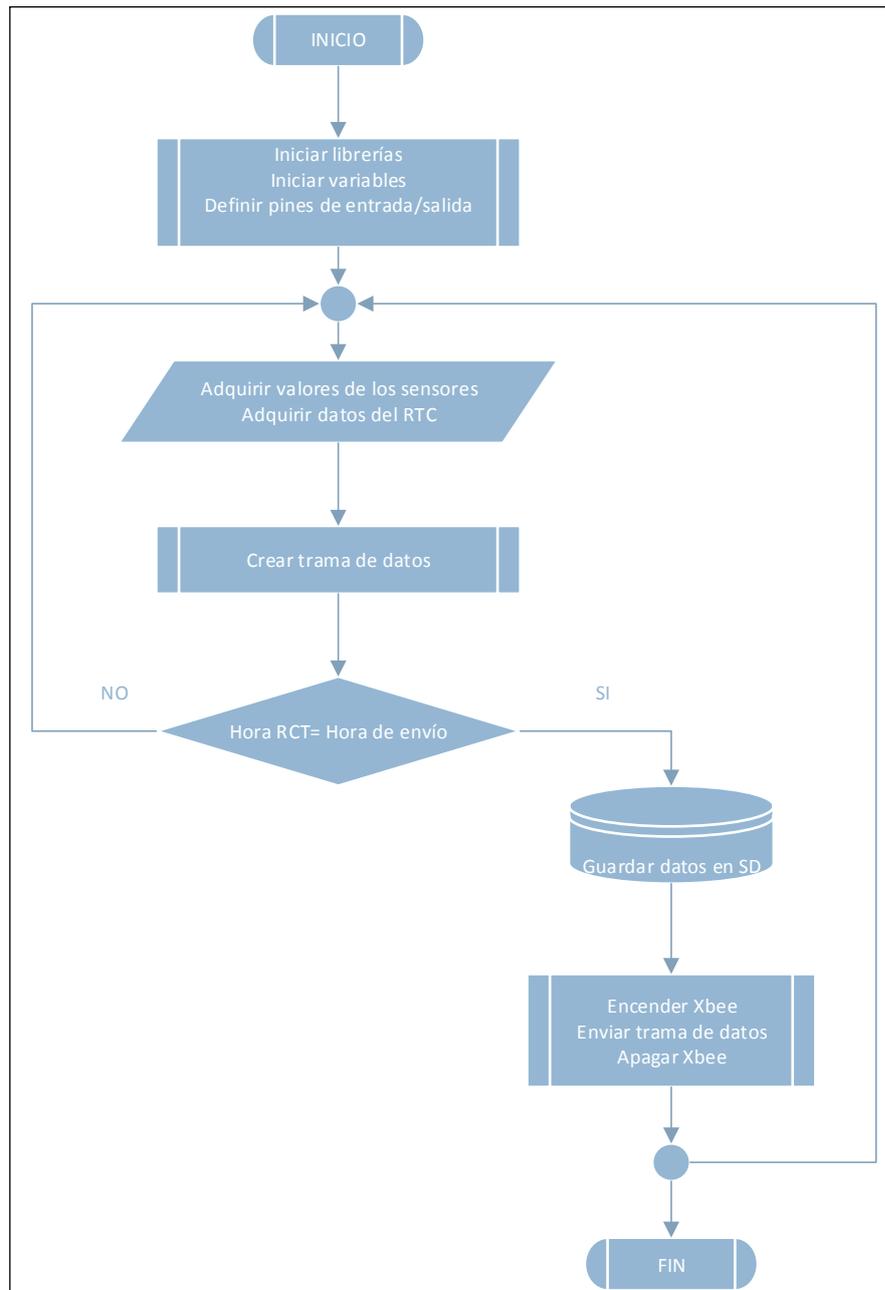


Figura 3.29 Flujograma de cada moto.
Fuente: Los Autores.

Para determinar la temperatura en grados centígrados se utiliza las librerías “One Wire” y “Dallas Temperature” proporcionadas en [54].

En el caso del sensor ultrasónico, se convierte la duración de un pulso en alto dado por el sensor a distancia en cm a través de Ec. 3.2.

$$d_{cm} = \left(\frac{P_{alto}}{10}\right) + 13 \quad \text{Ec 3.2 [55]}$$

En donde:

d_{cm} = distancia cm.

P_{alto} = tiempo en alto del pulso dado por el sensor en (μs).

En cambio, el voltaje de salida del sensor de pH se obtiene a través de 3.3:

$$V_{sensor} = \left(\frac{P_{muestras} * 5000}{1024} \right) \quad \text{Ec 3.3 [53]}$$

En donde:

V_{sensor} = Voltaje adquirido

$P_{muestras}$ = Promedio de 10 muestras adquiridas del sensor.

5000 = voltaje máximo adquirido por el microcontrolador (mV).

1024 = resolución del pin de entrada analógico.

El resultado de 3.4 se relaciona con la magnitud de pH a través de:

$$PH = 0.7 + \left(\frac{k - V_{sensor}}{sensibilidad} \right) \quad \text{Ec 3.4 [53]}$$

En donde:

pH = magnitud de pH

k y sensibilidad = constantes obtenidas del proceso de calibración de los sensores.

V_{sensor} = valor en mV obtenido de Ec 3.3.

Finalmente, para el calculo de la conductividad se determina la resistencia en el electrodo según Ec 3.5:

$$r = \left(\frac{P_{muestras} - k}{j} \right) \quad \text{Ec 3.5 [53]}$$

En donde:

r = Resistencia en el electrodo (afectado por la conductividad del agua)

$P_{muestras}$ = Promedio de muestras adquiridas del sensor

“k” y “j” = constantes utilizadas para la linealizar la salida del sensor [open garden]

Finalmente, se relaciona la resistencia en el electrodo con la conductividad del agua a través de Ec. 3.6.

$$c = \left(\frac{const1}{r + const2} \right) \quad \text{Ec 3.6 [53]}$$

En donde:

const1 y const 2 = constantes obtenidas en el proceso de calibración de los sensores

r = resistencia en los electrodos

c= Conductividad del agua (μS/m)

Una vez adquiridos todos los datos se procede a realizar una trama, el inicio y el final de cada campo en la trama 1 se utiliza caracteres especiales. Al inicio de la trama se inserta un "#", posteriormente van cada una de las variables, todas ellas separadas por un ";". La segunda trama inicia con un "%" y los valores son separados por un "," tal como se muestra en la Figura 3.30.

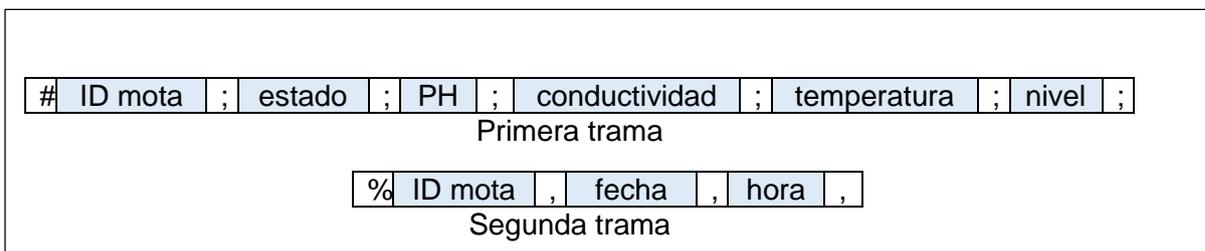


Figura 3.30 Formato de las tramas.
Fuente: Los Autores.

3.5.3. Diseño del algoritmo para el nodo coordinador.

Se requiere que el nodo coordinador cumpla con los siguientes requerimientos funcionales:

- Establecer comunicación con las motas y con el servidor a través de Zigbee e IEEE 802.11 respectivamente.
- Desentramar los paquetes recibidos por cada una de las motas.
- Capacidad de operar con el protocolo HTTP.

En el flujograma mostrado en la Figura 3.31 se describe el algoritmo diseñado, en la sección de configuración inicial del algoritmo se define las variables, librerías y pines de entrada/salida. Posteriormente, cada vez que se recibe una trama, se extrae sus campos, se identifica que trama es, en caso de ser la primera, pasa a un estado de espera hasta recibir la segunda trama y finalmente, envía los datos a la aplicación IoT seleccionada.

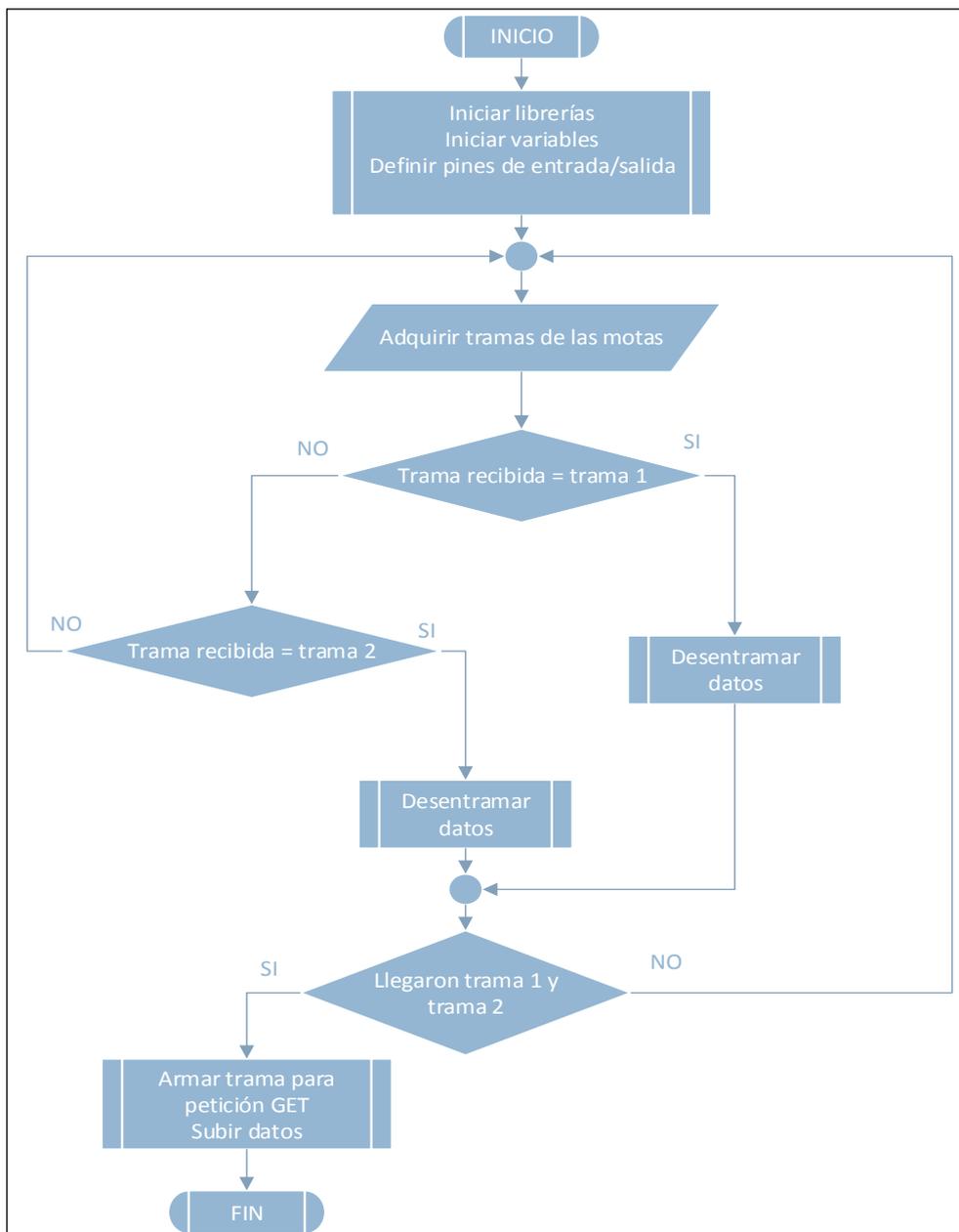


Figura 3.31 Flujograma del nodo coordinador.
Fuente: Los Autores.

Una parte principal del flujograma corresponde a desentramar los datos recibidos, en la Figura 3.32 se muestra el pseudocódigo del algoritmo diseñado para éste propósito, con el fin de tener una mejor comprensión. Con el bucle FOR que inicia en la línea 8 y termina en la 30 se analiza de forma ordenada cada carácter de la trama; con la sentencia IF de la línea 10 se verifica si el carácter analizado es igual a un “;”, de ser el caso, se sabe que existe una transición entre dos campos de la trama, entonces la variable “bandera” aumenta una unidad, con ello los caracteres posteriores serán asignados a la variable siguiente según el formato de entramado; la estructura de control SWITCH CASE de la línea 13 permite concatenar los

caracteres analizados a la variable que le corresponda, ID_mota, estado, pH, conductividad, temperatura o nivel, según sea el caso. Para recibir la segunda trama se aplica el mismo algoritmo con la diferencia que el carácter que determina el fin de un campo es “,” y las variables son fecha y hora.

```

8      Para c <-1 Hasta longitud_trama Con Paso 1 Hacer //recorre todos los caracteres de la trama
9
10     Si caracter_c == ';' Entonces //si el caracter es ";", se detecta el fin del campo
11         bandera<-bandera+1 //se pasa a la siguiente variable
12     Sino
13         Segun bandera Hacer //segun el valor de "bandera" se asigna los caracteres a
14             //la variable correspondiente
15             opcion_1:
16                 mota<-mota+caracter_c
17             opcion_2:
18                 estado<-estado+caracter_c
19             opcion_3:
20                 ph<-ph+caracter_c
21             opcion_4:
22                 conductividad<-conductividad+caracter_c
23             opcion_5:
24                 temperatura<-temperatura+caracter_c
25             opcion_6:
26                 nivel<-nivel+caracter_c
27
28         Fin Segun
29     Fin Si
30 Fin Para

```

Figura 3.32 Pseudocódigo para extraer las variables de la trama recibida.

Fuente: Los Autores.

Hasta este punto del algoritmo, se tiene asignados los valores enviados por las motas a sus variables correspondientes, lo siguiente es enviar las variables al servidor. En la sección 3.5.1 se describió la estructura de la petición GET que se debe hacer al servidor. Para ello primero se establece una conexión con el puerto 80 (puerto predefinido para HTTP) del host en donde se encuentra el servidor (data.sparkfun.com).

Se crea el URL, con los nombres y el valor de las variables que se almacenará (ID_mota, estado, pH, conductividad, temperatura, nivel, fecha y hora), y finalmente, se la envía al servidor.

3.5.4. Diseño de la aplicación para dispositivos móviles

En esta sección se describe los requerimientos y el diseño de una aplicación para dispositivos móviles Android que permita visualizar las variables que el sistema estará monitoreando.

En el diseño conceptual (Sección 3.3) se estableció el funcionamiento general del sistema, se determinó que los datos serán almacenados en un servidor IoT; la principal función de la aplicación será descargar dichos datos y visualizarlos.

Para la descarga de las variables adquiridas del servidor a través de dispositivos móviles será realizada únicamente cuando el usuario lo requiera.

Además, se debe tomar en cuenta que las variables adquiridas son enviadas desde el servidor en el formato de intercambio de datos JSON, por esta razón, los datos deben ser previamente desentramados.

Para cumplir con el funcionamiento anteriormente descrito, la aplicación debe ser capaz de:

- Establecer si el dispositivo se encuentra conectado a internet.
- Almacenar datos.
- Desentramar datos de formato JSON.
- Visualizar datos a través de una gráfica.

Los datos obtenidos por el sistema son confidenciales, únicamente deben tener acceso personal autorizado y que forma parte de la planta de tratamiento de agua; la aplicación debe tener un nivel de seguridad que cumpla con este requerimiento.

Estos son algunos de los requerimientos funcionales de la aplicación, en la

Figura 3.33. Se muestra un flujograma en el cual se describe el funcionamiento de la aplicación. En primera instancia, para acceder a la aplicación, se requiere ingresar el usuario y contraseña, luego se verificará si existe conexión a internet; en caso de que exista se podrá descargar los datos y visualizarlos, por otro lado en caso de no tener acceso a internet la aplicación presentará los últimos datos almacenados.

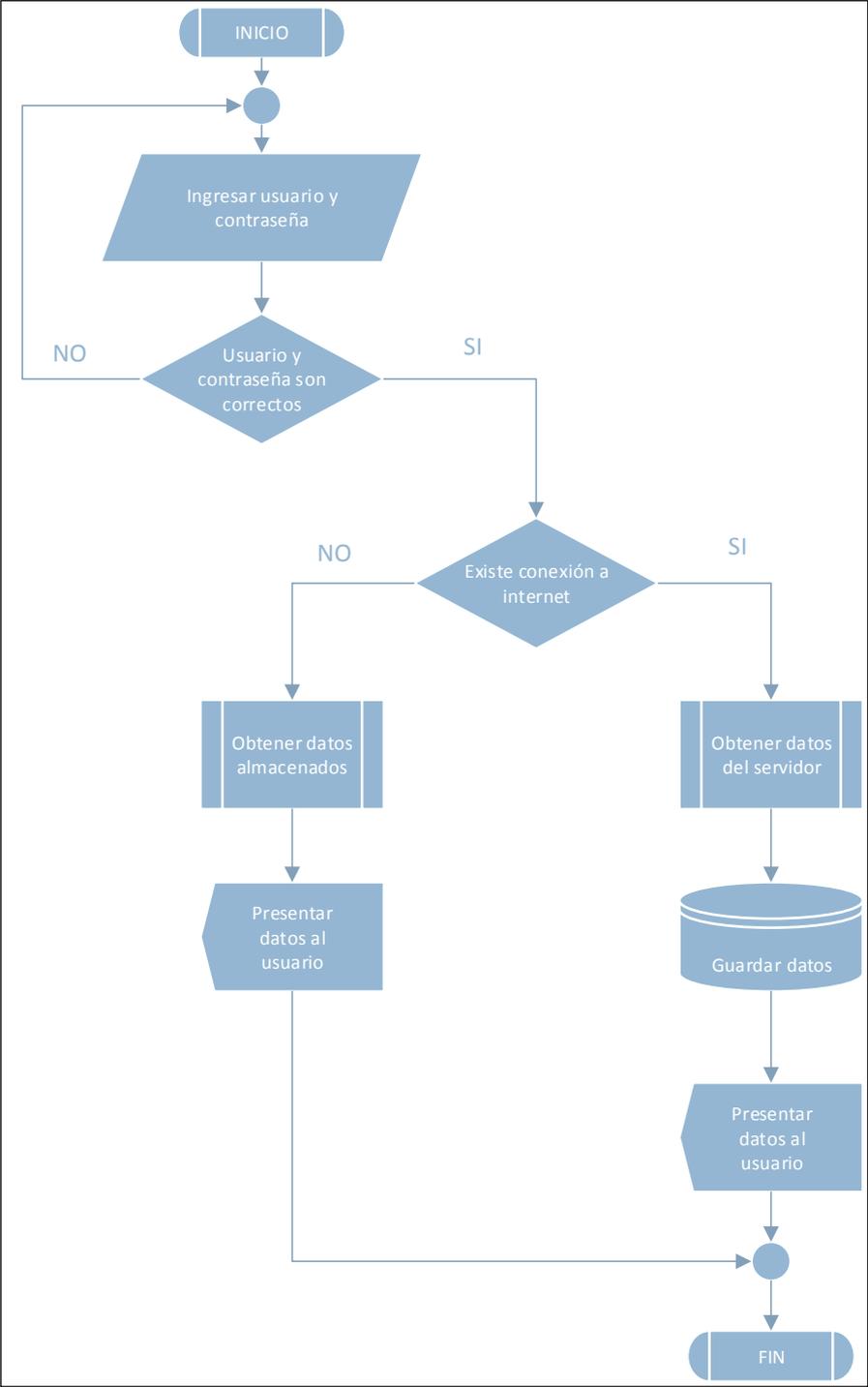


Figura 3.33 Diagrama de funcionamiento de la aplicación.
Fuente: Los Autores.

3.5.4.1. Descripción de la aplicación

En la Figura 3.34 se indica el primer activity que se presenta al ejecutarse la aplicación; se debe ingresar la contraseña, si es correcta se procede a visualizar las variables adquiridas, caso contrario, se cierra la aplicación. Los datos de usuario y contraseña se encuentran en la memoria del smartphone.

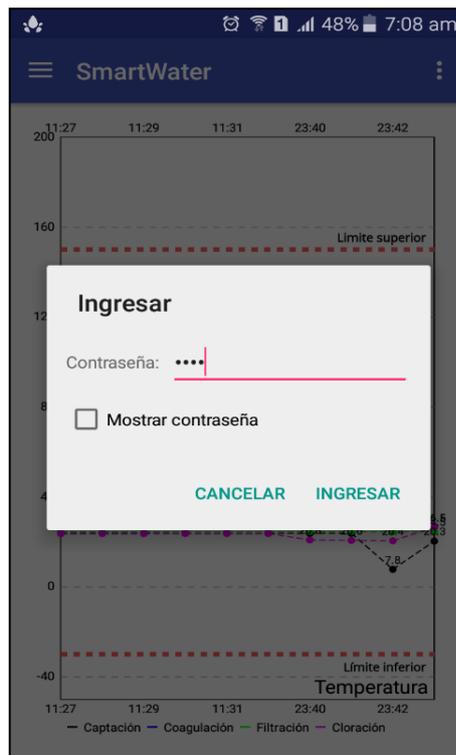


Figura 3.34 Seguridad de la aplicación.
Fuente: Los Autores.

Una vez ingresado el usuario y contraseña correctos se podrá manejar la aplicación. Figura 3.35 se muestra el panel lateral que permitirá al usuario elegir la variable que desea visualizar y la forma en que desee hacerlo, en graficas o mediante tablas.

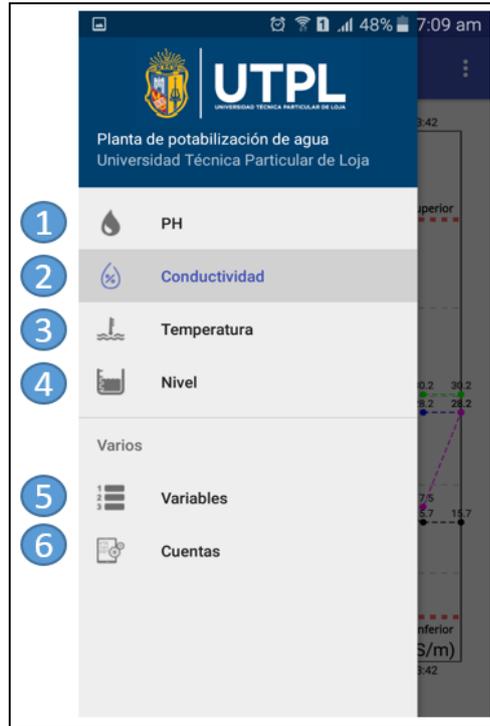


Figura 3.35 Panel lateral de opciones.
Fuente: Los Autores.

Entre el primer y cuarto ítem del panel mostrado en la Figura 3.35 se puede elegir la variable que se graficará, al acceder a una de éstas alternativas se despliega una gráfica con el estado de la variable seleccionada en las cuatro etapas del proceso de potabilización de agua (Ver Figura 3.35), además se muestra los límites superior e inferior permitidos según las Normas de calidad de agua vistas en la sección 2.2.3.

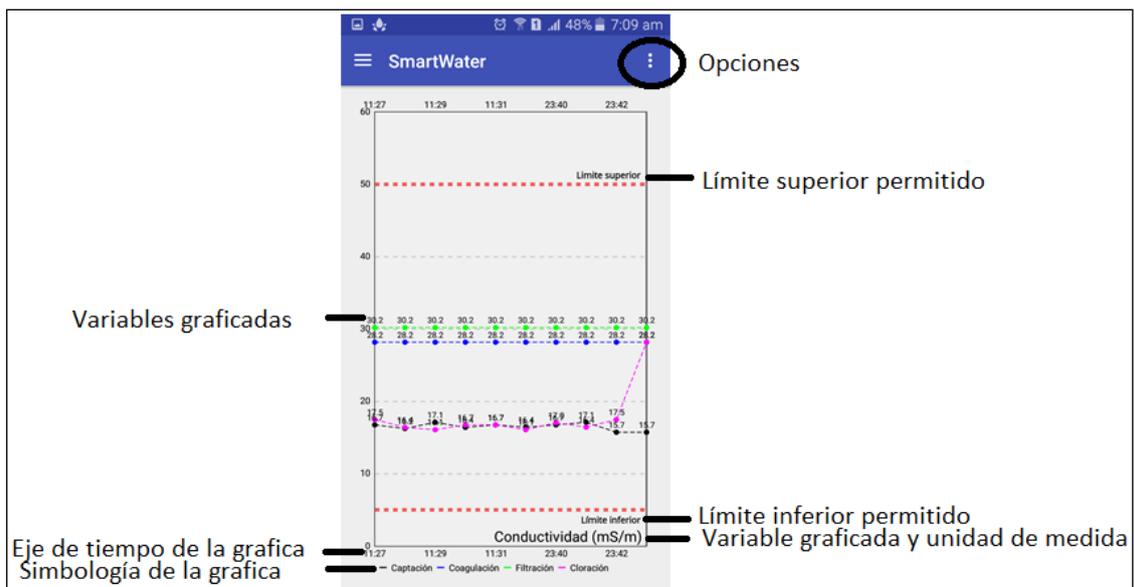
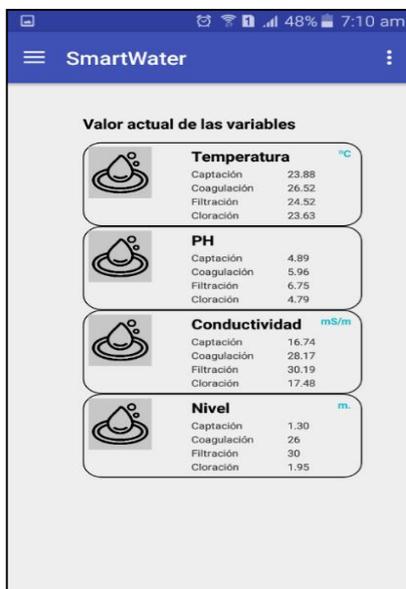


Figura 3.36 Gráfica de las variables en las cuatro etapas monitoreadas.
Fuente: Los Autores.

En la Figura 3.37 se muestra la tabla que se despliega al seleccionar el ítem 5 del panel mostrado en la Figura 3.35, en ella se muestra el último estado de todas las variables adquiridas junto con la unidad de medida de cada una de ellas.



Valor actual de las variables	
Temperatura °C	
Captación	23.88
Coagulación	26.52
Filtración	24.52
Cloración	23.63
PH	
Captación	4.89
Coagulación	5.96
Filtración	6.75
Cloración	4.79
Conductividad mS/m	
Captación	16.74
Coagulación	28.17
Filtración	30.19
Cloración	17.48
Nivel m	
Captación	1.30
Coagulación	26
Filtración	30
Cloración	1.95

Figura 3.37 Tabla con el último estado de las variables adquiridas.
Fuente: Los Autores.

Cuando el usuario requiera actualizar los datos mostrados, debe dirigirse al panel de opciones de la parte superior derecha de la pantalla, y seleccionar la opción “Actualizar”, con ello se procede a descargar los datos desde el servidor IoT, durante dicho proceso se muestra un cuadro de dialogo indicando que las variables se están descargando (Ver Figura 3.38).

En la sección “Configuración” se puede establecer la frecuencia de actualización automática de las variables, en el caso de que el usuario lo requiera.

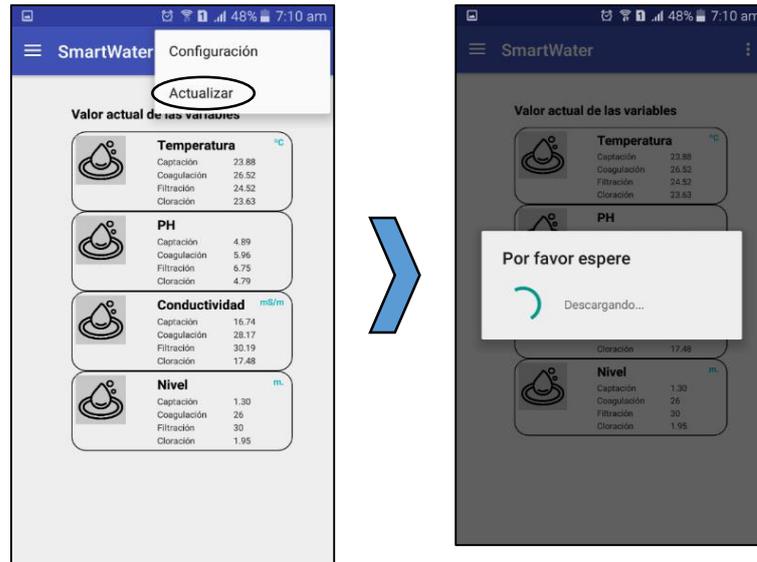


Figura 3.38 Actualización de variables.
Fuente: Los Autores.

3.5.5. Diseño de la aplicación de escritorio

En esta sección se describe los requerimientos y el diseño de una aplicación para computadoras que permita visualizar las variables que el sistema estará monitoreando.

En el diseño conceptual (Sección 3.3) se estableció el funcionamiento general del sistema, se determinó que los datos serán almacenados en un servidor IoT; la principal función de la aplicación será descargar dichos datos y visualizarlos.

Se debe tomar en cuenta que las variables censadas son enviadas desde el servidor en el formato de intercambio de datos JSON, por esta razón, estos datos deben ser previamente desentramados.

Finalmente, la aplicación debe tener la capacidad de visualizar los datos descargados en una interfaz que sea intuitiva para el usuario.

Los datos monitoreados por el sistema son confidenciales, únicamente deben tener acceso a ellos personal autorizado y que forma parte de la planta de tratamiento de agua; la aplicación debe tener un nivel de seguridad que cumpla con este requerimiento.

Para cumplir con los requerimientos planteados, se hace uso del entorno de programación en labView. En la Figura 3.39 se describe la interfaz de la aplicación desarrollada. Desde una perspectiva funcional, la interfaz mostrada en la figura mencionada se divide en 6 ítems.

En el ítem 1 se escribe la clave pública y privada de las cuentas del servidor IoT donde se almacenará las variables adquiridas. En el ítem 2 se encuentra el panel de control que permite al usuario elegir la variable que desea que se visualice.

En el ítem 3 se encuentra la gráfica donde se visualizan los datos descargados. En el ítem 4 se indica el último estado de las variables descargadas que facilita una fácil interpretación de los datos por parte del usuario. En el ítem 5 se establece el número requerido de muestras que se deben graficar. Finalmente, en el ítem 6 se establece la frecuencia que se requiere para que los datos sean descargados automáticamente.

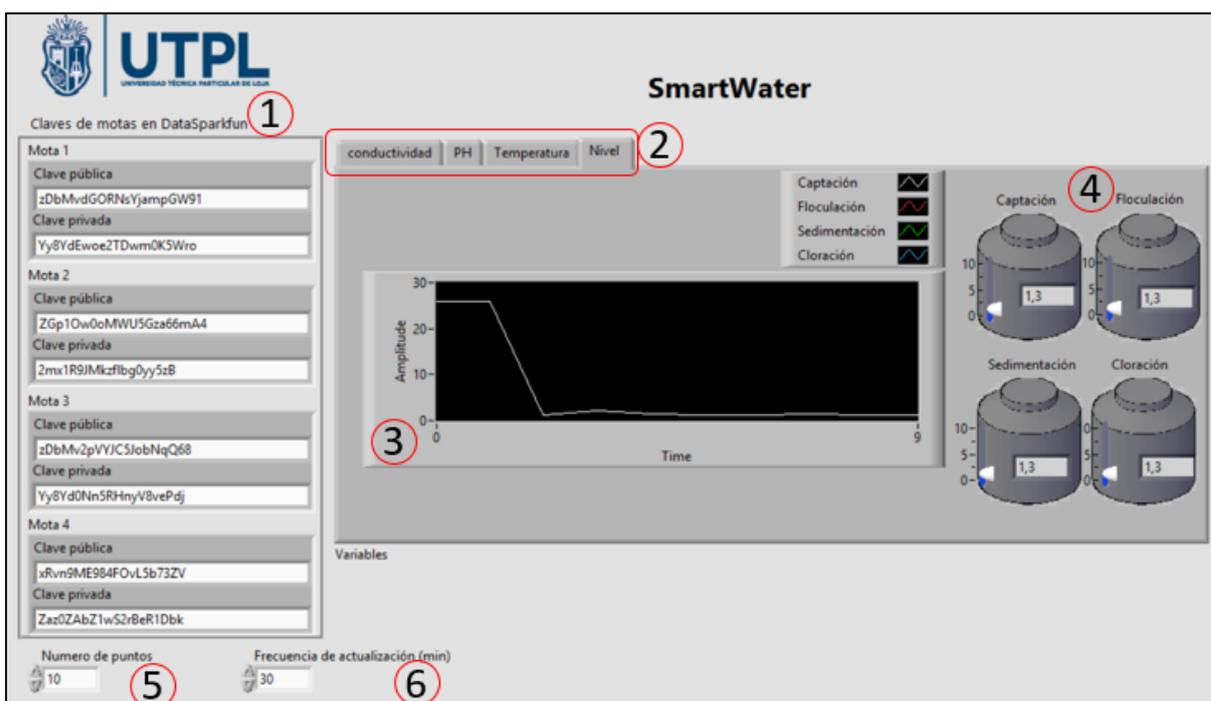


Figura 3.39 Interfaz de la aplicación de escritorio desarrollada.
Fuente: Los Autores.

CAPITULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.

4.1. Introducción

En la presente sección se describe el procedimiento para la calibración, pruebas e implementación del sistema. En la Figura 4.1 se resume dichos procesos. Se inicia con la calibración de los sensores de pH y conductividad, luego se procede a realizar las pruebas de validación, finalmente, se implementa el sistema.

Puesto que en la actualidad las pruebas de calidad en la PTAP son realizadas en su laboratorio, y tomando en cuenta que para la correcta validación de resultados, el sistema desarrollado y los instrumentos de referencia deben analizar la misma muestra de agua; se realizaron las pruebas en el laboratorio antes de que el sistema sea implementado, sin embargo, una vez implementado, por segunda ocasión se procedió a contrastar los valores sensados, esta vez con los informes desarrollados por personal del laboratorio de la planta.

En las secciones 1.4 y 3.4.2 se indica las limitaciones y diseño de la mota. Las cuatro motas previstas en el diseño tienen la misma arquitectura, por ello se construirá una. Sin embargo, se implementa la mota y realiza la medición de las variables durante 48 horas en 3 de los 4 lugares establecidos en la sección 3.4.1 para monitorear la calidad de agua. En la etapa de filtrado no existe la infraestructura necesaria por parte de la PTAP para colocar el módulo desarrollado.

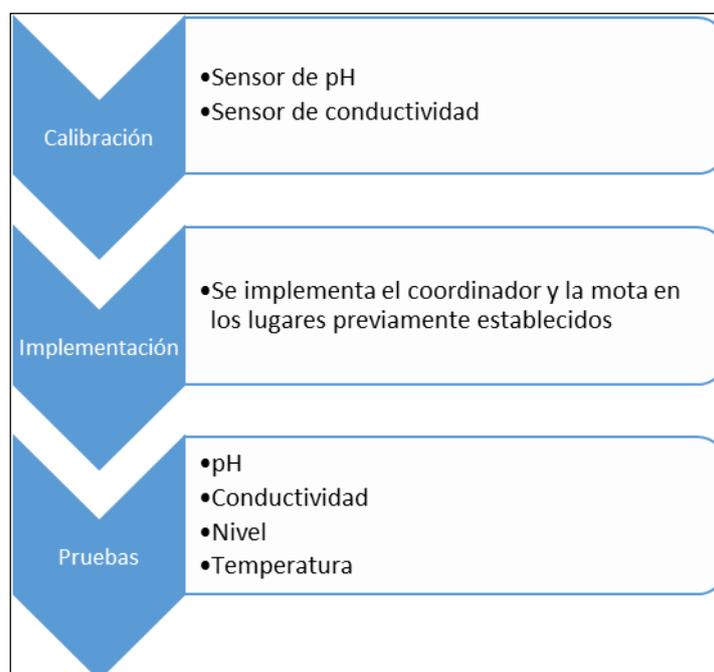


Figura 4.1 Resumen de las etapas de calibración, implementación y pruebas del sistema.
Fuente: Los Autores.

4.2. Calibración.

La tecnología utilizada por los sensores de pH y conductividad, requiere que se los calibre previo a su uso, dicho proceso consiste en determinar las constantes que relacionan el nivel de voltaje que lee el microcontrolador de los pines de los sensores con los valores de las variables que el software emite, ya en su unidad estándar.

4.2.1. Calibración del sensor de pH.

Para calibrar el sensor seleccionado en la sección 2.5.1 se debe sumergirlo parcialmente en las soluciones con un nivel de pH de 4, 7 y 10, en la etiqueta 4 de la Figura 4.2 se encuentra el sensor sumergido en el líquido con un nivel de pH de 7; en cada solución el sensor debe permanecer aproximadamente 10 minutos, en ese lapso de tiempo, se identifica el nivel de voltaje leído por el microcontrolador haciendo uso del algoritmo mostrado en la sección 3.5.2.

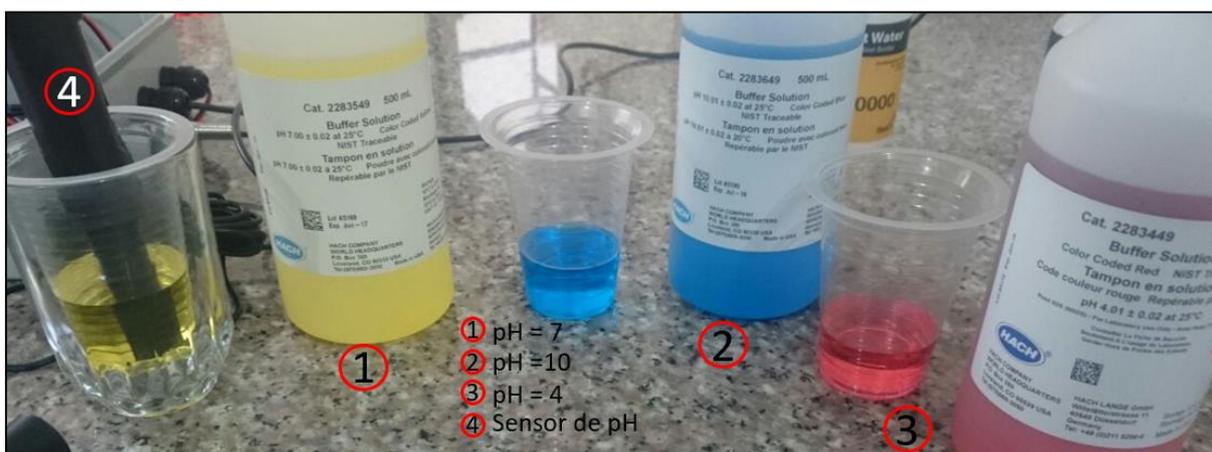


Figura 4.2 Sensor de pH y soluciones para su calibración.
Fuente: Los Autores.

4.2.2. Calibración del sensor de conductividad

El proceso de calibración de éste sensor es similar al descrito en la sección anterior, a diferencia que en este caso el sensor debe ser sumergido parcialmente en las soluciones con un nivel de conductividad de 80000 uS y 12880 uS, en el ítem 1 de la Figura 4.3 se muestra el sensor de conductividad sumergido en la solución de 80000 uS; durante éste tiempo se identifica el nivel de voltaje promedio leído por el microcontrolador haciendo uso del algoritmo mostrado en sección 3.5.2.



Figura 4.3 Sensor de conductividad y soluciones para su calibración.
 Fuente: Los Autores.

4.3. PRUEBAS.

Comparar los resultados del sistema con instrumentos de referencia representa una muestra cualitativa de la validez del sistema desarrollado. El objetivo principal de ésta etapa es determinar la magnitud de error de los dispositivos de adquisición propuestos, para lo cual se los compara con los instrumentos de referencia que son los sensores de la marca HATCH utilizados en la PTAP. En la Figura 4.4 se resume la metodología utilizada para la realización de las pruebas.

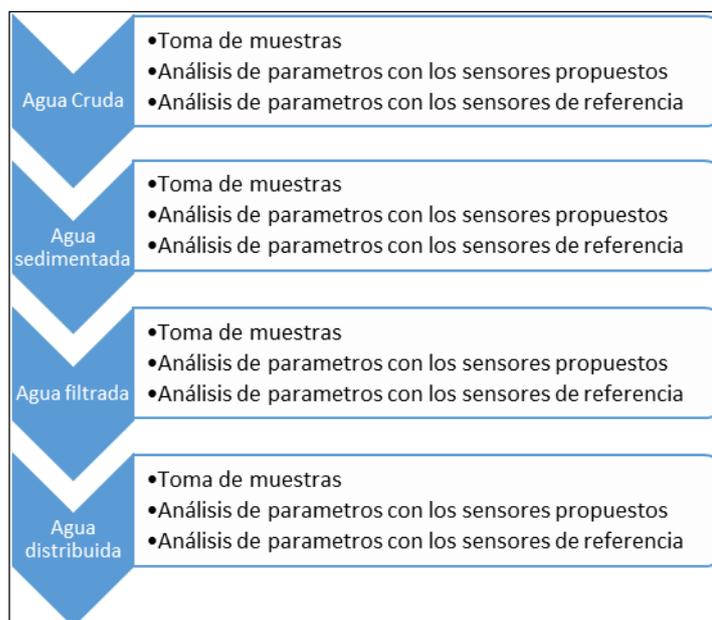


Figura 4.4 Resumen de la etapa de pruebas.
 Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.5 se indican las muestras de agua antes de ser sometidas al análisis de sus propiedades por parte del sistema propuesto y de los instrumentos de referencia.



Figura 4.5 Muestras de agua de las etapas de monitorización.
Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.6 se indica el escenario de pruebas, se puede apreciar la mota desarrollada, los instrumentos de referencia y los transductores para pH y conductividad, tanto del sistema propuesto como de los instrumentos de referencia.



Figura 4.6 Escenario de pruebas.
Fuente: Los Autores.

Debido a que las pruebas son realizadas en laboratorio, se recepta directamente desde un ordenador, a través de un puerto USB, la trama enviada por la mota.

En la actualidad, en la PTAP no existe un sistema para determinar el nivel de agua, por tal razón, esta variable será válida en otro escenario de pruebas, independientemente de la etapa en donde sea implementada.

4.3.1. Pruebas de agua cruda

En la Figura 4.7 se muestra el lugar donde se toma las muestras, antes del canal Parshall, al final de la etapa de conducción.



Figura 4.7 Toma de una muestra para el análisis, agua cruda.
Fuente: Los Autores.

Una vez adquirida la muestra de agua se procede a realizar el análisis de sus propiedades (Ver Figura 4.8).

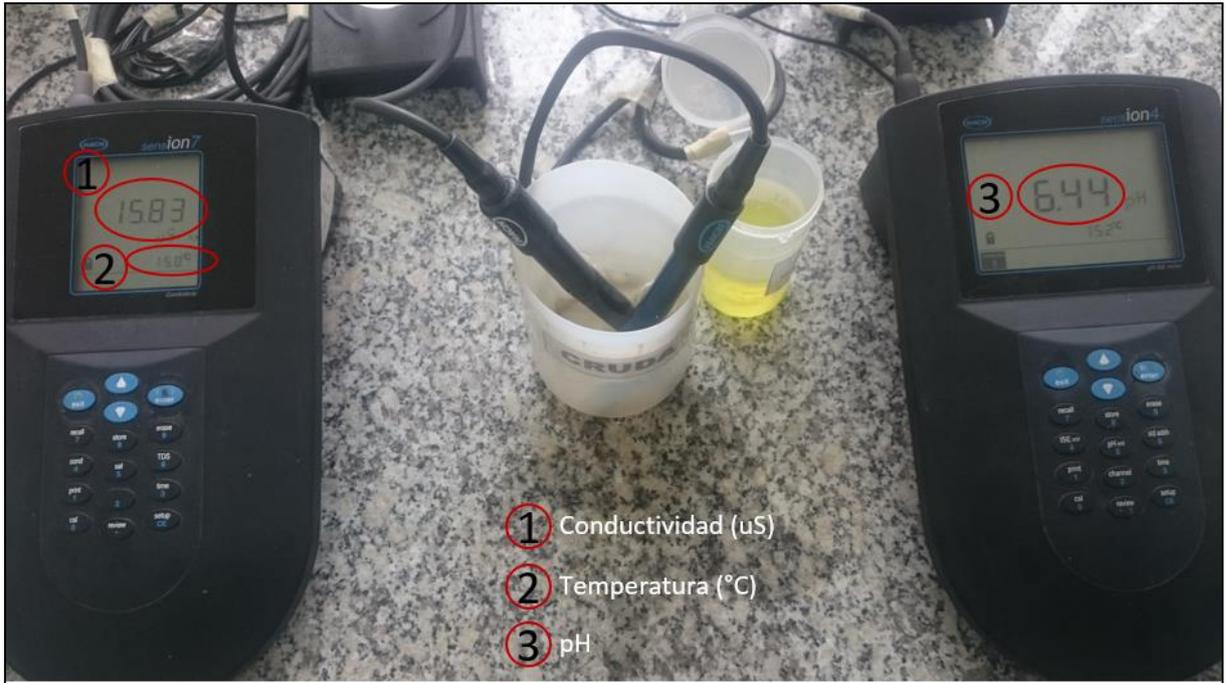


Figura 4.8 Análisis de la muestra de agua cruda con los instrumentos de referencia.
Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.9 se muestra las tramas emitidas por la mota respecto a la muestra analizada.

```

COM23
Enviar

#4;true;6.94;15.43;17.56;1.07;0;;;
%23/3/2016,9:38:14,,
~ 0 }3e 00 }p #4;true;6.94;15.43;17.56;1.07;0;; û~ # }3e 00 }p %23/3/2016,9:38:14,, ð
#4;true;7.04;16.46;17.56;0.59;0;;;
%23/3/2016,9:38:41,,

#4;true;6.77;16.16;17.56;0.59;0;;;
%23/3/2016,9:38:50,,

#4;true;6.85;15.65;17.56;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:38:59,,

#4;true;6.85;15.65;17.56;1.07;0;;;
%23/3/2016,9:39:8,,

#4;true;6.68;15.90;17.56;0.62;0;;;
%23/3/2016,9:39:17,,

#4;true;6.58;16.46;17.63;1.07;0;;;
%23/3/2016,9:39:26,,

#4;true;6.68;15.90;17.63;0.62;0;;;
%23/3/2016,9:39:36,,

#4;true;6.77;15.43;17.63;4.37;0;;;
%23/3/2016,9:39:45,,

#4;true;6.77;15.65;17.63;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:39:54,,

#4;true;6.58;15.65;17.63;0.60;0;;;
%23/3/2016,9:40:3,,

#4;true;6.68;15.90;17.63;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:40:12,,
  
```

Figura 4.9 Análisis de la muestra de agua cruda por parte de la mota.
Fuente: Los Autores.

En la Tabla 4.1 se indica un resumen de los resultados emitidos por la mota durante 15 minutos de prueba y los resultados del instrumento de referencia.

Tabla 4.1 Resumen de los resultados del análisis de una muestra de agua cruda.

Variable	Tiempo de prueba (minutos)	Máximo	Mínimo	Promedio	Instrumento de referencia
pH	15	6.94	6.58	6.74	6.44
Conductividad (uS)		16.46	15.43	15.06	15.83

Fuente: Los Autores.

El valor promedio de pH emitido por la mota es 4.7% mayor al resultado de los instrumentos de referencia. Por otro lado, el valor promedio de conductividad emitido por la mota es 4.86% menor al resultado de los instrumentos de referencia.

4.3.2. Pruebas de agua sedimentada

En éste caso, las pruebas son adquiridas al final de la etapa de sedimentación (Ver Figura 4.10)



Figura 4.10 Toma de la muestra de agua en la etapa de sedimentación.

Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.11 se muestra el resultado de los instrumentos de referencia respecto a la muestra de agua sedimentada.

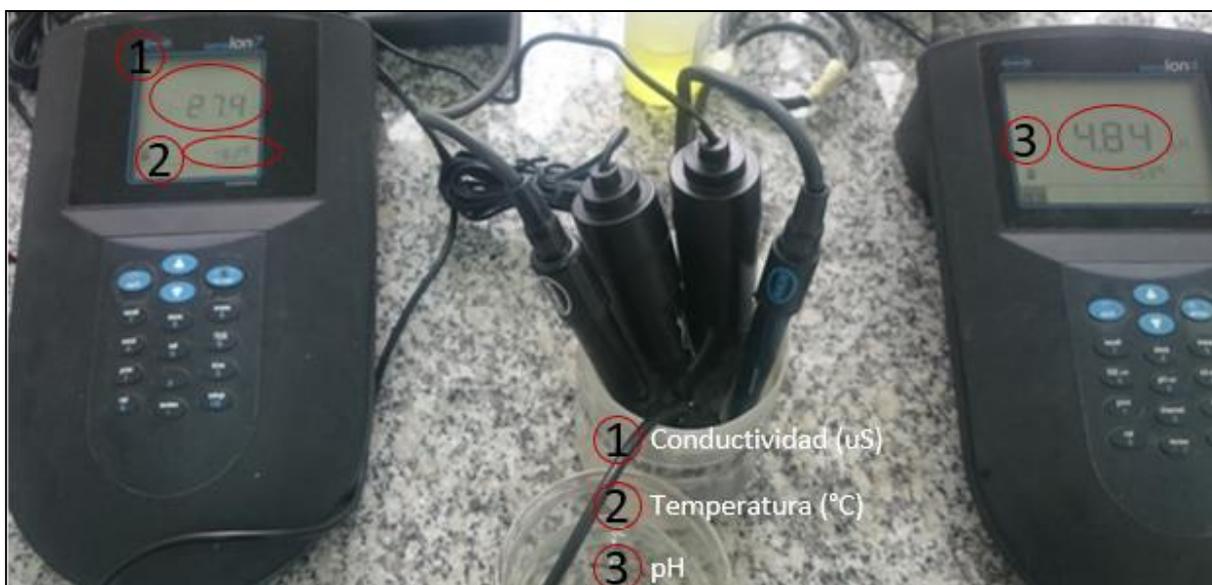


Figura 4.11 Análisis de la muestra de agua sedimentada con los instrumentos de referencia.
Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.12 se muestra las tramas emitidas por la mota respecto a la muestra analizada.

```
#4:true:4.86;26.93;16.81;0.66;0;;;
%23/3/2016,9:10:24,,,

#4:true:4.86;26.93;16.81;0.60;0;;;
%23/3/2016,9:10:33,,,

#4:true:4.77;26.93;16.81;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:10:42,,,

#4:true:4.77;26.93;16.75;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:10:51,,,

#4:true:4.95;26.72;16.63;0.85;0;;;
%23/3/2016,9:11:0,,,

#4:true:4.95;26.93;16.56;1.41;0;;;
%23/3/2016,9:11:10,,,

#4:true:4.95;26.72;16.50;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:11:19,,,

#4:true:5.05;26.72;16.44;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:11:28,,,

#4:true:5.14;26.72;16.44;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:11:37,,,

#4:true:5.05;26.72;16.44;0.69;0;;;
%23/3/2016,9:11:46,,,

#4:true:5.05;27.15;16.44;0.78;0;;;
%23/3/2016,9:11:55,,,

#4:true:4.95;26.05;16.44;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:12:4,,,

#4:true:4.86;27.15;16.44;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:12:13,,,

#4:true:4.95;26.93;16.44;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:12:22,,,

#4:true:5.05;26.72;16.44;0.93;0;;;
%23/3/2016,9:12:32,,,

#4:true:5.05;25.91;16.44;4.36;0;;;
%23/3/2016,9:12:41,,,

Autoscroll Sin ajuste de línea 9600 baudio
```

Figura 4.12 Análisis de la muestra de agua sedimentada por parte de la mota.
Fuente: Los Autores.

En la Tabla 4.2 se indica un resumen de los resultados emitidos por la mota durante 15 minutos de prueba y los resultados del instrumento de referencia.

Tabla 4.2 Resumen de los resultados del análisis de una muestra de agua sedimentada.

Variable	Tiempo de prueba (minutos)	Máximo	Mínimo	Promedio	Instrumento de referencia
pH	15	5.03	4.6	4.98	4.84
Conductividad (uS)		28.9	26.5	28.5	27.4

Fuente: Los autores.

El valor promedio de pH emitido por la mota es 3% mayor al resultado de los instrumentos de referencia. Por otro lado, el valor promedio de conductividad emitido por la mota es 4.5% mayor al resultado de los instrumentos de referencia.

4.3.1. Pruebas de agua filtrada

Para esta etapa del análisis se extrae las muestras de agua desde los tanques de almacenamiento ubicados al final de la fase de filtrado. (Ver Figura 4.13).



Figura 4.13 Toma de la muestra de agua posterior a la etapa de filtrado.

Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.14 se muestra el resultado de los instrumentos de referencia respecto a la muestra de agua filtrada.



Figura 4.14 Análisis de la muestra de agua filtrada con los instrumentos de referencia.
Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.15 se muestra las tramas emitidas por la mota respecto a la muestra analizada.

```
#4;true;4.47;33.05;17.06;0.56;0;;;  
%23/3/2016,9:18:55,,  
  
#4;true;4.57;32.66;17.06;0.56;0;;;  
%23/3/2016,9:19:4,,  
  
#4;true;4.57;32.91;17.06;0.56;0;;;  
%23/3/2016,9:19:13,,  
  
#4;true;4.47;32.78;17.06;1.07;0;;;  
%23/3/2016,9:19:22,,  
  
#4;true;4.47;32.91;17.06;0.56;0;;;  
%23/3/2016,9:19:31,,  
  
#4;true;4.38;32.78;17.06;0.56;0;;;  
%23/3/2016,9:19:40,,  
  
#4;true;4.47;32.55;17.06;0.56;0;;;  
%23/3/2016,9:19:49,,  
  
#4;true;4.47;32.66;17.13;0.56;0;;;  
%23/3/2016,9:19:58,,  
  
#4;true;4.47;32.66;17.13;1.07;0;;;  
%23/3/2016,9:20:7,,
```

Figura 4.15 Análisis de la muestra de agua filtrada por parte de la mota.
Fuente: Los Autores.

En la Tabla 4.3 se indica un resumen de los resultados emitidos por la mota durante 15 minutos de prueba y los resultados del instrumento de referencia.

Tabla 4.3 Resumen de los resultados del análisis de una muestra de agua filtrada.

Variable	Tiempo de prueba (minutos)	Máximo	Mínimo	Promedio	Instrumento de referencia
pH	15	5.03	4.6	4.98	4.84
Conductividad (uS)		28.9	26.5	28.5	27.4

Fuente: Los Autores.

El valor promedio de pH emitido por la mota es 3% mayor al resultado de los instrumentos de referencia. Por otro lado, el valor promedio de conductividad emitido por la mota es 4.5% mayor al resultado de los instrumentos de referencia.

4.3.2. Pruebas de agua distribuida

Finalmente, se procede a la recolección de una muestra de agua que ha pasado por todo el proceso de purificación, sabiendo que ya no será sometida a ningún proceso de purificación antes de llegar al usuario. (Ver Figura 4.16).



Figura 4.16 Toma de la muestra de agua distribuida.

Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.17 se muestra el resultado de los instrumentos de referencia respecto a la muestra de agua distribuida.



Figura 4.17 Análisis de la muestra de agua distribuida con los instrumentos de referencia.
 Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.18 se muestra las tramas emitidas por la mota respecto a la muestra analizada.

```
#4;true;3.57;36.15;17.38;4.37;0;;;
%23/3/2016,9:25:23,,,

#4;true;3.57;36.15;17.44;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:25:32,,,

#4;true;3.47;36.44;17.44;0.57;0;;;
%23/3/2016,9:25:41,,,

#4;true;3.57;36.24;17.44;0.66;0;;;
%23/3/2016,9:25:51,,,

#4;true;3.57;36.15;17.44;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:26:0,,,

#4;true;3.57;36.34;17.44;1.07;0;;;
%23/3/2016,9:26:9,,,

#4;true;3.47;36.34;17.44;1.00;0;;;
%23/3/2016,9:26:18,,,

#4;true;3.47;36.07;17.50;0.56;0;;;
%23/3/2016,9:26:27,,,
```

Figura 4.18 Análisis de la muestra de agua distribuida por parte de la mota.
 Fuente: Los Autores.

En Tabla 4.4 la se presenta un resumen de los resultados emitidos por la mota durante 15 minutos de prueba y los resultados del instrumento de referencia.

Tabla 4.4 Resumen de los resultados del análisis de una muestra de agua clorada.

Variable	Tiempo de prueba (minutos)	Máximo	Mínimo	Promedio	Instrumento de referencia
pH	15	4.13	3.85	4.1	3.9
Conductividad (uS)		37.13	34.83	34.98	36.4

Fuente: Los Autores.

El valor promedio de pH emitido por la mota es 5.12 % mayor al resultado de los instrumentos de referencia. Por otro lado, el valor promedio de conductividad emitido por la mota es 3.9% menor al resultado de los instrumentos de referencia.

4.4. Implementación

Con el sistema desarrollado se analiza tres estados del agua: cruda, sedimentada y distribuida. En cada punto se mantuvo la mota durante 48 horas.

Para dos de los puntos mencionados, la mota es ubicada sobre un soporte de madera y asegurada con amarras de alambre galvanizado (Ver Figura 4.19), en el centro del soporte se realiza un agujero para poder sumergir los sensores en el agua.



Figura 4.19 Soporte para implementar la mota.

Fuente: Los Autores.

La mota es ubicada sobre el centro del soporte de tal manera que sea posible pasar los sensores a través del agujero. El panel es colocado junto a la mota (Ver literal a de la Figura 4.20). En el literal b de la Figura 4.20 se puede apreciar el sensor ultrasónico y los conectores de los sensores de pH, conductividad y temperatura, una vez que la mota ha sido adherida al soporte de madera y asegurada con las amarras.

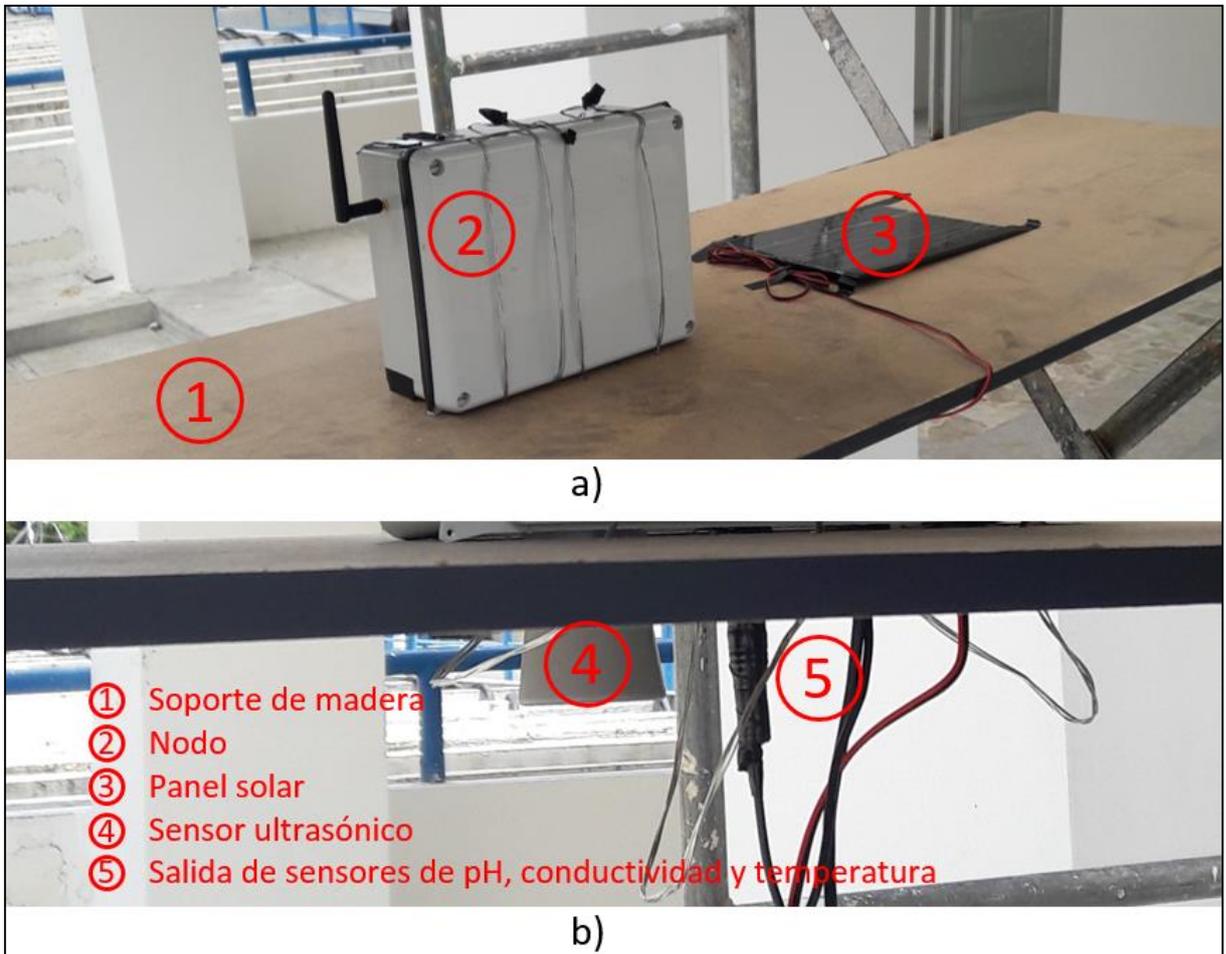


Figura 4.20 Instalación de la mota en el soporte.
Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.21 se muestra el soporte de cable galvanizado utilizado para garantizar la integridad de los sensores de pH y conductividad, dicho soporte es sujeto al nodo.



Figura 4.21 Soporte para los sensores.
Fuente: Los Autores

Luego de realizar las mediciones en las etapas donde se implementará la mota, se procede a calcular el error relativo entre los sensores planteados y los de referencia. Para ello se aplica la Ecuación 4.1.

$$\% \varepsilon_r = \left| \frac{X_i - X_v}{X_v} \right| * 100\% \quad (4.1)$$

En el Anexo A se muestra las tablas con los resultados obtenidos tras el análisis del agua durante 48 horas por cada etapa, además, en el Anexo B se muestra el informe del control realizado por la planta en las etapas de potabilización durante el mismo periodo de tiempo

que se realizó las pruebas. En la PTAP no se realiza el control del nivel del agua, por tal razón, los datos obtenidos del sistema no son comparados.

4.4.1. Implementación de la mota y análisis del agua cruda.

En la Figura 4.22 se muestra la mota implementada en el final de la etapa de conducción.



Figura 4.22 Análisis del agua cruda en la PTAP utilizando el sistema desarrollado.
Fuente: Los Autores

En la Figura 4.23, Figura 4.24, Figura 4.25 y Figura 4.26 se muestra las gráficas con los resultados de pH, conductividad, temperatura y nivel, respectivamente.

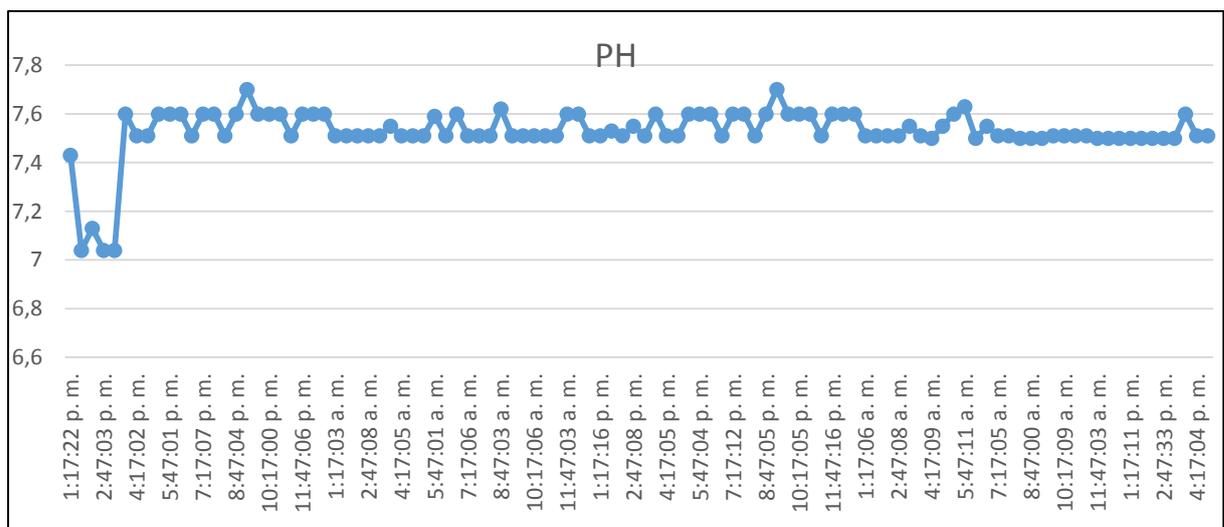


Figura 4.23 Nivel de pH en agua cruda.
Fuente: Los Autores



Figura 4.24 Nivel de conductividad del agua cruda.
Fuente: Los Autores.

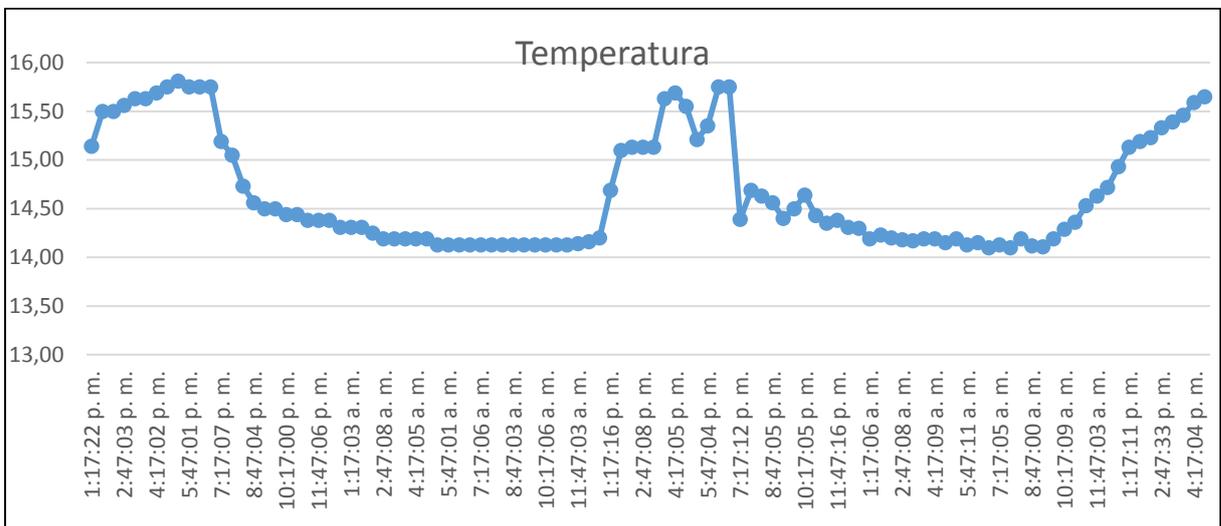


Figura 4.25 Nivel de temperatura del agua cruda.
Fuente: Los Autores.

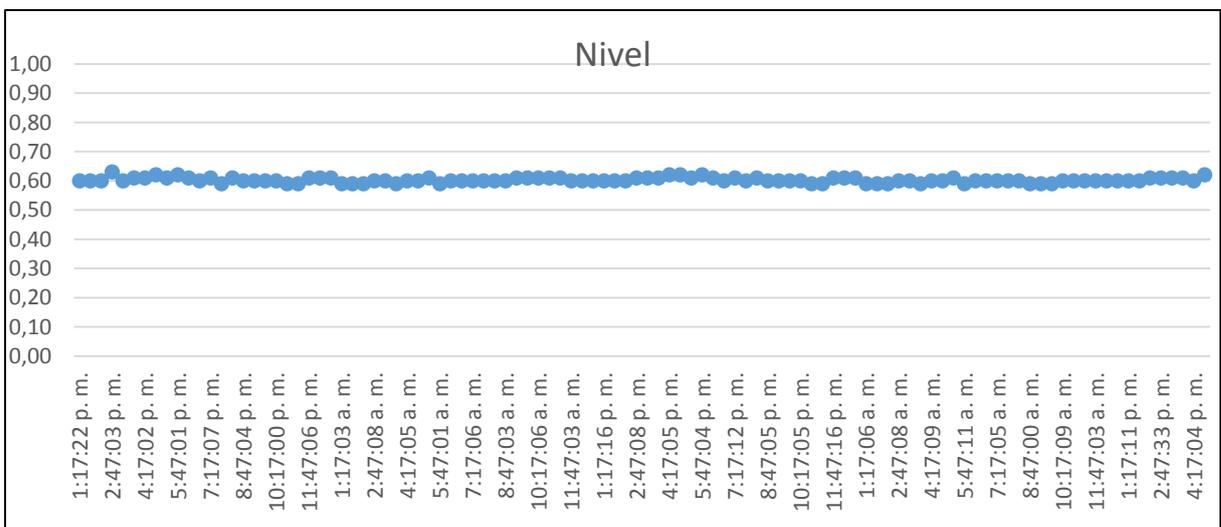


Figura 4.26 Nivel de agua en la etapa de captación.
Fuente: Los Autores.

En la Tabla 4.5 se muestra el error relativo de pH, conductividad y temperatura, se puede apreciar que el promedio del error relativo promedio del sensor de pH es de 3.49 %, el de conductividad es de 3.13 % y el de temperatura de 2.56 %. Por contraparte, el máximo error relativo del sensor de pH es de 6.18%, el de conductividad es de 10.18 % y finalmente, el de temperatura es de 8.25%.

Tabla 4.5 Error relativo de las variables adquiridas en la etapa de captación.

Fecha	Hora-muestra	pH			Conductividad uS/cm			Temperatura			
		V. medido	V. de referencia	Error relativo (%)	V. medido	V. de referencia	Error relativo (%)	V. medido	V. de referencia	Error relativo (%)	
4/05/2016	13:00	7,43	7,32	1,50	20,86	20,18	3,37	15,14	15,40	-1,69	
	14:00	7,13	7,38	-3,39	21,87	21,30	2,68	15,5	15,60	-0,64	
	15:00	7,04	7,32	-3,83	21,34	21,40	-0,28	15,63	15,80	-1,08	
	16:00	7,51	7,46	0,67	20,26	21,20	-4,43	15,69	15,70	-0,06	
	17:00	7,60	7,39	2,84	20,05	20,40	-1,72	15,81	15,50	2,00	
5/05/2016	8:00	7,8	7,42	-4,87	17,74	17,64	0,57	14,32	14,00	2,29	
	9:00	7,50	7,16	-4,53	17,66	17,22	2,56	14,14	14,30	-1,12	
	10:00	6,90	7,18	4,06	16,75	17,16	-2,39	15,2	14,50	4,83	
	11:00	6,80	7,22	6,18	16,83	16,42	2,50	15	14,70	2,04	
	12:00	7,30	7,10	-2,74	15,8	15,22	3,81	15,32	14,70	4,22	
	13:00	7,02	7,22	2,85	15,8	14,34	10,18	15,13	14,90	1,54	
	14:00	7,60	7,23	-4,87	14,65	14,41	1,67	14,13	15,40	-8,25	
	15:00	6,90	7,16	3,77	14,84	14,60	1,64	14,8	15,80	-6,33	
	16:00	6,80	7,10	4,41	14,16	15,70	-9,81	14,65	15,50	-5,48	
	17:00	7,10	7,14	0,56	15,05	15,40	-2,27	15	15,20	-1,32	
6/05/2016	8:00	7,50	7,32	-2,40	16,8	17,16	-2,10	14,19	14,50	-2,14	
	9:00	7,20	7,34	1,94	17,8	17,20	3,49	14,11	14,70	-4,01	
	10:00	7,60	7,28	-4,21	16,74	16,14	3,72	14,29	14,70	-2,79	
	11:00	7,00	7,14	2,00	17,52	17,10	2,46	14,53	14,90	-2,48	
	12:00	6,90	7,26	5,22	18,56	18,10	2,54	14,72	15,10	-2,52	
	13:00	7,01	7,30	4,14	18,56	18,14	2,32	15,13	15,20	-0,46	
	14:00	7,60	7,28	-4,21	18,43	18,11	1,77	15,23	15,60	-2,37	
	15:00	7,70	7,32	-4,94	18,8	18,10	3,87	15,39	15,50	-0,71	
	16:00	7,52	7,24	-3,72	18,8	18,24	3,07	15,59	15,40	1,23	
Promedio error relativo				3,49				3,13			

Fuente: Los Autores.

4.4.2. Implementación de la mota y análisis del agua sedimentada.

En la Figura 4.27 se muestra la mota implementada en la etapa de sedimentación, se realizó el análisis durante 48 horas.



Figura 4.27 Análisis del agua sedimentada en la PTAP utilizando el sistema desarrollado.

Fuente: Los Autores

En la Figura 4.28, Figura 4.29, Figura 4.30 y Figura 4.31 se muestra las gráficas con los resultados de pH, conductividad, temperatura y nivel, respectivamente.

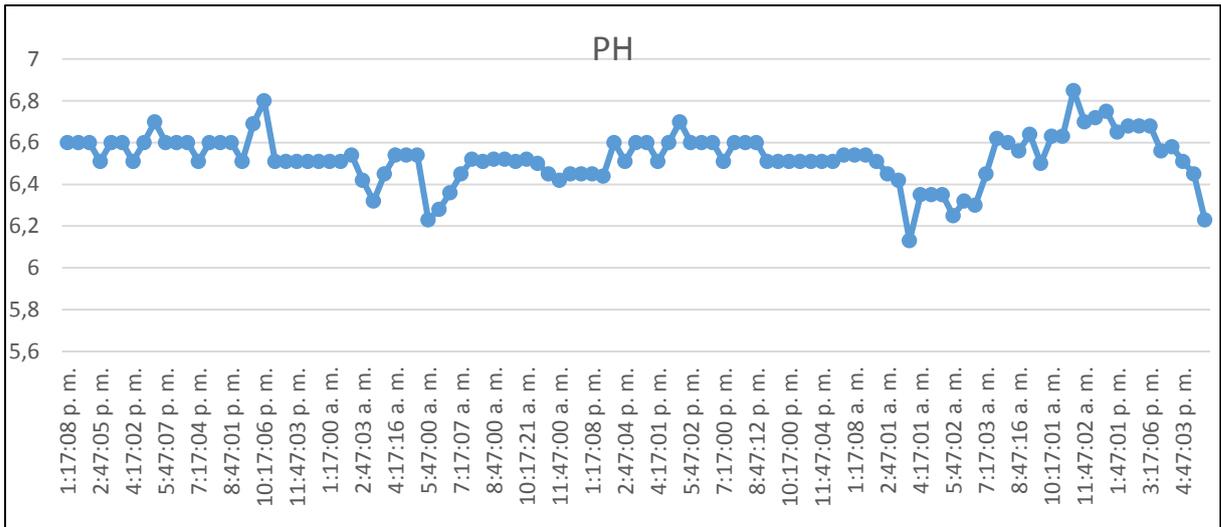


Figura 4.28 Nivel de pH en la etapa de sedimentación.
Fuente: Los Autores



Figura 4.29 Nivel de conductividad en la etapa de sedimentación.
Fuente: Los autores

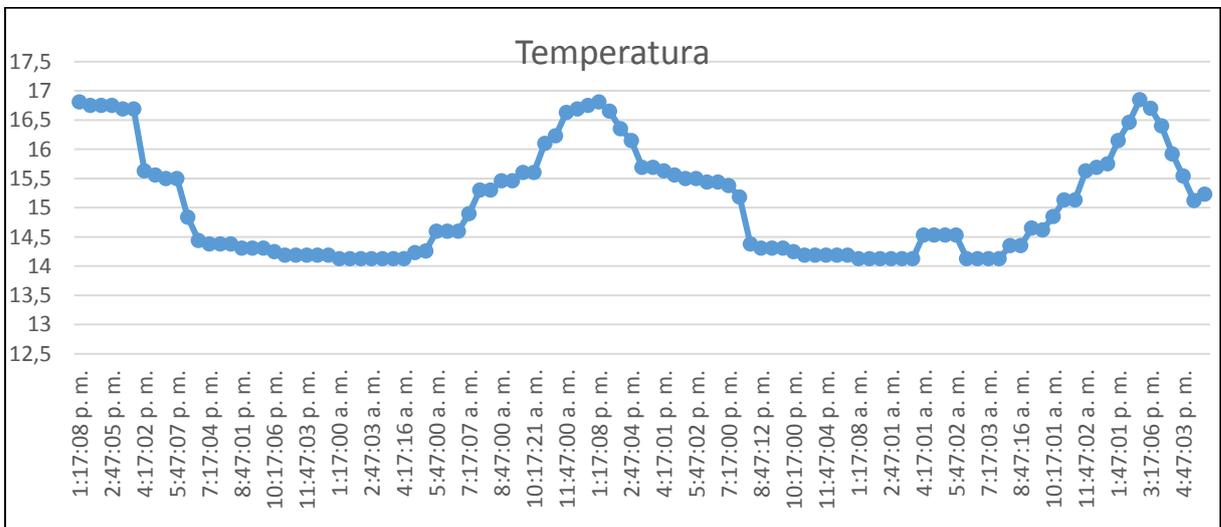


Figura 4.30 Nivel de temperatura en la etapa de sedimentación.

Fuente: Los Autores.

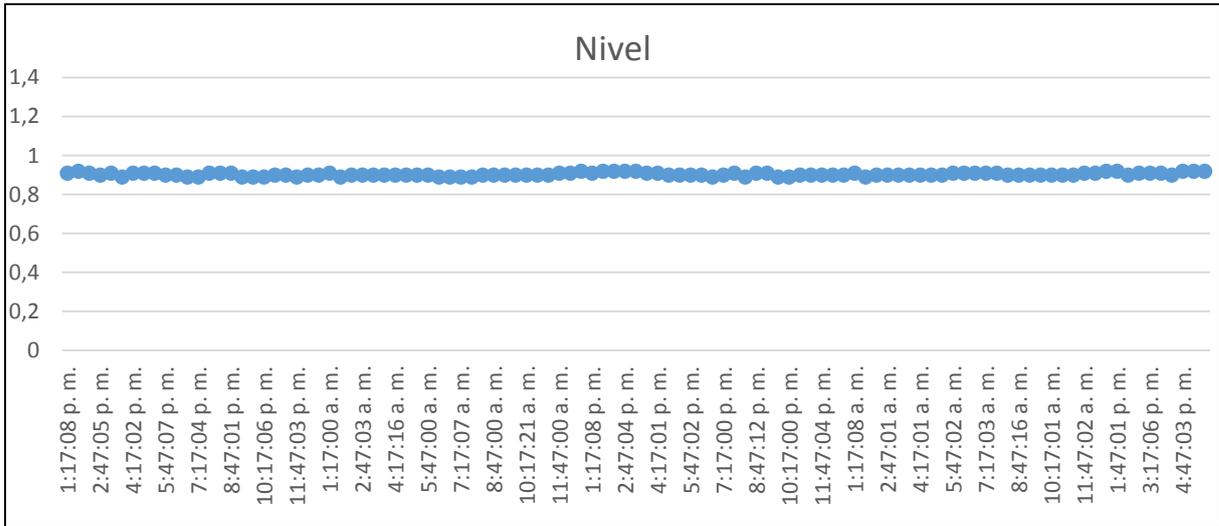


Figura 4.31 Nivel del agua en la etapa de sedimentación.

Fuente: Los Autores.

En la Tabla 4.6 se muestra el error relativo de pH, conductividad y temperatura; se puede apreciar que el promedio del error relativo promedio del sensor de pH es de 2.63 %, el de conductividad es de 1.15 % y el de temperatura de 2.4 %. En cambio, el máximo error relativo del sensor de pH es de 5.79 %, el de conductividad es de 7.36% y el de temperatura de 5.06%.

Tabla 4.6 Error relativo de las variables adquiridas en la etapa de sedimentación.

Fecha	Hora-muestra	pH			Conductividad uS/cm			Temperatura		
		V. medido	V. de referencia	Error relativo (%)	V. medido	V. de referencia	Error relativo (%)	V. medido	V. de referencia	Error relativo (%)
20/04/2016	13:00	6,6	6,72	-1,79	40,12	40,20	-0,20	16,81	16,00	5,06
	14:00	6,6	6,64	-0,60	40,16	39,80	0,90	16,75	16,00	4,69
	15:00	6,6	6,68	-1,20	39,65	42,80	-7,36	16,69	16,40	1,77
	16:00	6,51	6,71	-2,98	42,36	43,40	-2,40	15,63	15,80	-1,08
	17:00	6,7	6,69	0,15	43,15	43,60	-1,03	15,5	15,60	-0,64
21/04/2016	8:00	6,51	6,68	-2,54	21,85	21,00	4,05	15,3	15,60	-1,92
	9:00	6,52	6,71	-2,83	21,26	21,40	-0,65	15,46	15,80	-2,15
	10:00	6,52	6,61	-1,36	20,65	20,30	1,72	15,6	16,10	-3,11
	11:00	6,45	6,60	-2,27	19,23	19,84	-3,07	16,23	16,40	-1,04
	12:00	6,45	6,78	-4,87	19,12	19,91	-3,97	16,69	16,60	0,54
	13:00	6,45	6,92	-6,79	19,23	19,10	0,68	16,81	16,40	2,50
	14:00	6,6	6,98	-5,44	19,12	19,14	-0,10	16,35	16,20	0,93
	15:00	6,6	6,89	-4,21	18,65	18,16	2,70	15,69	15,80	-0,70
	16:00	6,51	6,91	-5,79	18,52	18,80	-1,49	15,63	15,40	1,49
17:00	6,7	6,98	-4,01	18,42	18,16	1,43	15,5	15,60	-0,64	

22/04/2016	8:00	6,6	6,62	-0,30	21,85	21,70	0,69	14,35	14,40	-0,35
	9:00	6,64	6,61	0,45	22,56	23,00	-1,91	14,65	14,40	1,74
	10:00	6,63	6,78	-2,21	23,95	23,40	2,35	14,85	15,10	-1,66
	11:00	6,85	6,94	-1,30	23,56	23,20	1,55	15,13	15,80	-4,24
	12:00	6,72	6,90	-2,61	24,15	24,80	-2,62	15,69	16,10	-2,55
Promedio error relativo				2,68			2,04			1,94

Fuente: Los Autores.

4.4.3. Implementación de la mota y análisis del agua clorada.

En la Figura 4.32 se muestra la mota implementada después de la etapa de cloración, una vez que el agua ya ha pasado por todo el proceso de potabilización.



Figura 4.32 Análisis del agua sedimentada en la PTAP utilizando el sistema desarrollado.

Fuente: Los Autores.

En la Figura 4.33, Figura 4.34, Figura 4.35 y Figura 4.36 se muestra las gráficas con los resultados de pH, conductividad, temperatura y nivel, respectivamente.

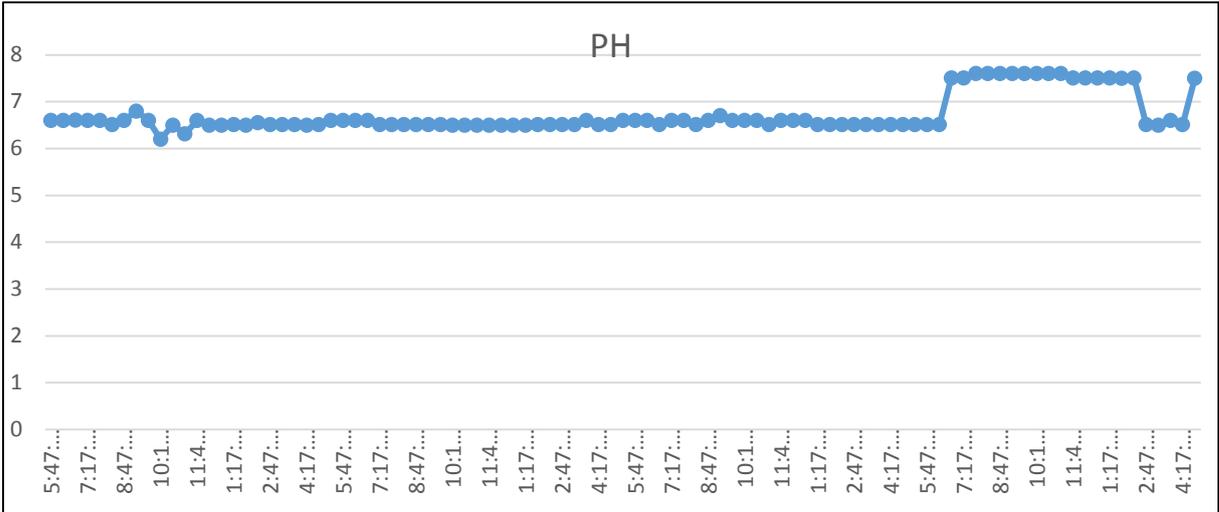


Figura 4.33 Nivel de pH en la etapa de cloración.
Fuente: Los Autores.

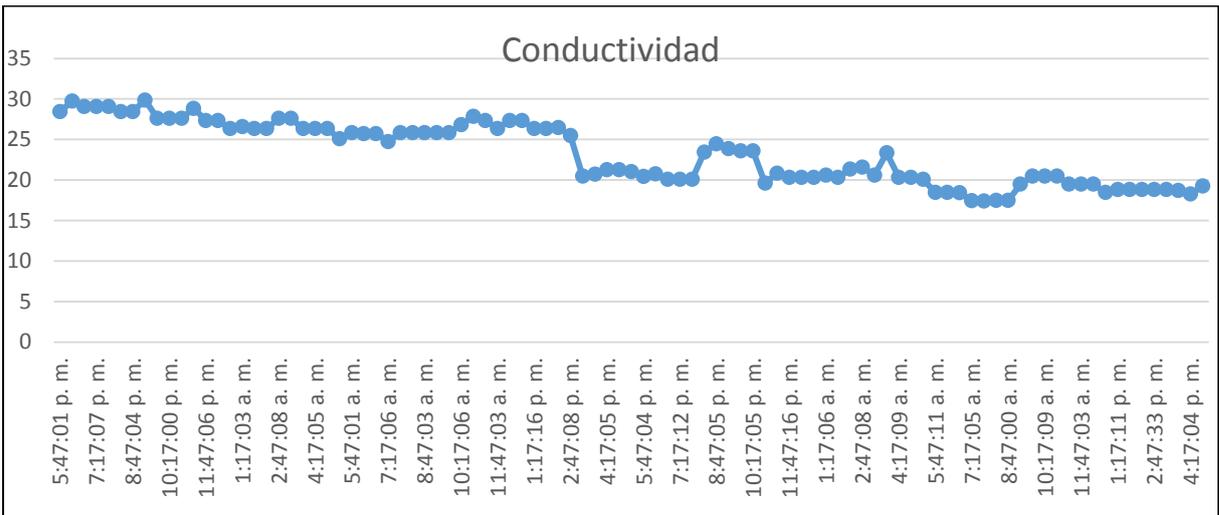


Figura 4.34 Nivel de conductividad en la etapa de cloración.
Fuente: Los Autores.

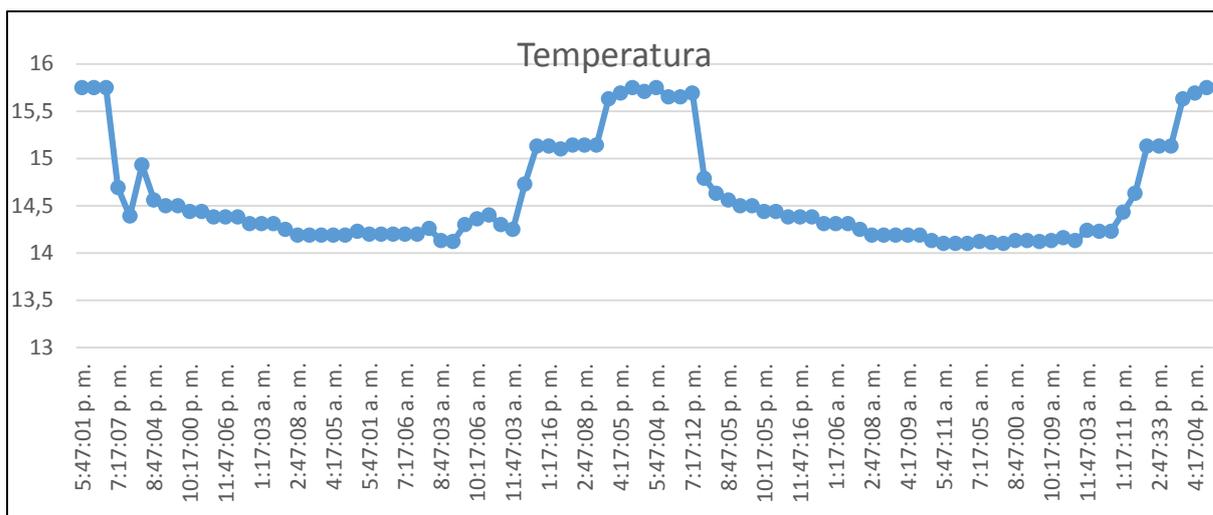


Figura 4.35 Niveles de temperatura en la etapa de cloración.
Fuente: Los Autores.

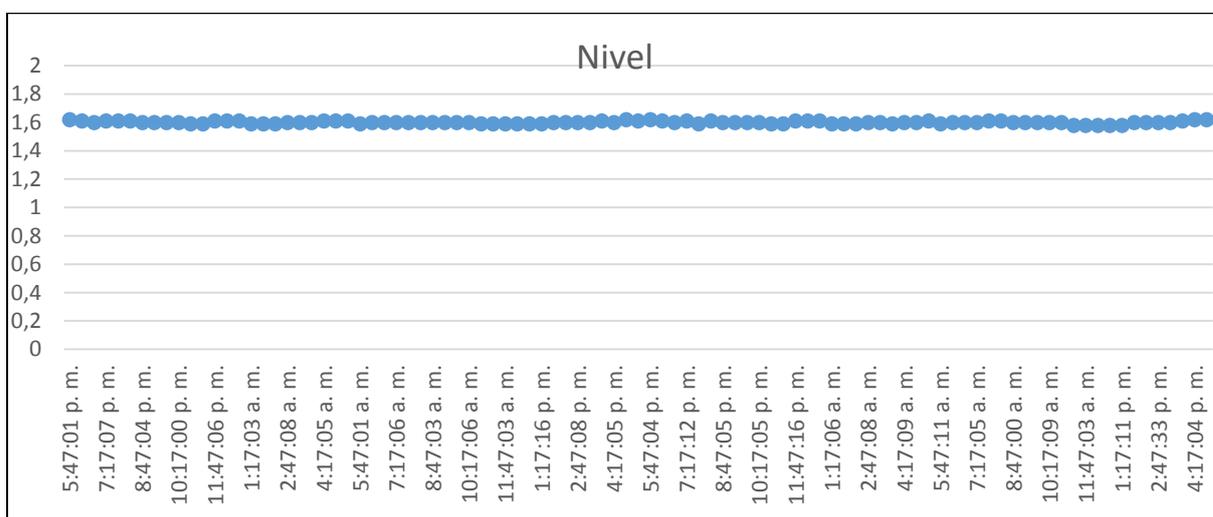


Figura 4.36 Nivel del agua en la etapa de cloración.
Fuente: Los Autores

En la Tabla 4.7 se muestra el error relativo de pH, conductividad y temperatura; se puede apreciar que el promedio del error relativo promedio del sensor de pH es de 4.70 %, el de conductividad es de 2.67 % y el de temperatura de 2.12 %. En cambio, el máximo error relativo del sensor de pH es de 6.61%, el de conductividad de 7.86% y el de temperatura de 4.44%.

Tabla 4.7 Error relativo de las variables adquiridas en la etapa de cloración.

Fecha	Hora-muestra	pH			Conductividad uS/cm			Temperatura		
		V. medido	V. de referencia	Error relativo (%)	V. medido	V. de referencia	Error relativo (%)	V. medido	V. de referencia	Error relativo (%)
6/4/2016	17:00	6,60	6,86	-3,79	27,96	29,60	-5,54	15,75	15,40	2,27
7/4/2016	8:00	6,51	6,76	-3,70	25,84	25,20	2,54	14,26	14,30	-0,28
	9:00	6,51	6,70	-2,84	25,84	25,80	0,16	14,12	14,50	-2,62

	10:00	6,5	6,80	-4,41	26,84	27,60	-2,75	14,36	14,50	-0,97
	11:00	6,5	6,68	-2,69	27,34	26,80	2,01	14,3	14,70	-2,72
	12:00	6,5	6,66	2,46	27,34	27,60	-0,94	14,73	15,00	-1,80
	13:00	6,5	6,82	4,92	26,34	27,40	-3,87	15,13	15,30	-1,11
	14:00	6,51	6,78	4,15	26,48	26,80	-1,19	15,14	15,60	-2,95
	15:00	6,51	6,92	6,30	20,48	20,60	-0,58	15,14	15,00	0,93
	16:00	6,51	6,94	6,61	21,26	21,40	-0,65	15,69	15,40	1,88
	17:00	6,6	6,90	4,55	21,05	21,80	-3,44	15,71	15,20	3,36
8/4/2016	8:00	7,6	7,12	-6,32	17,48	17,93	-2,51	14,1	13,80	2,17
	9:00	7,6	7,18	-5,53	19,48	20,12	-3,18	14,13	14,00	0,93
	10:00	7,6	7,08	-6,84	20,48	20,80	-1,54	14,13	14,00	0,93
	11:00	7,6	7,11	-6,45	19,48	19,55	-0,36	14,13	14,40	-1,88
	12:00	7,51	7,23	-3,73	19,48	18,06	7,86	14,23	14,80	-3,85
	13:00	7,51	7,28	-3,06	18,84	18,31	2,89	14,43	15,10	-4,44
	14:00	7,51	7,18	-4,39	18,84	18,26	3,18	15,13	15,30	-1,11
	15:00	6,5	6,83	5,08	18,84	18,21	3,46	15,13	15,60	-3,01
	16:00	6,51	6,92	6,30	18,26	19,14	-4,60	15,69	15,20	3,22
	Promedio error relativo			4,70			2,67			2,12

Fuente: Los Autores.

CONCLUSIONES

- Se logró realizar un sistema para monitorear variables que determinan la calidad de agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable El Pucará en la ciudad de Loja, utilizando una mota para la adquisición de datos en cuatro de las etapas de potabilización, para luego por medio de un enlace inalámbrico enviar esta información a un coordinador que se encargará de subir los datos a un servidor IoT.
- Se realizó una investigación para comprender el funcionamiento de la planta de tratamiento, así como un estudio de tecnologías de sensores y sistemas de comunicación para RSI para poder seleccionar los componentes de hardware y software aptos para que puedan cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo.
- Se ha conseguido diseñar y construir las placas para la mota de adquisición de datos y el nodo coordinador, utilizando un software de diseño de PCBs. Estas placas son específicas y están diseñadas para cumplir con los requerimientos funcionales planteados en la etapa de diseño y funcionarán con las plataformas de hardware Open Garden y de software Arduino.
- Se ha conseguido desarrollar una aplicación de escritorio, haciendo uso del software Labview. Ésta permite visualizar las variables de calidad de agua monitorizadas por la red de sensores; la aplicación obtiene los datos almacenados en el servidor IoT en función de la frecuencia de actualización que configure el usuario.
- Se ha desarrollado una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android que permite visualizar las variables monitorizadas de forma remota. La aplicación muestra los datos en una tabla o una gráfica de acuerdo a lo que el usuario determine, además, es posible configurar la frecuencia de actualización de los datos, recibir alertas mediante notificaciones cuando las variables sobrepasen su rango normal y establecer un sistema de seguridad por medio de usuario y contraseña.
- Se ha logrado comprobar el funcionamiento de los sensores seleccionados realizando una contrastación entre los datos obtenidos por dichos sensores con los datos que son obtenidos con los instrumentos de referencia utilizados en la planta de tratamiento de agua potable El Pucará, dando como resultado un error relativo promedio cercano

al 5%, por ello, a pesar de que los sensores mantienen un nivel de incertidumbre aceptable, se recomienda tomar en cuenta tecnologías con mayor precisión.

- Se monitorizó durante dos días las variables de calidad de agua seleccionadas en las etapas de captación, sedimentación y distribución en la planta de tratamiento y se comprobó que los niveles de estas variables se encuentran dentro del rango que establece la Norma INEN 1 108:2006 para Agua potable.
- Se comprobó que los sensores requieren una calibración periódica con los Kits adecuados, así como que se necesita un periodo de establecimiento que es alrededor de 15 a 20 minutos por cada buffer utilizado. Una vez que ha realizado dicha calibración los sensores deben lavarse con agua destilada para ser utilizados.

RECOMENDACIONES

- En algunos casos el error máximo de los sensores utilizados respecto a los instrumentos de referencia bordea o sobrepasa el 5%, por tal razón, se recomienda que en trabajos futuros se utilice sensores que posean una mayor precisión.
- Para aumentar las variables adquiridas en las motas, se recomienda realizar un nuevo análisis de los requerimientos de recursos de procesamiento en la mota, puesto que a medida que aumenta el número de sensores, también aumentan los procesos necesarios para calcular la magnitud de las variables.
- Para implementar el sistema durante un tiempo indefinido, se recomienda utilizar un soporte más robusto, puesto que las motas se encuentran en contacto directo con el agua, y durante las rutinas de limpieza realizadas por personal de la planta, éstas pueden sufrir algún golpe que provoque daños en los sensores o en la placa.
- Si se requiere implementar más puntos de monitoreo, se recomienda tomar en cuenta el tiempo en que cada mota envía su trama al nodo coordinador, para de ésta manera evitar colisiones (que dos o más motas envíen sus tramas en el mismo instante).
- Se recomienda implementar un sistema similar en la red de distribución de la PTAP, para ello se debe analizar otra tecnología de comunicación que soporte la distancia que existe entre los tanques de distribución y el punto de concentración de los datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] National Academy of Sciences, «Global Health and Education Foundation,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.nationalacademies.org/>. [Último acceso: 12 enero 2016].
- [2] O. M. d. I. Salud, «Organización Mundial de la Salud,» [En línea]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/2000globs1.pdf. [Último acceso: 13 12 2015].
- [3] O. M. d. I. Salud, «Organización Mundial de la Salud,» [En línea]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/waterforlife.pdf. [Último acceso: 14 12 2015].
- [4] O. Organización Mundial de la Salud, «Semana Mundial de la Inmunización, OMS,» 2016. [En línea]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/. [Último acceso: 12 3 2016].
- [5] I. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, «Informe de Resultados ECV 2013-2014,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.unicef.org/ecuador/150411-ResultadosECV.pdf>. [Último acceso: 12 3 2016].
- [6] I. A. X. I. PhD. Cristhian Manuel Durán Acevedo, «AUTOMATION OF A DRINKING WATER SUPPLY THROUGH OF ZIGBEE,» *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2012.
- [7] R. C. L. A. S. H. Carlos Robles Algarín, «Design of a labview-based scada system, implementing the zigbee wireless,» p. 9, 2012.
- [8] L. E. C. Analuisa, «SISTEMA INALÁMBRICO PARA CONTROL Y MONITOREO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN BAÑOS.,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, AMBATO, 2015.
- [9] L. F. Aleaga Loaiza, «Diseño de un sistema de telemetría y telecontrol (SCADA) para la red de distribución de agua potable de la ciudad de Loja,» Universidad de Cuenca , Cuenca, 2010.
- [10] O. M. d. I. Salud, «Organización Mundial de la Salud,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.who.int/topics/water/es/>. [Último acceso: 11 12 2015].
- [11] I. N. d. E. y. Censos, «Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador,» 7 2014. [En línea]. Available: <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf>. [Último acceso: 14 2 2016].
- [12] P. Azul, «Planeta Azul,» [En línea]. Available: <http://comunidadplanetaazul.com/agua/aprende-mas-acerca-del-agua/tipos-de-agua/>. [Último acceso: 12 12 2015].
- [13] O. Organización de Naciones Unidas, «Organización de Naciones Unidas, Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida",» 22 10 2014. [En línea]. Available:

- <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>. [Último acceso: 12 12 2015].
- [14] S. d. A. Ecuador, «Secretaría del Agua,» 2012. [En línea]. Available: <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Ilc%202012-2.pdf>. [Último acceso: 28 12 2015].
- [15] EMASA, «Parámetros de calidad de las aguas,» 14 9 2015. [En línea]. Available: https://www.emasa.es/3_calidad/analisis_agua/3221_analisis.php?PFILE=1. [Último acceso: 12 12 2015].
- [16] INEN, Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES,» Quito, 2003.
- [17] H. Rojas, «Nacho Rojas,» Blogspot, 3 5 2015. [En línea]. Available: <http://hernanrojasenriquez.blogspot.com/2015/05/tratamiento-de-agua-lluvia.html>. [Último acceso: 14 12 2015].
- [18] I. Y. A. Cárdenas., «Sedapal, TRATAMIENTO DE AGUA,» 23 3 2010. [En línea]. Available: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154. [Último acceso: 26 12 2015].
- [19] D. S. PÉREZ, «VIRTUALPRO, Procesos Industriales,» 29 5 2012. [En línea]. Available: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/proyecto-de-planta-potabilizadora-de-agua-potable-en-cidade-velha-cabo-verde>. [Último acceso: 27 12 2015].
- [20] U. N. A. y. a. Distancia, «Universidad Nacional Abierta y a Distancia,» [En línea]. Available: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_20_canaleta_parshall.html. [Último acceso: 27 12 2015].
- [21] C. P. d. I. S. y. C. d. A. -. CEPIS, Evaluación de plantas de tratamiento de agua. Manual DTIAPA, Nº C - 5. Tomo I, Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS, 1984.
- [22] J. Arboleda Valencia, Teoría y práctica de la purificación del agua, Bogotá: McGraw Hill., 2000.
- [23] LENNTECH, «WATER TREATMENT SOLUTIONS,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/que-es-desinfeccion.htm>. [Último acceso: 15 enero 2016].
- [24] R. A. C. Arias, «LEVANTAMIENTO CATASTRAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "EL PUCARA",» Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, 2015.
- [25] E. Gallo, Interviewee, *Funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable el Pucará*. [Entrevista]. 22 1 2016.

- [26] A. Boukerche, Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks, New Jersey: Wiley & Sons, 2009.
- [27] M. A. R. Mr. Madhav Bokare, «International Journal of Computer Engineering Science (IJCES),» 3 2012. [En línea]. Available: <http://vixra.org/pdf/1208.0129v1.pdf>. [Último acceso: 30 12 2015].
- [28] S. Y. T. ,. g. Miguel Angel Erazo Villegas, «Florida International University, School of Computing and Information Sciences,» 2016. [En línea]. Available: <http://users.cs.fiu.edu/~meraz001/TR-NCIG-0501.pdf>. [Último acceso: 5 1 2016].
- [29] R. S. P. Ajay Jangra, «Engineering Journal Publications,» 2016. [En línea]. Available: <http://users.cs.fiu.edu/~meraz001/TR-NCIG-0501.pdf>. [Último acceso: 4 01 2016].
- [30] S. Farahani, ZIGBEE WIRELESS NETWORKS AND TRANSCEIVERS, EEUU: Elsevier, 2008.
- [31] S. M. B. H. W. Lars Berlemann, IEEE 802, Wireless Systems Protocols, Multi-hop, EEUU: Editorial Jhon Wiley & Sons, 2007.
- [32] R. Faludi, Building Wireless Sensor Networks, United States of America.: O'Reilly Media, Inc., 2011.
- [33] A. G. Ata Elahi, ZigBee Wireless Sensor and Control Network, New Jersey: Prentice Hall., 2009.
- [34] S. Navarro Gavira, «ALGORITMOS CROSS-LAYER PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PRESTACIONES DEL TCP EN REDES WIRELESS AD-HOC,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2006.
- [35] Carbotecnia, «Carbotecnia.info,» 3 10 2014. [En línea]. Available: <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-ph-del-agua/>. [Último acceso: 12 1 2016].
- [36] J. Oreggion, « Núcleo de Ingeniería Biomédica Universidad de la República de Uruguay,» 12 julio 2010. [En línea]. Available: <http://www.nib.fmed.edu.uy/Seminario%202006/Trabajos%20estudiantes%202006/Oreggioni,%20Julian.pdf>. [Último acceso: 15 1 2016].
- [37] A. Dybko, «“Fiber optic chemical sensors”,» 20 6 2006. [En línea]. Available: <http://csrg.ch.pw.edu.pl/tutorials/fiber> . [Último acceso: 12 1 2016].
- [38] guemisa, «Guemisa, sensores de conductividad,» [En línea]. Available: <http://www.guemisa.com/ambien/docus/completo%20conductividad.pdf>. [Último acceso: 14 12 2016].
- [39] Ubidots, «Ubidots,» 2014. [En línea]. Available: <http://ubidots.com/>. [Último acceso: Diciembre 2015].
- [40] SparkFun Electronics, «data.sparkfun.com,» 2014. [En línea]. Available: data.sparkfun.com. [Último acceso: diciembre 2015].

- [41] I. The MathWorks, «thingspeak.com,» 2016. [En línea]. Available: <https://thingspeak.com>. [Último acceso: Diciembre 2015].
- [42] Carriots, «Carriots,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.carriots.com>. [Último acceso: Diciembre 2015].
- [43] I. Electric Imp, «Electric Imp,» 2011. [En línea]. Available: <https://electricimp.com>. [Último acceso: Diciembre 2016].
- [44] Blaulabs, «Blaulabs,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.blaulabs.com>. [Último acceso: Diciembre 2016].
- [45] T. LAB, «Thinking Things,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.thinkingthings.telefonica.com>. [Último acceso: Diciembre 2016].
- [46] S. Electronics, «Sparkfun,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/10419>. [Último acceso: 20 1 2016].
- [47] S. Electronics, «Sparkfun,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/10822>. [Último acceso: 21 1 2016].
- [48] C. H. b. Libelium, «Cooking Hacks,» [En línea]. Available: <https://www.cooking-hacks.com/ph-sensor>. [Último acceso: 20 1 2016].
- [49] C. H. b. Libelium, «Cooking Hacks,» [En línea]. Available: <https://www.cooking-hacks.com/shop/sensors/water-quality/conductivity-sensor>. [Último acceso: 20 1 2016].
- [50] S. Electronics, «Sparkfun,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/11050>. [Último acceso: 22 1 2016].
- [51] MaxBotix, «MaxBotix,» 2012. [En línea]. Available: http://www.maxbotix.com/documents/HRXL-MaxSonar-WRS_Datasheet.pdf. [Último acceso: 23 1 2016].
- [52] A. Experts, «Arduino Experts,» 3 2013. [En línea]. Available: <http://jobs.arduinoexperts.com/2013/03/02/arduino-atmega-pinout-diagrams/>. [Último acceso: 24 1 2016].
- [53] C. H. b. Libelium, «Cooking Hacks,» [En línea]. Available: <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/open-garden-hydroponics-irrigation-system-sensors-plant-monitoring>. [Último acceso: 24 1 2016].
- [54] M. Burton, «Dallas Temperature Control Library,» Enero 2016. [En línea]. Available: http://www.milesburton.com/Main_Page?title=Dallas_Temperature_Control_Library. [Último acceso: 23 Febrero 2016].
- [55] M. Incorporated, «MaxBotix,» 2012. [En línea]. Available: http://www.maxbotix.com/documents/HRXL-MaxSonar-WRS_Datasheet.pdf. [Último acceso: Enero 2016].

ANEXOS

Anexo A

CAPTACIÓN					
PH	Conductividad	Temperatura	Nivel	Fecha	Hora
7,43	20,86	15,14	0,60	04/04/2016	1:17:22 p. m.
7,04	20,75	15,50	0,60	04/04/2016	1:47:07 p. m.
7,13	21,87	15,50	0,60	04/04/2016	2:17:00 p. m.
7,04	21,34	15,56	0,63	04/04/2016	2:47:03 p. m.
7,04	21,34	15,63	0,60	04/04/2016	3:17:06 p. m.
7,6	21,71	15,63	0,61	04/04/2016	3:47:00 p. m.
7,51	20,26	15,69	0,61	04/04/2016	4:17:02 p. m.
7,51	20,26	15,75	0,62	04/04/2016	4:47:05 p. m.
7,6	20,05	15,81	0,61	04/04/2016	5:17:08 p. m.
7,6	20,43	15,75	0,62	04/04/2016	5:47:01 p. m.
7,6	20,74	15,75	0,61	04/04/2016	6:17:03 p. m.
7,51	20,07	15,75	0,60	04/04/2016	6:47:05 p. m.
7,6	19,07	15,19	0,61	04/04/2016	7:17:07 p. m.
7,6	19,07	15,05	0,59	04/04/2016	7:47:00 p. m.
7,51	20,45	14,73	0,61	04/04/2016	8:17:02 p. m.
7,6	20,45	14,56	0,60	04/04/2016	8:47:04 p. m.
7,7	20,87	14,50	0,60	04/04/2016	9:17:06 p. m.
7,6	19,60	14,50	0,60	04/04/2016	9:47:07 p. m.
7,6	19,60	14,44	0,60	04/04/2016	10:17:00 p. m.
7,6	19,60	14,44	0,59	04/04/2016	10:47:02 p. m.
7,51	19,84	14,38	0,59	04/04/2016	11:17:04 p. m.
7,6	18,34	14,38	0,61	04/04/2016	11:47:06 p. m.
7,6	18,34	14,38	0,61	05/04/2016	12:17:08 a. m.
7,6	19,34	14,31	0,61	05/04/2016	12:47:01 a. m.
7,51	19,60	14,31	0,59	05/04/2016	1:17:03 a. m.
7,51	19,34	14,31	0,59	05/04/2016	1:47:04 a. m.
7,51	18,34	14,25	0,59	05/04/2016	2:17:06 a. m.
7,51	18,60	14,19	0,60	05/04/2016	2:47:08 a. m.
7,51	18,60	14,19	0,60	05/04/2016	3:17:01 a. m.
7,55	18,34	14,19	0,59	05/04/2016	3:47:03 a. m.
7,51	18,34	14,19	0,60	05/04/2016	4:17:05 a. m.
7,51	17,34	14,19	0,60	05/04/2016	4:47:07 a. m.
7,51	17,08	14,13	0,61	05/04/2016	5:17:00 a. m.
7,59	18,84	14,13	0,59	05/04/2016	5:47:01 a. m.
7,51	18,84	14,13	0,60	05/04/2016	6:17:03 a. m.
7,6	18,84	14,13	0,60	05/04/2016	6:47:03 a. m.
7,51	17,84	14,13	0,60	05/04/2016	7:17:06 a. m.
7,51	17,74	14,13	0,60	05/04/2016	7:47:08 a. m.
7,51	17,74	14,13	0,60	05/04/2016	8:17:16 a. m.
7,62	17,65	14,13	0,60	05/04/2016	8:47:03 a. m.
7,51	17,66	14,13	0,61	05/04/2016	9:17:02 a. m.
7,51	17,70	14,13	0,61	05/04/2016	9:47:00 a. m.

7,51	16,75	14,13	0,61	05/04/2016	10:17:06 a. m.
7,51	16,80	14,13	0,61	05/04/2016	10:47:08 a. m.
7,51	16,83	14,13	0,61	05/04/2016	11:17:07 a. m.
7,6	16,80	14,14	0,60	05/04/2016	11:47:03 a. m.
7,6	15,80	14,16	0,60	05/04/2016	12:17:02 p. m.
7,51	15,80	14,20	0,60	05/04/2016	12:47:00 p. m.
7,51	15,80	14,69	0,60	05/04/2016	1:17:16 p. m.
7,53	14,75	15,10	0,60	05/04/2016	1:47:05 p. m.
7,51	14,65	15,13	0,60	05/04/2016	2:17:21 p. m.
7,55	14,75	15,13	0,61	05/04/2016	2:47:08 p. m.
7,51	14,84	15,13	0,61	05/04/2016	3:17:06 p. m.
7,6	15,71	15,63	0,61	05/04/2016	3:47:00 p. m.
7,51	14,16	15,69	0,62	05/04/2016	4:17:05 p. m.
7,51	14,26	15,55	0,62	05/04/2016	4:47:03 p. m.
7,6	15,05	15,21	0,61	05/04/2016	5:17:08 p. m.
7,6	15,43	15,35	0,62	05/04/2016	5:47:04 p. m.
7,6	15,54	15,75	0,61	05/04/2016	6:17:06 p. m.
7,51	16,07	15,75	0,60	05/04/2016	6:47:04 p. m.
7,6	16,17	14,39	0,61	05/04/2016	7:17:12 p. m.
7,6	16,07	14,69	0,60	05/04/2016	7:47:10 p. m.
7,51	15,25	14,63	0,61	05/04/2016	8:17:01 p. m.
7,6	15,45	14,56	0,60	05/04/2016	8:47:05 p. m.
7,7	14,37	14,40	0,60	05/04/2016	9:17:00 p. m.
7,6	14,50	14,50	0,60	05/04/2016	9:47:02 p. m.
7,6	14,20	14,64	0,60	05/04/2016	10:17:05 p. m.
7,6	14,50	14,43	0,59	05/04/2016	10:47:06 p. m.
7,51	14,84	14,35	0,59	05/04/2016	11:17:00 p. m.
7,6	14,34	14,38	0,61	05/04/2016	11:47:16 p. m.
7,6	15,34	14,31	0,61	06/04/2016	12:17:00 a. m.
7,6	15,34	14,30	0,61	06/04/2016	12:47:12 a. m.
7,51	14,60	14,19	0,59	06/04/2016	1:17:06 a. m.
7,51	14,34	14,23	0,59	06/04/2016	1:47:04 a. m.
7,51	14,24	14,20	0,59	06/04/2016	2:17:00 a. m.
7,51	15,60	14,18	0,60	06/04/2016	2:47:08 a. m.
7,55	15,30	14,17	0,60	06/04/2016	3:17:02 a. m.
7,51	15,24	14,19	0,59	06/04/2016	3:47:04 a. m.
7,5	15,24	14,19	0,60	06/04/2016	4:17:09 a. m.
7,55	15,24	14,15	0,60	06/04/2016	4:47:07 a. m.
7,6	15,18	14,19	0,61	06/04/2016	5:17:08 a. m.
7,63	16,84	14,13	0,59	06/04/2016	5:47:11 a. m.
7,5	15,64	14,15	0,60	06/04/2016	6:17:00 a. m.
7,55	16,74	14,10	0,60	06/04/2016	6:47:01 a. m.
7,51	16,64	14,13	0,60	06/04/2016	7:17:05 a. m.
7,51	16,64	14,10	0,60	06/04/2016	7:47:10 a. m.
7,5	16,80	14,19	0,60	06/04/2016	8:17:01 a. m.
7,5	17,80	14,12	0,59	06/04/2016	8:47:00 a. m.

7,5	17,80	14,11	0,59	06/04/2016	9:17:21 a. m.
7,51	17,80	14,19	0,59	06/04/2016	9:47:02 a. m.
7,51	16,74	14,29	0,60	06/04/2016	10:17:09 a. m.
7,51	17,63	14,36	0,60	06/04/2016	10:47:05 a. m.
7,51	17,52	14,53	0,60	06/04/2016	11:17:03 a. m.
7,5	17,63	14,63	0,60	06/04/2016	11:47:03 a. m.
7,5	18,56	14,72	0,60	06/04/2016	12:17:02 p. m.
7,5	17,43	14,93	0,60	06/04/2016	12:47:16 p. m.
7,5	18,43	15,13	0,60	06/04/2016	1:17:11 p. m.
7,5	18,43	15,19	0,60	06/04/2016	1:47:09 p. m.
7,5	18,80	15,23	0,61	06/04/2016	2:17:01 p. m.
7,5	18,80	15,33	0,61	06/04/2016	2:47:33 p. m.
7,5	18,80	15,39	0,61	06/04/2016	3:17:12 p. m.
7,6	19,61	15,46	0,61	06/04/2016	3:47:02 p. m.
7,51	18,23	15,59	0,60	06/04/2016	4:17:04 p. m.
7,51	18,21	15,65	0,62	06/04/2016	4:47:03 p. m.

CLORACIÓN					
PH	Conductividad	Temperatura	Nivel	Fecha	Hora
6,6	28,43	15,75	1,62	06/04/2016	5:47:01 p. m.
6,6	29,74	15,75	1,61	06/04/2016	6:17:03 p. m.
6,61	29,07	15,75	1,6	06/04/2016	6:47:05 p. m.
6,6	29,07	14,69	1,61	06/04/2016	7:17:07 p. m.
6,6	29,07	14,39	1,61	06/04/2016	7:47:00 p. m.
6,51	28,45	14,93	1,61	06/04/2016	8:17:02 p. m.
6,6	28,45	14,56	1,6	06/04/2016	8:47:04 p. m.
6,8	29,87	14,5	1,6	06/04/2016	9:17:06 p. m.
6,6	27,6	14,5	1,6	06/04/2016	9:47:07 p. m.
6,2	27,6	14,44	1,6	06/04/2016	10:17:00 p. m.
6,5	27,6	14,44	1,59	06/04/2016	10:47:02 p. m.
6,31	28,84	14,38	1,59	06/04/2016	11:17:04 p. m.
6,6	27,34	14,38	1,61	06/04/2016	11:47:06 p. m.
6,5	27,34	14,38	1,61	07/04/2016	12:17:08 a. m.
6,5	26,34	14,31	1,61	07/04/2016	12:47:01 a. m.
6,51	26,6	14,31	1,59	07/04/2016	1:17:03 a. m.
6,5	26,34	14,31	1,59	07/04/2016	1:47:04 a. m.
6,55	26,34	14,25	1,59	07/04/2016	2:17:06 a. m.
6,51	27,6	14,19	1,6	07/04/2016	2:47:08 a. m.
6,51	27,6	14,19	1,6	07/04/2016	3:17:01 a. m.
6,51	26,34	14,19	1,6	07/04/2016	3:47:03 a. m.
6,5	26,34	14,19	1,61	07/04/2016	4:17:05 a. m.
6,51	26,34	14,19	1,61	07/04/2016	4:47:07 a. m.
6,6	25,08	14,23	1,61	07/04/2016	5:17:00 a. m.
6,6	25,84	14,2	1,59	07/04/2016	5:47:01 a. m.
6,6	25,74	14,2	1,6	07/04/2016	6:17:03 a. m.
6,6	25,74	14,2	1,6	07/04/2016	6:47:03 a. m.

6,51	24,74	14,2	1,6	07/04/2016	7:17:06 a. m.
6,51	25,84	14,2	1,6	07/04/2016	7:47:08 a. m.
6,51	25,84	14,26	1,6	07/04/2016	8:17:16 a. m.
6,51	25,84	14,13	1,6	07/04/2016	8:47:03 a. m.
6,51	25,84	14,12	1,6	07/04/2016	9:17:02 a. m.
6,51	25,84	14,3	1,6	07/04/2016	9:47:00 a. m.
6,5	26,84	14,36	1,6	07/04/2016	10:17:06 a. m.
6,5	27,84	14,4	1,59	07/04/2016	10:47:08 a. m.
6,5	27,34	14,3	1,59	07/04/2016	11:17:07 a. m.
6,5	26,34	14,25	1,59	07/04/2016	11:47:03 a. m.
6,5	27,34	14,73	1,59	07/04/2016	12:17:02 p. m.
6,5	27,34	15,13	1,59	07/04/2016	12:47:00 p. m.
6,5	26,34	15,13	1,59	07/04/2016	1:17:16 p. m.
6,51	26,34	15,1	1,6	07/04/2016	1:47:05 p. m.
6,51	26,48	15,14	1,6	07/04/2016	2:17:21 p. m.
6,51	25,48	15,14	1,6	07/04/2016	2:47:08 p. m.
6,51	20,48	15,14	1,6	07/04/2016	3:17:06 p. m.
6,6	20,71	15,63	1,61	07/04/2016	3:47:00 p. m.
6,51	21,26	15,69	1,6	07/04/2016	4:17:05 p. m.
6,51	21,26	15,75	1,62	07/04/2016	4:47:03 p. m.
6,6	21,05	15,71	1,61	07/04/2016	5:17:08 p. m.
6,6	20,43	15,75	1,62	07/04/2016	5:47:04 p. m.
6,6	20,74	15,65	1,61	07/04/2016	6:17:06 p. m.
6,51	20,07	15,65	1,6	07/04/2016	6:47:04 p. m.
6,6	20,07	15,69	1,61	07/04/2016	7:17:12 p. m.
6,6	20,07	14,79	1,59	07/04/2016	7:47:10 p. m.
6,51	23,45	14,63	1,61	07/04/2016	8:17:01 p. m.
6,6	24,45	14,56	1,6	07/04/2016	8:47:05 p. m.
6,7	23,87	14,5	1,6	07/04/2016	9:17:00 p. m.
6,6	23,6	14,5	1,6	07/04/2016	9:47:02 p. m.
6,6	23,6	14,44	1,6	07/04/2016	10:17:05 p. m.
6,6	19,6	14,44	1,59	07/04/2016	10:47:06 p. m.
6,51	20,84	14,38	1,59	07/04/2016	11:17:00 p. m.
6,6	20,34	14,38	1,61	07/04/2016	11:47:16 p. m.
6,6	20,34	14,38	1,61	08/04/2016	12:17:00 a. m.
6,6	20,34	14,31	1,61	08/04/2016	12:47:12 a. m.
6,51	20,6	14,31	1,59	08/04/2016	1:17:06 a. m.
6,51	20,34	14,31	1,59	08/04/2016	1:47:04 a. m.
6,51	21,34	14,25	1,59	08/04/2016	2:17:00 a. m.
6,51	21,6	14,19	1,6	08/04/2016	2:47:08 a. m.
6,51	20,6	14,19	1,6	08/04/2016	3:17:02 a. m.
6,51	23,34	14,19	1,59	08/04/2016	3:47:04 a. m.
6,51	20,34	14,19	1,6	08/04/2016	4:17:09 a. m.
6,51	20,34	14,19	1,6	08/04/2016	4:47:07 a. m.
6,51	20,08	14,13	1,61	08/04/2016	5:17:08 a. m.
6,51	18,48	14,1	1,59	08/04/2016	5:47:11 a. m.

6,51	18,48	14,1	1,6	08/04/2016	6:17:00 a. m.
7,51	18,42	14,1	1,6	08/04/2016	6:47:01 a. m.
7,51	17,44	14,12	1,6	08/04/2016	7:17:05 a. m.
7,6	17,42	14,11	1,61	08/04/2016	7:47:10 a. m.
7,6	17,48	14,1	1,61	08/04/2016	8:17:01 a. m.
7,6	17,48	14,13	1,6	08/04/2016	8:47:00 a. m.
7,6	19,48	14,13	1,6	08/04/2016	9:17:21 a. m.
7,6	20,48	14,12	1,6	08/04/2016	9:47:02 a. m.
7,6	20,48	14,13	1,6	08/04/2016	10:17:09 a. m.
7,6	20,48	14,16	1,6	08/04/2016	10:47:05 a. m.
7,6	19,48	14,13	1,58	08/04/2016	11:17:03 a. m.
7,51	19,48	14,24	1,58	08/04/2016	11:47:03 a. m.
7,51	19,48	14,23	1,58	08/04/2016	12:17:02 p. m.
7,51	18,48	14,23	1,58	08/04/2016	12:47:16 p. m.
7,51	18,84	14,43	1,58	08/04/2016	1:17:11 p. m.
7,5	18,84	14,63	1,6	08/04/2016	1:47:09 p. m.
7,51	18,84	15,13	1,6	08/04/2016	2:17:01 p. m.
6,51	18,84	15,13	1,6	08/04/2016	2:47:33 p. m.
6,5	18,84	15,13	1,6	08/04/2016	3:17:12 p. m.
6,6	18,71	15,63	1,61	08/04/2016	3:47:02 p. m.
6,51	18,26	15,69	1,62	08/04/2016	4:17:04 p. m.
7,5	19,26	15,75	1,62	08/04/2016	4:47:03 p. m.

SEDIMENTACIÓN					
PH	Conductividad	Temperatura	Nivel	Fecha	Hora
6,6	40,12	16,81	0,91	20/04/2016	1:17:08 p. m.
6,6	40,23	16,75	0,92	20/04/2016	1:47:01 p. m.
6,6	40,16	16,75	0,91	20/04/2016	2:17:03 p. m.
6,51	39,85	16,75	0,9	20/04/2016	2:47:05 p. m.
6,6	39,65	16,69	0,91	20/04/2016	3:17:07 p. m.
6,6	42,12	16,69	0,89	20/04/2016	3:47:00 p. m.
6,51	42,36	15,63	0,91	20/04/2016	4:17:02 p. m.
6,6	43,56	15,56	0,91	20/04/2016	4:47:04 p. m.
6,7	43,15	15,5	0,91	20/04/2016	5:17:06 p. m.
6,6	43,25	15,5	0,9	20/04/2016	5:47:07 p. m.
6,6	43,19	14,84	0,9	20/04/2016	6:17:00 p. m.
6,6	41,25	14,44	0,89	20/04/2016	6:47:02 p. m.
6,51	41,23	14,38	0,89	20/04/2016	7:17:04 p. m.
6,6	41,23	14,38	0,91	20/04/2016	7:47:06 p. m.
6,6	41,35	14,38	0,91	20/04/2016	8:17:08 p. m.
6,6	41,34	14,31	0,91	20/04/2016	8:47:01 p. m.
6,51	41,6	14,31	0,89	20/04/2016	9:17:03 p. m.
6,69	40,34	14,31	0,89	20/04/2016	9:47:04 p. m.
6,8	38,34	14,25	0,89	20/04/2016	10:17:06 p. m.
6,51	38,6	14,19	0,9	20/04/2016	10:47:08 p. m.
6,51	38,6	14,19	0,9	20/04/2016	11:17:01 p. m.

6,51	37,34	14,19	0,89	20/04/2016	11:47:03 p. m.
6,51	34,42	14,19	0,9	21/04/2016	12:17:05 a. m.
6,51	34,12	14,19	0,9	21/04/2016	12:47:07 a. m.
6,51	33,56	14,13	0,91	21/04/2016	1:17:00 a. m.
6,51	31,5	14,13	0,89	21/04/2016	1:47:01 a. m.
6,54	31,15	14,13	0,9	21/04/2016	2:17:03 a. m.
6,42	28,51	14,13	0,9	21/04/2016	2:47:03 a. m.
6,32	27,89	14,13	0,9	21/04/2016	3:17:06 a. m.
6,45	28,12	14,13	0,9	21/04/2016	3:47:08 a. m.
6,54	27,34	14,13	0,9	21/04/2016	4:17:16 a. m.
6,54	27,56	14,23	0,9	21/04/2016	4:47:03 a. m.
6,54	24,15	14,26	0,9	21/04/2016	5:17:02 a. m.
6,23	24,35	14,6	0,9	21/04/2016	5:47:00 a. m.
6,28	23,56	14,6	0,89	21/04/2016	6:17:06 a. m.
6,36	23,12	14,6	0,89	21/04/2016	6:47:08 a. m.
6,45	22,98	14,9	0,89	21/04/2016	7:17:07 a. m.
6,52	22,45	15,3	0,89	21/04/2016	7:47:03 a. m.
6,51	21,85	15,3	0,9	21/04/2016	8:17:02 a. m.
6,52	21,2	15,46	0,9	21/04/2016	8:47:00 a. m.
6,52	21,26	15,46	0,9	21/04/2016	9:17:16 a. m.
6,51	21,3	15,6	0,9	21/04/2016	9:47:05 a. m.
6,52	20,65	15,6	0,9	21/04/2016	10:17:21 a. m.
6,5	20,12	16,1	0,9	21/04/2016	10:47:08 a. m.
6,45	19,23	16,23	0,9	21/04/2016	11:17:06 a. m.
6,42	19,12	16,63	0,91	21/04/2016	11:47:00 a. m.
6,45	19,12	16,69	0,91	21/04/2016	12:17:05 p. m.
6,45	19,12	16,75	0,92	21/04/2016	12:47:03 p. m.
6,45	19,23	16,81	0,91	21/04/2016	1:17:08 p. m.
6,44	19,16	16,65	0,92	21/04/2016	1:47:04 p. m.
6,6	19,12	16,35	0,92	21/04/2016	2:17:06 p. m.
6,51	19,12	16,15	0,92	21/04/2016	2:47:04 p. m.
6,6	18,65	15,69	0,92	21/04/2016	3:17:12 p. m.
6,6	18,23	15,69	0,91	21/04/2016	3:47:10 p. m.
6,51	18,52	15,63	0,91	21/04/2016	4:17:01 p. m.
6,6	18,43	15,56	0,9	21/04/2016	4:47:05 p. m.
6,7	18,42	15,5	0,9	21/04/2016	5:17:00 p. m.
6,6	18,51	15,5	0,9	21/04/2016	5:47:02 p. m.
6,6	19,5	15,44	0,9	21/04/2016	6:17:05 p. m.
6,6	19,6	15,44	0,89	21/04/2016	6:47:06 p. m.
6,51	19,84	15,38	0,9	21/04/2016	7:17:00 p. m.
6,6	19,34	15,18	0,91	21/04/2016	7:47:16 p. m.
6,6	19,54	14,38	0,89	21/04/2016	8:17:00 p. m.
6,6	19,34	14,31	0,91	21/04/2016	8:47:12 p. m.
6,51	19,6	14,31	0,91	21/04/2016	9:17:06 p. m.
6,51	19,34	14,31	0,89	21/04/2016	9:47:04 p. m.
6,51	19,34	14,25	0,89	21/04/2016	10:17:00 p. m.

6,51	19,16	14,19	0,9	21/04/2016	10:47:08 p. m.
6,51	19,6	14,19	0,9	21/04/2016	11:17:02 p. m.
6,51	19,23	14,19	0,9	21/04/2016	11:47:04 p. m.
6,51	19,32	14,19	0,9	22/04/2016	12:17:09 a. m.
6,54	19,36	14,19	0,9	22/04/2016	12:47:07 a. m.
6,54	19,36	14,13	0,91	22/04/2016	1:17:08 a. m.
6,54	19,45	14,13	0,89	22/04/2016	1:47:11 a. m.
6,51	19,21	14,13	0,9	22/04/2016	2:17:00 a. m.
6,45	19,15	14,13	0,9	22/04/2016	2:47:01 a. m.
6,42	18,54	14,13	0,9	22/04/2016	3:17:05 a. m.
6,13	18,45	14,13	0,9	22/04/2016	3:47:10 a. m.
6,35	18,56	14,53	0,9	22/04/2016	4:17:01 a. m.
6,35	18,65	14,53	0,9	22/04/2016	4:47:00 a. m.
6,35	19,22	14,53	0,9	22/04/2016	5:17:21 a. m.
6,25	19,51	14,53	0,91	22/04/2016	5:47:02 a. m.
6,32	19,51	14,13	0,91	22/04/2016	6:17:09 a. m.
6,3	19,86	14,13	0,91	22/04/2016	6:47:05 a. m.
6,45	20,12	14,13	0,91	22/04/2016	7:17:03 a. m.
6,62	21,65	14,13	0,91	22/04/2016	7:47:03 a. m.
6,6	21,85	14,35	0,9	22/04/2016	8:17:02 a. m.
6,56	21,03	14,35	0,9	22/04/2016	8:47:16 a. m.
6,64	22,56	14,65	0,9	22/04/2016	9:17:11 a. m.
6,5	23,41	14,62	0,9	22/04/2016	9:47:09 a. m.
6,63	23,95	14,85	0,9	22/04/2016	10:17:01 a. m.
6,63	23,12	15,13	0,9	22/04/2016	10:47:33 a. m.
6,85	23,56	15,13	0,9	22/04/2016	11:17:12 a. m.
6,7	23,63	15,63	0,91	22/04/2016	11:47:02 a. m.
6,72	24,15	15,69	0,91	22/04/2016	12:17:04 p. m.
6,75	24,86	15,75	0,92	22/04/2016	12:47:03 p. m.
6,65	28,96	16,15	0,92	22/04/2016	1:47:01 p. m.
6,68	29,63	16,46	0,9	22/04/2016	2:17:03 p. m.
6,68	30,12	16,85	0,91	22/04/2016	2:47:03 p. m.
6,68	37,56	16,7	0,91	22/04/2016	3:17:06 p. m.
6,56	38,62	16,4	0,91	22/04/2016	3:47:08 p. m.
6,58	39,65	15,92	0,9	22/04/2016	4:17:16 p. m.
6,51	39,12	15,54	0,92	22/04/2016	4:47:03 p. m.
6,45	39,12	15,12	0,92	22/04/2016	5:17:02 p. m.
6,23	39,2	15,23	0,92	22/04/2016	5:47:00 p. m.

Anexo B

FECHA	HORA	° C	COLOR UC Pt-Co				TURBIEDAD NTU				pH				CONDUCTIVIDAD uS/cm				ALCALINIDAD %				CLORO Libre (ppm)	CAUDAL TRATADO (m3/h)	DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS			OBSERVACIONES
			CRUDA	DECANTADA	FILTRADA	DISTRIBUIDA	CRUDA	DECANTADA	FILTRADA	DISTRIBUIDA	CRUDA	DECANTADA	FILTRADA	DISTRIBUIDA	CRUDA	DECANTADA	FILTRADA	DISTRIBUIDA	CRUDA	DECANTADA	FILTRADA	DISTRIBUIDA			SULFATO (l/h)	CAL (l/h)	CLORO (Kg/h)	
01/04/2016	7:00		33	42	18	12	3,12	3,98	1,18	0,82	7,32	7,18	7,04	6,92	16,73	18,46	16,61	19,24	14	16	14	13	0,72	1583			2,4	Ing. Cristina Velez
	8:00		32	38	20	10	3,06	3,79	1,06	0,79	7,28	7,22	7,10	6,88	16,24	17,22	16,78	18,72	15	14	13	13	0,84	1578			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	14,40	34	36	22	12	2,94	2,21	1,24	0,96	7,16	7,10	6,98	6,90	16,12	17,20	16,14	19,10	14	15	13	14	0,92	1542			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	10:00	15,20	30	34	20	11	3,02	2,18	1,12	1,02	7,20	7,06	6,92	6,86	17,16	17,06	16,18	20,12	14	14	14	13	0,86	1534			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	11:00	15,60	30	28	18	11	2,79	2,12	1,18	1,04	7,32	7,02	6,88	6,84	17,18	17,10	16,24	20,40	15	13	1	13	0,88	1538			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	12:00	16,60	26	23	13	8	2,68	2,08	1,06	1,02	7,18	6,98	6,86	6,78	17,21	17,11	16,81	20,20	14	13	13	12	0,91	1586			2,3	Dr. Adalberto Gallo
	15:00	16,40	34	26	16	10	2,29	2,10	1,22	1,06	7,16	7,10	7,06	6,92	17,60	16,40	17,60	21,00	13	14	14	14	0,94	1592			2,4	Ing. Cristina Velez
	16:00	16,00	32	24	14	7	2,36	2,04	1,14	0,92	7,22	7,06	6,98	6,684	17,80	17,20	17,40	20,60	15	14	13	12	0,88	1586			2,4	Ing. Cristina Velez
	17:00	16,00	36	22	12	6	2,18	1,72	1,06	0,94	7,36	7,18	7,12	6,92	18,20	18,40	17,20	19,40	14	15	13	13	0,92	1574			2,4	Ing. Cristina Velez
		Promedio	16	32	30	17	10	2,72	2,47	1,14	0,95	7,24	7,10	6,99	6,88	17,14	17,35	16,77	19,86	14	14	13	13		1568			
02/04/2016	8:00	14,00	32	22	10	1	2,12	1,69	0,92	0,72	7,26	7,20	7,12	7,06	17,10	17,26	18,21	20,12	16	14	14	14	1,10	1482			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	14,20	34	20	12	2	2,26	1,18	0,88	0,69	7,32	7,24	7,14	7,02	17,06	17,24	18,14	19,16	15	15	14	13	1,06	1476			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	10:00	14,50	28	18	10	2	2,14	1,69	0,76	0,68	7,18	7,14	7,10	7,04	17,12	17,18	18,10	19,28	13	14	14	13	1,02	1470			2,4	Dr. Adalberto Gallo
		Promedio	14	31	20	11	2,17	1,52	0,83	0,67	7,25	7,19	7,12	7,04	17,09	17,23	18,15	19,52	15	14	14	13		1476			2	

03/04/2016	8:00	13,90	49	72	24	11	3,16	5,22	2,16	1,16	7,16	6,76	6,69	6,56	19,39	24,10	26,80	29,30	14	11	10	11	1,26	1584	25	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	14,00	46	64	22	9	3,29	4,18	2,14	0,92	7,10	6,70	6,62	6,54	19,26	26,20	25,40	30,20	13	11	9	10	1,18	1599	25	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	10:00	14,20	44	52	18	8	3,21	3,79	2,10	0,82	7,18	6,76	6,72	6,69	19,14	27,20	26,40	29,80	13	10	8	8	1,14	1674	25	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	Promedio	14,03	46	63	21	9	3,22	4,40	2,13	0,97	7,15	6,74	6,68	6,60	19,26	25,83	26,20	29,77	13,33	10,67	9,00	9,67	1,19	1619,00	25,00		2,40	
04/04/2016	8:00	14,20	10	19	7	2	1,12	1,86	0,74	0,58	7,56	6,78	6,72	6,69	20,80	20,60	19,12	20,60	16	15	14	14	1,10	1484			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	14,50	11	16	6	1	1,06	0,94	0,82	0,74	7,48	6,94	6,92	6,84	20,20	20,80	18,20	21,40	16	15	15	13	1,06	1510			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	10:00	14,60	16	22	12	6	1,72	0,82	0,70	0,76	7,42	7,12	6,96	6,71	19,13	20,60	19,20	20,80	16	16	15	14	1,10	1712			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	11:00	15,10	14	20	14	10	1,64	0,76	0,94	0,74	7,06	7,06	6,88	6,69	19,16	20,80	19,80	20,40	18	15	14	15	1,08	1729			2,4	Ing. Cristina Velez
	12:00	15,30	18	20	14	6	1,32	0,64	0,60	0,60	7,36	7,10	6,61	6,65	20,12	21,40	20,60	21,60	17	16	16	14	1,06	1718			2,4	Ing. Cristina Velez
	13:00	15,40	20	18	12	8	1,26	0,72	0,66	0,58	7,32	7,02	6,74	6,68	20,18	20,50	21,40	20,50	17	18	15	14	1,15	1716			2,4	Ing. Cristina Velez
	14:00	15,60	28	16	11	10	1,28	0,81	0,76	0,61	7,38	7,12	6,76	6,71	21,30	20,60	213,60	20,80	16	15	14	13	1,12	1780			2,4	Ing. Cristina Velez
	15:00	15,80	26	16	10	7	1,18	1,02	0,72	0,60	7,32	7,22	7,12	7,06	21,40	20,20	20,60	22,40	16	15	14	14	1,06	1742		2,4,2,4	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	16:00		24	14	9	6	1,24	1,10	0,64	0,56	7,46	7,18	7,10	6,98	21,20	19,80	21,00	22,60	17	14	14	13	1,08	1736			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	17:00	15,50	22	14	11	6	1,78	1,34	1,06	0,62	7,39	7,20	7,06	6,92	20,40	20,20	21,40	22,20	15	15	16	14	1,02	1749			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	Promedio	15,50	19	18	11	6	1,36	1,00	0,74	0,64	7,41	7,07	6,89	6,79	20,39	20,55	39,49	21,33	16,40	15,40	14,70	13,80	1,08	1687,60			2,40	
05/04/2016	8:00	14,00	40,00	28	12	3	3,14	2,18	1,14	0,76	7,42	7,26	7,02	6,94	17,64	17,22	18,40	18,52	14	13	14	13	0,9	1360			2,3	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	14,30	52,00	41	14	6	4,12	3,29	1,06	1,04	7,16	6,94	6,80	6,72	17,22	22,20	20,20	23,80	15	10	9	8	0,9	1190	30	si	2,0	Dr. Adalberto Gallo
	10:00	14,50	60,00	52	16	8	4,21	4,02	1,72	1,12	7,18	6,82	6,76	6,64	17,16	23,40	20,40	22,60	14	11	9	10	1,1	1490	30	si	2,3	Dr. Adalberto Gallo
	11:00	14,70	71,00	56	18	9	5,26	4,28	1,29	1,02	7,22	6,78	6,72	6,62	16,42	24,60	20,20	21,40	13	10	9	8	0,9	1567	30	si	2,3	Dr. Adalberto Gallo
	12:00	14,70	48,00	62	8	4	4,21	5,26	1,76	1,24	7,10	6,82	6,76	6,66	15,22	26,80	25,80	27,80	13	11	10	9	0,9	1648	25	si	2,4	Ing. Cristina Velez
	13:00	14,90	44,00	56	10	2	3,79	5,12	1,42	1,10	7,22	6,74	6,70	6,69	14,34	29,00	27,30	28,60	13	11	11	10	1,0	1756	25	si	2,4	Ing. Cristina Velez
	14:00	15,40	53,00	58	8	3	3,81	5,18	1,31	1,08	7,23	6,71	6,68	6,53	14,41	29,30	28,60	28,70	12	11	10	10	1,0	1752	25	si	2,4	Ing. Cristina Velez

	15:00	15,80	52,00	56	9	3	3,24	4,72	1,26	1,12	7,16	6,78	6,72	6,64	14,60	30,10	27,20	29,80	14	10	9	9	1,0	1620	25	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	16:00	15,50	54,00	48	8	4	4,26	3,21	1,18	1,10	7,10	6,82	6,76	6,72	15,70	29,20	26,80	34,40	13	11	10	8	1,0	1510	30	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	17:00	15,20	60,00	44	11	2	5,12	3,39	1,26	1,14	7,14	6,90	6,84	6,78	15,40	31,40	27,20	33,80	13	10	9	10	1,0	1450	30	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	Promedio	14,90	53	50	11	4	4,12	4,07	1,34	1,07	7,19	6,86	6,79	6,69	15,81	26,32	24,21	26,94	13,40	10,80	10,00	9,50	0,98	1534,30	27,78		2,3	
06/04/2016	8:00	14,50	43,00	48	32	18	3,73	4,18	2,46	1,96	7,32	6,76	6,72	6,60	17,16	20,70	21,80	22,80	15	12	11	9	0,8	1672	30	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	14,70	45,00	42	28	16	3,42	4,06	2,34	1,42	7,34	6,69	6,64	6,56	17,20	22,20	22,60	23,20	14	13	12	10	0,8	1674	30	si		Dr. Adalberto Gallo
	10:00	14,70	44,00	40	30	14	3,40	4,12	2,29	0,79	7,28	6,78	6,70	6,62	16,14	22,40	24,20	25,60	14	12	11	10	0,8	1668	30	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	11:00	14,90	34,00	32	23	8	3,02	2,79	2,10	0,64	7,14	6,82	6,76	6,69	17,10	24,20	23,20	24,90	16	13	11	9	1,1	1102	25	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	12:00	15,10	28,00	26	19	8	2,46	2,32	1,72	0,82	7,26	6,78	6,70	6,64	18,10	25,20	24,80	27,60	15	12	11	10	1,0	1276	20	si	2,0	Ing. Cristina Velez
	13:00	15,20	26,00	24	13	11	2,40	2,18	1,66	1,11	7,30	6,82	6,73	6,68	18,14	25,40	24,30	27,80	13	11	11	10	1,1	1278	20	si	2,0	Ing. Cristina Velez
	14:00	15,60	25,00	23	12	11	2,38	2,26	1,86	1,02	7,28	6,71	6,78	6,66	18,11	25,30	24,60	27,80	14	13	11	11	1,0	1280	20	si	2,0	Ing. Cristina Velez
	15:00	15,50	24,00	18	16	6	2,14	1,79	1,62	1,10	7,32	7,06	6,88	6,78	18,10	26,20	25,20	30,20	14	12	11	10	0,9	1430	20	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	16:00	15,40	26,00	20	15	6	2,14	1,48	1,59	1,06	7,24	7,10	6,90	6,82	18,24	26,40	23,80	29,40	14	13	12	11	0,9	1730	20	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	17:00	15,40	22,00	18	17	4	2,22	1,26	1,44	1,04	7,18	7,02	6,92	6,86	19,24	27,20	23,40	29,60	15	12	11	9	0,9		20	si		Dr. Adalberto Gallo
	Promedio	15,10	32	29	21	10	2,73	2,64	1,89	1,10	7,27	6,85	6,77	6,69	17,75	24,52	23,79	26,89	14,40	12,30	11,20	9,90	0,95	1456,67	23,50		2,25	
07/04/2016	8:00	14,30	60	42	28	15	5,12	4,10	2,79	1,68	7,42	6,90	6,82	6,76	17,54	28,20	23,40	25,20	13	10	9	8	0,97	1580	40	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	14,50	56	44	30	12	4,78	4,06	2,46	1,18	7,38	6,86	6,74	6,70	17,18	29,40	24,60	25,80	14	10	8	8	1,04	1470	40	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	10:00	14,50	54	38	29	12	5,10	3,72	2,24	1,12	7,24	6,96	6,84	6,80	17,26	30,10	23,20	27,60	13	12	11	11	1,06	1480	40	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	11:00	14,70	32	26	28	14	2,98	2,26	1,94	1,16	7,32	6,82	6,74	6,68	17,21	28,40	22,40	26,80	14	11	12	11	1,12	1373	30	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	12:00	15,00	39	28	27	14	2,72	2,14	1,72	1,12	7,28	6,74	6,69	6,66	17,16	28,60	22,60	27,60	14	12	10	12	0,94	1390	30	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	13:00	15,30	30	26	24	13	2,64	2,18	1,69	1,24	7,25	6,92	6,68	6,82	18,10	26,20	23,40	27,40	12	13	11	10	0,90	1431			2,4	Ing. Cristina Velez
	14:00	15,60	26	23	13	11	2,48	2,11	1,63	1,18	7,26	6,91	6,76	6,78	18,11	26,40	23,30	26,80	13	12	11	11	0,91	1640			24,0	Ing. Cristina Velez

	15:00	15,00	34	30	22	14	3,10	2,76	1,98	1,42	7,33	7,16	7,12	6,92	18,22	20,20	21,40	20,60	13	14	15	14	0,94	1763			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	16:00	15,40	32	28	24	15	3,18	2,24	1,82	1,34	7,42	7,18	7,08	6,94	18,46	21,40	20,20	21,40	16	13	14	13	0,88	1728			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	17:00	15,20	34	26	20	14	2,79	2,06	1,72	1,28	7,39	7,22	7,04	6,90	18,72	20,80	19,99	21,80	15	13	14	13	0,90	1732			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	Promedio	14,95	40	31	25	13	3,49	2,76	2,00	1,27	7,33	6,97	6,85	6,80	17,80	25,97	22,45	25,10	13,70	12,00	11,50	11,10	0,97	1558,70	36,00		2,4	
08/04/2016	8:00	13,80	18	10	6	4	2,16	1,14	0,79	0,62	7,42	7,28	7,18	7,12	17,89	17,94	17,98	17,,93	13	12	12	11	0,98	1568			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	14,00	24	12	8	4	2,54	1,12	1,14	0,94	7,34	7,28	7,24	7,18	18,26	17,26	18,21	20,12	14	14	15	14	1,02	1486			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	10:00	14,00	22	10	8	5	2,28	1,22	1,06	0,92	7,44	7,32	7,26	7,08	18,14	18,10	18,24	20,80	15	14	13	13	1,00	1398			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	11:00	14,40	34	16	14	10	2,24	2,01	1,41	1,37	7,92	7,81	7,46	7,11	18,88	18,04	17,95	19,55	14	13	12	11	1,16	1252			2,3	Dr. Adalberto Gallo
	12:00	14,80	28	18	16	10	2,16	2,01	1,47	1,12	7,86	7,31	7,28	7,23	19,17	19,98	18,14	18,06	13	14	13	11	1,14	1564			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	13:00	15,10	29	17	13	11	2,18	1,98	1,31	1,11	7,88	7,36	7,32	7,28	19,21	19,86	18,21	18,31	14	13	12	11	1,12	1560			2,4	Ing. Cristina Velez
	14:00	15,30	30	16	14	12	2,11	1,91	1,28	1,06	7,78	7,31	7,26	7,18	19,24	19,76	18,31	18,26	13	12	11	11	1,11	1570			2,4	Ing. Cristina Velez
	15:00	15,60	33	17	13	13	2,18	2,02	1,19	1,08	7,63	7,29	6,91	6,83	18,18	18,12	18,26	18,21	14	13	11	11	1,01	1140			2,0	Dr. Adalberto Gallo
	16:00	15,20	54	34	24	15	8,16	2,46	1,14	0,82	7,42	7,21	7,02	6,92	17,10	18,11	18,92	19,14	14	12	12	10	1,11	1560	30	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	17:00	15,00	62	28	20	14	9,72	2,24	1,06	0,79	7,34	6,94	6,88	6,76	17,28	22,40	20,60	21,80	14	12	11	10	1,11	1590	30	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
		Promedio	15,20	33	18	14	10	3,57	1,81		0,98	7,60	7,31	7,18	7,07	18,34	18,96	18,48	19,36	14,00	12,90	12,20	11,30	1,07	1468,80	30,00		2,35
09/04/2016	8:00	14,60	58,00	72,00	51	18	2,71	2,18	1,82	1,76	7,50	7,38	7,26	7,02	17,43	24,30	22,90	23,10	14	13	12	12	1,08	1575			2,4	Ing. Cristina Velez
	9:00	15,30	60,00	63,00	16	13	2,98	2,02	1,71	1,53	7,48	7,18	7,12	7,01	17,48	24,60	28,10	23,30	13	12	13	13	1,22	1578			2,3	Ing. Cristina Velez
	10:00	15,60	62,00	58,00	14	12	2,81	1,98	1,64	1,12	7,50	7,21	7,16	7,08	17,51	24,80	23,10	24,20	13	12	11	11	1,20	1568			2,3	Ing. Cristina Velez
	Promedio	15,17	60	64	27	14	2,83	2,06	1,72	1,47	7,49	7,26	7,18	7,04	17,47	24,57	24,70	23,53	13,33	12,33	12,00	12,00	1,17	1573,67			2,33	
10/04/2016	8:00	14,80	159	86	15	11	11,10	6,08	0,98	0,96	7,48	6,81	6,68	6,53	18,01	31,40	32,30	32,60	13	14	13	11	1,22	1510			2,3	Ing. Cristina Velez
	9:00	15,60	235	91	16	13	13,80	5,86	1,02	0,98	7,41	6,71	6,48	6,36	18,11	32,30	33,10	32,80	12	14	11	10	1,18	1623			2,4	Ing. Cristina Velez
	Promedio	15,20	197	89	16	12	12,45	5,97	1,00	0,97	7,45	6,76	6,58	6,45	18,06	31,85	32,70	32,70	12,50	14,00	12,00	10,50	1,20	1566,50			2,35	

11/04/2016	8:00	14,80	45	53	18	11	5,31	3,36	1,98	1,76	7,04	6,98	6,91	6,76	18,20	20,70	25,40	24,90	13	12	11	11	1,33	1521	20	si	2,4	Ing. Cristina Velez
	9:00	15,10	58	52	19	14	4,86	3,08	1,91	1,68	7,24	6,90	6,82	6,78	19,18	19,86	23,40	20,10	16	14	13	13	1,14	12598	20	si	2,4	Ing. Cristina Velez
	10:00	15,40	62	56	10	13	3,46	2,22	1,45	1,24	7,44	7,27	7,18	7,02	19,51	20,20	22,90	21,80	12	11	10	11	1,28	1692	20	si	2,4	Ing. Cristina Velez
	11:00	15,60	66	52	20	12	4,12	2,18	1,24	1,06	7,42	7,06	6,94	6,86	19,10	21,60	23,40	26,20	16	13	13	12	1,16	1682	20	si	2,4	Ing. Cristina Velez
	12:00	15,80	34	40	19	13	2,79	2,14	1,28	1,02	7,39	7,30	6,86	6,80	19,40	20,20	19,80	24,20	15	13	12	11	1,12	1686			2,4	Ing. Cristina Velez
	15:00	16,00	31	34	18	12	2,72	2,29	1,14	1,10	7,46	7,28	7,16	7,04	19,10	19,21	18,26	22,40	17	16	14	13	1,10	1712			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	16:00	16,00	30	32	16	11	2,48	2,26	1,28	1,06	7,40	7,24	7,10	7,02	18,16	19,18	19,80	21,80	18	15	13	13	1,12	1775			2,4	Dr. Adalberto Gallo
	17:00	16,40	60	74	17	15	3,65	5,01	1,33	1,28	6,94	6,46	6,41	6,21	15,98	21,10	20,20	20,90	14	13	13	12	0,7	1726	30	si	2,2	Dr. Adalberto Gallo
	Promedio	15,61	48	49	17	13	3,67	2,82	1,45	1,28	7,30	7,01	6,92	6,81	18,58	20,26	21,65	22,79	15,13	13,38	12,38	12,00	1,12	3049,00	22,00		2,38	
12/04/2016	8:00	14,90	19	17	16	14	1,70	1,76	0,91	0,83	7,71	7,68	6,93	6,91	24,90	26,70	26,30	25,90	15	14	13	13	1,14	1374			2,0	Ing. Cristina Velez
	9:00	14,80	15	13	13	12	0,89	1,02	0,97	0,77	7,35	7,26	7,19	7,12	24,60	24,80	24,30	25,30	16	14	15	14	1,23	1169			2,0	
	10:00	14,70	16	14	13	11	1,52	1,41	1,04	0,84	7,37	7,29	7,16	7,06	24,80	25,00	24,30	25,10	14	13	13	12	1,18	1083			1,7	
	11:00	14,80	15	12	11	11	1,61	0,96	0,98	0,83	7,52	7,48	7,41	7,03	25,40	24,80	25,30	25,90	15	14	13	12	1,31	1290			2,0	
	12:00	15,10	12	11	11	10	1,64	1,36	0,90	0,86	6,82	6,79	6,76	6,75	23,80	25,20	24,80	25,30	14	12	12	11	1,36	1510			2,2	
	13:00	15,30	15	13	10	10	1,70	1,42	0,96	0,80	6,90	6,78	6,71	6,63	23,30	24,20	24,60	24,80	15	13	12	12	1,40	1440			2,4	
	14:00	15,60	19	15	13	9	1,61	0,95	0,86	0,63	7,80	7,56	7,40	7,31	23,60	24,50	24,20	24,60	16	15	15	14	1,46	1450			2,4	
	15:00	15,70	20	19	12	10	1,46	0,83	0,74	0,51	7,82	7,62	7,36	7,42	23,50	23,60	24,10	24,30	17	14	13	14	1,44	1460			2,4	
	16:00	15,80	17	16	13	11	1,38	0,91	0,86	0,61	7,73	7,40	7,31	7,30	24,00	24,10	23,60	24,20	16	15	14	14	1,28	1455			2,1	
	17:00	15,70	18	15	12	10	1,57	1,08	0,96	0,88	7,68	7,41	7,28	7,16	23,80	24,20	23,50	24,10	15	14	15	13	1,12	1458			2,1	
Promedio	15,24	17	15	12	11	1,51	1,17	0,92	0,76	7,47	7,33	7,15	7,07	24,17	24,71	24,50	24,95	15,30	13,80	13,50	12,90	1,29	1368,90			2,13		
13/04/2016	8:00	13,81	130	78	8	4	8,69	5,35	1,83	0,56	6,98	6,91	6,86	6,73	13,81	40,20	26,00	30,70	10	5	5	4	1,09	1330	40	SI	2,0	Ing. Cristina Velez
	9:00	14,00	124	82	12	6	8,10	4,76	1,28	0,78	7,16	6,96	6,90	6,82	13,10	43,10	28,60	31,40	11	6	6	5	1,06	1250	40	SI	2,2	

	10:00	14,20	108	76	18	4	7,16	3,18	1,32	0,96	7,28	7,04	6,86	6,79	14,02	39,40	32,20	34,60	12	7	6	6	1,12	1412	40	SI	2,0		
	11:00	14,00	92	70	16	2	7,14	4,02	1,16	0,80	7,16	7,10	6,82	6,72	13,16	40,60	31,80	35,20	13	5	6	5	0,96	1570	40	SI	2,3		
	12:00	14,60	98	78	14	9	7,52	4,11	1,18	1,02	7,14	6,93	6,80	6,71	13,16	40,80	32,30	35,60	14	8	9	9	0,95	1576	40	SI	2,3		
	13:00	14,80	100	81	13	8	7,53	4,06	1,12	0,93	7,12	6,98	6,81	6,70	13,15	41,30	32,40	35,40	14	11	10	8	0,97	1580	40	SI	2,3		
	14:00	15,30	91	100	12	10	8,99	8,61	1,78	1,16	7,18	6,91	6,73	6,68	15,01	48,60	43,60	44,00	13	10	10	6	0,93	1578	40	SI	2,3		
	15:00	15,20	94	84	16	9	7,92	7,68	1,46	1,10	7,28	7,06	6,82	6,74	14,10	42,30	37,40	45,60	15	9	6	5	0,90	1440	40	si	2,3		
	16:00	15,20	86	90	14	8	7,84	7,10	1,32	1,04	7,18	7,10	6,71	6,69	13,08	41,40	38,20	44,80	14	8	6	5	0,86	1446	40	si	2,3	Ing. Cristina Velez	
	17:00	14,60	72	66	12	6	7,36	7,24	1,19	0,82	7,22	6,82	6,74	6,68	14,10	39,236,4	36,40	41,40	14	8	5	6	0,92	1448	40	SI	2,3	Ing. Cristina Velez	
	Promedio	14,57	100	81	14	7	7,83	5,61	1,36	0,92	7,17	6,98	6,81	6,73	13,67	41,97	33,89	37,87	13,00	7,70	6,90	5,90	0,98	1463,00	40,00		2,23		
14/04/2016	8:00	14,40	35,00	45,00	32	14	2,46	1,72	1,34	0,92	7,28	7,16	7,12	6,92	26,90	21,80	23,20	23,80	12	10	11	11	0,72	1680	-	-	2,3		
	9:00	14,50	36,00	40,00	26	13	2,28	1,64	1,22	0,78	7,24	7,14	7,12	6,84	23,40	21,30	24,00	23,60	13	12	11	11	0,84	1610	-	-	2,3		
	10:00	14,60	35,00	38,00	20	14	2,26	1,17	1,26	0,93	7,26	7,18	7,10	7,02	23,80	21,60	24,10	24,20	14	13	11	11	0,86	1612	-	-	2,3		
	11:00	15,10	38,00	33,00	16	13	2,31	1,86	1,28	1,11	7,28	7,16	7,08	6,98	24,10	21,70	24,20	23,80	13	12	13	13	0,91	1618	-	-	2,3		
	12:00	15,40	36,00	32,00	15	14	2,16	1,77	1,31	1,14	7,32	7,14	7,02	6,90	16,76	16,05	17,23	18,77	13	11	12	12	0,84	1649	-	-	2,3		
	13:00	15,60	38,00	30,00	14	13	2,11	1,73	1,28	1,12	7,36	7,18	7,06	6,84	16,81	16,11	17,26	18,64	14	13	10	11	0,86	1643	-	-	2,3		
	14:00	15,80	40,00	33,00	13	11	2,14	1,68	1,31	1,21	7,38	7,21	7,08	6,93	17,04	16,48	17,31	19,08	15	13	12	12	0,90	1638	-	-	2,3		
	15:00	15,60	38,00	20,00	14	10	2,24	1,42	1,14	0,92	7,42	7,28	7,10	6,90	17,02	16,24	18,10	19,24	15	13	13	12	0,96	1634	-	-	2,3		
	16:00	16,00	42,00	28,00	12	10	2,16	1,36	1,06	0,84	7,34	7,24	7,06	6,84	17,10	16,18	17,14	19,18	14	12	11	12	0,92	1630	-	-	2,3		
	17:00	15,80	40,00	24,00	14	10	2,28	1,24	1,14	0,96	7,22	7,18	7,12	7,02	17,14	16,10	18,21	19,14	13	12	12	11	0,94	1642	-	-	2,3		
	Promedio	15,28	70	58	15	9	5,17	3,68	1,30	0,95	7,24	7,08	6,94	6,82	16,69	24,20	27,31	29,81	13	10	9	9	0,93	1545	40,00		2,26		
15/04/2016	8:00	13,80	34	40	23	16	2,18	1,90	1,26	1,08	6,98	6,91	6,88	6,76	19,07	20,10	21,30	20,60	11	10	11	11	0,89	1755	-	-	2,3		
	9:00	14,00	32	38	24	14	2,16	1,72	1,30	1,12	7,16	7,06	6,86	6,78	19,10	19,02	20,60	22,40	13	12	12	10	0,92	1734	-	-	2,3		

	10:00	14,20	36	34	20	13	2,24	1,64	1,24	1,10	7,24	7,04	6,90	6,76	18,16	19,14	21,20	22,80	12	12	11	10	0,90	1722	-	-	2,3	
	11:00	14,40	30	28	20	14	2,26	1,22	1,46	1,24	7,32	7,02	6,94	6,72	18,16	18,12	20,40	22,20	14	13	12	12	0,96	1780	-	-	2,3	
	12:00	14,60	34	26	18	14	2,18	1,32	1,10	0,92	7,24	6,96	6,86	6,78	19,10	18,16	21,20	21,80	13	13	13	11	0,90	1775	-	-	2,3	
	13:00	14,60	38	24	18	12	2,16	1,18	1,18	1,06	7,16	7,08	6,80	6,76	17,10	19,10	20,60	21,60	13	14	13	10	0,88	1765	-	-	2,3	
	14:00	14,80	40	24	22	13	2,24	1,20	1,26	1,18	7,22	6,90	6,79	6,74	17,10	18,26	20,80	21,40	13	13	13	10	0,92	1770	-	-	2,3	
	15:00	15,20	44	28	20	16	2,79	1,26	1,26	1,36	7,28	7,10	7,02	6,89	17,24	18,10	19,10	22,40	13	12	12	11	0,86	1684	-	-	2,3	
	16:00	15,20	198	60	32	15	18,50	4,54	1,29	1,04	7,14	6,74	6,62	6,54	17,20	20,40	20,60	22,80	14	10	10	9	0,94	1635	-	-	2,3	
	17:00	15,20	142	48	24	14	9,24	3,22	1,46	1,10	7,22	6,82	6,76	6,69	18,42	26,40	23,20	28,20	13	9	9	8	0,86	1630	-	-	2,3	
	Promedio	14,60	63	35	22	14	4,60	1,92	1,24	1,12	7,20	6,96	6,84	6,74	18,07	19,68	20,90	22,62	13	12	12	10	0,90	1725			2,30	Dr. Adalberto Gallo
16/04/2016	8:00	14,60	10	8	5	4	0,92	0,87	0,80	0,64	7,34	7,30	7,04	6,91	25,00	24,30	24,50	24,80	15	14	14	12	1,1	1510			2,2	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	14,90	12	10	7	2	0,99	0,84	0,81	0,74	7,28	7,21	7,05	6,72	24,90	24,60	24,50	24,90	16	15	14	14	1,1	1500			2,2	Ing. Cristina Velez
	10:00	15,40	15	11	8	4	0,91	0,90	0,87	0,72	7,36	7,15	6,98	6,72	24,50	24,80	24,30	24,40	17	14	14	12	1,2	1530			2,2	Ing. Cristina Velez
	Promedio	14,97	12	10	7	3	0,94	0,87	0,83	0,73	7,33	7,22	7,02	6,78	24,80	24,57	24,43	24,70	16	14	14	13	1,13	1513			2,20	
17/04/2016	8:00	14,80	70	80	15	10	4,90	5,15	2,28	1,60	7,20	6,72	6,70	6,65	23,50	36,80	38,10	39,20	15	15	14	13	1,0	1310	30	si	2,2	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	15,30	78	86	16	11	5,10	5,80	2,31	1,72	7,22	6,87	6,75	6,74	22,30	33,60	36,30	34,00	16	14	14	12	1,0	1430	30	si	2,2	Dr. Adalberto Gallo
	10:00	15,40	80	89	15	10	5,20	5,80	2,46	1,16	7,25	6,72	6,70	6,59	23,10	32,50	34,30	33,10	16	14	14	13	1,2	1610	30	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
	Promedio	15,17	76	85	15	10	5,07	5,58	2,35	1,49	7,22	6,77	6,72	6,66	22,97	34,30	36,23	35,43	16	14	14	13	1,06	1450	30,00		2,27	
18/04/201	8:00	15,80	16	14	13	11	1,99	1,86	1,71	0,96	6,33	6,28	6,23	6,20	21,40	21,90	22,20	22,70	13	16	17	16	0,93	1632			2,3	Dr. Adalberto Gallo
	9:00	15,90	16	15	12	10	1,61	1,48	1,08	0,93	6,38	6,31	6,28	6,21	21,30	21,80	22,30	23,70	14	15	16	15	0,91	1454			2,3	Dr. Adalberto Gallo
	10:00	16,40	17	13	10	9	1,64	1,36	1,01	0,91	6,99	6,71	6,64	6,53	21,00	21,90	22,60	23,80	13	14	15	14	0,90	1586			2,3	Dr. Adalberto Gallo
	11:00	16,30	16	10	8	7	1,62	1,41	1,11	0,96	7,01	6,84	6,71	6,66	21,30	22,20	22,80	23,40	14	13	14	14	0,91	1571			2,3	Dr. Adalberto Gallo
	12:00	16,40	15	11	7	6	1,58	1,46	1,14	1,02	7,11	6,91	6,78	6,71	21,40	22,30	23,10	23,60	15	14	14	13	0,99	1568			2,3	Ing. Cristina Velez

	13:00	16,60	18	14	8	5	1,32	1,30	0,92	0,84	7,26	7,14	6,92	6,78	21,20	20,60	22,20	23,40	16	14	15	14	0,91	1769			2,3	Ing. Cristina Velez
	14:00	16,60	16	12	8	4	1,26	1,22	0,78	0,70	7,22	7,08	6,84	6,82	20,80	21,40	22,60	23,20	15	14	13	13	0,86	1724			2,3	Ing. Cristina Velez
	15:00	17,10	17	11	6	5	1,31	1,18	0,79	0,75	6,79	6,81	6,76	6,68	20,70	21,30	20,80	21,70	14	13	13	14	0,88	1718			2,3	Ing. Cristina Velez
	16:00	16,90	18	10	7	6	1,33	1,19	0,81	0,78	6,81	6,76	6,61	6,60	20,80	21,40	21,30	20,60	15	14	13	13	0,91	1720			2,3	Dr. Adalberto Gallo
	17:00	15,90	14	12	10	5	1,18	1,12	0,70	0,69	6,66	6,66	6,60	6,53	21,30	21,10	20,80	20,70	14	13	13	12	0,87	1712			2,3	Dr. Adalberto Gallo
	Promedio	16,39	16	12	9	7	1,48	1,36	1,01	0,85	6,86	6,75	6,64	6,57	21,12	21,59	22,07	22,68	14	14	14	14	0,91	1645			2,30	
19/04/2016	8:00	14,20	32	28	22	13	2,14	1,78	1,26	0,92	7,29	7,22	7,12	7,06	18,20	17,40	18,60	20,40	14	13	13	13	0,92	1620	-	-	2,3	Img. Cristina Velez
	9:00	14,60	34	30	24	11	2,16	1,64	1,18	0,82	7,32	7,26	7,18	7,10	18,60	18,40	19,20	20,60	14	14	15	13	1,04	1632	-	-	2,3	
	10:00	14,80	30	28	20	10	1,84	1,28	1,10	1,06	7,12	6,98	6,90	6,88	20,60	20,20	20,40	21,80	14	14	13	12	1,06	1640	-	-	2,3	
	11:00	15,00	28	26	20	9	1,72	1,22	1,14	1,02	7,08	7,02	6,82	6,80	21,30	21,20	21,40	22,90	15	13	14	13	1,01	1630	-	-	2,3	
	12:00	15,00	26	22	18	14	1,68	1,18	1,12	0,80	6,66	6,61	6,58	6,53	19,88	20,20	20,10	20,70	14	13	13	13	1,01	1636	-	-	2,3	
	13:00	15,10	25	21	17	15	1,71	1,21	1,16	0,98	6,68	6,64	6,61	6,58	19,86	20,80	21,20	20,80	13	14	13	13	1,04	1628	-	-	2,3	
	14:00	15,40	26	20	16	14	1,81	1,31	1,23	1,12	6,71	6,68	6,64	6,61	19,91	21,30	22,20	21,40	14	13	14	13	1,02	1619	-		2,3	
	15:00	17,20	22	26	18	14	1,45	1,53	0,93	0,91	7,10	6,83	6,59	6,52	21,80	20,30	20,10	20,60	14	14	12	13	1,26	1494			2,3	Ing. Cristina Velez
	16:00	17,50	24	22	16	10	1,72	1,46	0,90	0,82	7,06	6,92	6,68	6,61	21,40	19,80	19,80	20,20	15	13	13	12	1,18	1512			2,3	
	17:00	16,30	21	20	14	9	1,68	1,42	0,89	0,78	7,05	6,89	6,52	6,63	21,30	19,60	19,70	21,30	14	13	13	12	1,16	1523			2,3	Ing. Cristina Velez
	Promedio	15,51	27	24	19	12	1,79	1,40	1,09	0,92	7,06	6,91	6,76	6,73	20,29	19,92	20,27	21,07	14	13	13	13	1,07	1593			2,30	
20/04/2016	8:00	14,20	67	83	8	6	2,89	6,24	0,72	0,70	6,26	6,21	6,18	6,16	14,39	32,80	30,50	33,60	13	13	13	14	0,88	1367	25	si	2,3	Img. Cristina Velez
	9:00	15,30	62	64	7	4	2,91	6,31	0,81	0,68	6,31	6,28	6,21	6,18	14,41	33,10	31,20	33,80	14	13	11	11	0,78	1370	25	si	2,3	
	10:00	15,60	54	58	8	2	2,94	6,18	0,76	0,64	6,33	6,27	6,20	6,16	15,01	33,80	31,30	34,30	13	13	12	11	0,76	7371	25	si	2,3	
	11:00	15,80	60	60	10	9	2,86	6,58	1,08	0,76	6,88	6,81	6,74	6,71	16,08	40,10	33,60	37,60	14	13	13	12	0,86	1386	30	si	2,3	
	12:00	16,10	68	65	11	8	2,78	6,63	1,12	0,74	6,99	6,86	6,71	6,62	15,11	42,10	34,30	38,60	13	13	12	11	0,88	1394	30	si	2,3	

	13:00	16,00	62	54	10	4	2,39	4,10	1,22	0,82	7,10	6,72	6,70	6,58	16,12	40,20	33,20	39,40	14	12	13	12	0,92	1310	30	si	2,3		
	14:00	16,00	64	48	9	4	2,46	3,79	1,14	0,69	7,04	6,64	6,62	6,54	15,14	39,80	34,60	37,60	12	11	12	11	0,86	1294	30	si	2,3		
	15:00	16,40	72	49	10	9	3,48	5,84	0,98	0,81	7,06	6,68	6,61	6,43	15,54	42,80	33,60	37,40	13	12	11	12	0,9	1343	30	si	2,3		
	16:00	15,80	70,00	44,00	11,00	8,00	3,36	5,76	0,93	0,78	7,08	6,71	6,58	6,48	15,61	43,40	34,70	37,30	14	13	13	11	0,9	1328	30	si	2,3	Ing. Cristina Velez	
	17:00	15,60	68	40	10	7	3,30	7,68	0,86	0,71	7,03	6,69	6,56	6,44	15,58	43,60	34,30	38,10	13	13	12	10	0,9	1336	30	si	2,3	Ing. Cristina Velez	
	Promedio	15,68	65	57	9	6	2,94	5,91	0,96	0,73	6,81	6,59	6,51	6,43	15,30	39,17	33,13	36,77	13	13	12	12	0,86	1950			2,30		
21/04/2016	8:00	15,60	28	40	16	13	1,36	2,13	1,18	1,08	7,10	6,68	6,61	6,58	17,84	21,00	24,30	26,70	14	13	13	12	1,0	1433			2,3	Dr. Adalberto Gallo	
	9:00	15,80	30	36	15	12	1,41	2,16	1,12	1,06	7,14	6,71	6,68	6,62	17,91	21,40	24,80	27,20	13	14	13	11	1,0	1428			2,3	Dr. Adalberto Gallo	
	10:00	16,10	31	33	14	13	1,98	2,18	1,08	1,03	7,22	6,61	6,60	6,53	19,08	20,30	23,40	24,70	15	13	13	12	0,9	1456			2,3	Dr. Adalberto Gallo	
	11:00	16,40	30	30	15	13	1,86	2,06	1,02	0,98	7,16	6,60	6,58	6,56	18,65	19,84	24,30	24,20	14	13	12	11	0,9	1512			2,3	Dr. Adalberto Gallo	
	12:00	16,60	32	28	14	12	1,91	2,01	1,04	0,98	7,28	6,78	6,61	6,58	18,71	19,91	24,60	24,10	13	13	11	11	1,0	1514			2,3	Dr. Adalberto Gallo	
	13:00	16,40	34	30	16	11	1,72	1,96	1,10	0,90	7,12	6,92	6,88	6,82	18,16	19,10	22,10	23,40	14	15	16	14	0,9	1508			2,3	Ing. Cristina Velez	
	14:00	16,20	32	21	15	10	1,64	1,84	1,06	0,76	7,06	6,98	6,84	6,78	18,24	19,14	22,18	23,20	16	15	14	14	0,9	1510			2,3	Ing. Cristina Velez	
	15:00	15,80	25	20	15	14	1,89	1,40	1,31	0,86	6,95	6,89	6,71	6,68	17,65	18,16	19,16	20,60	15	14	13	13	0,9	1512			2,3	Dr. Adalberto Gallo	
	16:00	15,40	24	22	14	13	1,91	1,38	1,26	0,91	6,98	6,91	6,66	6,74	17,75	18,80	19,21	20,40	14	13	13	13	1,0	1508			2,3	Dr. Adalberto Gallo	
	17:00	15,60	32	22	14	10	1,40	1,28	1,02	1,02	7,06	6,98	6,90	6,86	17,20	18,16	19,38	19,73	13	14	13	12	0,9	1650			2,3	Dr. Adalberto Gallo	
	Promedio	15,99	30	28	15	12	1,71	1,84	1,12	0,96	7,16	6,81	6,71	6,68	18,12	19,58	22,34	23,42	14	14	13	12	0,92	1503			2,30		
22/04/2016	8:00	14,40	44	60	36	18	1,77	3,04	1,78	1,74	6,86	6,62	6,54	6,50	17,95	21,70	22,70	22,90	13	14	13	12	1,0	1515	25	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo	
	9:00	14,40	50	52	32	16	2,10	2,98	1,46	1,10	6,88	6,61	6,52	6,48	18,83	23,00	24,30	24,90	14	13	12	12	1,0	1561	25	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo	
	10:00	15,10	48	40	28	15	2,11	3,11	1,38	1,08	6,91	6,78	6,61	6,56	18,86	23,40	24,40	26,30	15	13	12	11	1,0	1590	25	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo	
	11:00	15,80	73	65	20	16	3,41	2,68	1,41	1,11	7,23	6,94	6,71	6,53	19,41	23,20	24,60	25,80	14	13	11	11	0,8	1820	25	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo	
	12:00	16,10	170	81	16	14	16,10	3,86	1,08	1,02	7,18	6,90	6,71	6,61	19,81	24,80	25,30	24,20	14	13	12	11	1,0	1656	40	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo	

13:00	16,80	164	76	18	12	14,40	3,92	1,22	1,10	7,22	6,69	6,84	6,70	18,60	29,20	27,60	26,40	13	13	12	10	0,9	1684	40	si	2,4	Ing. Cristina Velez
14:00	17,10	182	74	22	11	18,20	4,06	1,06	0,92	7,16	6,72	6,66	6,62	18,40	30,40	28,20	26,80	14	11	10	10	0,9	1790	40	si	2,4	Ing. Cristina Velez
15:00	16,90	208 /	71	13	11	22,40	3,98	1,02	0,82	7,18	6,68	6,51	6,46	13,17	38,30	28,40	27,80	13	12	11	11	0,9	1577	40	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
16:00	15,30	208	68	12	8	21,80	3,68	1,04	0,91	7,21	6,71	6,64	6,58 /	13,18	39,30	29,30	28,30	13	13	11	11	0,9	1580	40	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
17:00	15,10	206	61	10	7	20,80	3,53	1,02	0,88	7,18	6,78	6,71	6,62	13,19	39,40	29,60	29,10	14	12	12	12	0,9	1578	40	si	2,4	Dr. Adalberto Gallo
Promedio	15,70	127	65	21	13	12,31	3,48	1,25	1,07	7,10	6,74	6,65	6,56	17,14	29,27	26,44	26,25	13,70	12,70	11,60	11,10	0,93	1635			2,40	